

ჯონი ბიჭიაშვილი, გენო ნიუარაძე,
გიორგი სიჭინავა

მშენებლობის
ორბანიზაცია,
მექანიზაცია,
ავტომატიზაცია,
დაბეზმვა და
მენეჯმენტი

III ნიშნი

მშენებლობის ავტომატიზაცია

პროფესორ ჯონი ბიჭიაშვილის საერთო
რედაქციით

გამომცემლობა “ლეგა”
თბილისი, 2008

წიგნში “მშენებლობის ორგანიზაცია, მექანიზაცია, ავტომატიზაცია, დაგეგმვა და მენეჯმენტი”, განხილულია სამშენებლო პროცესების ავტომატიზაციის ძირითადი პრინციპები, გამზომი და ავტომატური მოწყობილობების სისტემათა ძირითადი ელემენტები, ელექტრამძრავის ავტომატიზაცია და ავტომატური რეგულირება; მართვის ტექნიკა, საინფორმაციო სისტემები და მართვის ავტომატიზებული სისტემები; წარმოების ცენტრალიზებული მართვა და დისპეტჩერიზაცია, კოშკურა ამწეების, კაბელ-ამწეების, საჰაერო-საბაგირო გზების ავტომატიზაცია და სხვ.

გათვალისწინებულია უმაღლესი სასწავლებლების სამშენებლო სპეციალობის სტუდენტებისათვის. იგი გამოადგებათ ინჟინერ-პრაქტიკოსებსაც.

რედაქტორი: საქართველოს საინჟინრო აკადემიის, საქართველოს ბიზნესის მეცნიერებათა აკადემიის, საქართველოს ეროვნული და სხვა აკადემიების ნამდვილი წევრი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ჯ. ბიჭიაშვილი

რეცენზენტი: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ა. გუგუშვილი

ISBN: 978-99940-976-9-2

© ჯონი ბიჭიაშვილი, გენო ნიუარაძე, გიორგი სიჭინავა.
გამომცემლობა “ლევა”, თბილისი, 2008

წ ი ნ ა ს ი ტ ყ ვ ა ო ბ ა

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს გამომცემლობა “ლევას” მიერ 2008 წელს გამოცემული სახელმძღვანელოს – “მშენებლობის ორგანიზაცია, მექანიზაცია, ავტომატიზაცია, დაგეგმვა და მენეჯმენტი” I წიგნი – შემადგენელ ნაწილს. ავტორთა თავდაპირველი ჩანაფიქრით აღნიშნულ ნაშრომს კომპლექსურად უნდა მოეცვა ერთი წიგნის მოცულობაში სამშენებლო წარმოების ორგანიზაციის საფუძვლები, სამშენებლო წარმოების მატერიალურ-ტექნიკური უზრუნველყოფის ორგანიზაცია, სამშენებლო წარმოების ოპერატიული დაგეგმვა, მშენებლობის მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის, სამეურნეო მექანიზმის სრულყოფისა და მშენებლობის მართვის საკითხები და სხვ. მაგრამ, წიგნის მეტად დიდი მოცულობის გამო, ავტორებმა მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ “მშენებლობის მექანიზაციის და ავტომატიზაციის” ცალკე წიგნებად გამოცემა, (მშენებლობის მექანიზაცია, წიგნი II და მშენებლობის ავტომატიზაცია, წიგნი III), მითუმეტეს, რომ მატერიალურ-ტექნიკური ბაზის შემდგომი განმტკიცებისა და განვითარების გადამწყვეტ პირობას წარმოადგენს კომპლექსური მექანიზაცია, ავტომატიზაცია და ახალი აგრეგატული უნიფიცირებული სისტემებისა და გამომთვლელი მანქანების ფართოდ დანერგვა.

შევნიშნავთ, რომ ინჟინერ-მშენებლის, ტექნიკ-ტექნოლოგისა და ტექნიკ-მექანიკოსის აღჭურვა სათანადო კომპლექსური თეორიული ცოდნით, ავტომატიზებული მოწყობილობა-დანადგარების სწორი ექსპლოატაციის, საწარმო

და ტექნოლოგიური პროცესების ტექნიკურად, გამართულად მართვის მიზნით, მნიშვნელოვნად განაპირობებს თანამედროვე ეტაპზე შრომის ნაყოფიერების ზრდის მიღწევას. ამ პრობლემის წარმატებით გადაწყვეტის მცდელობას ემსახურება, ერთი მხრივ, მშენებლობის ორგანიზაციისა და ტექნოლოგიის და მეორე მხრივ, მშენებლობის მექანიზაციის და ავტომატიზაციის თეორიული საფუძვლების კომპლექსურად შესწავლას, რასაც მიზნად ისახავს წარმოდგენილი სახელმძღვანელო.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ განხილულ საკითხებზე ქართულ ენაზე არ მოიპოვება ორიგინალური ნაშრომი და წინამდებარე სახელმძღვანელო ამ მხრივ პირველ ცდას წარმოადგენს, ალბათ, მას ექნება ნაკლოვანებები. ავტორები საქმიან შენიშვნებს კმაყოფილებით მიიღებენ შემდგომში გასათვალისწინებლად.

აღნიშნულის საფუძველზე “მშენებლობის მექანიზაცია და ავტომატიზაცია” (“მშენებლობის ორგანიზაციის, მექანიზაციის, ავტომატიზაციის, დაგეგმვისა და მენეჯმენტთან” კომპლექსში), მოცემულია ორი წიგნის სახით: II. მშენებლობის მექანიზაცია (ამწვევ-სატრანსპორტო მანქანები), III. მშენებლობის ავტომატიზაცია.

ეს სახელმძღვანელო გათვალისწინებულია უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტებისათვის (გამოადგებათ ინჟინერ-პრაქტიკოსებსაც), რომლებიც შეისწავლიან “სამშენებლო მანქანებისა და სამშენებლო პროცესების ავტომატიზაციის” კურსს. მასალის დამუშავება და შესწავლა მიზანშეწონილია განხორციელდეს სახელმძღვანელოში მოცემული თანმიმდევრობით. სახელმძღვანელო შედგენილია მოქმედი პროგრამის შესაბამისად. განხილულია ავტომატიზაციის ძირითადი პრინციპები, გამზომი და ავტომატური მოწყობილობების ელემენტები, ელექტროძრავის ავტომატიზაცია და ავტომატური რეგულირება, მართვის ტექნიკა, საინფორმაციო და მართვის ავტომატიზებული სისტემები, კომპიუტერული ამწეების, კაბელ-ამწეების, საჰაერო-საბაგირო გზების ავტომატიზაცია და სხვ.

ავტორები მადლიერების გრძნობით აღნიშნავენ მარიამ ბიჭიაშვილის ნაყოფიერ შრომას, წიგნის გრაფიკული ნაწი-

ღის შემოწმებისა და ტექსტის ყურადღებით კორექტირებაზე.

სამშენებლო პროცესების დახასიათება და მათი ავტომატიზაციის პრინციპები

§1. მშენებლობის ავტომატიზაცია და პერსპექ- ტიული განვითარების ამოცანები

ტექნიკური პროგრესის, ორგანიზაციის სრულყოფა და სამუშაო პირობების გაუმჯობესება განაპირობებს მშენებლობის ინდუსტრიალიზაციის დონისა და უნიფიცირებული სამშენებლო კონსტრუქციების და დეტალების საქარხნო წესით დამზადების ხარისხის ამაღლებას. სახელმშენებელი კონვეიერი, მასში შემაგალი მსხვილი კომბინატების მეშვეობით, სამშენებლო წარმოებას შენობების მონტაჟის კომპლექსურ-მექანიზებულ პროცესად გარდაქმნის. საზოგადოების წინაშე დასახული ამოცანების განხორციელება მოითხოვს ფართოდ დაინერგოს მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლის, მართვისა და რეგულირების ავტომატური მოწყობილობები; ქარხნებისა და სამშენებლო ობიექტების ავტომატური მართვის მანქანური სისტემები.

ბეტონის, რკინაბეტონისა და ასაწყო რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამამზადებელი თანამედროვე ქარხნების მექანიზაციის მაღალი დონე, საწარმოო ციკლის უწყვეტობა ქმნის ხელსაყრელ პირობებს ავტომატიზაციის ანუ მექანიზაციის უმაღლესი საფეხურის დანერგვისათვის.

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ამჟამად დასრულებულია მზა სართულების აწევის მეთოდით შენობების აგების ახალი ეკონომიკური ტექნოლოგია, მონტაჟის პროცესის ავტომატიზაცია მნიშვნელოვნად აამაღლებს შრომის ნაყოფიერებას მშენებლობაში და გააიფუბებს მშენებლობას, მშენებლობის წარმოების ნებისმიერი სხვა წესის გამოყენებასთან შედარებით.

მექანიზაციის მჭიდრო კავშირზე ავტომატიზაციასთან მიუთითებდა ჯერ კიდევ კ. მარქსი “კაპიტალში”, რომელშიც მან შემდეგი განმარტება მისცა ავტომატურ მანქანას: “როდესაც სამუშაო მანქანა ადამიანის დაუხმარებლად ას-

რულებს ყველა იმ მოძრაობას, რაც აუცილებელია ნედლი მასალის დასამუშავებლად, და მხოლოდ ადამიანის მხრივ კონტროლს საჭიროებს, მაშინ ჩვენ საქმე გვაქვს მანქანების ავტომატურ სისტემასთან^{*}, ე.ი. ტექნოლოგიური პროცესის მექანიზაცია წარმოადგენს ავტომატიზაციის შეუცვლელ და მნიშვნელოვან წანამდგარს. მაშასადამე, მექანიზაცია წარმოადგენს ადამიანის კუნთის ძალის მექანიზმებით შეცვლის პროცესს, ხოლო ავტომატიზაცია ადამიანის მიერ წარმოების სამართავად აუცილებელი შრომის შეცვლის პროცესს აპარატებისა და მანქანების მუშაობით. მეცნიერებისა და ტექნიკის იმ დარგს, რომელიც შეისწავლის ავტომატური სისტემებისა და მასთან დაკავშირებული ტექნიკური საშუალებების თეორიასა და მეთოდებს, ეწოდება ავტომატიკა (“ავტომატი” ბერძნული წარმოშობის სიტყვაა და ნიშნავს თვითმოძრავს).

ობიექტის ავტომატურ მართვას, თუ ეს ობიექტი მოთავსებულია მართვის ადგილიდან შორ მანძილზე, ეწოდება ტელემექანიკა (ტელემექანიკა წარმოდგება სიტყვიდან “ტელე”, რაც ნიშნავს მანძილზე მოქმედებას). პრინციპული განსხვავება ავტომატიკასა და ტელემექანიკას შორის არ არსებობს. ავტომატიკისა და ტელემექანიკის რთული სისტემები უმეტეს შემთხვევებში შედგება ერთი და იმავე ელემენტებისაგან.

უახლოეს წლებში საწარმოო პროცესის ნაწილობრივი ავტომატიზაციიდან განხორციელდება კომპლექსურ და მთლიან ავტომატიზაციაზე მასობრივად გადასვლა.

საწარმოო პროცესი ნაწილობრივად ავტომატიზებული, როდესაც ავტომატიზებულია მისი მხოლოდ ცალკეული ოპერაციები. მაგალითად, მიწის მოშანდაკების მუშაობის დროს ხდება ავტოგრეიდერის ფრთის განივი დახრის ავტომატური რეგულირება. საწარმოო პროცესის კომპლექსური ავტომატიზაცია ეწოდება საწარმოო პროცესის მართვას ადამიანის ჩაურევლად. ადამიანის როლი კომპლექსური ავტომატიზაციის პირობებში განისაზღვრება პროცესის მიმდინარეობისადმი თვალყურის დევნებით. კომპლექსური მეანქიზაცია და ავტომატიზაცია ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული. ისინი ერთმანეთს განაპირობებს და ავსებს.

* კ. მარქსი, კაპიტალი, ტ. I, 1954, გვ. 483.

ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშება

№ რიგზე	დასახელება	ბეტონის ქარ- ხანა ოთხი ბე- ტონსარეგით თითოეული 1200 ცმ ტევადობით 4X1200ცმ	ბეტონის უწყ- მიქცელების ქარხანა-ავტომა- ტი, მწარმოე- ბელურობა 60მ³/სთ
1.	წლიური მწარმოებლურობა, მ³	110000	110000
2.	ტექნოლოგიური დანადგარის მასა, ტ	55	55
3.	ლითონის კონსტრუქციების დანადგარე- ბის მასა, ტ	103.8	21.9
4.	ელექტროძრავების სიმძლავრე, კვტ	127	82.4
5.	მომსახურე პერსონალის რაოდენობა ცვლაში	11	2
6.	ცვლის ხანგრძლივობა, სთ	7	7
7.	ცვლათა რაოდენობა	2	2
8.	სამუშაო დღეთა რაოდენობა წელიწადში	307	307
9.	კაპიტალური დაბანდებანი (მშენებლობის ღირებულება, დანადგარებისა და სამონ- ტაჟო სამუშაოების), ათას მან.	68.2	37.0
10.	დანადგარების გამოყენების კოეფიცი- ენტი	0.44	0.44
11.	კუთრი კაპიტალური დაბანდებანი 1მ³ ბეტონზე, მან.	0.62	0.336
12.	1მ³ ბეტონის დამზადების თვითღირებუ- ლება, მან.	0.5	0.24
13.	1მ³ ბეტონის დამზადების შრომატევადო- ბა, კაც-სთ/მ³.	0.417	0.0754
14.	წლიური ეკონომია შრომის ხარჯზე, ათას კაც-სთ/წლ.	—	37.62
15.	წლიური ეკონომიკური ეფექტი, ათას მან.	—	28.6

სამანქანო წარმოების განვითარების ისტორია სათავეს მანქანა-იარაღების შექმნიდან იღებს, რომელთა საშუალებითაც ადამიანმა შეიმსუბუქა შრომა და მნიშვნელოვნად გაზარდა შრომის ნაყოფიერება. ცნობილია, რომ არასამრეწველო დანიშნულების ავტომატებს იყენებდნენ ჯერ კიდევ პირველ საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე.

პრაქტიკული დანიშნულების ავტომატების რიცხვს მიეკუთვნება ქანქარიანი საათი, რომელიც 1657 წელს შექმნა ჰოლანდიელმა ქ. ჰიუგენსმა. რუსმა გამომგონებელმა ი.ი. პოლზუნოვმა 1766 წელს დააკონსტრუირა და დაამზადა ორთქლის ქვებში წყლის დონის ავტომატური რეგულატორი. 1784 წელს ინგლისელმა მექანიკოსმა ჯ. უაიტმა დაამზადა ბრუნვის სიჩქარის ცენტრიდანული რეგულატორი ორთქლის ქვებისათვის. 1877 წელს პეტერბურგის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის პროფესორმა ი. ვიშნევგრადსკიმ (1831-1895) ჩამოაყალიბა ორთქლის მანქანების რეგულირების თეორიის საფუძვლები. ვიშნევგრადსკის მნიშვნელოვანი დამსახურებაა ავტომატური რეგულირების სისტემების დამუშავების საკითხებისადმი სისტემური მიდგომის დამკვიდრება, რაც მდგომარეობდა რეგულატორისა და რეგულირების ობიექტის, როგორც ერთიანი დინამიკური სისტემის განხილვაში. მდგრადობის თეორიის საფუძვლები დამუშავა აკადემიკოსმა ა. ლიაპუნოვმა (1892 წ.). სლოვაკმა პროფესორმა ა. სტოდოლამ (1859-1942) გამოიკვლია ორთქლისა და ჰიდრავლიკური ტურბინების რეგულირების მდგრადობა, ხოლო გერმანელმა მათემატიკოსმა ა. გურევიცმა ამოხსნა ავტომატური რეგულირების ხაზოვანი სისტემების მდგრადობის კრიტერიუმის ზოგადი ამოცანა. ინგლისელმა მეცნიერმა ასტრონომმა ერიმ (1801-1892) გამოიკვლია მექანიზმი, რომელიც უზრუნველყოფდა ტელესკოპის თანაბარი სიჩქარით შებრუნებას ისე, რომ უწყვეტლივ ემზირათ თანაბრად მოძრავი ციური სხეულებისათვის. ასეთი სისტემა ტიპური ავტომატური რეგულირების სისტემაა. ინგლისელმა ფიზიკოსმა დ. მაქსველმა (1831-1879) მნიშვნელოვანი შრომა გასწია, ავტომატური რეგულირების სისტემის დარგში, პლანეტა სატურნის რგოლის წონასწორობის საკითხის შესწავლასთან დაკავშირებით. 1909 წელს პროფესორმა ნ. ჟუკოვსკიმ გამოაქვეყნა კლასიკური შრომები მანქანების ავტომატური რეგულირების დარგში.

საბჭოთა მეცნიერებმა – ი. ვოზნესენსკიმ, აკად. ლ. მენდელშტამმა, აკად. ნ. პაპალევსკიმ, აკად. ა. ანდრნოვმა, ვ. კულებაკინმა, ვ. ლოსიევსკიმ, მ. აიზერმანმა და სხვებმა თავიანთ შრომებში მნიშვნელოვნად განავითარეს ავტომატური რეგულირებისა და მართვის საკითხები. ავტო-

მატური რეგულირების თეორიაში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა მიხაილოვის ნაშრომმა “პარმონიული ანალიზის მეთოდი რეგულირების თეორიაში”, რითაც საფუძველი ჩაეყარა ევექტური სიხშირული მეთოდის დანერგვას ავტომატური სისტემების გამოკვლევის პრაქტიკაში. მაგრამ, ავტომატიკა, როგორც მეცნიერებისა და ტექნიკის დამოუკიდებელი დარგი, სისტემატურ განვითარებას იწყებს მე-20 საუკუნის 30-იანი წლებიდან.

უკანასკნელი ათეული წლების განმავლობაში მეცნიერულ დისციპლინად ჩამოყალიბდა მართვის პროცესების მათემატიკური თეორია, რომელსაც კიბერნეტიკა ეწოდება (ბერძნული სიტყვიდან “კიბერნეტოს”, რაც მესაჭეს ნიშნავს). კიბერნეტიკის განვითარება დაიწყო ამერიკელი მეცნიერის ნ. ვინერის შრომის – “კიბერნეტიკა და საზოგადოება” გამოსვლის დროიდან.

თანამედროვე კიბერნეტიკა შედგება სამი ძირითადი განყოფილებისაგან; ესენია: 1. ავტომატური მართვისა და რეგულირების თეორია, 2. ინფორმაციის თეორია და 3. მანქანების მიერ ლოგიკური ოპერაციების შესრულების თეორია.

კიბერნეტიკული სისტემები ამჟამად მართავენ ურთულესი ჩარხებისა და მთელი საწარმოების მუშაობას, მიმართულებას აძლევენ საზღვაო ხომალდების, თვითმფრინავებისა და კოსმოსური ხომალდების მოძრაობას, ელვისებურად აწარმოებენ ურთულეს გაანგარიშებებს და ა.შ. აღსანიშნავია, რომ ტექნიკის კიბერნეტიზაცია უმნიშვნელო ენერგიით უზარმაზარი სიმძლავრეების მართვის საშუალებას იძლევა.

მეცნიერებას, რომელიც შეისწავლის ელექტრონული ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპებს და მათი გამოყენების ტექნიკას, ეწოდება ელექტრონიკა. ელექტრონიკა წარმოადგენს თანამედროვე ავტომატიკის და ტელემექანიკის საფუძველს ელექტრონული აპარატურის უპირატესობების გამო – ზემოდაღი მგრძნობიარობა, მცირე ინერციულობა, შესაძლებლობა გაიზომოს, როგორც ელექტრული (ძაბვა, დენის ძალა, სიხშირე და სხვ.), ასევე არაელექტრული სიდიდეები (გაბარიტები, წნევა, ტემპერატურა, დრო, სინათლის ძალა, ძაბვა და სხვ.). ელექტრონიკის დანერგვა ავტომატიკასა და ტელემექანიკაში საშუალებას იძლევა

შეაიქმნას სწრაფმოქმედი, ზუსტი ავტომატური და ტელემექანიკური სისტემები.

მეცნიერების სრულიად ახალი დარგია ბიონიკა. იგი შეისწავლის ცოცხალ ორგანიზმებში მოქმედ მეტად ეკონომიკურ ავტომატურ სისტემებს, ანალოგიური მინიატურული ავტომატური სისტემების შექმნისა და ტექნიკაში დანერგვის საკითხებს.

ავტომატური მართვის თეორიასა და პრაქტიკაში სულ უფრო ფართოდ ინერგება ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანები, როგორც ციფრული, ისე ანალოგური, რამაც საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის დონე აწია ახალ, უფრო მაღალ საფეხურზე. მინი და მიკრო ეგზის მიკროპროცესორული ტექნიკის, რობოტებისა და მანიპულიატორების გამოყენების ბაზაზე შესაძლებელი გახდა თვითამწყობი და თვითმოსწავლე ავტომატური სისტემების დანერგვა, რაც რეალიზაციას უკეთებს მართვის რთულ კანონებს. ეს საშუალებას იძლევა შეიქმნას ავტომატური მართვის სისტემები ძნელადსაწინასწარმეტყველო და ფორმალიზებულ აღწერას დაუქვემდებარებელი აგზნებების პირობებში სამუშაოდ.

ავტომატურ სისტემებთან ერთად სამშენებლო წარმოების მართვის სფეროში, მეოცე საუკუნის სამოციან წლებში, დანერგვა დაიწყო ორგანიზაციულ-ტექნიკურმა (“ადამიან-მანქანურმა”) სისტემებმა, რომლებიც უზრუნველყოფენ იმოვიქცევის ეფექტურ ფუნქციონირებას, რომლებშიც მართვის ფუნქციის რეალიზაციისათვის აუცილებელი ინფორმაციის შეკრება და გადამუშავება ხორციელდება ავტომატიზაციისა და გამოთვლითი ტექნიკის საშუალების გამოყენებით. მართვის ასეთი სისტემების ტექნიკურ საფუძველს შეადგენენ ეგზი, ხოლო თეორიულს – ეკონომიკურ-მათემატიკური მეთოდები, რომლებიც რთული იმოვიქცევისა და პროცესების მართვის ოპტიმალური პირობების განსაზღვრის საშუალებას იძლევიან.

ამჟამად ავტომატიზაციის უმაღლესი ფორმის რეალიზაცია ხდება მოქნილი საწარმოო სისტემების (ГПС) დახმარებით, რაც ქმნის რეალურ წანამძღვრებს ადამიანის ჩაურეველ ტექნოლოგიებზე გადასასვლელად, თანამედროვე სამრეწველო წარმოების ეფექტურობის, არსებითად, ასამაღლებლად. ГПС მოწოდებულია უზრუნველყოს მთელი საწარ-

მოო პროცესის კომპლექსური ავტომატიზაცია, მნიშვნელოვნად აამაღლოს შრომის ნაყოფიერება და წარმოებული პროდუქციის ხარისხი. სტრუქტურულად ГПС წარმოადგენს სამდონიან იერარქიულ სისტემას. ქვედა დონეზე ხორციელდება უმარტივესი ტექნოლოგიური ოპერაციების ავტომატიზაცია რობოტებისა და მანიპულიატორების გამოყენებით, რომლებიც ასრულებენ შედუღებას, ჭრას, საჩარხო დამუშავებას და ა.შ. ავტომატიზაცია ამ დონეზე ეყრდნობა მიკროვგმ და მიკროპროცესორების დახმარებით რობოტიზებული კომპლექსების მართვას.

მეორე დონეზე ხორციელდება ნაკეთობების დამუშავების, ხარისხის კონტროლის, სატრანსპორტო-დასაგროვებელი სისტემების მოდულების მუშაობის კოორდინაცია. მეორე დონეზე მართვა სრულდება ავტომატიზებული დისპეტჩერის რეჟიმში ცენტრალური ეგმ-ის მიერ კოორდინებული ტექნიკურ-ეკონომიკური ინფორმაციის დამუშავების ტერმინალური სადგურების ბაზაზე.

მოქნილი საწარმოო სისტემების მესამე დონეზე ხორციელდება ოპერატიულ-საწარმოო მართვა, რომელიც რეალიზაციას უკეთებს საკვირაო და ცვლური სადღეღამისო დაგეგმვის, აღრიცხვისა და კონტროლის ფუნქციებს. მართვის მესამე დონის საფუძველს შეადგენენ მინი-ეგმ-ის ბაზაზე წარმოების ტექნოლოგიური მომზადების ავტომატიზებული სისტემები, რომლებიც ქმნიან ცენტრალურ ეგმ-თან დაკავშირებულ ერთიან მართვით-გამომთვლელ კომპლექსს.

საწარმოო პროცესების ავტომატიკისა და ავტომატიზაციის სისტემები მოწოდებულია მომცველი გარემოს დაცვის საქმეში მნიშვნელოვანი როლის შესასრულებლად. ეკოლოგიის პრობლემების გადაწყვეტის ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს უნარჩენო და მცირენარჩენიანი ტექნოლოგიების შექმნა და სამშენებლო წარმოებაში დანერგვა.

მშენებლობაში შეიძლება ავტომატიზებულ იქნეს შემდეგი სამშენებლო მანქანა-მექანიზმები და მშენებლობის ტექნოლოგიური პროცესები: 1) კოშკური და ხიდური ამწეები (ელექტროძრავების გაშვება, გაჩერება და რევერსირება; მექანიზმების სიჩქარის რეგულირება; მექანიზმების დაცვა ავარიებისა და გადატვირთვების შემთხვევებში; ტელეხედვის დანერგვა ამწეების მართვის საქმეში; ტვირთამწეობის შეზ-

დუღვა, ძვრა საწინაღო სატაცების ჩართვა; მექანიზმების პროგრამული მართვა; ამწეების დისტანციური მართვა; **2)** უწყვეტი ტრანსპორტის მანქანები (ელექტროძრავების მართვა; ტვირთნაკადების მიმართულების ავტომატური შეცვლა; კონვეიერის ღებტის მდებარეობის და მთლიანობის კონტროლი; კონვეიერის ღებტზე მასალის არსებობის კონტროლი; მართვის ავტომატიზაცია); **3)** ტელფერები, კაბელამწეები და საჰაერო-საბაგირო გზები, ლიფტები; **4)** ერთჩაფიანი და როტორული ექსკავატორები, სკრეპერები, ბულოზერები, ავტოგრეიდერები (გრუნტის დამუშავების სიღრმის ავტომატური კონტროლი; თხრილის გაჭრისას ქანობის ავტომატური რეგულირება; მწარმოებლურობისა და გზის პროფილის ავტომატური რეგულირება); **5)** პნევმოტუმბოები და საკომპრესორო დანადგარები; **6)** ჰიდრომონიტორები, მიწასაწოვები და მიწასაწოვი დანადგარ-იარაღები; **7)** ქვასამსხვრევი მანქანები (მექანიზმებისა და კვანძების დაცვა გადატვირთვისა და გადამეტხურებისაგან; დაცვა ლითონის ჩანართების მოხვედრისაგან; შეხეთვის ავტომატიზაცია; მუშაობის მართვის ავტომატიზაცია; მწარმოებლურობის ავტომატური რეგულირება; ვიბროცხავეების მუშაობის მართვის ავტომატიზაცია); **8)** მშენებლობის დისპეტჩერული მართვა; **9)** სხვადასხვა მექანიზმებისა და მანქანების მუშაობის აღრიცხვა მწარმოებლურობის ავტომატური აღმრიცხველების საშუალებით; **10)** სამონტაჟო სამუშაოები (საპროექტო მდგომარეობაში დასამონტაჟებელი ელემენტების ავტომატურად დაყენება; ავტომატური ტვირთსატყერების გამოყენება; ამწე-ავტომატის მართვა მსხვილპანელოვანი შენობის მონტაჟის დროს); **11)** მოსაპირკეთებელი სამუშაოები; **12)** აწონვისა და დოზირების პროცესები; **13)** სითბური პროცესები (საშრობი დოლის სითბური რეჟიმის ავტომატური რეგულირება; თბოტენიანობითი დამუშავების პროცესის ავტომატიზაცია; ხვიმირებში, შტაბელეში და თბოტენიანობითი დამუშავების პროცესში ტემპერატურული რეჟიმის ავტომატური რეგულირება; არმატურის ელექტრო-თერმული დაჭიმვის პროცესის ავტომატური მართვა; ბეტონის ელექტროგახურების ავტომატიზაცია; ავტოკლავებში ტემპერატურის პროგრამული რეგულირება); **14)** სასაწყობო ოპერაციები, ბეტონებისა და დუღაბების მომზადების პროცესები (არევის პროცესის ავ-

ტომატიზაცია; შესაღები შედგენილობების მომზადების ავტომატიზაცია; შემავსებლებისა და ცემენტის საწვობების მუშაობის ავტომატიზაცია); 15) ლამის მოცულობითი მასის რეგულირება; 16) წისკილების ჩატვირთვის პროცესები; 17) ხიმიწების ჩასობის პროცესები; 18) ასაწყოი რკინაბეტონის ნაკეთობათა წარმოების პროცესები (ნაკეთობათა ხაზოვანი ზომების ავტომატური კონტროლი; არმატურის წინასწარი დაძაბვის ავტომატიზაცია, არამრღვევი მეთოდებით ბეტონისა და რკინაბეტონის ნაკეთობათა ხარისხის კონტროლის ავტომატიზაცია; ბეტონის ნარევის ვიბროშემკვრივების ავტომატიზაცია; რკინაბეტონის ნაკეთობაში არმატურის ადგილ-სამყოფელის განსაზღვრა); 19) მანქანებისა და აგრეგატების კომპლექსის, საამქროების, ტექნოლოგიური ხაზებისა და ქარხნების მართვა საანგარიშო-გამომთვლელი მოწყობილობების გამოყენებით; 20) მშენებლობაში საანგარიშო სამუშაოების და ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციის ეკონომიკური ეფექტურობა (თუ გავითვალისწინებთ, რომ ყოფილ საბჭოთა კავშირში მშენებლები შეადგენდნენ რამდენიმე მილიონ კაცს, ხოლო აქედან დაახლოებით 3 მილიონი ემსახურებოდა აღრიცხვისა და დოკუმენტების გაფორმებას, ცხადია, სხვადასხვა ავტომატური გამოსათვლელი მანქანების დანერგვის შედეგად მიღებული ეკონომიკური ეფექტი შეადგენს მნიშვნელოვან სიდიდეს თვით ჩვენი ქვეყნისთვისაც კი).

მშენებლობის ავტომატიზაციის პერსპექტიული განვითარებისათვის აუცილებელია ფართოდ დაინერგოს მშენებლობის პრაქტიკაში სამეცნიერო-კვლევით და სასწავლო ინსტიტუტებში, საპროექტო და საკონსტრუქტორო ორგანიზაციებში დამუშავებული ახალი ხელსაწყოები, მანქანები, ავტომატიზაციის საშუალებანი და ავტომატიზებული ქარხნები; კერძოდ, განხორციელდეს: კოშკურა ამწეების დისტანციური მართვა ტელემექანიკისა და რადიოელექტრონიკის საშუალებათა გამოყენებით; სადისპეტჩერო პუნქტის ორმხრივი რადიოკავშირი სამშენებლო-სამონტაჟო მოედანზე მომუშავე ამწეებთან, ექსკავატორებთან, ბუღდოზერებთან და სხვა სამშენებლო მანქანებთან; ერთნაშინი ექსკავატორის სამუშაო ციკლის ავტომატიზაცია; სახლმშენებელ კომბინატებთან ერთად აიგოს ბეტონის ქარხანა-ავტომატები

60მ³/სთ მწარმოებლურობით და ღუდაბის დამამზადებელი ავტომატიზებული კვანძები 18-20 მ³/სთ მწარმოებლურობით, რომლებიც გამოირჩევა მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობით.

ამჟამად მუშავდება (დამუშავებულია) და უახლოეს პერიოდში სამშენებლო პრაქტიკაში დაინერგება (ინერგება):

1. როტორული ექსკავატორების, სკრეპერებისა და ბულ-დოზერების მოძრაობის სიჩქარის ავტომატური რეგულირება გრუნტის ჭრის წინააღობის გათვალისწინებით, აგრეთვე, ამ მანქანების პროგრამული მართვა.

2. ხიმიწვის ჩასასობი მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმის ავტომატური რეგულირების სისტემები.

3. ერთხაზიანი ექსკავატორების ნაწილობრივი პროგრამული მართვა და ღილაკური მართვის სისტემები.

4. კომპურა ამწეების მიერ შესრულებულ სამუშაოთა და ტვირთის მასის, ექსკავატორების მიერ დამუშავებული გრუნტის რაოდენობის ავტომატური აღმრიცხველები, ციკლების რიცხვის, მუშაობის სუფთა დროის, ელექტროენერგიისა და საწვავის ხარჯის მრიცხველები.

5. მიწისქვეშა კაბელების, მილგაყვანილობისა და გაზ-გაყვანილობის ადგილ-სამყოფელის ავტომატურად განმსაზღვრელი მოწყობილობა, შესაბამისი სიგნალიზაციით.

6. სამშენებლო მანქანები ავტომატური კონტროლითა და მართვით – სამღებრო, შელესვისა და სხვა სამშენებლო პროცესების შესასრულებლად.

7. სამსხვრევ-დამხარისხებელი წარმოება ავტომატიზებული ტექნოლოგიური პროცესით.

8. შემავესებლების და ცემენტის ავტომატიზებული საწყობები.

9. მთლიანად ავტომატიზებული ასფალტბეტონის ქარხნები, პროგრამული რეგულირებით.

ჩამოთვლილი მანქანებისა და სამშენებლო პროცესების ავტომატიზაცია დაკავშირებულია დიდ ხარჯებთან, მაგრამ ავტომატიზაციის ეკონომიკური ეფექტურობის გამო, ამ ხარჯების ანაზღაურება განხორციელდება (ხორციელდება) მოკლე დროში.

1.2. ცხრილში მოცემულია პროცესების ავტომატიზაციის ღონისძიებებზე კაპიტალდაბანდებათა გამოსყიდვის საფა-

რაუდო ვადები, ხოლო პირველი თავის მე-3 პარაგრაფში – წარმოების პროცესების ავტომატიზაციის ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრის მაგალითები.

ცხრილი 12

პროცესთა ავტომატიზაციის ღონისძიებებზე კაპდაბანდებთან გამოსყიდვის ვადები

№ რიგზე	მოწყობილობის ავტომატიზაციის ხარისხი	გამოსყიდვის მაქსიმალური ვადა წლებში	ეფექტურობის მაქსიმალური კოეფიციენტი
1.	წარმოების ნაწილობრივი ავტომატიზაცია მარტივი სახის მოწყობილობის დანერგვით, ხელსაწყოების დაყენებით მოქმედ აგრეგატებზე	1–15	1.0–0.65
2.	ცალკეული ოპერაციისა და პროცესის ავტომატიზაცია, მოწყობილობის ნაწილობრივი შეცვლა და მოდერნიზაცია	2–3	0.5–0.35
3.	კომპლექსურად მექანიზებული და ავტომატიზებული პროცესები, ავტომატური სახეებისა და საამქროების შექმნა (ტექნოლოგიური სქემის შეუცვლელად)	4–5	0.25–0.2
4.	საწარმოო პროცესების კომპლექსური მექანიზაცია და ავტომატიზაცია, უბნის საამქროს და წარმოების ფარგლებში, ტექნოლოგიური სქემის შეცვლითა და ახალი მოწყობილობა-დანადგარების გამოყენებით	6	0.16–0.17
შენიშვნა: ეფექტურობის კოეფიციენტი განისაზღვრება, როგორც თვითღირებულებაზე ყოველწლიური ეკონომიის შეფარდება დამატებით კაპდაბანდებებთან და წარმოადგენს გამოსყიდვის ვადის შებრუნებულ სიდიდეს.			

§2. წარმოების პროცესების ავტომატიზაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა და მისი გაანგარიშების მეთოდოლოგია

წარმოების პროცესების ავტომატიზაცია განაპირობებს შრომის ნაყოფიერების მნიშვნელოვნად ამაღლებას, პროდუქციის გამოშვების ზრდას და მისი ხარისხის გაუმჯობესებას; უზრუნველყოფს მოწყობილობა-დანადგარების მუშაობის საიმედოობას; შრომის პირობების გაუმჯობესებას და მუშების კულტურულ-ტექნიკური დონის ამაღლებას.

ავტომატიზაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის დასადგენად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შემდეგი ძირითადი მაჩვენებლები:

1. ავტომატიზაციაზე დაბანდებული კაპიტალური დანახარჯების ანაზღაურების ვადა და მასთან დაკავშირებული ეფექტურობის კოეფიციენტი;

2. ავტომატიზაციისათვის საჭირო კაპიტალური დანახარჯები;

3. შრომის ნაყოფიერება (პროდუქციის გამომუშავება ერთ მომუშავეზე);

4. მომსახურე პერსონალის რაოდენობის შემცირება;

5. პროდუქციის ერთეულის თვითღირებულება;

6. ნედლეულისა და მასალების ხარჯი პროდუქციის ერთეულზე;

7. ელექტრო ენერგიის და სათბობის ხარჯი პროდუქციის ერთეულზე;

8. საწარმოო სათავსის 1 მ² ფართობიდან მიღებული პროდუქციის რაოდენობა;

9. პროდუქციის გაუმჯობესების ხარისხი (სიმტკიცის, ხანგამძლეობის ამაღლება და ა.შ.);

10. შრომის პირობების გაუმჯობესების ხარისხი;

11. ობიექტის მშენებლობის ხანგრძლივობა ან სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა განსაზღვრული კომპლექსის შესრულების ხანგრძლივობა;

12. სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა თვითღირებულება და საექსპლუატაციო დანახარჯები შენობებზე, ნაგებობებზე ან ცალკეულ კონსტრუქციულ ელემენტებზე და სხვ.

სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა თვითღირებულება შედგება პირდაპირი და ზედნადები ხარჯებისაგან.

პირდაპირი ხარჯები მოიცავს: მუშების ძირითად ხელფასს; მასალებზე ხარჯებს და მანქანებისა და მექანიზმების ექსპლუატაციის ხარჯებს.

ხედნადებ ხარჯებს მიეკუთვნება: ადმინისტრაციულ-სამეურნეო ხარჯები, სამუშაოთა ორგანიზაციისა და წარმოების ხარჯები, მათ შორის მცირე ღირებულების და სწრაფცვეთად იარაღებზე, ხანძარსაწინააღმდეგო და საგუშაგო დაცვაზე, საპროექტო ჯგუფების შენახვასა და ა.შ.; მუშების კულტურულ-სამეურნეო მომსახურების და შრომის დაცვის ხარჯები.

საექსპლუატაციო ხარჯები ითვალისწინებს საამორტიზაციო ანარიცხებს აღდგენასა და კაპიტალურ რემონტზე, მიმდინარე შეკეთების ხარჯებს, ხარჯებს გათბობაზე, ლიფტების ექსპლუატაციასა და სხვ.

სამშენებლო ორგანიზაციების ძირითადი საწარმოო ფონდები მოიცავს: სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა შესრულებაში მონაწილე სამშენებლო მანქანებსა და მექანიზმებს, სატრანსპორტო საშუალებებს, საწარმოო შენობებსა და ნაგებობებს, დამხმარე საწარმოებში გამოყენებულ ძალოვან საწარმოო მოწყობილობებს, (მაგალითად, გადასაადგილებელ ელექტროსადგურებს, კომპრესორებს, ღიზელებს, ორთქლის ქვაბებს და სხვ.).

საბრუნავი ფონდების შემადგენლობაში გაითვალისწინება ძირითადი მასალების, კონსტრუქციების, დეტალების მარაგი; დამხმარე მასალებისა და სათბობის მარაგი; დაუმთავრებელი წარმოება სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების მიხედვით და ა.შ.

შრომატევადობა სამშენებლო წარმოებაში, წარმოების მექანიზაციის და ავტომატიზაციის ეფექტურობის გაანგარიშებისას, განისაზღვრება შრომის დანახარჯებით ნატურალურ კაც-დღეებში მანქანებისა და მექანიზმების უშუალო მომსახურე მუშების, დამხმარე სამუშაოებზე, მიმდინარე რემონტზე დაკავებული მუშების ჩათვლით. შესაბამისი მონაცემები განისაზღვრება მანქანა-ცვლების საგეგმო კალკულაციებით გამოთქმავების მოქმედი ერთიანი ნორმების საფუძველზე.

თვითღირებულებისა და კაპიტალური დანახარჯების მაჩვენებლებით განსხვავებული ახალი ტექნიკის ვარიანტე-

ბის შედარება წარმოებს ანაზღაურების ვადების გათვალისწინებით.

დამატებითი კაპიტალური დაბანდების ანაზღაურების ვადა განისაზღვრება ფორმულით

$$T = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq T_{\text{ნორმ}}, \quad (1.1)$$

სადაც

T არის გამოსყიდვის ვადა, წლებში;

K_1 და K_2 – კაპდაბანდებები ეტალონისა და ახალი ტექნიკის მიხედვით, ან კაპდაბანდებები შესადარებელი ვარიანტების მიხედვით, მან.;

C_1 და C_2 – სამუშაოთა წლიური მოცულობის თვითღირებულება ეტალონისა და ახალი ტექნიკის მიხედვით ან თვითღირებულებები შესადარებელი ვარიანტების მიხედვით, მან./წელ.

ეფექტურობის კოეფიციენტი (გამოსყიდვის ვადის შებრუნებული სიდიდე) განისაზღვრება თვითღირებულებაზე ეკონომიის შეფარდებით დამატებით კაპიტალურ დაბანდებებთან.

$$E = \frac{1}{T} = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} \geq E_{\text{ნორმ}}. \quad (1.2)$$

$T_{\text{ნორმ}}$ და $E_{\text{ნორმ}}$ გამოსყიდვის ვადის და ეფექტურობის კოეფიციენტის ნორმატიული სიდიდეებია.

თუ გამოსყიდვის ვადა ნორმატიულზე ნაკლებია $T < T_{\text{ნორმ}}$ (ეფექტურობის კოეფიციენტი ნორმატიულზე მეტია $E > E_{\text{ნორმ}}$), ეკონომიკური თვალსაზრისით უფრო ეფექტურია შედარებით მცირე თვითღირებულების ვარიანტი. თუ $T > T_{\text{ნორმ}}$ (ანუ $E < E_{\text{ნორმ}}$), ეკონომიკურად ეფექტურია ვარიანტი, რომელიც ხასიათდება დაბალი კაპიტალური დაბანდებებით.

დარგობრივი ინსტრუქციის თანახმად, მშენებლობაში ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება $E_{\text{ნორმ}} = 0,12$; შესაბამისად, გამოსყიდვის ვადა შეადგენს $T_{\text{ნორმ}} = 8,33$ წელს.

ეკონომიკური ეფექტურობის ანგარიშისათვის გამოიყენება დაყვანილი ხარჯების მაჩვენებელი, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\Pi = C + E_{\text{ნორმ}} K, \quad (1.3)$$

სადაც

Π არის დაყვანილი ხარჯები;

C – პროდუქციის ერთეულის თვითღირებულება;

K – ხვედრითი კაპიტალური დანახარჯები (ფონდტევადობა), ე.ი. პროდუქციის წლიური გამოშვების ერთეულზე კაპიტალური დანახარჯის სიდიდე.

წლიური ეკონომიკური ეფექტი Θ განისაზღვრება დასაწერგავი ახალი ტექნიკისა და ეტალონის დაყვანილი ხარჯების სხვაობის ნამრავლით წარმოებული პროდუქციის (A) წლიურ მოცულობაზე ან სამუშაოზე ღონისძიების (ახალი ტექნიკის) დანერგვის შემდეგ, ნატურალურ ერთეულებში:

$$\Theta = A(\Pi_1 - \Pi_2) = A(C_1 + E_{\text{ნორმ}} K_1 - C_2 - E_{\text{ნორმ}} K_2), \quad (1.4)$$

$$\Theta = A[(C_1 - C_2) - E_{\text{ნორმ}} (K_2 - K_1)]. \quad (1.5)$$

აქ C_1 , C_2 პროდუქციის ან სამუშაოს ერთეულის თვითღირებულებაა ღონისძიების დანერგვამდე და დანერგვის შემდეგ ანდა შესადარებელ ვარიანტებში, მან;

K_1 , K_2 – ხვედრითი კაპდაბანდებები პროდუქციის ან სამუშაოს ერთეულზე ღონისძიების დანერგვამდე და დანერგვის შემდეგ, შესადარებელ ვარიანტებში, მან.

მოქმედი მანქანის ავტომატიზაციის შემთხვევაში, როდესაც ახალი კაპდაბანდება ემატება უკვე არსებულ ფონდებს, და როდესაც საჭირო არ არის მოქმედი მანქანის მაჩვენებლების განსაზღვრა ახალი მოცულობების შესაბამისად, წლიური ეკონომიკური ეფექტისათვის გვექნება

$$\Theta = [(C_1 - C_2) - E_{\text{ნორმ}} \cdot K_{\text{დ.შ}}] \cdot A, \quad (1.6)$$

სადაც $K_{\text{დ.შ}}$ არის კაპიტალური დანახარჯები ავტომატიზაციის საშუალებებზე დანერგვის შემდეგ სამუშაოთა ერთეულზე (ან პროდუქციის წლიური გამოშვების ერთეულზე).

შეიძლება ვისარგებლოთ, აგრეთვე, ფორმულით:

$$\Theta = (C_1 - C_2) - E_{\text{ნორმ}} \cdot K'_{\text{დ.შ}}, \quad (1.7)$$

აქ $K'_{\text{დ.შ}}$ არის სრული კაპიტალური დანახარჯების სიდიდე ავტომატიზაციის საშუალებებზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ავტომატიზაციის განხორციელება ამცირებს მშენებლობის ხანგრძლივობას, დამატებით გაითვალისწინება დროის ფაქტორის გავლენის შედეგად მიღებული ეკონომიკური ეფექტი. მაგალითად, საწარ-

მოო ობიექტების ამოქმედების დახქარებით მიდწეული ეფექტი, რომელიც დაკავშირებულია დამატებითი პროდუქციის გამოშვებასთან აშენებულ ან რეკონსტრუირებულ საწარმოში, განისაზღვრება ფორმულით

$$\mathfrak{Q} = E_{\text{ნორმ.}} \phi(T - T_{\text{ფაქტ}}), \quad (1.8)$$

სადაც

$E_{\text{ნორმ.}}$ არის ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი დარგისათვის, რომელსაც მიეკუთვნება აშენებული საწარმო;

Φ – მოქმედებაში შეყვანილი ძირითადი ფონდების სახარჯთაღრიცხვო ღირებულება;

T – მშენებლობის ნორმატიული ხანგრძლივობა ან ანალოგიური ობიექტების მშენებლობის ფაქტიური ხანგრძლივობა, თუ იგი ნორმატიულზე ნაკლებია, წლებში;

$T_{\text{ფაქტ.}}$ – მშენებლობის ფაქტიური ხანგრძლივობა, წლებში.

ამავე ფორმულით შეიძლება ვისარგებლოთ მოწყობილობის, მანქანების, აგრეგატების და სხვათა კაპიტალური რემონტის ან მოდერნიზაციის ვადების შემცირების დროს, თუ ამის შედეგად ძირითადი ფონდების მუშაობის პერიოდი იზრდება ამოსავალ დონესთან შედარებით.

§3. წარმოების პროცესების ავტომატიზაციის ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრის მაგალითები

მაგალითი. მოდულირებული სინათლის სხივის საშუალებით მიწისმთხრელი მანქანის სამუშაო ორგანოს დისტანციური მართვის ავტომატური მოწყობილობის დანერგვით მიდწეული ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრა შემდეგი მონაცემების მიხედვით: მანქანის მწარმოებლურობა ცვლაში 350 მ³; სამუშაო ცვლების რიცხვი წლის განმავლობაში 480; მიწისმთხრელი მანქანით (ავტომატური მოწყობილობის გარეშე) 1 მ³ გრუნტის დამუშავების ღირებულება – 0,0796 მან.; ავტომატური მოწყობილობიანი მანქანით დამუშავებისას – 0,07207 მან.; ერთი გრძივი მეტრის საკონტროლო ნივთიერების ღირებულება – 0,00753 მან.; მანქანის ღირებულება ავტომატური მოწყობილობის გარეშე – 5400 მან.; ავტომატური მოწყობილობით – 9560 მან. (ავტომატური მოწყობილობის

საექსპლოატაციო ღირებულება შედგება პროექტორის, შტატივის, აკუმულატორის, მიმღები მოწყობილობის, გა-
მაძლიერებლის და მათი მონტაჟის ღირებულებათა ჯამისა-
გან; მანქანის მწარმოებლურობა წლის განმავლობაში
185000 მ³; ეკონომიკური ეფექტურობის ნორმატიული დარგო-
ბრივი კოეფიციენტი $E_{\text{ნორმ}}=0,12$.

შევნიშნავთ, რომ მართვის ავტომატური მოწყობილობის
დანერგვა მიწისმოხრელ მანქანაზე მნიშვნელოვნად ამაღ-
ლებს შესრულებულ სამუშაოთა ხარისხს, გამოორიცხავს
შემდგომი დამუშავების აუცილებლობას, ამცირებს სამუშა-
ოების თვითღირებულებას. განხილული მაგალითის შემ-
თხვევაში მართვის ავტომატური მოწყობილობის გამოყენე-
ბის გამო აღარ არის საჭირო საკონტროლო ნიველირების
შესრულება და სხვ.

ეკონომიკური ეფექტის სიდიდე

$$\mathfrak{Z} = A[(C_1 - C_2) - E_{\text{ნორმ}}(K_2 - K_1)],$$

სადაც

$A=350\cdot480=168000$ მ³ სამუშაოთა წლიური მოცულობაა
ერთ მანქანაზე ავტომატური მოწყობილობით;

$C_1=0.0796$ მან/მ³ და $C_2=0.07207$ მან/მ³ – სამუშაოს ერ-
თეულის ღირებულებაა მანქანით, ავტომატური მოწყობილო-
ბის გარეშე და ავტომატური მოწყობილობით;

$$K_1 = \frac{5400}{185000} = 0.0291 \frac{\text{მან}}{\text{მ}^3} \quad \text{და} \quad K_2 = \frac{9560}{185000} = 0.0516 \frac{\text{მან}}{\text{მ}^3} -$$

ხვედრითი კაპდაბანდებებია პროდუქციის ერთეულზე მან-
ქანის ავტომატური მოწყობილობით აღჭურვამდე და აღჭურ-
ვის შემდეგ.

ამრიგად, ეკონომიკური ეფექტის მნიშვნელობა იქნება

$$\mathfrak{Z} = A[(C_1 - C_2) - E_{\text{ნორმ}}(K_2 - K_1)] = 168000[(0.0796 - \\ - 0.07207) - 0.12(0.0516 - 0.0291)] = 811.44 \text{ მან.}$$

მაგალითი. განისაზღვროს ეკონომიკური ეფექტის
სიდიდე, მიღებული 250 000 კვტ სიმძლავრის ელექტროსად-
გურის მშენებლობის ხანგრძლივობის შემცირებით 3 წლი-
დან 2,6 წლამდე. ელექტროსადგურის სახარჯთაღრიცხვო
ღირებულება შეადგენს 20 მილიონ მანეთს. მშენებლობის
ხანგრძლივობის შემცირება მიღწეულია მშენებლობის ნა-

კადური მეთოდების დანერგვით. ეკონომიკური ეფექტურობის ნორმატიული დარგობრივი კოეფიციენტი $E_{\text{ნორმ}}=0.1$.

ეკონომიკური ეფექტის სიდიდე –

$$\mathcal{Q} = E_{\text{ნორმ}} \cdot \phi(T - T_{\text{უაქბ}}) = 0.1 \cdot 20000(3 - 2.6) = 800 \text{ ათას მან.}$$

§4. სამშენებლო პროცესების ღახასიათება

სამშენებლო პროცესი წარმოადგენს საწარმოო პროცესის ერთ-ერთ სახეს. საწარმოო პროცესი ეწოდება შრომის პროცესს, რომელშიც ადამიანი შრომის იარაღებით ახდენს ზემოქმედებას შრომის საგანზე (ნედლეული, მასალა, ნახევარფაბრიკატი) და გადააქცევს მას მზა პროდუქტად. თითოეული საწარმოო პროცესი შედგება საწარმოო ოპერაციებისაგან. საწარმოო ოპერაცია ეწოდება საწარმოო პროცესის ნაწილს, რომელიც ხასიათდება სამუშაოთა ტექნოლოგიური ერთგვაროვნებით და ორგანიზაციული განუყოფლობით, შემსრულებელთა მუდმივი შემადგენლობით, შრომის იარაღებისა და საგნების უცვლელობით. საწარმოო ოპერაციები შეიძლება მიმდინარეობდეს ერთდროულად, ე.ი. პარალელურად; ერთმანეთის მიყოლებით, ე.ი. თანმიმდევრულად და პარალელურ-თანმიმდევრულად.

მაგალითად, რკინაბეტონის ნაკეთობის დამზადებისას სრულდება შემდეგი ძირითადი საწარმოო ოპერაციები:

1. ბეტონის ნარევის დამზადება;
2. არმატურის წინასწარი დაძაბვა და შედუღება (კარკასი, ბადე და სხვ.);
3. ბეტონის ნარევის ჩალაგება ყალიბებში და ვიბრირება;
4. ბეტონის გამკვრივების დაჩქარება;
5. განყალიბება და ნაკეთობის დაყვანა საპროექტო მდგომარეობამდე.

ჩამოთვლილ საწარმოო ოპერაციებში ერთდროულია ბეტონის ნარევისა და არმატურის დამზადება, ხოლო თანმიმდევრულია ნარევის ჩალაგება ყალიბებში და მისი გამკვრივების დაჩქარება. რკინაბეტონის ნაკეთობის წარმოების პროცესი მთლიანად განეკუთვნება პარალელურ, თანმიმდევრულ ოპერაციებს.

ნებისმიერი საწარმოო პროცესი შედგება სამი ნაწილისაგან: 1) მარტივი სამუშაო პროცესები; 2) მართვის ოპერაციები და 3) კონტროლის ოპერაციები.

მარტივი სამუშაო პროცესები, ჩვეულებრივ, შედგება:

- ა) საკუთრივ სამუშაო პროცესებისაგან;
- ბ) საყენებელი პროცესებისაგან;
- გ) სატრანსპორტო პროცესებისაგან;
- დ) მომსახურების ოპერაციებისაგან;

მართვის ოპერაცია იყოფა ორ ეტაპად:

- ა) პროცესის ნორმალური მართვა;
- ბ) გამმართველი მართვა.

კონტროლის ოპერაცია მოიცავს:

- ა) საკუთრივ კონტროლს;
- ბ) დაცვის ოპერაციას.

სწორი მართვის საფუძველს წარმოადგენს კონტროლი, ხოლო კონტროლის საფუძველს – ზუსტი ინფორმაციის მიღება. მაშასადამე, კონტროლი და მართვა ურთიერთდაკავშირებულია. პროცესის მართვა დამოკიდებულია მის კონტროლზე.

§5. საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის ძირითადი პრინციპები და შინაარსი

არჩევენ ავტომატიზაციის შემდეგ სახეებს:

1. ავტომატურ კონტროლს;
2. ელექტროამპრავების ავტომატურ მართვასა და მათ დაცვას;
3. ავტომატურ რეგულირებას;
4. სამშენებლო პროცესების ავტომატურ მართვას.

ავტომატური კონტროლი. მუშაობის პროცესში, მაგალითად, რკინაბეტონის კონსტრუქციების დამზადებისას ავტომატიზებულ ქარხანაში, საჭიროა სხვადასხვა სიდიდეების კონტროლი, რაც მჭიდროდ არის დაკავშირებული ამ სიდიდეების გაზომვასთან. კონტროლის ოპერაციისათვის გამოიყენება გასაზომი ან სპეციალური საკონტროლო ხელსაწყო, რომლის სიზუსტის ხარისხი შეირჩევა გაზომვის სიზუსტის მიხედვით.

სიდიდის გაზომვა განსხვავდება სიდიდის კონტროლისაგან. გაზომვისას ჩვენ ვიძლევიტ პარამეტრის რაოდენობრივ შეფასებას, ხოლო კონტროლის საშუალებით შეიძლება განესაზღვროთ, იმყოფება თუ არა გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობა მოცემულ ფარგლებში.

ასე მაგალითად, ჰაერის წნევის საკონტროლოდ კომპრესორების რესივერებში იყენებენ მანომეტრებს. სამშენებლო ნაკეთობათა წარმოებაში ფართოდ იყენებენ სპეციალურ ხელსაწყოს ორთქლის წნევის რეგულირების, აგრეთვე, რკინაბეტონისა და ბეტონის ნაკეთობის გაორთქლების კონტროლისათვის.

ამრიგად, ავტომატიზაციის პროცესების კონტროლის დროს საჭიროა თვალყური ვადევნოთ პროცესის მსვლელობას; თუ პროცესზე კონტროლი მიმდინარეობს ადამიანის გარეშე, ამ შემთხვევაში კონტროლი ავტომატურია.

ავტომატური კონტროლი შეიძლება განხორციელდეს ერთი ან რამდენიმე ხელსაწყოთი. ხელსაწყოთა ერთობლიობას, რომელთა საშუალებითაც წარმოებს ავტომატური კონტროლის რომელიმე კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტა, ეწოდება ავტომატური კონტროლის სისტემა.

ავტომატური კონტროლის სისტემას გააჩნია შემდეგი ძირითადი ელემენტები:

1. გარდამსახი. ამ ელემენტის საშუალებით ერთი სახის ენერგია გარდაიქმნება მეორედ, რომელიც მოსახერხებელია გასაძლიერებლად ან შემსრულებელი ელემენტისათვის გადასაცემად, მაგალითად, არაელექტრული სიდიდე შეიძლება გარდაიქმნას ელექტრულად, როგორც ეს ხდება, მაგალითად, კომპურა ამწის მოძრაობის ავტომატური გაჩერებისათვის.

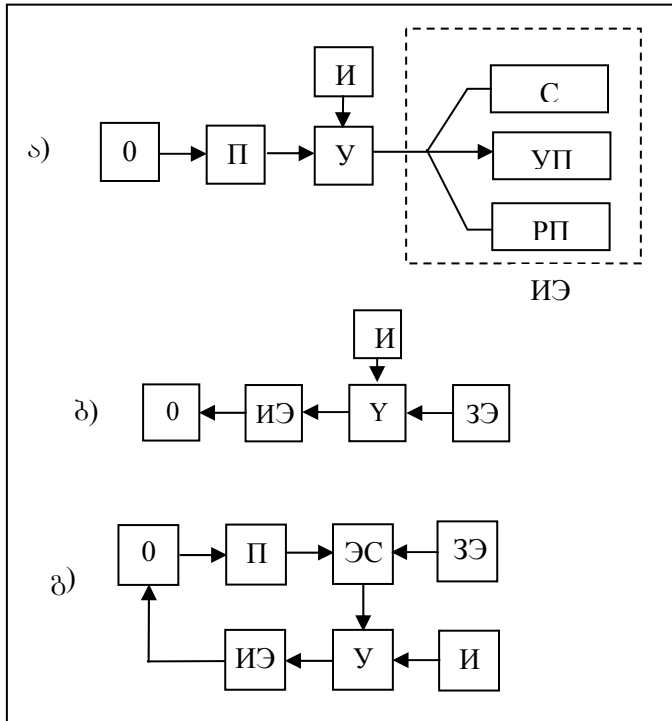
2. მაძლიერებელი ელემენტი. ამ მოწყობილობის დანიშნულებაა გააძლიეროს გარდამსახის სუსტი სიგნალი, რომ შესაძლებელი იყოს აამუშაოს შემსრულებელი მოწყობილობა;

3. შემსრულებელი ელემენტი. ამ ელემენტით წარმოებს შესაბამისი ოპერაციის შესრულება. ასე მაგალითად, ბეტონსარევის დახრისათვის დისტანციური მართვის დროს გამოიყენება პნევმატური ან ჰიდრაულიკური ცილინდრი; ბეტონის ქარხნებში დოზატორებისათვის გამოიყენება პნევმატური ცილინდრი ელექტროპნევმატური მართვით.

4. კავშირისა და გადაცემის ელემენტები. მათი საშუალებით წარმოებს სიგნალების გადაცემა პირველ სამ ელემენტს შორის.

გარდა ზემოაღნიშნულისა, ავტომატური კონტროლის სისტემაში შედის: ენერგიის წყარო, სტაბილიზატორი, კორექტორი, გადამრთველი, ფილტრი.

1.1,ა ნახაზზე მოცემულია ავტომატური კონტროლის ფუნქციური სქემა. სქემაზე პირობითი ნიშნებით აღნიშნულია: **0** – ობიექტი, **Π** – გარდამსახი, **Y** – მაძლიერებელი, **И** – ენერგიის წყარო, **ИЭ** – შემსრულებელი ელემენტი, **С** – სიგნალის მომცემი ხელსაწყო, (სიგნალი შეიძლება გამოისახოს სხვადასხვა ფერის ნათურებით, ბგერით ან კომბინირებულად), **УΠ** – მაჩვენებელი ხელსაწყო (სკალით და ისრით), **РП** – მარეგისტრირებელი ხელსაწყო.



ნახ1.1. ფუნქციური სქემები: ა) ავტომატური კონტროლის, ბ) საწარმოო მექანიზმების ელექტროამძრავების ავტომატური მართვის, გ) ავტომატური რეგულირების

ელექტროამძრავების ავტომატური მართვა და მათი დაცვა. ელექტროამძრავის მართვის ამოცანას წარმოადგენს გაშვების პროცესის, დამუხრუჭების, სიჩქარის რეგულირების, ამძრავის ელექტროძრავების რევერსირების ავტომატიზაცია. ავტომატიზებულ ელექტროამძრავში ადამიანს მოეთხოვება მხოლოდ ჩართოს პირველი სიგნალი, დააჭიროს ხელი ღილაკს. ელექტროამძრავის შემდგომი მუშაობა წარმოებს ავტომატურად, მხოლოდ ხელსაწყოების მონაწილეობით.

1.1.ბ ნახაზზე მოცემულია საწარმოო მექანიზმების ელექტროამძრავების ავტომატური მართვის ფუნქციური სქემა. პირობითი ნიშნები: O, Y, ИЭ, И განმარტებულია ზევით. 3Э – მმართველი (დამკვირვებელი). ავტომატური დაცვა განკუთვნილია წარმოების საიმედო და უსაფრთხო მუშაობის უზრუნველსაყოფად. ელექტრული დამცველი ხელსაწყოები (როგორიცაა დამცველები, მაქსიმალური დენის რელე, თბური რელე, ძაბვის რელე) მაღალი დენისა და ძაბვისაგან იცავენ დანადგარებს.

ავტომატური დაცვა დაბალი ძაბვისაგან წარმოებს შემდეგი ხელსაწყოებით: ძაბვის რელეთი, კონტაქტორებითა და მაგნიტური გამშვებებით. განმეორებითი ჩართვისაგან დაცვა ხორციელდება კონტაქტორებითა და მაგნიტური გამშვებებით.

ავტომატურ მცველებს განეკუთვნება, აგრეთვე, დამცველი სარქველები, რომელთა საშუალებით ზედმეტი ჰაერი გადის ატმოსფეროში (როდესაც ქვაბში წნევა გადამეტებულია), მაქსიმალური სიჩქარის რელე, - გამორთავს დანადგარს, თუ სიჩქარე გადააჭარბებს მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

ავტომატურ დაცვას იყენებენ ისეთ დანადგარებშიც, რომლებშიც წარმოებს ტემპერატურის, მექანიკური დატვირთვისა და სხვა განუწყვეტელი კონტროლი. მაგალითად, თუ საკისრებში ტემპერატურა აღემატება დასაშვებს, მანქანა ავტომატურად გამოირთვება ან სიგნალის – ნათურის განათებით შემანქანე შეიტყობს მანქანის გამორთვის საჭიროებას.

ავტომატური რეგულირება. ავტომატური რეგულირება ეწოდება ნებისმიერი ფიზიკური სიდიდის გარკვეული მნიშვნელობების ავტომატურად შენარჩუნების პროცესს წინასწარ დადგენილ პირობებში. იგი შედგება ავტომატური კონტროლისა და ამძრავის ავტომატური მართვისაგან.

1.1.გ ნახაზზე წარმოდგენილია ავტომატური რეგულირების ფუნქციური სქემა. სარეგულირებელი ობიექტიდან (O) სიგნალი გადაეცემა გარდამსახს (II). აქედან კი შემადარებელ ელემენტს (ΣC). ამავე ელემენტზე მიდის სიგნალი მმართველიდან (ΣD). შემადარებელ ელემენტში პარამეტრის საჭირო მნიშვნელობა შეედარება მის ნამდვილ სიდიდეს. შედარების შედეგად შემადარებელ ელემენტში გამომუშავებული ზემოქმედება მაძლიერებელში (Y) გაძლიერდება და გადაეცემა შემსრულებელ ელემენტს (HE), რომელიც ახდენს ზემოქმედებას პროცესის მარეგულირებელ ორგანოზე, ხოლო, ეს უკანასკნელი – სარეგულირებელ პარამეტრზე.

ავტომატური რეგულირების სისტემები ძირითადად წარმოადგენენ ავტომატური სტაბილიზაციის სისტემებს. ასეთ სისტემებში ფიზიკური სიდიდის მოცემული მნიშვნელობის მუდმივობა უზრუნველყოფილია ავტომატური მოწყობილობით.

არსებულ მანქანებში სტაბილიზებული სიდიდის მიღება წარმოადგენს რთულ ოპერაციას. საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ სიდიდის სტაბილიზაციის რამდენიმე მაგალითი. ვთქვათ, ორთქლის ქვაბში, კომპრესორის რესივერში გარკვეული წნევის ან რკინაბეტონისა და ბეტონის ნაკეთობათა გასაორთქლ კამერებში ტემპერატურის მნიშვნელობის ავტომატური შენარჩუნება.

ზოგიერთ შემთხვევაში საჭიროა სიდიდის რეგულირება დროის მიხედვით მინიმუმიდან მაქსიმუმამდე და პირიქით, მაგალითად, რკინაბეტონისა და ბეტონის კონსტრუქციების უწყვეტ გასაორთქლ კამერებში.

არჩევნ პროგრამული და ოპტიმალური რეგულირების სისტემებს, პროგრამული რეგულირება უზრუნველყოფს სარეგულირებელი სიდიდის ცვალებადობას დროში გარკვეული პროგრამის მიხედვით. ოპტიმალური რეგულირების დროს ავტომატური მოწყობილობა არა მარტო ინარჩუნებს სარეგულირებელი ფიზიკური სიდიდის გარკვეულ მნიშვნელობას, არამედ განსაზღვრავს მის ისეთ სიდიდეს, რომლის დროსაც სარეგულირებელი პროცესის მიმდინარეობა ოპტიმალური იქნება.

1.1.ნახაზზე წარმოდგენილი ავტომატიკის სისტემები გულისხმობენ, რომ მანძილი კონტროლისა და რეგულირების ობიექტსა და მართვის პუნქტს შორის, სადაც დაყენებულია მმართველი

ველი (დამკვირვებელი) და ხდება საკონტროლებელი სიდიდის აღწარმოება, შედარებით დიდი არ არის.

თუ ეს მანძილი ხდება ისეთი დიდი, რომ აუცილებელია სპეციალური ტექნიკური საშუალებების გამოყენება მის დასაძლევად, მაშინ ატომატიკის სისტემები გარდაიქმნება ტელემექანიკის სისტემებად. ტელემექანიკის სისტემები განსხვავდებიან ავტომატიკის სისტემებისაგან იმით, რომ მათში დამატებით ჩართულია კავშირგაბმულობის, მიმღები და გადამცემი არხები. გადამცემები მოცემულ სიდიდეს გარდაქმნიან სიდიდედ, რომელიც მოსახერხებელია კავშირგაბმულობის არხით გადასაცემად. მიმღების დანიშნულებაა კავშირგაბმულობის არხიდან მიღებული სიდიდის გარდაქმნა სიდიდედ, რომელიც მოსახერხებელია შემსრულებელ ან აღმწარმოებელ ორგანოზე ზემოქმედებისათვის. მიმღებებს და გადამცემებს შეუძლიათ ერთდროულად მმართველი ორგანოს ფუნქციის შესრულებაც.

ტელემექანიკის სისტემების გამოყენება, მართვის ერთი ცენტრალური პუნქტიდან მრავალი დაშორებული ობიექტის კონტროლისა და მართვის შესაძლებლობას ქმნის. ამასთან, ობიექტების დიდი რიცხვის მართვა და კონტროლი შესაძლებელია კავშირგაბმულობის ერთი არხის საშუალებით.

სამშენებლო პროცესის ავტომატური მართვა. ავტომატური მართვა ეწოდება მმართველი ელემენტის მიერ მიზანდასახული მოქმედებების ორგანიზაციას. მმართველ ელემენტს მიეცემა პროგრამა-მმართველი ზემოქმედება. მმართველი ელემენტიდან სიგნალი მიემართება მაძლიერებლისაკენ, შემდეგ შემსრულებელი ელემენტისა და, ბოლოს, ობიექტისაკენ. ავტომატური მართვა შეიძლება იყოს უწყვეტი და დისკრეტული; სამართავი ობიექტების რიცხვის მიხედვით მხოლოდობითი და მრავლობითი, მართვის პულტის მიმართ სამართავი ობიექტის განლაგების მიხედვით არჩევენ ლოკალურ და დისტანციურ ავტომატურ მართვას. დისტანციური მრავლობითი ავტომატური მართვა ფართოდ გამოიყენება სამშენებლო ობიექტების, ასფალტბეტონისა და ცემენტბეტონის ქარხნების, ქვასამსხვრევი ბაზებისა და დანადგარების სამართავად.

ავტომატური მართვის მოწყობილობა გამოირიცხავს ადამიანის მონაწილეობას ტექნოლოგიური (სამშენებლო) პრო-

ცესის მართვის ოპერაციებში. მისი როლი გამოიხატება საწყისი იმპულსის მოცემაში.

მართვის ელემენტები შედგება საკომანდო მოწყობილობებისა და ავტომატური რეგულირების სისტემებისაგან.

ავტომატური მართვის სრულყოფილ თანამედროვე მოწყობილობას წარმოადგენს გამომთვლელი მანქანა. იგი სხვადასხვა გარდამსახებიდან ღებულობს სამართავი პროცესის მსვლელობის ირგვლივ სათანადო ინფორმაციას. მანქანა დიდი სიჩქარით ახდენს აუცილებელ გამოთვლებს, რომელთა საფუძველზეც გამოიმუშავებს ბრძანებებს (კომანდებს) ტექნოლოგიური (სამშენებლო) პროცესის სამართავად.

§6. პირობითი გრაფიკული აღნიშვნები ავტომატიკაში

ელექტრული სქემებისა და საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის სქემების გამოხაზვის დროს სარგებლობენ ГОСТ-ით დადგენილი პირობითი გრაფიკული აღნიშვნებით.

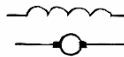
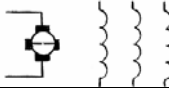
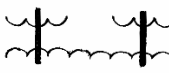
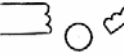
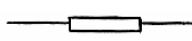
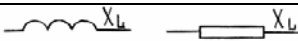
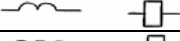
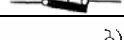
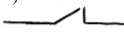
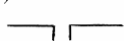
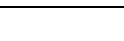
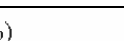
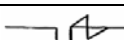
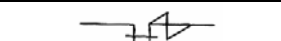
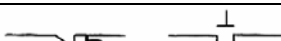
ელექტრულ სქემებზე ელექტრული მანქანების, აპარატების, ხელსაწყოებისა და მათი შემადგენელი ნაწილების პირობითი გრაფიკული აღნიშვნები ГОСТ-ის მიხედვით მოცემულია (ცხრილში 1.3)

ცხრილი 1.3

ელექტრულ სქემებში გამოყენებული ზოგიერთი ელექტრული მანქანის, აპარატის, ხელსაწყოსა და მისი შემადგენელი ნაწილების პირობითი გრაფიკული აღნიშვნები ГОСТ მიხედვით

დასახელება	პირობითი აღნიშვნა ГОСТ მიხედვით
მუდმივი დენი (ძაბვა)	—
ცვლადი დენი (ძაბვა)	~
სამფაზიანი ცვლადი დენი 50 ჰ.ც.	3~50Hz
ხვეულები: ა) სტატორის (ცვლადი დენის მანქანის თითოეული ფაზის) ბ) მუდმივი დენის მანქანის პარალელური ამგზნები	ა)  ბ) 
მუდმივი დენის მანქანის ამგზნები ხვეულები: ა) თანმიმდევრობითი; ბ) დამატებითი პოლუსების.	ა)  ბ) 

ცხრილი 13, გაგრძელება

მოკლედ ჩართული როტორიანი სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავი	
მუდმივი დენის მანქანა (დუზა კოლექტორით და მუხით)	
ელექტრომანქანური მაძლიერებელი განივი ნაკადით და მართვის რამდენიმე ხვეულით	
ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი გულარით	
მაგნიტური მახასიათებელი ორი მუშა და საერთო მმართველი ხვეულით	
ერთფაზიანი ასინქრონული ძრავა	
არარეგულირებადი წინაღობა (საერთო აღნიშვნა)	
ინდუქციური წინაღობა	
დენის რელეს ხვეულა	
ძაბვის რელეს ხვეულა	
კონტაქტორის და მაგნიტური გამშვების ხვეულა	
მაქსიმალური დენის რელეს ხვეულა	
მინიმალური ძაბვის რელეს ხვეულა	
პოლარიზებული რელე	
რელეს დენის ხვეულა	
რელეს ძაბვის ხვეულა	
თბური რელეს კონტაქტი	
შემრთველი კონტაქტი: ა) რელეს, ბ) რელეს, კონტაქტორის, გამშვების, კონტროლიორის	ა)  ბ) 
განმრთველი კონტაქტი: ა) რელეს, ბ) რელეს, კონტაქტორის, გამშვების, კონტროლიორის	ა)  ბ) 
შემრთველი კონტაქტი ჩაქრობით	
განმრთველი კონტაქტი ჩაქრობით	
განმრთველად დარჩენილი კონტაქტი ხელით დაბრუნებით	
შემრთველი კონტაქტი დროის დაყოვნებით შერთვის დროს	

ცხრილი 13, გაგრძელება

შემრთველი კონტაქტი დროის დაყოვნებით განრთვის დროს	
განმრთველი კონტაქტი დროის დაყოვნებით განრთვის დროს	
განმრთველი კონტაქტი დროის დაყოვნებით შემრთვის დროს	
დილაკი თვითდამბრუნებელი შემრთველი კონტაქტით	
დილაკი თვითდამბრუნებელი განმრთველი კონტაქტით	
საგზაო გამომრთველი ან ბოლო გამომრთველ-შემრთველი კონტაქტით	
საგზაო გამომრთველი ან ბოლო გამომრთველი განმრთველი კონტაქტით	
ელექტროზარი	
საყვირი	
სასიგნალო ნათურა	
დნობადი დამცველი	
ელექტრომაგნიტური ქურო	
ელექტრომაგნიტი: ა) საერთო აღნიშვნა; ბ) პარალელური ჩართვა	ა) ბ)
გალვანური, ანდა აკუმულატორული ელემენტი	
ნახევრადგამტარიანი დიოდი	
ნახევრადგამტარიანი ტრიოდი (ტრანზისტორი): ა) P-n-P ტიპის, ბ) n-P-n ტიპის.	ა) ბ)
დიოდი პირდაპირი ვარვართ	
დიოდი არაპირდაპირი ვარვართ	
ტრიოდი	
ფოტოწინაღობა შინაგანი ფოტოეფექტი	
ვაკუუმის ფოტოელემენტი	

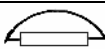
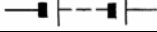
საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის სქემებზე ხელსაწყოების პირობითი გამოსახვისა და ძირითადი სიდიდეების აღნიშვნისათვის სარგებლობენ ГОСТ-ებით. აღნიშვნების ნაწილი მოყვანილია ცხრილში 1.4.

ცხრილი 1.4

საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის სქემებში ზოგიერთი ხელსაწვოს პირობითი გრაფიკული გამოსახვა და ძირითადი სიდიდეების აღნიშვნები ГОСТ-ის მიხედვით

დასახელება	პირობითი აღნიშვნა და გამოსახვა ГОСТ-ების მიხედვით
გამზომი ხელსაწყო	
მარეგულირებელი ხელსაწყო (სიგნალის მომცემი)	
გამზომი და მარეგულირებელი (სიგნალის მომცემი) ხელსაწყო ერთ კორპუსში	
ტელეფონი	
ელექტრული გადაცემა	
პნევმატიკური გადაცემა	
ჰიდრაულიკური გადაცემა	
მექანიკური გადაცემა	
მინის გაფართოების თერმომეტრი	
ელექტროკონტაქტური მინის გაფართოების თერმომეტრი	
წინაღობის თერმომეტრი ცალმაგი	
ცალმაგი თერმოწყვილი	
მანომეტრული თერმომეტრის თერმობალონი	
დილატომეტრული ან ბიმეტალური თერმომეტრი	
რადიაციული, ოპტიკური და ფოტოელექტრული პირომეტრის მიმღები მოწყობილობა	

ცხრილი 1.4, გაგრძელება

აირის, სითხის აღმრიცხველი	
მუდმივი ვარდნილის ხარჯთმზომი	
შემავეწრობელი მოწყობილობა ხარჯის გასაზომად წნევის ვარდნილით (გამოსახულების მახვილი მიმართულია ნაკადის საწინააღმდეგოდ)	
ტივტივიანი მიმღები მოწყობილობა (დონმზომის, სიმკვრივემზომის)	
რადიაქტიური მიმღები მოწყობილობა (ხარჯმზომი, დონმზომი)	
ტენზომომის მიმღები მოწყობილობა	
ფოტომეტრული მიმღები მოწყობილობა	
ტელეფონის აპარატის საერთო აღნიშვნა	
მემბრანული შემსრულებელი მექანიზმი	
დგუშიანი შემსრულებელი მექანიზმი	
ელექტრომაგნიტური შემსრულებელი მექანიზმი (სოლენოიდური)	
შემსრულებელი მექანიზმი ელექტროძრავით: ა) ცვლადი დენის, ბ) მუდმივი დენის	ა)  ბ) 
ხელის მექანიკური ამძრავი	
გასავლის მარეგულირებელი სარქველი	
მარეგულირებელი ფარსაკეტი (შობერი)	
მარეგულირებელი საფარი	
ბატარეა ელემენტებისაგან	
გამყოფი ან მათანაბრებელი ჭურჭელი	
სამსვლიანი მარეგულირებელი სარქველი	
საკონდენსაციო ჭურჭელი	

ცხრილი 1.4. გაგრძელება

გადამრთველი გაზომვის ელექტრული წრედებისათვის	
გადამრთველი აირების (საჰაერო) ხაზებისათვის	
დისტანციური მართვის პანელი, პნევმატიკური ან ჰიდრაულიკური რეგულირებისათვის	
გასადები ან გამომრთველი მართვის ელექტრული წრედებისათვის	
გამშვები	
რეოსტატი	
კომანდოკონტროლიორი	
მართვის დილაკი (წერტილთა რაოდენობა უნდა ეთანადებოდეს დილაკთა რიცხვს)	
გზის გამომრთველი	
სელსინი	

გარდამსახეობი

§1. ძირითადი განსაზღვრები და კლასიფიკაცია

გარდამსახი წარმოადგენს მგრძნობიარე ელემენტს, რომელიც განკუთვნილია საკონტროლო ან სარეგულირებელი ფიზიკური სიდიდის გარდასაქმნელად სხვა სახის სიდიდედ, რომელიც მეტადაა მოსახერხებელი გასაძლიერებლად, შორ მანძილზე გადასაცემად და აღმასრულებელ მექანიზმზე ზემოქმედების მოსახდენად. გარდამსახის მაგალითს წარმოადგენს თერმოწყვილი. იგი განკუთვნილია ტემპერატურის გასაზომად. თერმოწყვილის სამუშაო ნარჩილი (ცხელი ნარჩილი) იმყოფება ტემპერატურის გასაზომ გარემოში. ტემპერატურის ცვალებადობა თერმოწყვილის მიერ განუწყვეტლივ გარდაიქმნება თერმოელექტრომამოძრავებელი ძალის ცვალებადობად; თერმოელექტრომამოძრავებელი ძალა მოსახერხებელია გასაძლიერებლად და მანძილზე გადასაცემად.

გარდამსახეობი, რომლებშიც არაელექტრული სიდიდეები გარდაიქმნება ელექტრულად, იყოფა ორ ჯგუფად: პარამეტრულ და გენერატორულ გარდამსახებად. პარამეტრული ეწოდება გარდამსახს, რომელიც საკონტროლო (გასაზომი) სიდიდის ცვალებადობას გარდაქმნის ელექტრული წრედის პარამეტრის – აქტიური, ინდუქციური ან ტევადური წინააღმდეგობის ცვალებადობად. გენერატორული ეწოდება გარდამსახს, რომელიც საკონტროლო სიდიდეს გარდაქმნის ელექტრომამოძრავებელ ძალად ან სიხშირედ. პარამეტრული გარდამსახეობი საჭიროებენ კვების წყაროს, გენერატორული – მეტწილად თვითონ წარმოადგენენ დენის წყაროს.

სამშენებლო პროცესების ავტომატიზაციაში გარდამსახის დანიშნულებაა შეიგრძნოს და გარდაქმნას პარამეტრი ან მისი პროპორციული სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს ტექნოლოგიური პროცესის მსვლელობას.

სიდიდეს, რომელსაც შეიგრძნობს და აკონტროლებს გარდამსახი, ეწოდება შემავალი სიდიდე, ხოლო სიდიდეს,

რომელსაც გარდაქმნის და გამოიმუშავებს – გამომავალი სიდიდე.

გამომავალი სიდიდის ცვალებადობის დამოკიდებულებას შემავალი სიდიდის ცვალებადობისაგან ეწოდება გარდამსახის სტატიკური მახასიათებელი. თუ აღვნიშნავთ შემავალი სიდიდის მნიშვნელობებს x -ით, ხოლო გამომავალი სიდიდის მნიშვნელობებს y -ით, მაშინ გარდამსახის სტატიკური მახასიათებელი გამოიხატება ფორმულით:

$$y=f(x). \quad (2.1)$$

ჩვეულებრივ, სტატიკური მახასიათებელი გამოისახება გრაფიკულად.

ავტომატური მოწყობილობების ელემენტები მათი სტატიკური მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად; ესენია:

1) წრფივი, რომელთა სტატიკური მახასიათებელი გამოისახება წრფით (ნახ.2.1,ა), ხოლო გამომავალ და შემავალ სიდიდეებს შორის ფარდობა გამოიხატება წრფივი ფუნქციით.

$$y=a+Kx. \quad (2.2)$$

K – გარდაქმნის სტატიკური კოეფიციენტი;

a – მუდმივი სიდიდე, ნახ.2.1,ა მიხედვით $a=0$

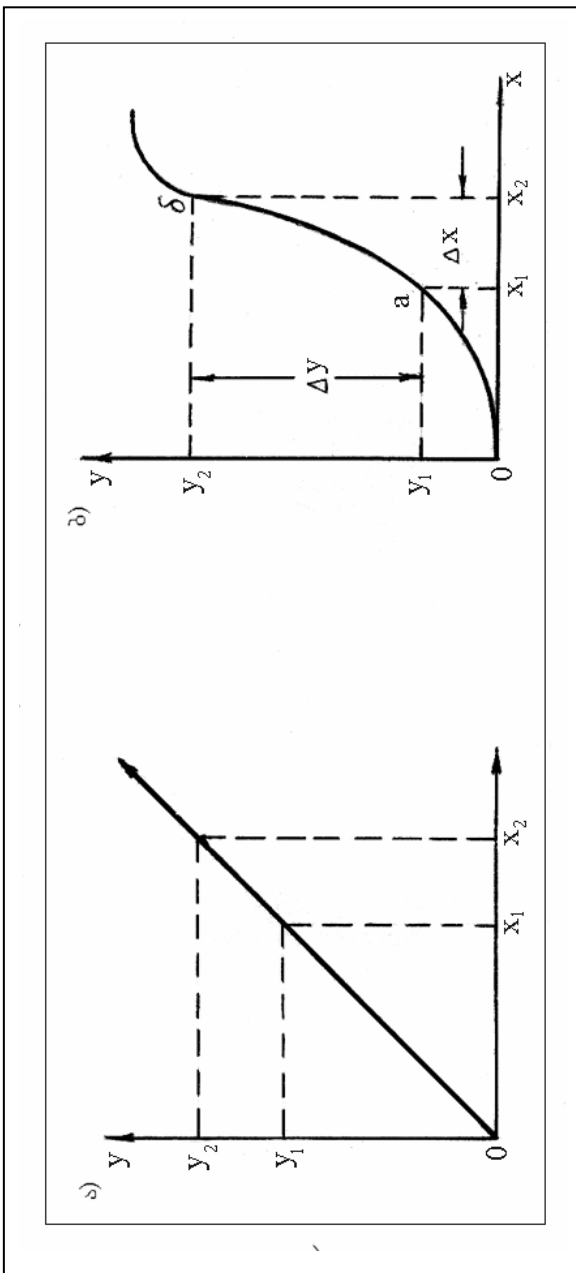
ხაზოვან ელემენტებს, რომელთა სტატიკური მახასიათებელი გამოისახება სწორი ხაზით (ნახ.2.1,ა), ეწოდება სტატიკური ელემენტები.

2) არაწრფივი, რომელთა სტატიკური მახასიათებელი მრუდწირული ან ტეხილხაზოვანია (ნახ.2,1,ბ).

a -ნ – უბნისათვის, რომელზეც დაახლოებით წრფივი დამოკიდებულებაა

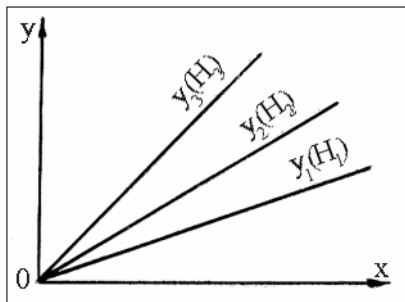
$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \approx \frac{dy}{dx} = K'. \quad (2.3)$$

K' – გარდაქმნის დინამიკური კოეფიციენტი.



ნახ.2.1. სტატიკური მახასიათებლები: ა) წრფივი ელემენტის; ბ) არაწრფივი ელემენტის

ხშირად ელემენტის გამომავალი სიდიდე, შემაგალი სიდიდის გარდა, დამოკიდებულია დატვირთვებზე. ამ შემთხვევაში სტატიკური მახასიათებელი გამოისახება არა ერთი, არამედ, რამდენიმე სწორი ან მრუდწირული ხაზით (ნახ.2.2).



ნახ.2.2. ელემენტის სტატიკური მახასიათებელი გარე დატვირთვის ცვალებადობის დროს

თუ ელემენტის გამომავალი სიდიდე იცვლება შემაგალი სიდიდის პროპორციულად, მაშინ გარდაქმნის K და K' კოეფიციენტები მუდმივი სიდიდეებია და ურთიერთთანატოლია x -ის ყველა მნიშვნელობის დროს, ე.ი.

$$K = K' = \text{const.}$$

გარდაქმნის K და K' კოეფიციენტებს გააჩნია განზომილება, რომელიც დამოკიდებულია შემაგალი და გამომავალი სიდიდეების განზომილებაზე.

გამომავალი სიდიდის ფარდობითი ნაზრდის შეფარდებას შემაგალი სიდიდის ფარდობით ნაზრდთან ეწოდება გარდაქმნის ფარდობითი კოეფიციენტი, ე.ი.

$$\eta_{\Delta} = \frac{\frac{\Delta y}{y}}{\frac{\Delta x}{x}} = \frac{\frac{\Delta y}{\Delta x}}{\frac{y}{x}}. \quad (2.4)$$

თუ გადავალთ ზღვარზე, როდესაც $\Delta x \rightarrow 0$, მივიღებთ:

$$\eta = \frac{\frac{dy}{y}}{\frac{dx}{x}} = \frac{\frac{dy}{dx}}{\frac{y}{x}}. \quad (2.5)$$

გარდაქმნის კოეფიციენტები $K, K', \eta_{\Delta}, \eta$ ზოგადია და გამოსადეგია ავტომატური მოწყობილობის ნებისმიერი ელემენტისათვის. მაგალითად, გარდამსახისათვის გარდაქმნის კოეფიციენტი იწოდება მგრძნობიარობად (სტატიკური, დინამიკური, ფარდობითი).

გარდამსახი ხასიათდება, აგრეთვე, მგრძნობიარობის ზღურბლით. მგრძნობიარობის ზღურბლი გულისხმობს გასაზომი სიდიდის მინიმალურ მნიშვნელობას (აბსოლუტური სიდიდით), რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს ხელსაწყოთა ჩვენების შეცვლა ან, მაგალითად, რელეს ამოქმედება.

გარდამსახი ინერციული ელემენტია. გარდამსახის ინერციულობა ახასიათებს მისი დინამიკურობის თვისებას და გვიჩვენებს, თუ გამომავალი სიდიდე (y) რამდენად სწრაფად დებულობს შემავალი სიდიდის (x) შესაბამის მნიშვნელობას.

ავტომატიზაციის რთულ სქემებში გამოყენებულია დიფერენციული და კომპენსაციური გარდამსახები.

დიფერენციულ გარდამსახებში ორი ერთნაირი ტიპის გარდამსახი ჩართულია გამომავალი წრედებით იმგვარად, რომ სასარგებლო სიგნალები თანაბრდება.

კომპენსაციური გარდამსახი, დიფერენციულისაგან განსხვავებით, უზრუნველყოფს გასაზომი სიდიდის ეტალონურ სიდიდესთან ავტომატურად შედარებას.

ავტომატური მართვის სისტემებში გამოყენებული გარდამსახების კლასიფიკაცია შეიძლება შესრულდეს: დანიშნულების, გამომავალი სიგნალის და ინფორმაციის გადაცემის წესის მიხედვით.

დანიშნულების მიხედვით გარდამსახები რამდენიმე სახისაა:

1. გარდამსახები ამძრავი ძრავების პარამეტრების – სიძლავრის, კუთხური სიჩქარის, საწვავის ხარჯის, ელექტროენერგიის, გამაციებელი სითხეებისა და ზეთის ტემპერატურის გასაზომად.

2. გარდამსახები მანქანის სამუშაო ორგანოების პარამეტრების – ძაღვების, მბრუნავი მომენტების, მდებარეობის, წირული და კუთხური გადაადგილებების, წირული და კუთხური სიჩქარის, აჩქარების გასაზომად (მასალების, კონ-

სტრუქციების, ნაგებობების გამოცდის დროს, ამწე-სატრანსპორტო და სამშენებლო მანქანებში);

3. გარდამსახები ჰიდრავლიკური და პნევმატიკური სისტემების პარამეტრების – წნევის, ტემპერატურის, ხარჯის გასაზომად (ბუნკერებში, წყალსაცავებში, სილოსებში, ქვებში, გათბობის სისტემებში);

4. გარდამსახები გარემომცველი გარემოს პარამეტრების – ტემპერატურის, ქარის სიჩქარის, დახრის კუთხის გასაზომად (ბეტონის გასათბობ მოწყობილობებში, გასაოროთელ კამერებში, კოშკურა ამწეებში და სხვ.);

5. გარდამსახები დასამუშავებელი მასალების პარამეტრების გასაზომად (სიმკვრივის, ტენიანობის, ტემპერატურის და სხვ.).

გამომავალი სიგნალის მიხედვით გარდამსახები იყოფა:

1. გარდამსახებად ელექტრული გამომავალი სიგნალით;

2. გარდამსახებად ჰიდრავლიკური გამომავალი სიგნალით;

3. გარდამსახებად პნევმატიკური გამომავალი სიგნალით;

4. გარდამსახებად მექანიკური გამომავალი სიგნალით.

ინფორმაციის გადაცემის წესის მიხედვით გარდამსახები კვლავ რამდენიმე სახისაა:

1. გარდამსახები უწყვეტი სიგნალებით, რომლებშიც გამომავალი სიგნალი (ელექტრული ძაბვა, დენის ძალა, სიხშირე და სხვ.) დაკავშირებულია გასაზომ სიდიდესთან უწყვეტი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით; ამასთან გასაზომი სიდიდის საზომს წარმოადგენს გამომავალი სიგნალის სიდიდე.

2. გარდამსახები დისკრეტული სიგნალებით, რომლებშიც გასაზომი სიდიდის მდოვრედ ცვალებადობისას გამომავალი სიგნალი ცვალებადობას განიცდის ნახტომისებურად. გასაზომი სიდიდის საზომს წარმოადგენს გარკვეული დროის მონაკვეთში დაგროვებული იმპულსების რიცხვი.

განვიხილოთ გარდამსახების ზოგიერთი ტიპი, რომლებიც ფართოდაა გავრცელებული სამშენებლო წარმოების პროცესების ავტომატიზაციის პრაქტიკაში.

§2. ომური გარდამსახეობი

ომურ გარდამსახეს მიეკუთვნება აქტიური წინაღობის ანუ რეოსტატული გარდამსახი. გარდამსახის მოძრავი კონტაქტის გადაადგილება ცვლის წრედში შეყვანილი წინაღობის სიდიდეს. ცოცხას გადაადგილება წარმოადგენს შემავალ სიდიდეს, ხოლო წრედში შეყვანილი ომური წინაღობის სიდიდე – გამოშვალ სიდიდეს.

რეოსტატული გარდამსახის ძირითადი ელემენტებია:

1 – კარკასი; 2 – მასზე დატანილი წინაღობა დახვეული მავთულის ან ნახევარგამტარის სახით; 3 – მოძრავი მუხი, რომელიც სრიალებს წინაღობის ზედაპირზე ან მასთან შეერთებული კონტაქტების რიგზე.

2.3. ნახაზზე წარმოდგენილია ორი ტიპის ომური გარდამსახი: ა) უსაფეხურო, მრავალბრუნიანი დახვევით; ბ) დასექციებული დახვევით.

გარდამსახში უსაფეხურო, მრავალბრუნიანი დახვევით, წინააღმდეგობის ცვალებადობა მუხის გადაადგილებით, წარმოებს მდორედ, მაშინ, როდესაც გარდამსახში დასექციებული წინააღმდეგობით იგი ხორციელდება საფეხუროვანი სახით.

დასექციებულ წინაღობიანი გარდამსახის უპირატესობა მდგომარეობს მნიშვნელოვანი სიდიდის დენების მართვის შესაძლებლობაში, რაც უზრუნველყოფილია აღნიშნული გარდამსახის კონტაქტების ხელსაყრელი რეჟიმის პირობებში მუშაობით. თუ რეოსტატს გააჩნია თანაბარი დახვევა, რომლის ერთეული სიგრძის წინაღობაა Ω ომი, მაშინ დამოკიდებულება მობრუნების კუთხესა და წინაღობის ცვალებადობას შორის გამოისახება

$$R = r\alpha\Omega, \quad (2.6)$$

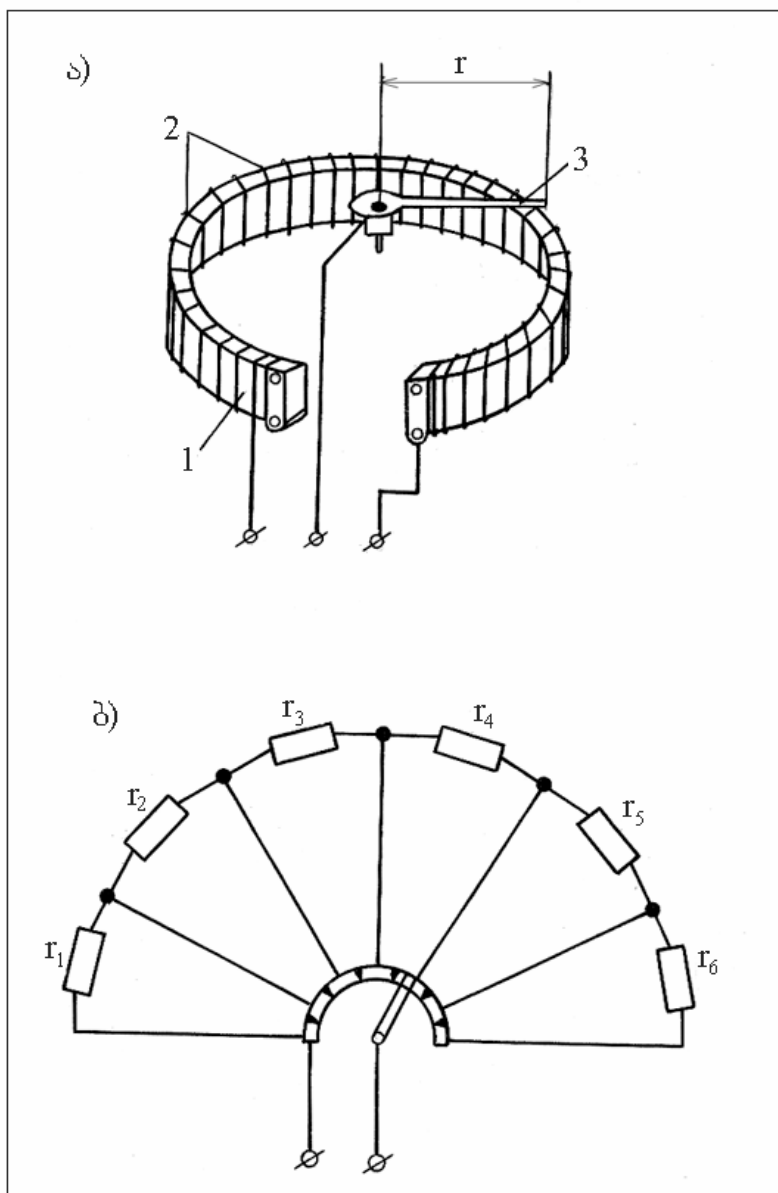
სადაც

r არის რეოსტატის სახელურის სიგრძე;

α – მობრუნების კუთხე.

რეოსტატული გარდამსახის მგრძნობიარობა განისაზღვრება განტოლებით

$$\frac{dR}{d\alpha} = r\Omega \quad (\text{სმ. ომი}) \quad (2.7)$$



ნახ.2.3. როსტატული გარდამსახების კონსტრუქციული სქემები: ა) უსაფეხურო; ბ) დასექციებული დახვევით

წრიული რეოსტატული გარდამსახის მახასიათებელია

$$R_x = \frac{R}{L} x, \quad (2.8)$$

სადაც

R_x – წრედში ჩართული წინაღობა, ომებში;

L – დახვეავის მთლიანი სიგრძე, სმ;

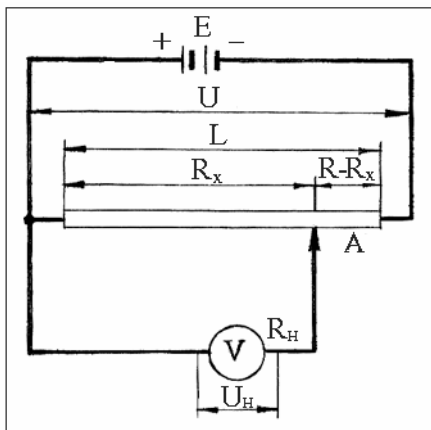
R – დახვეავის სრული წინაღობა, ომი;

x – მუხის გადაადგილება, სმ.

გარდამსახის მგრძნობიარობა იქნება

$$\frac{dR_x}{dx} = \frac{R}{L} \quad (\text{ომი/სმ}) \quad (2.9)$$

გასაზომ მოწყობილობებსა და ხელსაწყოებში რეოსტატული გარდამსახების ჩართვა ხდება პოტენციომეტრის სქემით; მაშინ მას პოტენციომეტრული გარდამსახი ეწოდება (ნახ.2.4).



ნახ.2.4. პოტენციომეტრული გარდამსახის სქემა

ძაბვა ვოლტმეტრზე საზოგადო დამოკიდებულებაშია პოტენციომეტრის ცოცხას მდებარეობასთან. გამომავალი სიდიდის (ძაბვის) ზუსტი მნიშვნელობისათვის გვაქვს დამოკიდებულება

$$U_x = U \cdot \frac{R_x}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_x(R - R_x)}{R \cdot R_{\text{დაბ}}}}. \quad (2.10)$$

პოტენციომეტრული გარდამსახების ანგარიშის დროს უშვებენ, რომ $R_{\text{დბ.}} \approx \infty$. ამ შემთხვევაში

$$U_x = U \cdot \frac{R_x}{R} = U \cdot \frac{x}{l}, \quad (2.11)$$

ან ზოგადი სახით

$$U_x = f(x). \quad (2.12)$$

პოტენციომეტრული გარდამსახის მგრძნობიარობა

$$\frac{dU_x}{dx} = \frac{U}{l} \cdot \frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}}. \quad (2.13)$$

კონსტრუქციულად რეოსტატული გარდამსახები სრულდება როგორც კუთხური და ხაზოვანი გადაადგილებების გარდამსახები. რეოსტატული გარდამსახები მზადდება კონსტანტანის ან პლატინა ირიდიის 0,03 მმ ღიაძეგრის მაგთულისაგან.

რეოსტატული გარდამსახების ღირსებას წარმოადგენს ის გარემოება, რომ მათი ინერციულობა პრაქტიკულად ნულის ტოლია, გარდამსახი მარტივი აგებულებისაა და საიმედო; ფართოდ არის გავრცელებული ტექნიკაში (გამოიყენება, როგორც მექანიკური გადაადგილების ელექტრული გარდამსახი, დისტანციურ მოთვალთვალე ამძრავში და საანგარიშო-გამომთვლელ ხელსაწყოებში).

ომური გარდამსახების ჯგუფს მიეკუთვნება ნახშირის გარდამსახიც.

ნახშირის გარდამსახი გამოიყენება ძაღვების გასაზომად. იგი იძლევა საშუალებას მასზე მოქმედი დატვირთვა გარდაქმნას ელექტრულ წინააღობად.

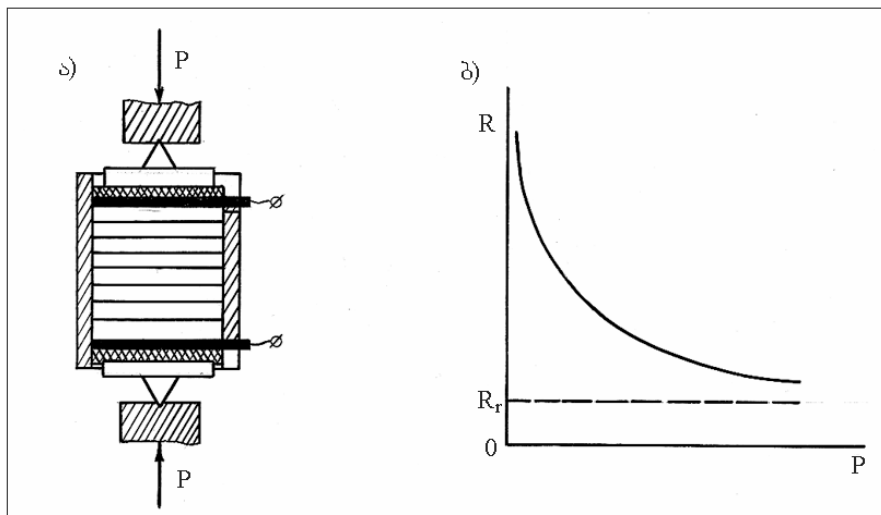
გარდამსახი შედგება გრაფიტის 5-10 მმ ღიაძეგრის 10-15 ცალი ფირფიტისაგან, რომელთა სისქე 1-2 მმ-ია. ნახშირის სვეტის წინააღობა აღწევს რამდენიმე ათეულ ომს. მეტი სტაბილურობის მიზნით სვეტი წინასწარ შეკუმშულია 20 კგ/სმ² წნევის მოქმედებით. წნევის გაზრდისას მაქსიმალურ სამუშაო სიდიდემდე 50-60 კგ/სმ² სვეტის წინააღობა მცირდება 20-30%-ით. ამიტომ ამ გარდამსახებს გააჩნიათ 5% ცდომილება.

გასაზომი დატვირთვა სვეტზე მოქმედებს სპეციალური საბრჯენების საშუალებით. ძაბვა მოდებულია საკონტაქტო სპილენძის საყელურებზე, რომლებიც სვეტის ბოლოებზეა განლაგებული. თვით გრაფიტების წინააღმდეგობა $R_{\text{გრ.}}$ არ

არის დამოკიდებული დატვირთვაზე. რაც შეეხება გარდამავალ წინაღობას $R_{გარ}$ ფირფიტებს შორის, იგი დამოკიდებულია მეზობელი ფირფიტების ზედაპირების ურთიერთშეხების წერტილების რიცხვზე. ფირფიტების შეკუმშვის დროს მათი ურთიერთშეხების საერთო ფართი იზრდება და წინაღობა $R_{გარ}$ მცირდება. ნახშირის გარდამსახის საერთო წინაღობა უდრის $R=R_{გრ}+R_{გარ}$. გარდამავალი წინაღობა უკუპროპორციულია გასაზომი P ძალისა, ამიტომ

$$R = \frac{K}{P} + R_{გრ}, \text{ სადაც } K \text{ არის მუდმივი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია გარდამსახის კონსტრუქციასა და მასალაზე.}$$

ნახშირის გარდამსახის საშუალებით შეიძლება მნიშვნელოვანი დატვირთვის გაზომვა 10-დან 1000 კგპ ანუ 98-დან 98000 ნ-მდე. ნახ.2.5 ნაჩვენებია ნახშირის გარდამსახის სქემატური გამოსახულება. მახასიათებლის გრაფიკიდან ჩანს, რომ ნახშირის ფირფიტების მკუმშავი ძალის ზრდასთან ერთად კონტაქტური წინაღობა მცირდება.



ნახ.2.5. ნახშირის გარდამსახი: ა) გარდამსახის მოწყობილობის სქემა; ბ) გარდამსახის მახასიათებელი

§3. ტენზოგარდამსახები

ტენზოგარდამსახი ეწოდება გარდამსახს, რომელიც მყარი სხეულის გასაზომ დეფორმაციას – გაჭიმვას ან კუმშვას გარდაქმნის ელექტრულ სიგნალად. ტენზოგარდამსახის მუშაობა ემყარება გამტარის ან ნახევარგამტარის წინააღობის ცვლილებას მისი დეფორმაციის დროს. ტენზოგადამწოდის გამტარის წინააღობის ცვალებადობა დეფორმაციის გავლენით აიხსნება ორი მიზეზით: 1) გეომეტრიული ზომების (გამტარის დიამეტრის, სიგრძის) შეცვლით; 2) ტენზოგარდამსახის მასალის ხვედრითი წინააღობის შეცვლით.

ტენზოგარდამსახის ფარდობითი მგრძნობიარობა წარმოადგენს გარდამსახის წინააღობის ფარდობითი ცვლილების შეფარდებას მის ფარდობით დეფორმაციასთან

$$\eta = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}, \quad (2.14)$$

სადაც

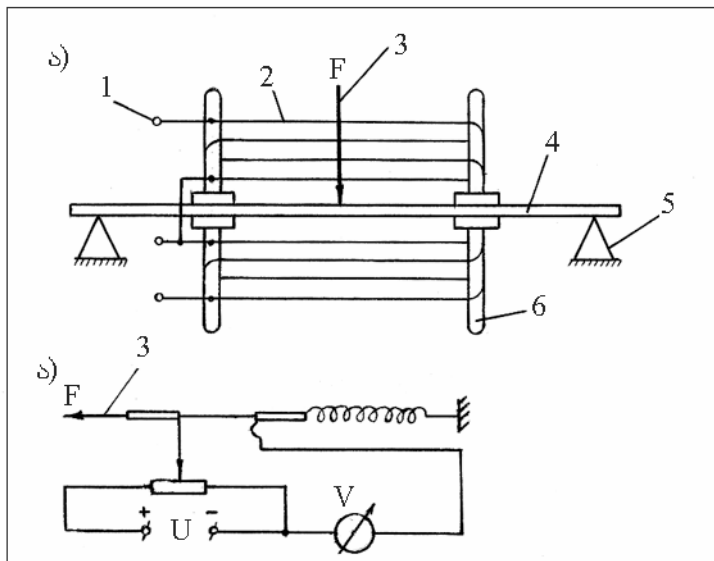
L და R არის გარდამსახის სიგრძე და წინააღობა დეფორმაციამდე;

ΔL და ΔR შესაბამისად სიგრძისა და წინააღობის ცვალებადობა, გამოწვეული მადეფორმირებელი ძალის მოქმედებით.

ტენზომგრძნობიარობის კოეფიციენტი წარმოადგენს განყენებულ სიდიდეს და შეიძლება იყოს, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. დადებითია მასალებისათვის, რომელთა წინააღობა გაჭიმვის დროს იზრდება, ხოლო უარყოფითი, რომელთა წინააღობა გაჭიმვის დროს მცირდება. სხვადასხვა ლითონისათვის η მნიშვნელობა ცვალებადობს -12,6-დან (ნიკელი), +6-მდე (პლატინა-ირიდი); კონსტანტანისათვის $\eta = +2,1$. ტენზოგარდამსახის ნომინალური წინააღობა იმყოფება 50-1000 ომის ფარგლებში.

გამტარიანი ტენზოგარდამსახი მზადდება ლითონის (ნიკელი, კოპელი, კონსტანტანი, პლატინა) მავთულისაგან დიამეტრით 0,015-0,05 მმ. ორი სახის: დასაწებებელი და არადასაწებებელი. არადასაწებებელი ტენზოგარდამსახის მგრძნობიარე ელემენტს წარმოადგენს წრიული კვეთის მავთული. არადასაწებებელი ტენზოგარდამსახის მთავარი ღირ-

სება მდგომარეობს ნულოვანი წერტილის მაღალ სტაბილურობაში. ნაკლად ჩაითვლება კონსტრუქციის სირთულე, დამზადების სიძნელე და სიძვირე. არადასაწებებელი ტენზორეზისტორის სქემა ნაჩვენებია 2.6 ნახაზზე.

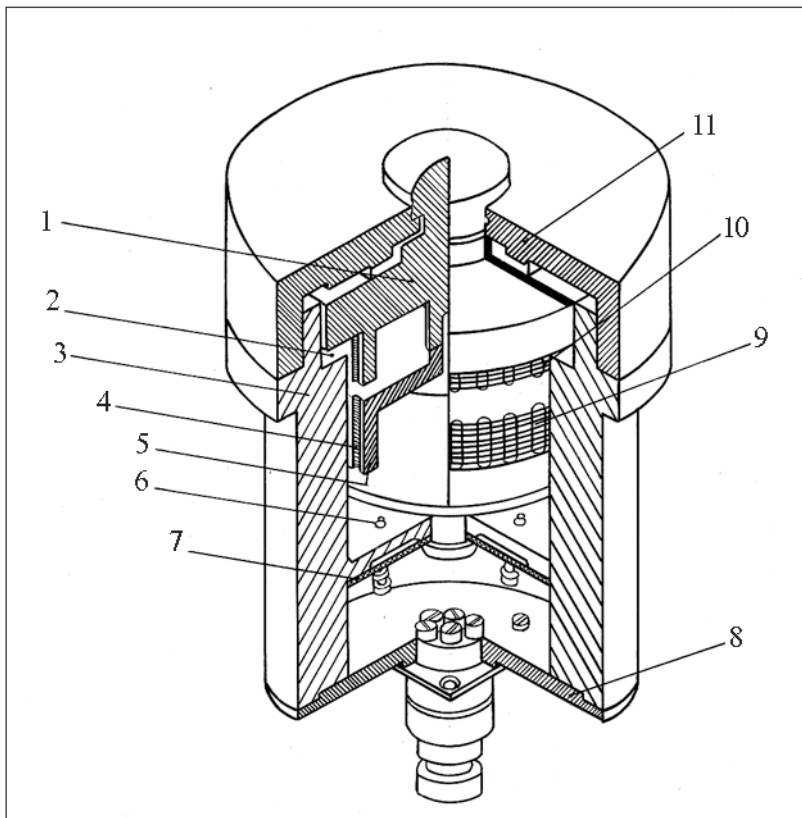


ნახ.2.6. არადასაწებებელი ტენზორეზისტორის სქემები: 1 – გამომყვანები; 2 – მგრძნობიარე ელემენტი; 3 – მადეფორმირებელი ძალა; 4 – ბრტყელი ზამბარა; 5 – საყრდენები; 6 – იზოლატორები

2.7 ნახაზზე წარმოდგენილია ПСТБ – 016 ტიპის გარდამსახი, რომელშიც გამოყენებულია არადასაწებებელი ტენზორეზისტორები. აღნიშნული ტიპის ტენზოგარდამსახი გამოიყენება მეკუმშავი ძაღვების გასაზომად ბუნკერებში შენახული მასაღების ავტომატური აწონვის სისტემებში.

დასაწებებელი ტენზოგარდამსახი გვხვდება მავთულისა და კილიტას სახის. 25-40 მმ სიგრძის ქაღალდის ზოლზე ეწებება (წებო БФ-2, БФ-4, ბაკელიტის წებო და სხვ.) კონსტანტანის მავთული ზიგზაგურად. მავთულს უკეთდება რბილი სპილენძის გამომყვანები საზომ სქემასთან მისაერთებლად. ქაღალდის ზოლი მავთულთან ერთად ეწებება გამოსაცდელ დეტალს. დეტალის გაჭიმვის ან შეკუმშვის შედეგად გარდამსახის წინაღობა შესაბამისად

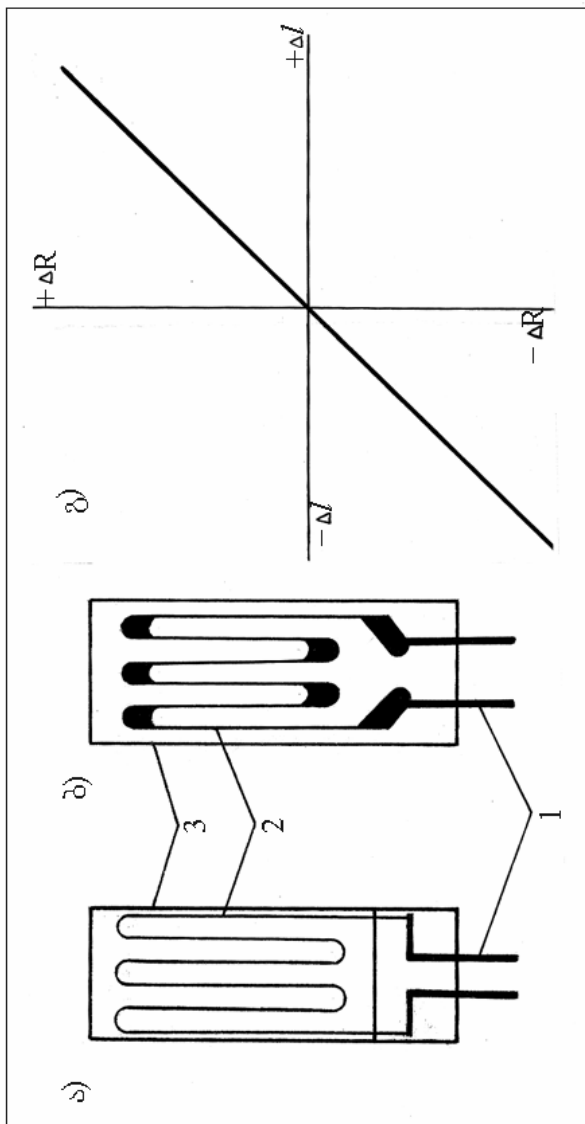
იზრდება ან მცირდება. წინააღობის შეცვლის სიდიდე მერყეობს 0,5-1%-მდე. ამიტომ ტენზორეზისტორებით დეფორმაციის გაზომვისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ დიდი მგრძნობიარობის ბოგიროვანი ან პოტენციომეტრული სქემები. რთული დეფორმაციების ოსცილოგრაფებზე რეგისტრაციის აუცილებლობისას საზომი ბოგირების კვება წარმორებს მაღალი სიხშირის ძაბვით.



ნახ.2.7. ПСТБ-С-016 ტიპის გარდამსახის კონსტრუქცია: 1 – დრეკადი ელემენტი; 2 – საყრდენი ბურთულასაკისარი; 3 – კორპუსი; 4 – ტენზორეზისტორების საყრდენი; 5 – საკომპენსაციო რეზისტორების კარკასი; 6 – იზოლატორი; 7 – საკონტაქტო ელემენტი; 8 – ქვედა სახურავი; 9 – ტემპერატურული კომპენსაციის რეზისტორი; 10 – ტენზორეზისტორი; 11 – ზედა სახურავი

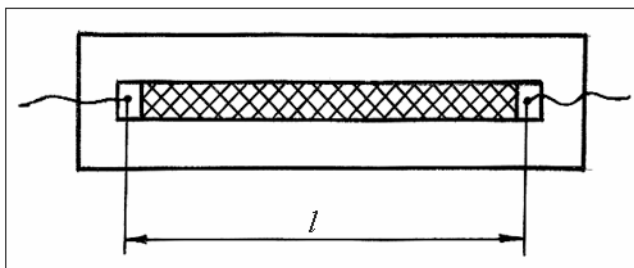
მავთულის ტენზოგარდამსახის გარდა, ტენზომეტრები მზადდება, აგრეთვე, წვრილი ლითონის კილიტასაგან (სის-ქით 5-10 მიკრონი), რომელთაც მეტად მცირე ზომა აქვთ.

დასაწებებელი ტენზოგარდამსახები და მათი მახასიათებელი ნაჩვენებია 2.8 ნახაზზე.



ნახ.2.8. დასაწებელი ტენზოგარდამსახები: ა) მავთულის; ბ) კილიტას სახის; გ) ტენზოგარდამსახის მახასიათებელი: 1 – სპილენძის გამოყენებით; 2 – მგრძნობიარე ცხელი კონსტანტის მავთულისაგან (კილიტასაგან); 3 – ქაღალდი ან მალაქ-მოლკეული აფსკი

უკანასკნელ წლებში ფართო გამოყენებას ჰპოვა ნახევარგამტარიანი ტენზოგარდამსახებმა, რომელთაც გააჩნიათ გაცილებით მაღალი მგრძნობიარობა $\eta = 100$ -დან $\eta = +200$ -მდე. ტენზოგარდამსახის ზომებია: სიგრძე 5-15 მმ, კვეთი $(0,2+0,7) \times (0,04+0,2)$ მმ². ტენზოგარდამსახის წინაღობა შეადგენს 50-დან 5000 ომამდე. ტემპერატურის შეცვლისას 10^0 -ით, ნახევარგამტარიანი ტენზოგარდამსახის ფარდობითი მგრძნობიარობა იცვლება 2-4%-ით. ნახევარგამტარიანი ტენზოგარდამსახი წარმოდგენილია 2.9 ნახაზზე.



ნახ.2.9. ნახევარგამტარიანი ტენზოგარდამსახი

ტენზოგარდამსახები მუშაობენ ტემპერატურულ რეჟიმებში -40-დან +70⁰-მდე.

§4. ინდუქციური გარდამსახები

ინდუქციური გარდამსახები მუშაობენ ფოლადის გულარიანი კოჭას მთლიანი წინაღობის ცვალებადობის პრინციპზე, რაც გამოწვეულია გარდამსახის მოძრავი ნაწილის – ფოლადის ღუზას გადაადგილებით.

მარტივი სახის ცალმაგი ინდუქციური გარდამსახი შედგება უძრავი (1) მაგნიტგამტარისაგან (L) კოჭათი, რომელიც იკვებება ცვლადი დენით და მოძრავი ღუზისაგან (2) (ნახ.2.10,ა). გარეგანი (P) მექანიკური ძალის მოქმედებით ღუზა გადაადგილდება მაგნიტგამტარისაკენ და სათანადოდ შეიცვლება საჰაერო ღრეწოს სიგრძე (δ) რომელიც, თავის მხრივ, იწვევს კოჭას ინდუქციური წინაღობისა და, მაშასადამე, კოჭას (Z) მთლიანი წინაღობის შეცვლას. მთლიანი წინაღობის შეცვლა კი იწვევს კოჭას წრედში დენის ძალის

ცვალებადობას, რადგან $I = \frac{U}{Z}$, სადაც $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

არის გარდამსახის კოჭას მთლიანი წინაღობის მოდული.

ω - დენის კუთხური სიხშირე;

R - კოჭას აქტიური წინაღობა;

$$L = \frac{0.2\pi \cdot n^2 \cdot S}{\delta} \cdot 10^{-8} - \text{კოჭას ინდუქციურობა;}$$

n - ხვეულების რიცხვი;

S - მაგნიტგამტარის კვეთის ფართი;

δ - მანძილი კოჭასა და ღუზას შორის.

თუ $R \ll \omega L$, მაშინ

$$Z \approx \omega L \approx \frac{0.2\pi \cdot n^2 \cdot S \cdot \omega \cdot 10^{-8}}{\delta} \text{ და}$$

$$\text{დენის ძალა } I = \frac{U}{Z} = \frac{U \cdot \delta \cdot 10^8}{0.2\pi \cdot n^2 \cdot S \cdot \omega}. \quad (2.15)$$

გარდამსახის მგრძნობიარობა განისაზღვრება ფორმულით

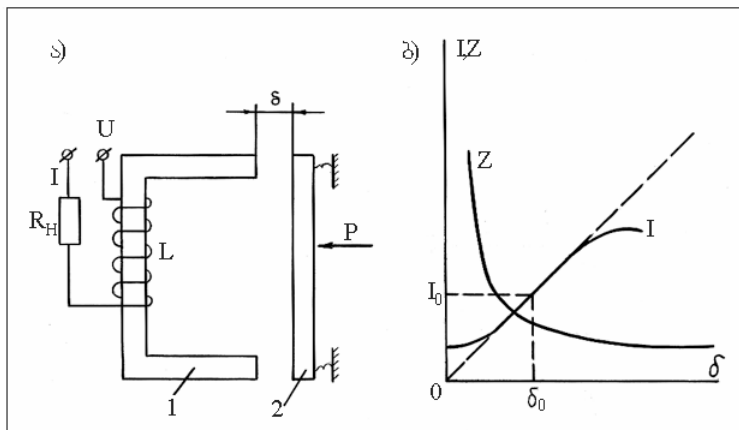
$$\frac{dI}{d\delta} = \frac{U \cdot 10^8}{0.2\pi \cdot n^2 \cdot S \cdot \omega}. \quad (2.16)$$

ამრიგად, ღუზას გადაადგილება იწვევს კოჭას წრედში დენის ძალის შეცვლას, ე.ი. დენის ძალის ცვალებადობით შეიძლება განესაზღვროთ გადაადგილების სიდიდე.

ცალმაგი ინდუქციური გარდამსახის მუშაობა დამოკიდებულია მკვებავი ძაბვის სიდიდესა და სიხშირეზე, აგრეთვე, ტემპერატურაზე. გარდამსახის ნაკლს შეადგენს გაზომვის შედეგის დამოკიდებულება ღუზის მიზიდულობის ძალაზე, რომელიც იცვლება საჰაერო ღრეჩოს სიდიდის ცვალებადობით. თუ საჭიროა ღუზის (2) გადაადგილების გაზომვა ორივე მიმართულებით, ე.ი. მარცხნივ და მარჯვნივ, აუცილებელია საწყისი საჰაერო ღრეჩოს δ_0 და დატვირთვის დენის საწყისი სიდიდის $R_{\text{დატ.}}$ დადგენა, რაც, რასაკვირველია, გამოიწვევს გარკვეულ ცდომილებებს. გარდამსახის მახასიათებელი ნაჩვენებია 2.10,ბ ნახაზზე.

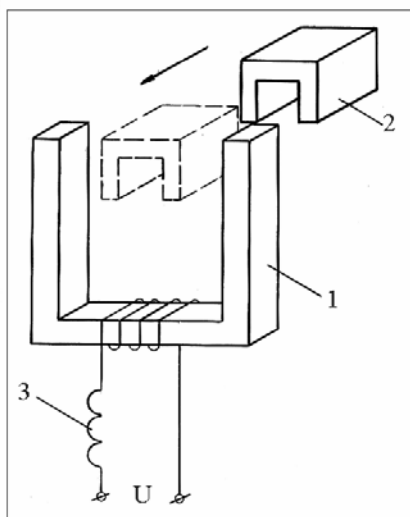
ცალმაგი ინდუქციური გარდამსახი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც უკონტაქტო საგზაო გამომრთველი

საბოგრო საზომ სკემებში. მისი საშუალებით შეიძლება გაიზომოს გადაადგილება მიკრონის ნაწილიდან – 3-5 მმ-მდე.



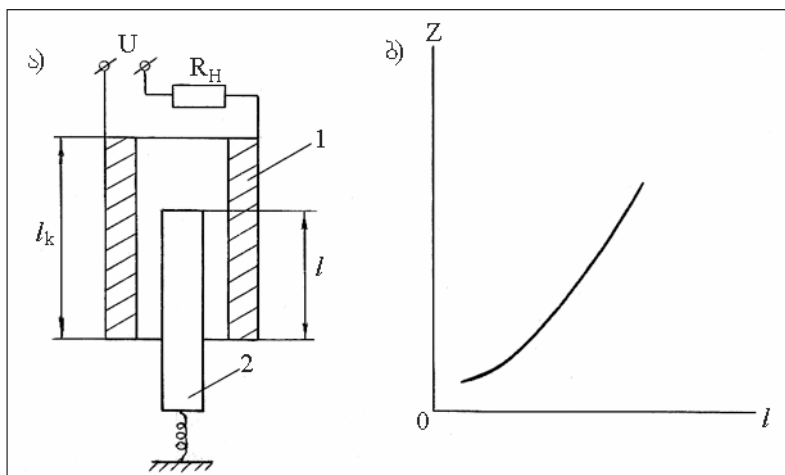
ნახ.2.10. ცალმაგი ინდუქციური გარდამსახი (ა) და მისი მახასიათებელი (ბ)

როგორც 2.11 ნახაზზეა წარმოდგენილი, ფოლადის ღუზის (2) მაგნიტგამტართან (1) მიახლოებისას კოჭას წრედის წინაღობა იზრდება, დენის ძალა მცირდება და რელეს (3) ამოქმედების შედეგად კოჭას წრედი გაითიშება.



ნახ.2.11. ცალმაგი ინდუქციური გარდამსახის უკონტაქტო საგზაო გამომრთველად გამოყენების სქემა

რამდენიმე სმ-ის სიდიდის გადაადგილებების გასაზომად სარგებლობენ სოლენოიდური სისტემებით (ნახ.2.12). სოლენოიდური სისტემის ცალმაგი გარდამსახი შედგება ღია სოლენოიდისაგან (1) და მოძრავი ღუზისაგან (2). კოჭას შიგნით ღუზას შესვლა იწვევს კოჭას ინდუქციურობის ცვლილებას, კოჭაში შესული ღუწის ნაწილის მასის პროპორციულად. (ნახ.2.12,ბ).



ნახ.2.12. სოლენოიდური სისტემის ცალმაგი გარდამსახი. ა) გარდამსახის სქემა; ბ) გარდამსახის მახასიათებელი

კოჭას ინდუქციურობა ჰენრებში

$$L = \frac{n^2}{l_j} \mu q l, \quad (2.17)$$

სადაც n – კოჭას ხეულების რიცხვი;

l_j – კოჭას სიგრძე;

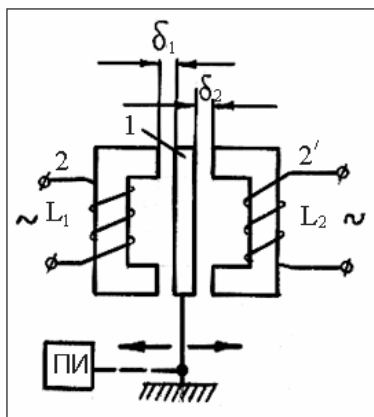
q – კოჭას განივი კვეთი;

l – ღუზის იმ ნაწილის სიგრძე, რომელიც კოჭაშია მოთავსებული;

μ – გულარის მასალის მაგნიტური შეღწევადობა.

ფართოდ არის გავრცელებული პრაქტიკაში გარდამსახი, რომელიც შედგება ორი სიმეტრიულად განლაგებული ინდუქციური კოჭასაგან და პირველად გამზომთან (ПН) დაკავშირებული ღუზისაგან. ღუზის გადახრა შუალედი მდგო-

მარეობიდან იწვევს მარცხენა ან მარჯვენა კოჭას ინდუქციური წინაღობის ცვლილებას. ასეთი ტიპის ინდუქციური გარდამსახები გამოიყენება მილიმეტრის მეთოდი და მუასედი ნაწილის გასაზომად. გარდამსახის სქემა ნახვენებია 2.13 ნახაზზე. აქ L_1 და L_2 შესაბამისად მარცხენა და მარჯვენა კოჭას ინდუქციურობაა, ხოლო δ_1 და δ_2 ღრეჩოს სიდიდე. ინდუქციური გარდამსახების ღირსებას წარმოადგენს მათი სიმარტივე, საიმედოობა, მოხახუნე კონტაქტების უქონლობა, დიდი სიმძლავრეები, ეფექტური გამომავალი სიგნალები, სამრეწველო სიხშირის ცვლად დენზე მუშაობის შესაძლებლობა.



ნახ.2.13. გარდამსახი
მოდრავი ღუზით: ПИ –
პირველადი გამზომი; 1 –
მოდრავი ღუზა; 2, 2' –
ინდუქციური კოჭა

ინდუქციური გარდამსახების ნაკლია გაზომვის შედეგების მნიშვნელოვნად დამოკიდებულება მკვებავი ქსელის დენის სიხშირეზე. გარდამსახები მუშაობენ 3000-5000 ჰერც სიხშირეებზე. მეტი სიდიდის სიხშირეების დროს მკვეთრად იზრდება დანაკარგები ფოლადში.

ინდუქციური გარდამსახები გამოიყენება ბეტონის ქარხნების ავტომატურ დოზატორებში, ამწეების გადატვირთვის შემზღუდველებში, მუშაობისმზომებში, ელექტრულ მანომეტრებში, დინამომეტრებში, ტენზომეტრებში, ბოლო გამომრთველებში და გაზომვისა და ავტომატიკის სხვა მოწყობილობებში თუ ხელსაწყოებში.

§5. ტევადური გარდამსახეობი

ტევადური გარდამსახეობა წარმოადგენს ჩვეულებრივ ბრტყელ კონდენსატორს, რომელშიც გადაადგილების გარდაქმნა ტევადობის ცვალებადობად ხორციელდება ფინებს შორის მანძილის შეცვლით, ფინების ფართის ან დიელექტრიკის შეცვლით. ამასთან, კონდენსატორის ელექტროტევადობა ფინებს შორის მანძილის შეცვლის მიხედვით იცვლება ჰიპერბოლიდურად, ხოლო ε და S ცვლილების მიხედვით – ხაზოვნად.

ბრტყელი პარალელური კონდენსატორის ელექტრული ტევადობა პიკოფარადებში იანგარიშება გამოსახულებით

$$C = 0.089 \cdot \frac{\varepsilon \cdot S}{\delta}, \quad (2.18)$$

სადაც

S არის კონდენსატორის ფინების (სულ ორი ფინია) ურთიერთგადახურვის ფართი, სმ^2 -ობით.

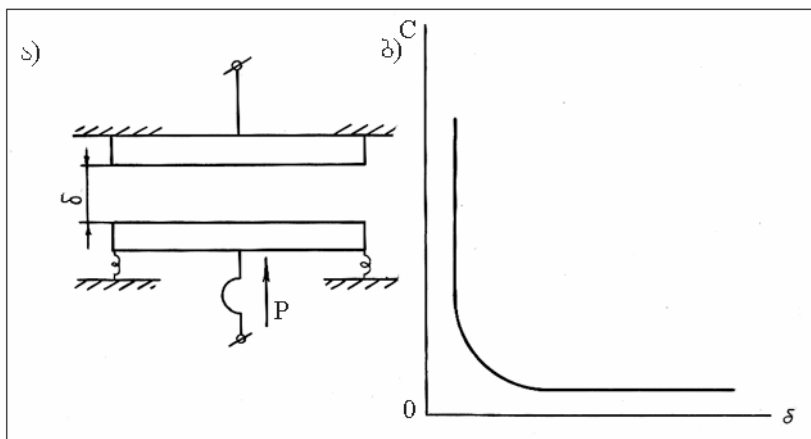
ε – გარემოს ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა;

δ – ფინებს შორის მანძილი, სმ -ობით.

მეტად გავრცელებულ ტევადურ გარდამსახეობებში გამოყენებულია ელექტრული ტევადობის დამოკიდებულება ფინების ურთიერთდაშორებაზე (ნახ.2.14,ბ).

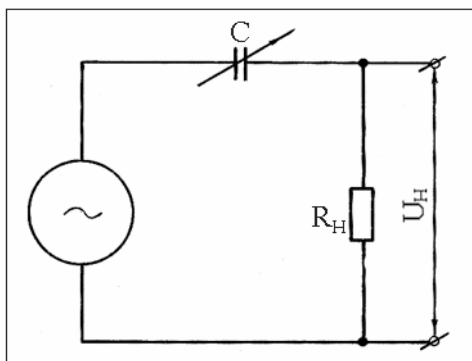
ტევადური გარდამსახეობი მუშაობენ ცვლად დენზე. ისინი ძალზე მგრძნობიარენი არიან. მათი საშუალებით შეიძლება მცირე სიდიდის გადაადგილებების გაზომვალაბორატორიულ პირობებში 10^{-3} მიკრონამდე, ხოლო ტექნიკურ მოწყობილობებში – მიკრონის მეათედ ნაწილამდე.

2.14 ნახაზზე მოყვანილია გადაადგილების ტევადური გარდამსახეობის სქემა და მისი მახასიათებელი. გარდამსახეობის მოძრავი ნაწილის გადაადგილება P ძალის მოქმედებით გარდაიქმნება ელექტრულ გამომავალ სიდიდედ (სიხშირე, დენის ძალა, ძაბვა), რომელიც დამოკიდებულია შემავალ სიდიდეზე.

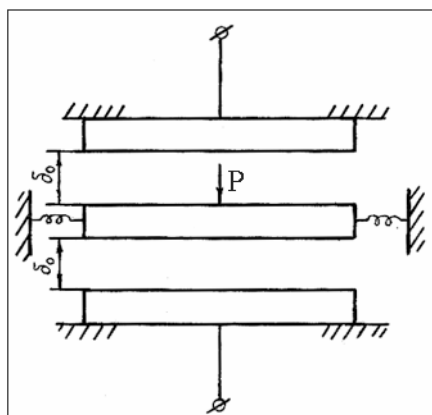


ნახ.2.14. გადაადგილების ტევადური გარდამსახი: ა) სქემა; ბ) გარდამსახის მახასიათებელი

2.15 ნახაზზე წარმოდგენილია გადაადგილების ტევადური გარდამსახის ჩართვის ელექტრული სქემა. გარდამსახის ფინის გადაადგილება იწვევს მისი ტევადობის შეცვლას. იცვლება გამაგალი დენის ძალა და $R_{\text{დატ.}}$ დატვირთვის $U_{\text{დატ.}}$ ძაბვა, რომელიც წარმოადგენს გამომავალ სიდიდეს. აღნიშნული სქემა დამოკიდებულია მკვებავი დენის წყაროს ან მაძლიერებლის ძაბვასა და სიხშირეზე, რაც გაზომვების დროს გარკვეულ ცდომილებებთან არის დაკავშირებული. ეს ნაკლი გამოსწორებულია სქემაში (ნახ.2.16), სადაც გამოყენებულია ტევადური დიფერენციული გარდამსახები, რომელთაც ახასიათებთ მეტი მგრძნობიარობა. ამ შემთხვევაში შუალედი მოძრავი ფინის გადაადგილება P ძალის გავლენით იწვევს კონდენსატორის ერთი ნახევრის ტევადობის გაზრდას, ხოლო მეორე ნახევრის ტევადობის შემცირებას. ასეთი გარდამსახის მგრძნობიარობა ორჯერ იზრდება ნახ. 2.15 მოყვანილ გარდამსახთან შედარებით.



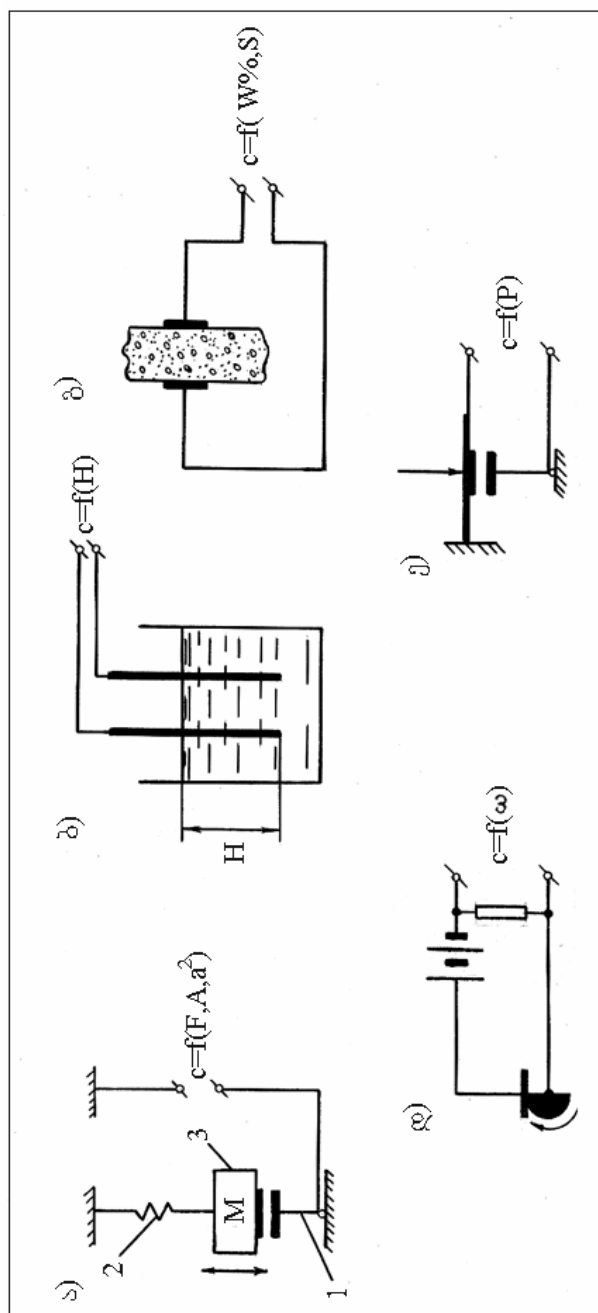
ნახ.2.15. გარდამსახის ჩართვის ელექტრული სქემა



ნახ.2.16. დიფერენციალური გარდამსახის სქემა ცვლადი ღრეჩოთი

ტევადური გარდამსახების ჩართვა, ჩვეულებრივ, ხდება ბოგიროვან სქემებში ან რეზონანსულ კონტურებში, მაძლიერებლებთან ერთად, რაც უზრუნველყოფს მაღალ მგრძნობიარობას გადაადგილებათა გაზომვის დროს.

2.17 ნახაზზე ნაჩვენებია ტევადური გარდამსახების გამოყენებით სხვადასხვა ტექნოლოგიური ინფორმაციის მიღების ზოგიერთი მაგალითი.



ნახ.2.17. ტექნოლოგიური ინფორმაციის ტექნოლოგიური გარდაქმნები: ა) ვიბრაციის სიხშირის და ამპლიტუდის გაზომვა; 1 – უძრავი ფინი; 2 – მოძრავი ფინი; 3 – მასა, რომელიც გადაადგილდება ვიბრაციის გავლენით. ბ) სითხის დონის გაზომვა. გ) ტენიანობის და სვედასხვა სტრუქტურული მახასიათებლის გაზომვა. დ) ბრუნვის სიჩქარის გაზომვა. ე) წნევის გაზომვა

ტვეადური გარდამსახები ეკონომიკური, მცირეგაბარიტიანი და კონსტრუქციულად მარტივია; ახასიათებთ მაღალი მგრძნობიარობა და ფინებს შორის მცირე მიზიდულობის ძალა; საჭიროებენ უმნიშვნელო ძალეებს გარდამსახის მოძრაობის ნაწილის გადასადგილებლად. არსებით ნაკლს წარმოადგენს დიდი რეაქტიული წინაღობა, რაც გამოორიცხავს ტვეადური გარდამსახების გამოყენებას სამრეწველო სიხშირის დროს. მართლაც, გარდამსახის ტვეადობა საშუალოდ შეადგენს 10-100 პიკოფარადს (1 პიკოფარადი = 10^{-12} ფარადს). $C=100$ პფ დროს გარდამსახის რეაქტიული წინაღობა სამრეწველო სიხშირის $f=50$ კერცი შემთხვევაში შეადგენს

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = \frac{10^{12}}{3.14 \cdot 10^4} = 30 \cdot 10^6 \text{ ომი.}$$

აქედან გამომდინარე, ტვეადური გარდამსახების გასაზომი სქემების კვება წარმოებს მაღალი სიხშირის ცვლადი დენით (400 კერციდან რამდენიმე მეგაპერცამდე).

§6. თერმოელექტროული გარდამსახები

თერმოწვეილი წარმოადგენს გენერატორული ტიპის ტემპერატურულ გარდამსახს. მისი მოქმედების პრინციპი ემყარება ზეებეკის მიერ 1821 წელს აღმოჩენილ ეფექტის გამოყენებას, რაც მდგომარეობს შემდეგში: თუ სხვადასხვაგვარი ლითონისაგან დამზადებულ ორ ელექტროდს A და B დავრჩილავთ ან შევადულებთ (ნახ.2.18) და დარჩილვის ადგილს გავახურებთ, მაშინ მიღებული თერმოელექტროული გარდამსახის თავისუფალ ბოლოებზე წარმოიშობა ელექტრომამოძრავებელი ძალა, რომლის სიდიდე პროპორციულია დარჩილული და თავისუფალი ბოლოების ტემპერატურათა სხვაობისა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $e_{BA}(t_2) = -e_{AB}(t_2)$, მივიღებთ:

$$E_{AB} = (t_1, t_2) = e_{AB}(t_1) - e_{AB}(t_2) = f(t) = K(t_1 - t_2) = K\Delta t, \quad (2.19)$$

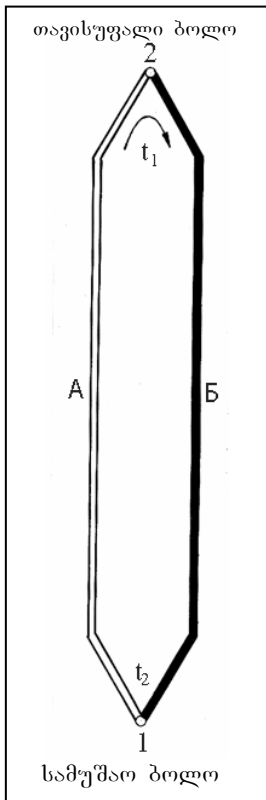
სადაც

t_2 არის თერმოწვეილის თავისუფალი ბოლოს ტემპერატურა;

t_1 – სამუშაო ბოლოს ტემპერატურა;

K - თერმოელექტრული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია თერმოწვეილის ელექტროდების მასალის თვისებებზე. რიცხობრივად იგი ტოლია თერმოწვეილის ე.მ.ძ-სა, თერმოელექტროდების ტემპერატურათა სხვაობის დროს 1° -ით. K იმყოფება საზღვრებში $1 \cdot 10^{-5}$ -დან $5 \cdot 10^{-6}$ ვოლტი/გრად-დე.

E - თერმოელექტრომამოძრავებელი ძალა (თემძ), რომლის სიდიდე არ არის დამოკიდებული ელექტროდების ფორმასა და მათ გეომეტრიულ ზომებზე.



ნახ.2.18. თერმოელექტრული წრედი ორი გამტარისაგან - A, B : 1,2 - გამტარების ბოლოები

ორი თერმოწვეილის მიმდევრობით შეერთების შემთხვევაში საერთო თერმოელექტრომამოძრავებელი ძალა

$$E = E_1 + E_2. \quad (2.20)$$

წრედის თერმო ე.მ.ძ., რომელიც შედგება n ერთნაირი თერმოწვეილისაგან,

$$E=nE_1(t_1t_0). \quad (2.21)$$

სადაც n არის მიმდევრობით შეერთებული თერმოწყვილების რიცხვი.

$E_1(t_1t_0)$ – ერთი თერმოწყვილის თერმო ე.მ.ძ., რომლის სამუშაო და თავისუფალ ბოლოებზე ტემპერატურა შესაბამისად უდრის t_1 და t_0 .

ერთნაირი თერმოწყვილების პარალელურად შეერთების შემთხვევაში

$$E = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n}. \quad (2.22)$$

თერმოწყვილის ბოლოებზე თერმო ე.მ.ძ. წარმოშობა აიხსნება შემდეგნაირად: ნებისმიერი გამტარის მოლეკულათა შორის სივრცე შეიცავს თავისუფალ ელექტრონებს, რომელთა ენერგია და ტემპერატურაზე დამოკიდებულება სხვადასხვა მასალის გამტარისათვის განსხვავებულია; მაგრამ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად თავისუფალი ელექტრონების ენერგია მატულობს. ამიტომ თერმოწყვილის სამუშაო (ცხელ) ბოლოზე ელექტრონები მოძრაობენ მეტი სიჩქარით, ვიდრე თავისუფალ (ცივ) ბოლოზე, რის შედეგადაც წარმოიშობა ელექტრონების ნაკადი სამუშაო ბოლოდან თავისუფალი ბოლოს მიმართულებით. თერმოწყვილის თავისუფალ ბოლოზე ადგილი აქვს უარყოფითი მუხტის დაგროვებას. ეს პროცესი გრძელდება დამყარებული რეჟიმის დადგომამდე, რადგან სხვადასხვა მასალას გააჩნია თავისუფალი ელექტრონების არათანაბარი რაოდენობა, ამიტომ თერმოწყვილის თავისუფალ ბოლოებზე წარმოიშობა პოტენციალთა სხვაობა.

თუ თერმოწყვილის თავისუფალ ბოლოებს შევაერთებთ, როდესაც $t_1 > t_2$, წრედში გაივლის ელექტრული დენი, ხოლო, როდესაც $t_1 = t_2$ დენის გავლას ადგილი არ ექნება.

თერმოწყვილის მგრძნობიარობა ხასიათდება თერმო ე.მ.ძ. სიდიდით, რომელიც შეესაბამება გარდამსახის კონტაქტის ტემპერატურის 1°C შეცვლას. მაშასადამე, თერმოწყვილის სამუშაო ბოლოს საშუალებით ტემპერატურის გაზომვა შეიძლება დავიყვანოთ თერმო ე.მ.ძ. გაზომვამდე, რომელსაც განავითარებს თერმოწყვილი თავისუფალი ბოლოს მუდმივი ტემპერატურის შემთხვევაში.

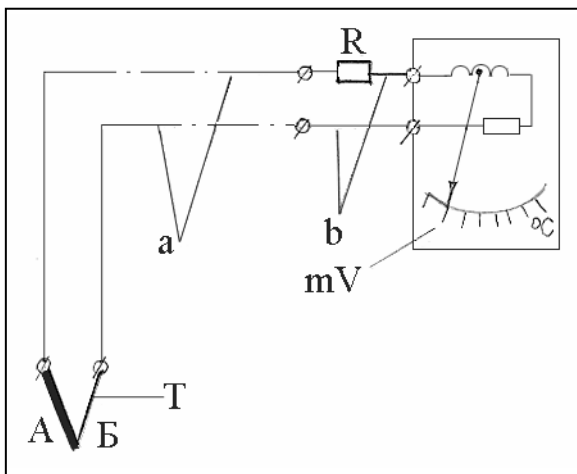
თერმოწყვილის სამუშაო ბოლოს ტემპერატურაზე თერმო ე.მ.ძ. დამოკიდებულების განსაზღვრას, თავისუფალ ბოლოზე ტემპერატურის მუდმივი მნიშვნელობის დროს თერმოწყვილის გრადუირება ეწოდება. თავისუფალი ბოლოს ტემპერატურა თერმოწყვილის გრადუირების დროს ჩვეულებრივად მიიღება $t_0=0^{\circ}\text{C}$. ამის მიღწევა შეიძლება თერმოწყვილის თავისუფალი ბოლოს მოთავსებით შედარებით მუდმივტემპერატურიან გარემოში. ტემპერატურის ზუსტი გაზომვის დროს თერმოწყვილის თავისუფალი ბოლო თავსდება თერმოსტატში ან დიუარის ჭურჭელში, რომელიც ავსებულია ყინულიანი წყლით.

თერმო ე.მ.ძ. და, მაშასადამე, ტემპერატურის გასაზომად თერმოწყვილის წრედში საჭიროა ელექტროგამზომი ხელსაწყოთა ჩართვა. ასეთ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება მილივოლტმეტრები და ელექტრონული ავტომატური პოტენციომეტრები (კომპენსატორები).

მილივოლტმეტრი მიეკუთვნება მაგნიტოელექტრული სისტემის ხელსაწყოებს და გათვალისწინებულია ტემპერატურისა და სხვა არაელექტრული სიდიდეების ჩვენებების, ჩაწერისა და რეგულირებისათვის, რომლებიც გარდამსახეობის დახმარებით გარდაიქმნება ელექტრულ ძაბვად.

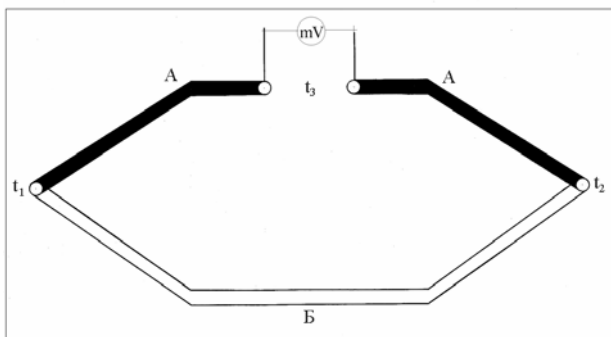
ელექტრონული პოტენციომეტრები წარმოადგენენ მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოებს, ჩვეულებრივ $0,5$ კლასისა. სხვა ელექტრონული ხელსაწყოების ანალოგიურად ელექტრონული პოტენციომეტრის ძირითადი კვანძი – გამაძლიერებელი დამზადებულია ელექტრონული ნათურების გამოყენებით. პოტენციომეტრები გამოდის ხელითა და ავტომატური მართვით, ავტომატური პოტენციომეტრები ფართოდ გამოიყენება ტემპერატურის გასაზომად, ჩაწერისა და რეგულირებისათვის სტანდარტული დაგრადუირების თერმოწყვილებთან კომპლექტში. გარდა ამისა, პოტენციომეტრები გამოიყენება, როგორც მეორადი ხელსაწყოები, რომლებიც მუშაობენ მუდმივი დენისა და ძაბვის სხვადასხვა გარდამსახეობთან.

2.19 ნახაზზე მოყვანილია თერმოწყვილის წრედში გასაზომი ხელსაწყოების ჩართვის სქემა.



ნახ.2.19. თერმოწყვილისა და მილივოლტმეტრის შეერთების პრინციპული სქემა: T – თერმოწყვილი; mV - მილივოლტმეტრი; R - მომრგებელი კოჭა; a - საკომპენსაციო სადენი; b - სპილენძის სადენი

ავტომატიკაში თერმოელექტრული გარდამსახი ხშირად გამოიყენება ორ წერტილში ტემპერატურების ერთმანეთთან შესადარებლად. ასეთ გარდამსახს დიფერენციული თერმოწყვილი ეწოდება (ნახ.2.20). ასეთი თერმოწყვილის ორივე ბოლო სამუშაოა და თერმო ე.მ.მ. განსხვავდება ნულისაგან მაშინ, როდესაც თერმოწყვილის სამუშაო ბოლოების ტემპერატურა სხვადასხვაა, ამასთან პოლარულობა დამოკიდებულია იმაზე, რომელ ბოლოს აქვს უფრო მაღალი ტემპერატურა.



ნახ.2.20. დიფერენციალური თერმოწყვილი

§7. წინააღმდეგობის ტემპერატურული გარდა- მსახეობი

წინააღმდეგობის ტემპერატურული გარდამსახეობის მო-
ქმედება დამყარებულია გამტარებისა და ნახევარგამტარების
წინააღმდეგობის ცვალებადობაზე ტემპერატურის მიხედვით.

ტემპერატურული გარდამსახეობის სახით ფართო გამო-
ყენებას პოულობენ წინააღმდეგობის ლითონის თერმომე-
ტრები და ნახევარგამტარიანი თერმოწინააღმდეგობები (თერმის-
ტორები).

თერმოწინააღმდეგობის მგრძნობიარობა (პროპორციულია
სიდიდისა $I\sqrt{R}$, სადაც I არის დენის ძალა თერმომეტრის
წრედში, R – თერმომეტრის წინააღმდეგობა) ტემპერატურის
ცვლილების მიხედვით ხასიათდება ელექტროწინააღმდეგობის
ტემპერატურული კოეფიციენტით α , რომელიც წარმოადგენს
წინააღმდეგობის ფარდობითი ცვლილების $\frac{\Delta R}{R}$ შეფარდებას, ტემ-
პერატურის ნამატის ერთეულთან Δt , ე.ი.

$$\alpha = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\Delta t} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t} \approx \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt}. \quad (2.23)$$

ა) წინააღმდეგობის ლითონის თერმომეტრები. ტემ-
პერატურის ზრდასთან ერთად უმეტესი ლითონის წინააღმდეგობა
მატულობს, მაგრამ ელექტროწინააღმდეგობის ტემპერატურული
კოეფიციენტი მუდმივია მხოლოდ ადებული მასალის ტემ-
პერატურების გარკვეულ ზღვრამდე. სხვა ტემპერატურე-
ბისათვის ელექტროწინააღმდეგობის ტემპერატურული კოეფი-
ციენტი თვითონ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე, ე.ი.
ცვლადი სიდიდეა.

წინააღმდეგობის თერმომეტრის ელექტრული წინააღმდეგობის
ცვლილება ტემპერატურებისათვის – 40-დან +630⁰-მდე გა-
მოიხატება ფორმულით [13].

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2), \quad (2.24)$$

ხოლო ტემპერატურებისათვის მინუს 190⁰-დან 0⁰C-მდე
(პლატინა) ფორმულით [3]

$$R_t = R_0[1 + ab + bt^2 + C(t-100)t^3]. \quad (2.25)$$

სპილენძისათვის საზღვრებში $t=-50^{\circ}\text{C}$ -დან $t=+150^{\circ}\text{C}$ -მდე წინააღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე მიახლოებით გამოისახება ფორმულით

$$R_t = R_0(1 + at). \quad (2.26)$$

მოყვანილ ფორმულებში

R_0 , R_t თერმომეტრის წინააღობაა 0°C და $t^{\circ}\text{C}$ დროს;

a , b მუდმივი კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრება გრადუირების დროს წყლისა და გოგირდის დუდილის წერტილების მიხედვით (სუფთა პლატინისათვის $a=3,95 \cdot 10^{-3}$

$\frac{1}{\text{გრად}}$; $b=-5,85 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{გრად}}$; სუფთა სპილენძისათვის $a=4,25 \cdot 10^{-3}$

$\frac{1}{\text{გრად}}$);

C - მუდმივი კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება თერმომეტრის გრადუირებისას ჟანგბადის დუდილის წერტილის მიხედვით.

წინააღობის თერმომეტრის წრედში დასაშვები დენის ძალა

$$I_{\text{დასაშ.}} = \sqrt{\frac{S \cdot q}{\gamma}}, \quad (2.27)$$

სადაც

S არის თერმომეტრის ზედაპირი;

q - თერმომეტრის დახვევის მავთულის კვეთი;

γ - მავთულის ხვედრითი წინააღობა.

თერმომეტრის გადახურების მაჩვენებლის ლოგარითმი ხაზოვან დამოკიდებულებაშია თერმომეტრის წრედში დასაშვები დენის ძალის სიდიდის ლოგარითმთან [3]

$$\lg \theta = \lg B + 2 \lg I_{\text{დასაშ.}}, \quad (2.28)$$

სადაც B არის პროპორციულობის კოეფიციენტი.

წინააღობის თერმომეტრის საშუალებით გარემოს ტემპერატურის გასაზომად ვსაზღვრავთ გარემოს წინააღობას. მაშასადამე, გარდამსახის გარდა, ტემპერატურის გასაზომად

საჭიროა ცვლადი წინაღობის გასაზომი მოწყობილობა, ელექტრული კვების წყარო და შემაერთებელი სადენები.

გარდამსახის მასალა უნდა ხასიათდებოდეს წინაღობის მაღალი ტემპერატურული კოეფიციენტით (α), დიდი ხვედრითი ელექტრული წინაღობით (γ), რათა მცირე გაბარიტების შემთხვევაში ელემენტს გააჩნდეს დიდი წინაღობა გაზომვის დაწყებამდე.

ჩამოთვლილ მოთხოვნებს კარგად აკმაყოფილებს პლატინა და სპილენძი. ამიტომ წინაღობის თერმომეტრების სერიულად დასამზადებლად ეს მასალები გამოიყენება. პლატინის წინაღობის თერმომეტრები აღინიშნებიან TCP, სპილენძისა - TCM.

წინაღობის თერმომეტრებში გარდამსახის წინაღობის სიდიდე დადგენილია ГОСТ-ით, რომლის მიხედვითაც პლატინის წინაღობის თერმომეტრების გარდამსახის ნომინალური წინაღობა შეადგენს 1, 5, 10, (46), 50, 100 და 500 ომს, ხოლო სპილენძის წინაღობის თერმომეტრებისა - 10, 50, (53) და 100 ომს (0°C ტემპერატურის დროს).

წინაღობის ელექტრული თერმომეტრების ღირსებას შეადგენს: კარგად აღსაქმელი სკალა მეორად ხელსაწყოებთან დასაშვები ტემპერატურის საზღვრებში, მეორადი ხელსაწყოს სკალის ნებისმიერი ტემპერატურული ინტერვალით გრადუირების შესაძლებლობა; სითბური რეჟიმის ავტომატური ჩაწერის შესაძლებლობა თვითჩამწერი მოწყობილობების საშუალებით; ტემპერატურის ავტომატური რეგულირების გამოყენება და სხვა.

ბ) ნახევარგამტარული თერმოწინაღობები (თერმისტორები). თერმისტორი ეწოდება ნახევარგამტარიან თერმოწინაღობას, რომლის ელექტრული წინაღობა მკვეთრად მცირდება ტემპერატურის ზრდის დროს, ე.ი. თერმისტორს აქვს უარყოფითი ტემპერატურული კოეფიციენტი.

დამოკიდებულება წინაღობასა და ტემპერატურას შორის გამოიხატება ექსპონენციალური კანონით.

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}} = R_1 e^B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right), \quad (2.29)$$

სადაც

R_T არის თერმისტორის წინაღობა;

R_1 – თერმისტორის წინაღობა T_1 აბსოლუტური ტემპერატურის დროს;

T – თერმისტორის აბსოლუტური ტემპერატურა – კელვინის გრადუსებში;

e – ნატურალური ლოგარითმის ფუძე;

A და B მუდმივი კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებული არიან თერმისტორის მასალის ფიზიკურ თვისებებზე.

$$B = \frac{T_1 \cdot T_2}{0.43(T_2 - T_1)} \cdot \lg \frac{R_1}{R_2}, \quad [^{\circ}\text{K}] \quad (2.30)$$

სადაც R_1 და R_2 თერმისტორის წინააღობებია (ომებში)

T_1 და T_2 ტემპერატურების დროს.

თერმისტორის ტემპერატურული კოეფიციენტი

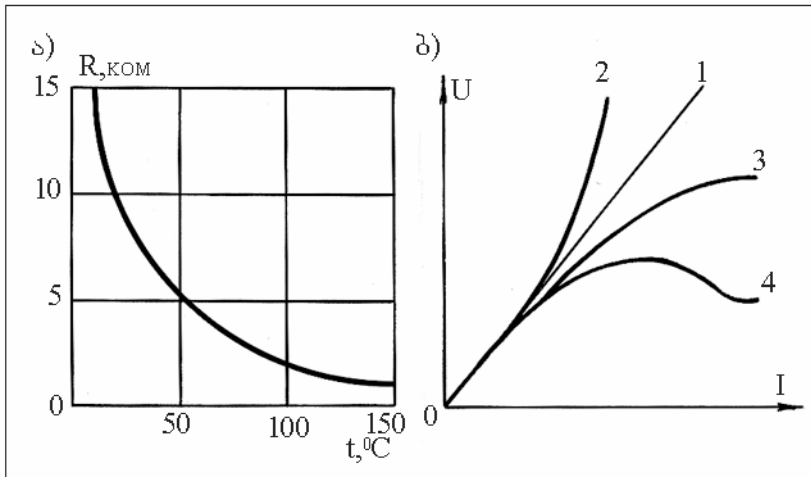
$$\alpha_t = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2} \cdot 100. \quad [\%/^{\circ}\text{K}] \quad (2.31)$$

2.21,ა ნახაზზე წარმოდგენილია MMT-1 ტიპის თერმისტორის ტემპერატურული მახასიათებელი. გრაფიკიდან ჩანს, რომ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად TC წინააღობა მკვეთრად ეცემა.

თერმისტორის თვისებები განისაზღვრება, აგრეთვე, ვოლტ-ამპერული მახასიათებლით, რომელიც გამოსახავს თერმოწინააღობაში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულებას ძაბვაზე, გარემომცველი გარემოს მუდმივი ტემპერატურის დროს.

2.21,ბ ნახაზზე მოყვანილია თერმოწინააღობების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები.

თერმისტორების უპირატესობას, წინააღმდეგობის თერმომეტრებთან შედარებით, წარმოადგენს მათი დიდი ელექტრული წინააღობა, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თერმისტორების გამოყენებისას ელექტრონულ მაძლიერებლებთან ერთად და ტემპერატურების დისტანციური გაზომვის დროს.



ნახ.2.21. თერმოწინაღობების მახასიათებლები: ა) MMT-1 ტიპის თერმისტორის ტემპერატურული მახასიათებელი; ბ) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები: 1 – წინაღობის, რომელიც არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე; 2 – ლითონის თერმოწინაღობის; 3, 4 – შესაბამისად ნაკლები და მეტი უარყოფითი ტემპერატურული კოეფიციენტის მქონე ნახევარგამტარული თერმოწინაღობების

თერმისტორების ნაკლია მახასიათებლების ნაკლები სტაბილურობა და ურთიერთშენაცვლებადობის სირთულე, რადგან წინაღობა და ტემპერატურული კოეფიციენტი ერთი და იმავე ტიპის თერმოწინაღობების ცალკეული ეგზემპლარებისა ც კი სხვადასხვაა.

§8. ფოტოელექტრული გარდამსახი

ფოტოელექტრული გარდამსახი რეაგირებას ახდენს განათებულობის ცვალებადობაზე. ზოგიერთი მყარი სხეულის ზედაპირის განათებისას სინათლის კვანტები, შეაღწევენ რა ნივთიერების ზედაპირულ შრეებში, გადასცემენ ელექტრონებს ენერგიას, რის შედეგადაც ელექტრონები ტოვებენ თავიანთ ორბიტებს. ამ დროს შესაძლებელია სამი სახის ფოტოეფექტის მიღწევა. ფოტოეფექტი გულისხმობს ნივთიერების თვისებების შეცვლას ნივთიერების განათებულობის შეცვლისას. აღნიშნული ფოტოეფექტებია:

1. გარე ფოტოეფექტი, რომლის დროსაც სინათლის ენერგიის მოქმედებით ელექტრონული ნათურის კათოდიდან ელექტრონების ამოფრქვევას აქვს ადგილი. ემისიის (ელექტრონების ამოფრქვევა) დენის სიდიდე დამოკიდებულია კათოდის განათებულობაზე;

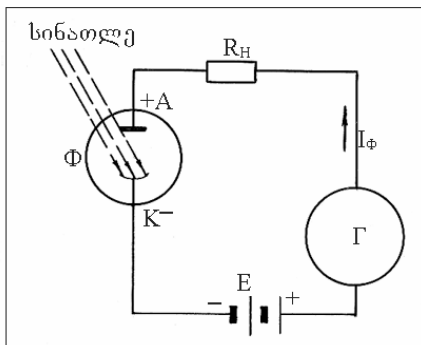
2. შინაგანი ფოტოეფექტი, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: სინათლის შთანთქმის შედეგად ნახევარგამტარში წარმოიშობა დამატებითი თავისუფალი ელექტრონები, რომლებიც ზრდის ნივთიერების გამტარობას და ამცირებს მის წინააღობას, ე.ი. ნახევარგამტარის ელექტროგამტარობა (აქტიური წინააღობა) დამოკიდებულია ნახევარგამტარის განათებულობაზე;

3. ვენტილური ფოტოეფექტი, რომლის დროსაც განათებული გამტარისა და გაუნათებელი ნახევარგამტარის შრეებს შორის, რომლებიც გაყოფილია თხელი საიზოლაციო შრით, ჩამკეტი ფენით, წარმოიშობა ე.მ.ძ., მისი სიდიდე დამოკიდებულია განათებულობაზე.

ფოტოელემენტები გარე ფოტოეფექტით წარმოადგენენ ვაკუუმის ან გაზი არგონით ავსებულ ნათურას ფოტომგრძნობიარე შრით დაფარული კათოდით.

2.22 ნახაზზე მოცემულია ფოტოელემენტის ანოდურ ბატარეასთან ჩართვის სქემა. მინის ბალონში, რომელშიც შექმნილია ვაკუუმი ან ჰაერის ამოტუმბვის შემდეგ ავსებულია გაიშვიათებული აირით – არგონით, მოთავსებულია ფოტოელემენტის Φ ანოდი და კათოდი. კათოდზე სინათლის ნაკადის მოქმედების შედეგად ადგილი აქვს ფოტოელექტრონული ემისიის მოვლენას. ემისიის გამოყენების მიზნით ანოდსა და ფოტოკათოდს შორის იქმნება ელექტრული ველი, რომელიც ემისიის შედეგად კათოდიდან ამოფრქვეულ ელექტრონებს მიმართავს დადებითად დამუხტული ანოდისაკენ, ე.ი. ადგილი აქვს წრედში დენის გაღას. როდესაც სინათლის ნაკადის მოქმედება კათოდზე წყდება, დენის გავლას წრედში ადგილი არა აქვს.

გარე ფოტოეფექტით ფოტოელემენტების ჯგუფის ტიპური წარმომადგენელია სტიბიუმ-ცეზიუმის ვაკუუმის ფოტოელემენტი (ტიპი СЦВ), ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტი (ტიპი ЦГ).



ნახ.2.22. ფოტოელემენტის ელექტრულ წრედში ჩართვის სქემა: R_H - დატვირთვის წინაღობა; Γ - გასაზომი ხელსაწყო; E - ე.მ.ძ. წყარო

ფოტოელემენტების მუშაობა განისაზღვრება ვოლტ-ამპერული, სინათლის და სპექტრული მახასიათებლებით.

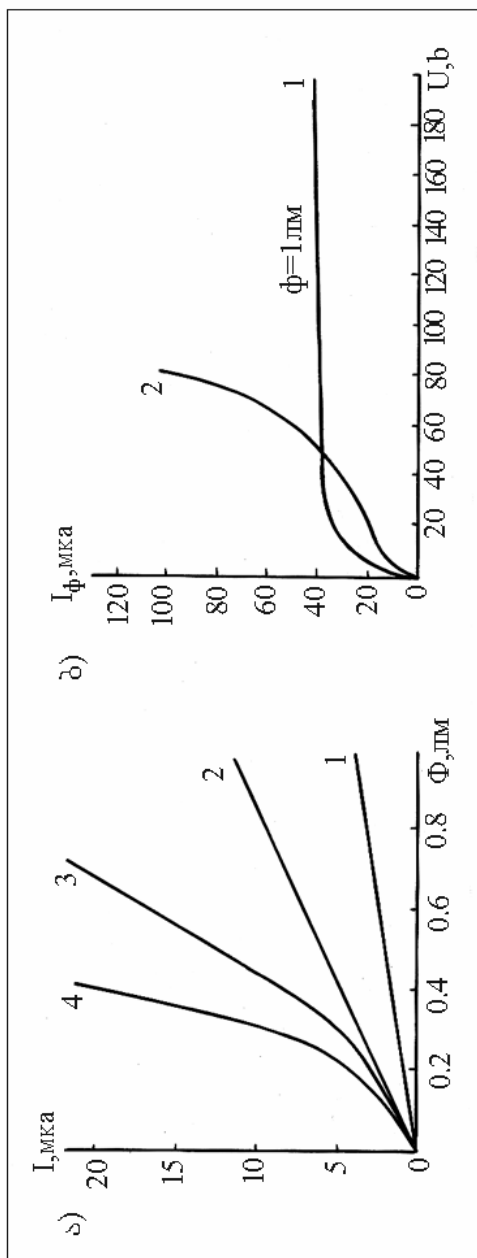
ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი გამოსახავს ფოტოელემენტის ფოტოდენის დამოკიდებულებას ანოდის ძაბვაზე ($I_\Phi = f(u)$ როდესაც $\Phi = \text{const}$).

ფოტოელემენტის სინათლის მახასიათებელი ეწოდება ფოტოდენის I_Φ დამოკიდებულებას ფოტოკათოდზე მოქმედი სინათლის ნაკადზე Φ . ($I_\Phi = f(\Phi)$ როდესაც $U = \text{const}$).

სინათლის მახასიათებელი განსაზღვრავს ფოტოელემენტის მგრძნობიარობას. ფოტოელემენტის მგრძნობიარობა წარმოადგენს ფოტოდენის სიდიდის (მიკროამპერებში) შეფარდებას მის გამომწვევ სინათლის ნაკადის სიდიდესთან (ლიუმენებში).

სპექტრული მახასიათებელი გამოსახავს ფოტოდენის I_Φ დამოკიდებულებას ტალღის სიგრძისაგან (ფერისაგან) - $\lambda (I_\Phi = f(\lambda))$, სხვა თანაბარ პირობებში.

ვაკუუმის ფოტოელემენტებში ანოდის დენი წარმოიშობა მხოლოდ ფოტოკათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონების საშუალებით, რის გამოც მას გააჩნია ხაზოვანი სინათლის მახასიათებელი (ნახ.2.23). არგონის გაზიან ფოტოელემენტებში დენი წარმოიშობა, როგორც ემისიის შედეგად წარმოქმნილი ელექტრონებისაგან, ასევე აირის იონიზაციის შედეგად მიღებული ელექტრონებისა და იონებისაგან. ამიტომ მათი სინათლის მახასიათებელი არახაზოვანია (მრუდები 3 და 4 ნახ.2.23ა). ვაკუუმისა და აირის ფოტოელემენტების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები ნაჩვენებია ნახ.2.23ბ.



ნახ.2.23. ფოტოელემენტების (გარე ფოტოფექტი) მახასიათებლები: ა) ფოტოელემენტის სინათლის მახასიათებელი: 1,2 – ვაკუუმის ფოტოელემენტი, 3,4 – აირის ფოტოელემენტი. გ) ვოლტ-ამპერის მახასიათებელი: 1 – ვაკუუმის; 2 – აირის ფოტოელემენტის. $МКа$ – მიკროამპერი. Φ – სინათლის ნაკადი. Wb – ლუმენი

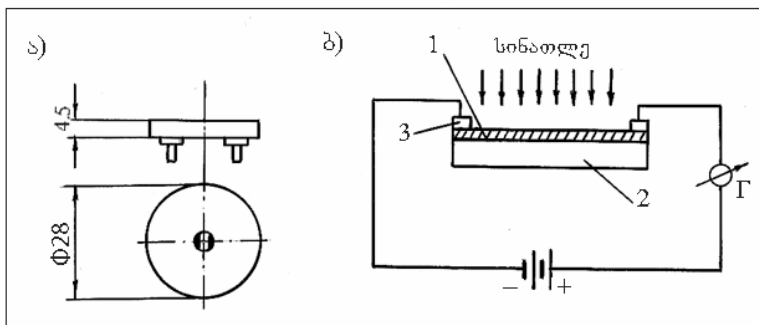
აირის ფოტოელემენტის მგრძნობიარობა აღემატება ვაკუუმის ფოტოელემენტისას. ასე მაგალითად, CIB ტიპის ფოტოელემენტის მგრძნობიარობა შეადგენს 120 მიკროამპერ/ლიუმენს, ხოლო აირის ფოტოელემენტისა – 200 მიკროამპერ/ლიუმენს.

ავტომატიკის სქემებში ფოტოელემენტების გამოყენება მოითხოვს გაძლიერების დიდი კოეფიციენტის მქონე გაძლიერებლებით სარგებლობას.

ვაკუუმის ფოტოელემენტები პრაქტიკულად უინერციონი არიან, ე.ი. დრო სინათლის ნაკადის კათოდზე დაცემიდან ფოტოდენის წარმოქმნამდე შეადგენს 10^{-9} სეკ. აირის ფოტოელემენტებს კი გარკვეული ინერციულობა გააჩნიათ, აირის იონიზაციაზე გარკვეული დროის ხარჯვის გამო.

ფოტოელემენტები შინაგანი ფოტოეფექტით (ფოტოწინაღობა). ფოტოწინაღობა შედგება ნახევარგამტარის სინათლე-მგრძნობიარე შრისაგან (1), სისქით I მიკრონამდე, რომელიც დატანილია მინის ან კვარცის ფირფიტაზე (2). ნახევარგამტარის ზედაპირზე დამაგრებულია ოქროსაგან დამზადებული დენსართმევი ელექტროდები (3). სინათლისადმი მგრძნობიარე ელემენტი დენსართმევი ელექტროდებთან ერთად მონტაჟდება პლასტმასის კორპუსში.

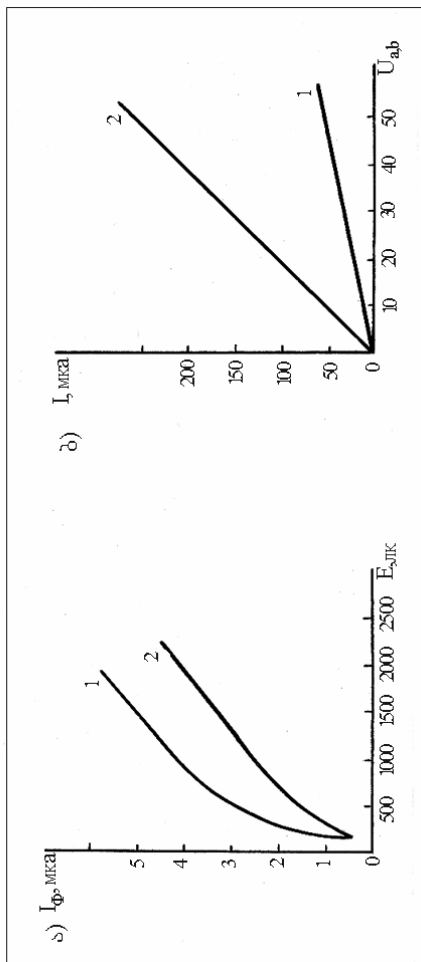
ფოტოწინაღობის ჩართვა სქემაში ხორციელდება გამოშვარილი ელექტროდების საშუალებით. ნახ.2.24 მოყვანილია FC-K1 ტიპის ფოტოწინაღობის მოწყობილობა და საერთო ხელი გაბარიტების აღნიშვნით.



ნახ.2.24. ფოტოწინაღობა: ა) საერთო ხელი; ბ) ჩართვის სქემა

ფოტოწინაღობის მუშაობა მდგომარეობს შემდეგში: ნახევარგამტარზე სინათლის ნაკადის მოქმედება იწვევს ელექტრული წინაღობის მკვეთრად დაცემას და ელექტრო-

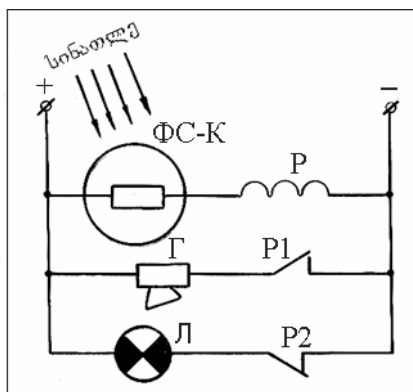
წრედში, რომელშიც ჩართულია ფოტოწინაღობა, დენის ძალის გაზრდას. ფოტოწინაღობის მგრძნობიარობა განისაზღვრება სიბნელესა და სინათლეში აღძრული დენის ძალების სხვაობის შეფარდებით სინათლის ნაკადის სიდიდესთან, რომელიც მოქმედებს ფოტოწინაღობაზე. ფოტოწინაღობის მგრძნობიარობა რამდენჯერმე აღემატება ფოტოელემენტის მგრძნობიარობას გარეგანი ფოტოეფექტი. ფოტოწინაღობის მგრძნობიარობა 5000-6000 მკა/ლიუმენის ფარგლებშია. 2.25 ნახაზზე ნაჩვენებია ფოტოწინაღობის მახასიათებლები.



ნახ.2.25. ფოტოწინაღობის მახასიათებლები: ა) ფოტოწინაღობის სინათლის მახასიათებლები: 1-ΦC-K1; 2-ΦC-K2. ბ) ფოტოწინაღობის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები: 1 - ნულოვანი განათებულობის შემთხვევაში ($E=0$); 2 - როდესაც განათებულობა $E>0$. JK ლუქსი. E - განათებულობა

ფოტოწინაღობები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გაზომვისა და ავტომატიკის სქემებში ელექტრონული მაძლიერებლების გარეშე. ასეთი ტიპის ფოტორელე წარმოადგენს ელექტრულ წრედს, რომელიც შედგება ფოტოელემენტისაგან, რელესა და კვების წყაროსაგან (ნახ.2.26).

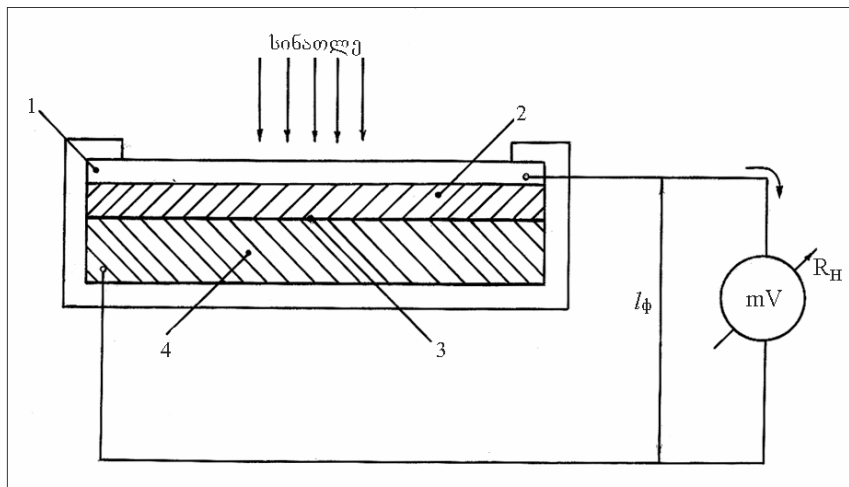
ფოტოწინაღობას ახასიათებს ინერციულობა. წინააღმდეგობის სიდიდე დამოკიდებულია გარემომცველი გარემოს ტემპერატურასა და ტენიანობის მნიშვნელოვან ცვალებადობაზე.



ნახ.2.26. მუდმივ დენზე მომუშავე ფოტორელეს ელექტრული სქემა: $\Phi C-K$ – ფოტოწინაღობა; P – პოლარიზაციული რელეს გრაგნილი; $P1, P2$ – რელეს კონტაქტები; Γ – საყვირი; Л – სასიგნალო ნათურა

ვენტილური ფოტოელემენტი. ვენტილური ფოტოელემენტის მოვლენა აღმოჩენილ იქნა ყაზანის უნივერსიტეტის პროფესორის ე.ი. ულიანინის მიერ 1888 წელს, სელენზე ჩატარებული ცდების შედეგად. ვენტილური ფოტოელემენტის მოვლენის ტექნიკური გამოყენება ფოტოელემენტებში დაიწყო მე-20 საუკუნის 30-იანი წლებიდან. განხილული ფოტოელემენტებისაგან განსხვავებით, ვენტილური ფოტოელემენტის პრინციპზე მომუშავე ფოტოელემენტები არ საჭიროებენ კვების წყაროს. ისინი სინათლის ნაკადის მოქმედებით თვითონ გარდაიქმნებიან დენის წყაროდ. ვენტილური ფოტოელემენტის მოწყობილობა და ჩართვა ნაჩვენებია 2.27 ნახაზზე. იგი შედგება ოქროს ან ვერცხლის თხელი აფსკისაგან (1),

გადასასვლელი შრისაგან (2), სელენის შრისა (3) და ფოლადის ქვესადებისაგან (4).



ნახ.2.27. ვენტილური ფოტოელემენტის სქემატური მოწყობილობა

ფოტოელემენტისაკენ მიმართული სინათლის ნაკადი ოქროს აფსკის გავლით შთაინთქმება ნახევარგამტარში. სინათლის კვანტები ათავისუფლებენ სელენში ელექტრონებს, რომლებიც მუხტავენ ოქროს ელექტროდს უარყოფითად, ხოლო სელენს – დადებითად. ფოტოელემენტის ელექტროდების შერთვისას გარე წინააღობაზე აღიძვრება ელექტროდენი, რომლის სიდიდე განათებულობის პროპორციულია.

სელენის ვენტილური ფოტოელემენტები მაღალმგრძნობიარე გარდამსახეობა. მათი მგრძნობიარობა აღწევს 500 მიკროამპერ/ლუმენს. ერთი ფოტოელემენტის **ე.მ.ძ.** 1ვ არ აღემატება.

გარდამსახის ნაკლს წარმოადგენს ინერციულობა. გარდა ამისა, დატვირთვის გარე წინააღობის გაზრდა იწვევს მისი მგრძნობიარობის შემცირებას.

კაუბადის ფოტოელემენტებისაგან შედგენილ ბატარეებს მეტად დიდი გამოყენება აქვთ დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების რადიოაპარატურაში.

§9. წნევის, ხარჯისა და ღონის გარდამსახეობი

წნევის გარდამსახი. ზედაპირის ერთეულზე მართობულად მოქმედი ძალის (F) სიდიდეს ეწოდება წნევა; იგულისხმება, რომ ძალა განაწილებულია თანაბრად სხეულის ზედაპირის მთელ ფართობზე (S). წნევის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$P = \frac{F}{S}. \quad (2.32)$$

წნევის გარდამსახეობი ძირითადად წნევას გარდაქმნიან მექანიკურ გადაადგილებად. მექანიკური სისტემების გარდა წნევის გასაზომად გამოიყენება, აგრეთვე, ელექტრული და თბური სისტემები.

მექანიკური ამთვისებელ ორგანოებიანი წნევის გარდამსახეობს მიეკუთვნება: **1)** სითხის წნევის გარდამსახეობი (U-ებრი სისტემის); **2)** დგუშიანი სისტემები; **3)** ზამბარიანი სისტემები: **ა)** მემბრანიანი (ბრტყელი, ღვარჭნილი, რბილი), **ბ)** სილფონები, **გ)** მანომეტრული მილოვანი ზამბარები.

ტექნიკაში განსაკუთრებით ფართოდ არის გამოყენებული წნევის ზამბარიანი გარდამსახეობი. გარდამსახი მგრძნობიარე ელემენტი წარმოადგენს ზამბარა. გარდამსახი მოქმედებს ზამბარის დრეკადი დეფორმაციის წარმოქმნის საფუძველზე, რომელსაც იწვევს წნევის ცვალებადობა ზამბარის შიგნით ან გარეთ. ელემენტის ფორმის შეცვლა გადაეცემა ხელსაწყოს მოძრავ ნაწილს, რომლის მაჩვენებელი ისარი გადაადგილდება სკალაზე. წნევის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ მგრძნობიარე ელემენტი დებულობს საწყის ფორმას.

ტექნიკურ მანომეტრებში და ვაკუუმეტრებში, ჩვეულებრივ, გამოყენებულია დრეკადი ზამბარები: **ერთხვეულიანი, მრავალხვეულიანი, ბრტყელი მემბრანები და სილფონები.**

2.28 ნახაზზე წარმოდგენილია წნევის ზამბარიანი გარდამსახეობის სახეები.

ერთხვეულიანი მილოვანი ზამბარა (2) (ნახ.2.28ა) მოხრილია 270° -მდე. ზამბარა ჭრილში წარმოადგენს ელიფსს. ზამბარის თავისუფალი ბოლო დარჩილულია. მეორე ბოლო ზამბარისა (I) უძრავია. მას უერთდება გასაზომი წნევა (P).

წნევა იწვევს ზამბარის დეფორმაციას და მისი თავისუფალი ბოლოს გადაადგილებას, რომელთანაც დაკავშირებულია ისარი (3). გადაადგილების სიდიდე პროპორციულია ზამბარაში განვითარებული წნევისა. გადაადგილების სიდიდე, ჩვეულებრივ, აღწევს 5-7 მმ. ზამბარა მზადდება თითბრის ან ფოლადისაგან (დიდი წნევის გასაზომად).

გარდამსახები ერთხვეულიანი მიღოვანი ზამბარის სახით გამოიყენება მაჩვენებელ ხელსაწყოებში.

მრავალხვეულიანმიღოვანი ზამბარა (ნახ.2.28,ბ) შეიცავს 6-9 ხვეულს (2) დიამეტრით 30 მმ-მდე. ზამბარის თავისუფალ ბოლოს (3) გადაადგილება აღწევს 15 მმ-მდე. გარდამსახები მრავალხვეულიანი მიღოვანი ზამბარის სახით გამოიყენება თვითჩამწერ ხელსაწყოებში.

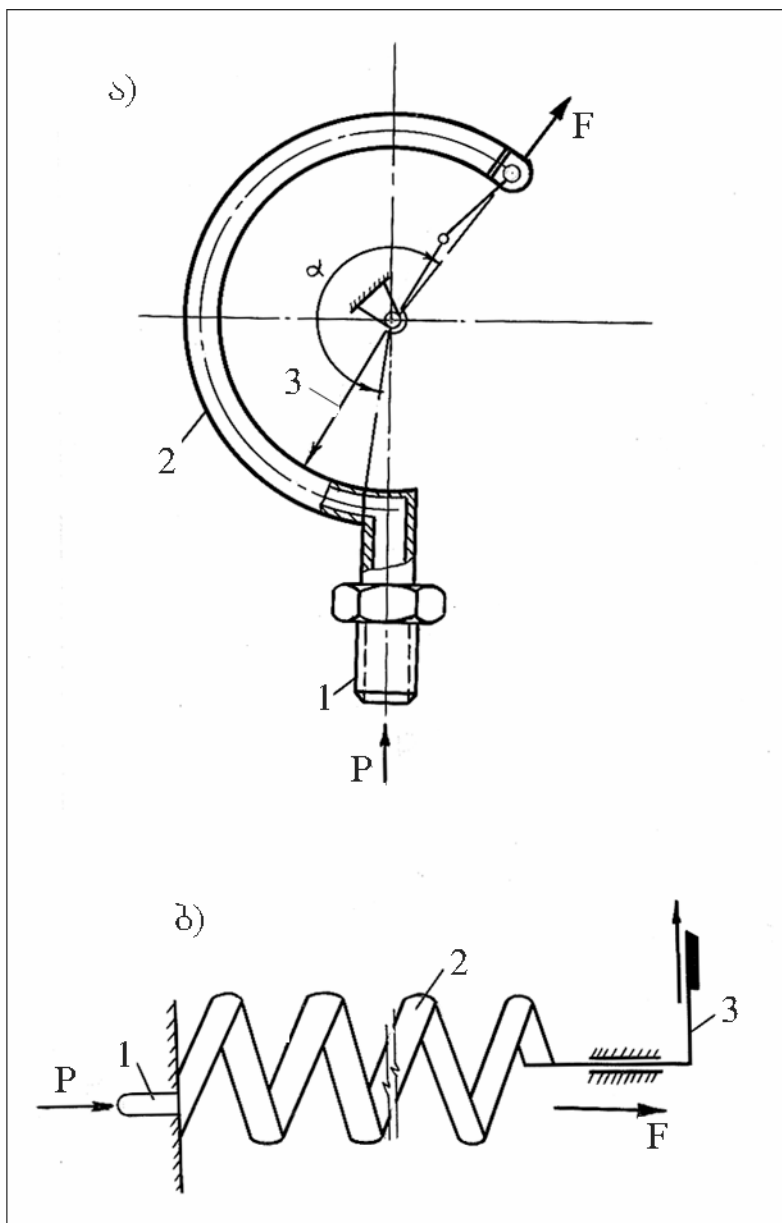
ბრტყელი ღვარჭნილი მემბრანა (ნახ.2.28,გ) გამოიყენება დამოუკიდებლად ერთი ფირფიტას სახით (2) ან ორი ღვარჭნილი მემბრანის სახით, რომლებიც მოთავსებული არიან ყუთში (1). მემბრანთან დაკავშირებულია ისარი (3).

ზემოაღნიშულში გამოიყენება, აგრეთვე, რბილი მემბრანა, რომელიც დამზადებულია რეზინქდენთილი ქსოვილისაგან და მიერთებულია ბრტყელ დაკალიბრებულ ზამბარასთან.

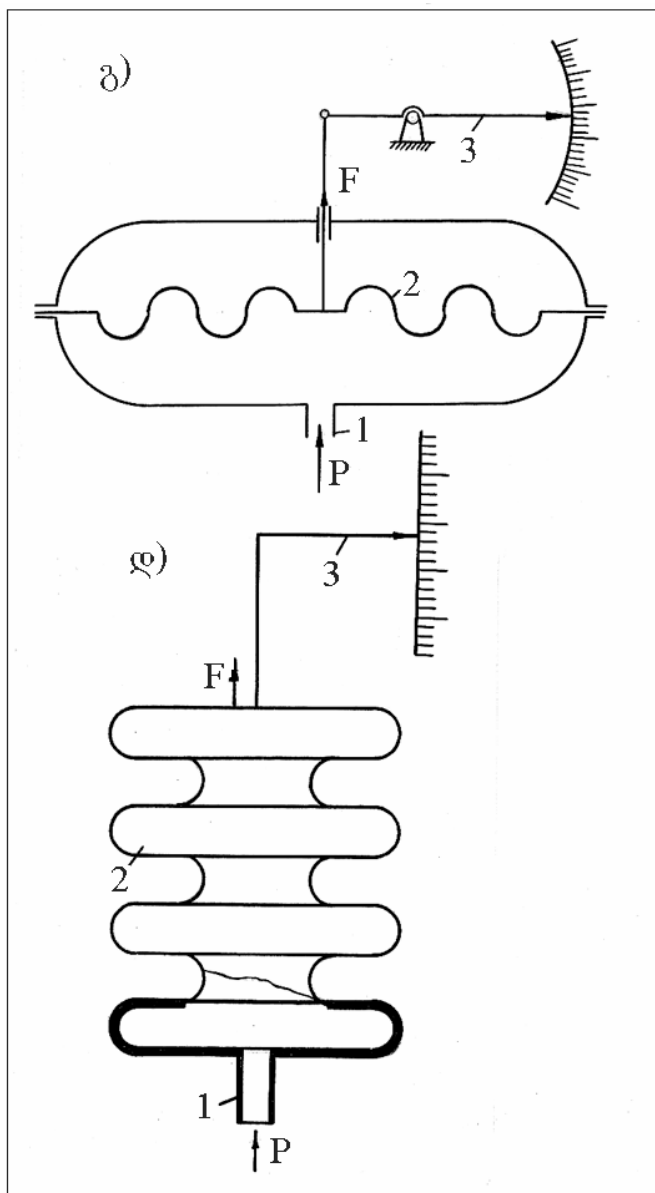
სილფონი (ნახ.2.28,დ) წარმოადგენს ცილინდრულ ყუთს, ღვარჭნილი კედლებით, გასაზომი წნევა მიეწოდება სილფონის შიგნით ან გარედან.

სილფონიანი ხელსაწყოები უფრო მგრძნობიარეა, ვიდრე ბრტყელ ღვარჭნილ მემბრანიანი. სილფონები გათვალისწინებულია ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების გასაზომად და ჩასაწერად. გარდა ამისა, ისინი გამოიყენებიან, როგორც, მეორადი ხელსაწყოები.

წნევის ზამბარიანი გარდამსახები ავტომატიზაციის სქემებში მექანიკურ გადაადგილებას გარდაქმნიან ელექტრულ სიგნალად ინდუქციური, ომური ან კონტაქტური გარდამსახების დახმარებით.

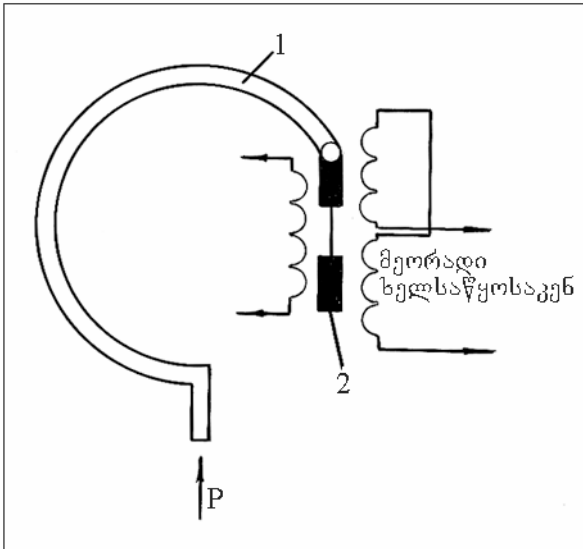


ნახ.2.28. წნევის ზამბარიანი გარდამსახები: ა) ერთხვეულიანი მილოვანი ზამბარა; ბ) მრავალხვეულიან მილოვანი ზამბარა



ნახ.2.28. წნევის ზამბარიანი გარდამსახები: გ) ბრტყელი ღვარჯნილი მემბრანა; დ) სილფონი

2.29 ნახაზზე ნაჩვენებია MЭД ტიპის წნევის გარდამსახის სქემა. წნევა ზამბარის (I) მიერ გარდაიქმნება მანომეტრული მილაკის ბოლოს გადაადგილებად, რომელიც გადაეცემა ტრანსფორმატორული გადამცემის ყვინთას (2).



ნახ.2.29. წნევის გარდამსახის პრინციპული სქემა

2.30 ნახაზზე მოცემულია მანომეტრის ჩვენების შორ მანძილზე გადაცემის ელექტრული სქემა. სქემაზე 1 და 2-ით აღნიშნულია ინდუქციური კოჭები, წნევის შეცვლის შემთხვევაში მრავალხვეულიანი მილოვანი ზამბარა გადაადგილებს სკალა 4-ის მაჩვენებელ ისარსა და (I) ინდუქციურ კოჭას გულარს. ეს უკანასკნელი გამოიწვევს მეორადი ხელსაწყოთა ინდუქციურ კოჭას (2) გულარისა და წნევის მაჩვენებელი ისრის (3) შესაბამის გადაადგილებას.

ხარჯის გარდამსახები განკუთვნილია ნივთიერების ხარჯის გასაზომად. ნივთიერების ხარჯი ეწოდება დროის ერთეულში მილსადენში გამავალი ნივთიერების რაოდენობას. ნივთიერების რაოდენობა წარმოადგენს ნივთიერების ჯამურ მოცულობას ან წონას, რომელიც გაედინება მილსადენში დროის ნებისმიერ შუალედში. ნივთიერების რაოდენობისა და ხარჯის გაზომვა აუცილებელია ცალკეული ოპ-

ნახ. 2.30. წნევის გაზომვის ელექტრული გადაცემის სქემა

ნახ.2.30. წნევის გაზომვის ელექტრული გადაცემის სქემა

გაზის (აირის), ჰაერისა და წყლის გაზომვა წარმოებს მოცულობით ერთეულებში – მ³/საათ, მ³/წუთ, ლ/წუთ, ლ/წმ, ორთქლის ხარჯი განისაზღვრება წონით ერთეულებში – კგდ/საათ, ტძალა/საათ. არსებობს ხარჯის მექანიკური, თერმული, ინდუქციური, აკუსტიკური და იონიზაციური გარდამსახები.

ხარჯის მექანიკური გარდამსახები იყოფა ცვლადი და მუდმივი ვარდნის გარდამსახებად; აგრეთვე, გარდამსახად ჩამოსაშვები ნახერგით.

ცვლადი ვარდნის გარდამსახი მოქმედებს მილსადენის კვეთის შემავიწროებელ მოწყობილობაში წნევის ვარდნის წარმოქმნის პრინციპზე. წნევის ვარდნა აქ წარმოადგენს ნივთიერების ხარჯის ფუნქციას, შემავიწროებელი მოწყობილობა კი – გარდამსახის ამთვისებელ ორგანოს.

ხარჯის გარდამსახებში მუდმივი ვარდნით, შემავიწროებელი ორგანოები გამოყენებულია კვეთის რეგულირებისათვის, წნევის მუდმივი ვარდნის სიდიდის შენარჩუნების მიზნით.

2.31 ნახაზზე ნაჩვენებია როტამეტრის სქემა ინდუქციური გარდამსახით. როტამეტრი (მუდმივი ვარდნის ხარჯის გარდამსახი) შედგება კონუსური მილაკისაგან (1) და ტივტივასაგან (2). მისი მიერთება ხდება მილსადენის ვერტიკალურ უბნებში. ტივტივას მდებარეობა კონუსურ მილაკში განსაზღვრავს ხარჯის სიდიდეს. ინდუქციური გარდამსახის გრაგნილი განლაგებულია მილაკზე ზევიდან. რკინის ტივტივა წარმოადგენს ინდუქციური გარდამსახის კოჭას (3) გულარს. ამრიგად, ხარჯი გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალად.

აკუსტიკური ანუ სიმიანი გარდამსახის მუშაობის პრინციპი ემყარება სიმის რხევის სიხშირის დამოკიდებულებას მისი დაჭიმულობის ძალაზე, ე.ი.

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\delta}{\rho}}, \quad (2.33)$$

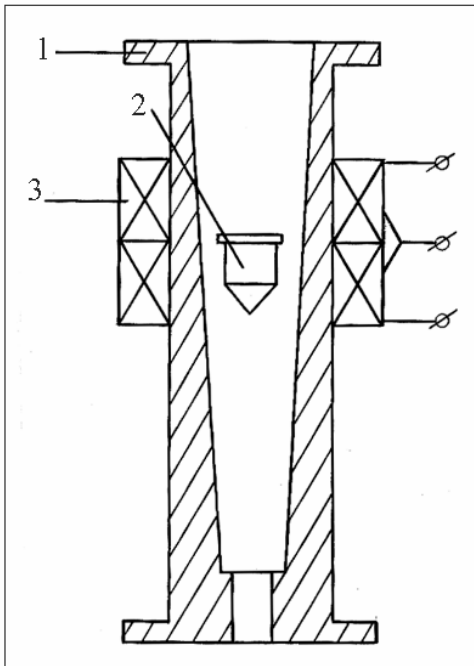
სადაც

f არის სიმის რხევის სიხშირე;

L – სიმის სიგრძე;

δ – სიმის მასალის ძაბვა, გამოწვეული სიმის დაჭიმვისაგან;

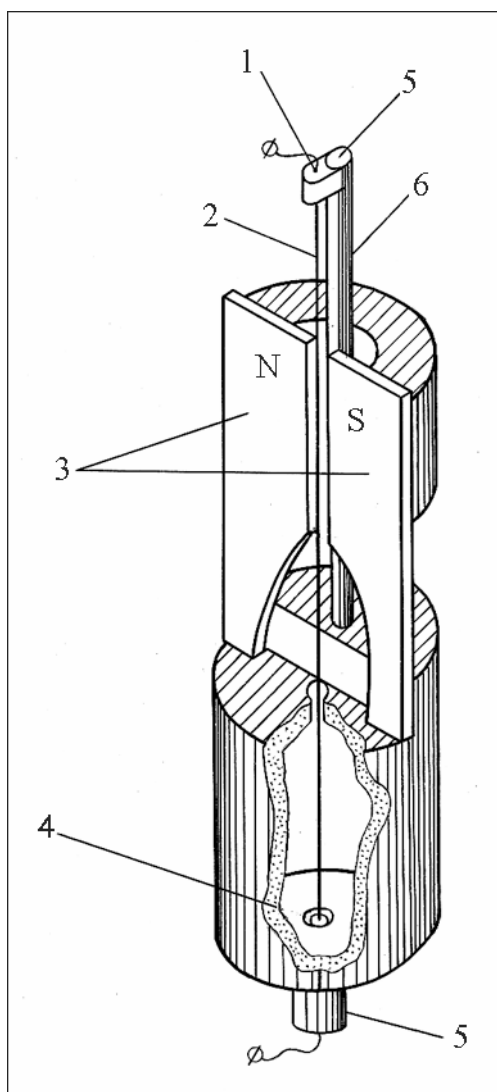
ρ – სიმის მასალის სიმკვრივე.



ნახ.2.31. როტამეტრის სქემა

აკუსტიკურ გარდამსახში (ვიბროტრონი) გასაზომი დეფორმაცია იწვევს სიმის დაჭიმულობის ცვლილებას, რაც იწვევს სიმის რხევის საკუთარი სიხშირის შეცვლას. ამრიგად, პირველადი გარდაქმნის დროს გასაზომი სიდიდე გარდაიქმნება სიმის საკუთარი სიხშირის ცვლილებად, ხოლო მეორადი გარდაქმნის დროს სიმის საკუთარი სიხშირის შეცვლა გარდაიქმნება ცვლადი სიხშირის ელექტრულ სიგნალად.

ვიბროტრონის გამარტივებული სქემა მოცემულია 2.32 ნახაზზე. ვიბროტრონი შედგება ფუძისაგან (4) და საყრდენისაგან (6), ზედაპირებით (5), რომლებიც განიცდის დატვირთვის მოქმედებას. საყრდენის ბოლოებს შორის დაჭიმულია წვრილი სიმი (2), ელექტრული გამოყვანებით (1). სიმი დაჭიმულია მუდმივი მაგნიტის (4) პოლუსებს შორის.



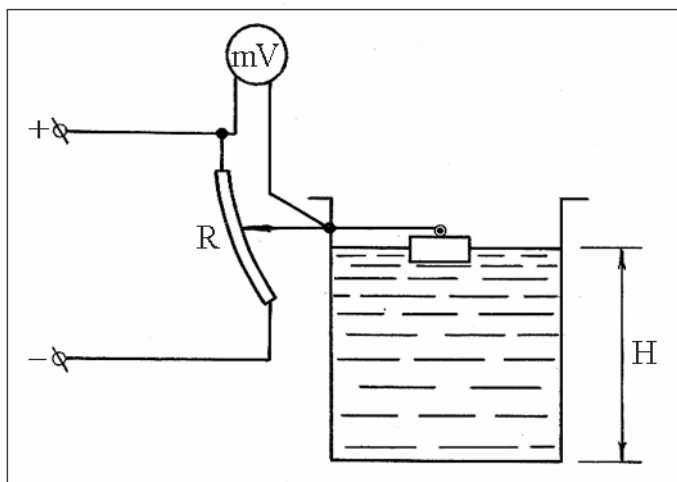
ნახ.2.32. ვიბროტრონის სქემა

სიმიანი გარდამსახეები ძაღზე მოსახერხებელია დის-
ტანციური გადაცემების დროს, რადგან სიმიანი გარ-
დამსახის გაზომვის სიზუსტე არ არის დამოკიდებული კე-
ბის წყაროს ძაბვისა და გამოძავალი სიგნალის ამპლიტუდის
ცვალებადობაზე.

დონის გარდამსახები. ძალზე გავრცელებულია ტივტივა დონის გარდამსახები. გარდამსახი შედგება ტივტივასაგან, მექანიკური კავშირისა და რეოსტატისაგან (R).

დონის გარდამსახები შეიძლება აიგოს სითხის ჰიდროსტატური წნევის, წონის, გაზომვის, აგრეთვე, სითხის ელექტრული თვისებების (წინააღობის, ტევადობის, ინდუქციურობის (ცვალებადობის) გამოყენების საფუძველზე.

2.33 ნახაზზე ნაჩვენებია ტივტივა დონის გარდამსახის სქემა. მილივოლტმეტრის ჩვენებით განისაზღვრება სითხის დონე (H) ჭურჭელში.



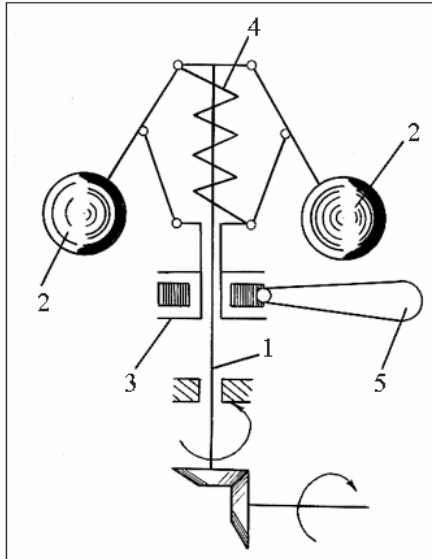
ნახ.2.33. ტივტივა დონის გარდამსახის სქემა

დონმზომების შესახებ დაწვრილებით იხილე მეთერთ-მეტე თავში.

§10. სიჩქარის, აჩქარებისა და ვიბრაციის გარდამსახები

სიჩქარის გარდამსახს მიეკუთვნება სიჩქარის ცენტრიდანული გარდამსახი, რომელიც ლილვის ბრუნვის სიჩქარეს გარდაქმნის ქუროს მექანიკურ გადაადგილებად. სიჩქარის ცენტრიდანული გარდამსახის მოწყობილობა ნაჩვენებია 2.34 ნახაზზე. გარდამსახის შემავალი ლილვაკი (1) მოდებაში

იმყოფება ძრავის როტორთან, რომლის ბრუნვის სიჩქარეც იზომება. ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით ტვირთები (2) და მათთან ერთად ქუროც 3 გადაადგილდება ლილვაკის (1) გასწვრივ. ცენტრიდანული ძალის გაწონასწორება ხდება ზამბარით (4). ამიტომ ბრუნვის გარკვეულ სიჩქარეს შეესაბამება ქუროს გარკვეული მდებარეობა. ქურო შეიძლება გადაადგილდეს აგრეთვე მომართვის ორგანოს (5) საშუალებითაც, რომელიც ცვლის ზამბარის (4) დაჭიმულობას.



ნახ.2.34. სიჩქარის ცენტრიდანული გარდამსახი

სიჩქარის ინდუქციურ გარდამსახებში გამოიყენება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა. კონსტრუქციულად ისინი წარმოადგენენ მცირე ელექტრომაგნიტურ გენერატორებს, ამიტომ მათ უწოდებენ ჩვეულებრივ ტაქოგენერატორებს.

ტაქოგენერატორის დანიშნულებაა მექანიკური ბრუნვის გარდაქმნა ელექტრულ სიგნალად. ტაქოგენერატორში ბრუნვის სიჩქარე პროპორციულია მის გრაგნილში აღძრული ინდუქციური ე.მ.ძ-ისა. მაშასადამე, ტაქოგენერატორი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბრუნვის სიჩქარის გასაზომად ან ავტომატური რეგულირებისათვის.

ცვლადი დენის უმარტივეს ტაქოგენერატორს წარმოადგენს სინქრონული ტაქოგენერატორი. სინქრონულ ტაქოგენერატორში ბრუნვის სიჩქარესა და ძაბვას შორის არახაზოვანი დამოკიდებულებაა, რის გამოც ავტომატურ სქემებში მისი გამოყენება არ ხდება. ავტომატიკის სქემებში გამოყენებას პოულობს ასინქრონული ტაქოგენერატორი ღრუ როტორით. ამ მანქანაში გამომავალი ძაბვის სიხშირე არ არის დამოკიდებული როტორის ბრუნვის სიჩქარეზე. ასინქრონული ტაქოგენერატორი წარმოადგენს უკოლექტორო ელექტრომანქანას, მოძრავი მუდმივი მაგნიტითა და უძრავი სტატორის გრაგნილით. სტატორის გრაგნილი თანაბრად არის განაწილებული სტატორის შიდა ზედაპირის კილოებში. ტაქოგენერატორები გვხვდება სტატორის ერთფაზა და სამფაზა გრაგნილებით.

ე.მ.ძ.-ის სიდიდე ერთფაზა ასინქრონული ტაქოგენერატორის მომჭერებზე პროპორციულია კუთხური სიჩქარისა და ტოლია

$$E = K \cdot B \cdot \omega \cdot \sin \omega t. \quad (2.34)$$

სადაც

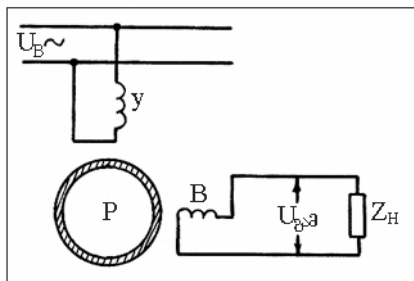
K არის მუდმივი კოეფიციენტი და დამოკიდებულია ტაქოგენერატორის კონსტრუქციასა და მის გრაგნილებზე;

B – მაგნიტური ინდუქცია ღრეჩოში სტატორსა და ღუზას შორის;

ω – ღუზის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე;

t – დრო.

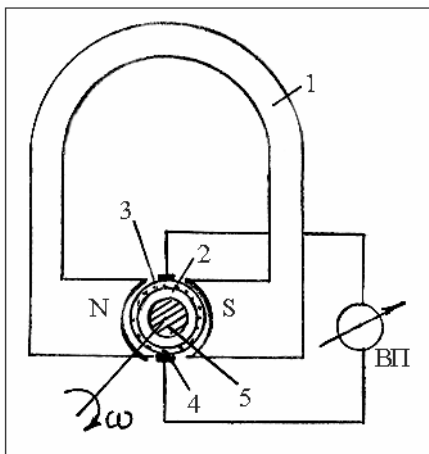
2.35 ნახაზზე ნაჩვენებია ასინქრონული ტიპის ტაქოგენერატორის სქემა. ტაქოგენერატორის აგზნების გრაგნილი იკვებება ცვლადი დენის წრედიდან, ხოლო გამომავალ გრაგნილში წარმოქმნილი ცვლადი დენის **ე.მ.ძ.**-ის სიხშირე და ამპლიტუდა პროპორციულია სიჩქარის სიდიდისა. ბრუნვის მიმართულების შეცვლის შემთხვევაში გამომავალი ძაბვის ფაზა იცვლება საპირისპიროდ.



ნახ.2.35. ასინქრონული ტაქოგენერატორის ჩართვის სქემა

ცვლადი დენის ტაქოგენერატორებთან ერთად გამოიყენება მუდმივი დენის ტაქოგენერატორებიც, რომლებიც წარმოადგენენ მუდმივი დენის მცირე გენერატორებს დამოუკიდებელი აგზნებით ან აგზნებით მუდმივი მაგნიტების საშუალებით. ნახ.2.36.

როტორი (ღუზა) შესრულებულია თხელკედლიანი ჭიქის (2) სახით საიზოლაციო მასალისაგან, რომელზედაც განლაგებულია გრაგნილის (3) სექციები, რომლის დასაწყისი და ბოლოები გამოყვანილია კოლექტორზე მუსებით (4). მაგნიტური ველის გასაძლიერებლად როტორის შიგნით დაყენებულია უძრავი ფერომაგნიტური გულარი (5).



ნახ.2.36. სიჩქარის ინდუქციური გარდამსახი (ტაქოგენერატორი)

ე.მ.ბ. მოხსნილი კოლექტორის მუხებიდან, პროპორციულია როტორის ბრუნვის სიჩქარისა.

ე.მ.ბ., განვითარებული, ტაქოგენერატორის მომჭერებზე განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$E = K \cdot B \cdot \omega. \quad (2.35)$$

წუთში ბრუნვათა რიცხვსა (n) და კუთხურ სიჩქარეს შორის (ω) არსებობს დამოკიდებულება

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (2.36)$$

კუთხური სიჩქარე წარმოადგენს კუთხური გადაადგილების (α) პირველ წარმოებულს

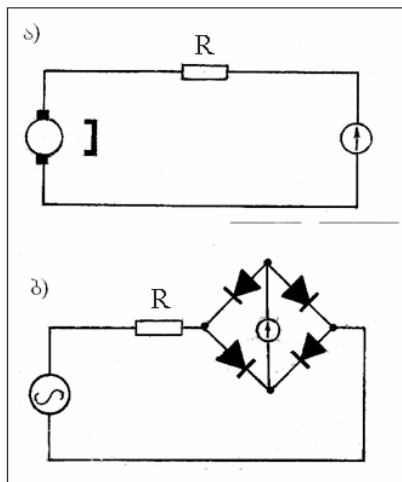
$$\omega = \frac{d\alpha}{dt}. \quad (2.37)$$

მაშასადამე,

$$E = K \cdot B = \frac{\pi \cdot n}{30} = K \cdot B \cdot \frac{d\alpha}{dt}. \quad (2.38)$$

უკანასკნელ წლებში შეიქმნა უკოლექტორო მუდმივი დენის ტაქოგენერატორები ნახევარგამტარიან ტრიოდებზე.

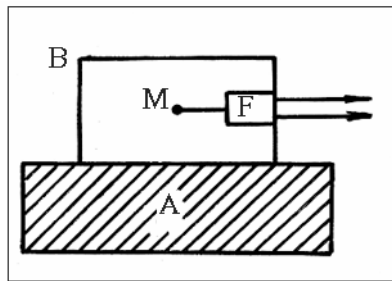
2.37 ნახაზზე ნაჩვენებია ტაქოგენერატორებთან მარეგისტრირებელი ხელსაწყოების ჩართვის სქემა.



ნახ.2.37. მუდმივი (ა) და ცვლადი (ბ) დენის ტაქოგენერატორების ჩართვის სქემები

აჩქარების გარდამსახი (აქსელერომეტრი) წარმოადგენს ყუთს (B), რომელიც მტკიცედ არის შეერთებული მოძრავ დეტალთან (A). ყუთში მოთავსებული სხეულის მასის (M) ინერციის ძალა მოქმედებს ძალის გარდამსახზე (F), როდესაც მოძრავი დეტალი (A) განიცდის აჩქარებას, ე.ი. $\frac{d^2x}{dt^2}$.

(ნახ.2.38). ჩვეულებრივ, აჩქარების განსაზღვრის მიზნით ხდება სამი აქსელერომეტრის დაყენება. ორი საზღვრავს აჩქარებას ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ერთი – ვერტიკალურში. ანიშნული სახის მოწყობილობები გამოყენებულია მართულ რაკეტებში, თვითმფრინავებში, აგრეთვე, მანქანის ნაწილების ვიბრაციული აჩქარების განსასაზღვრავად.

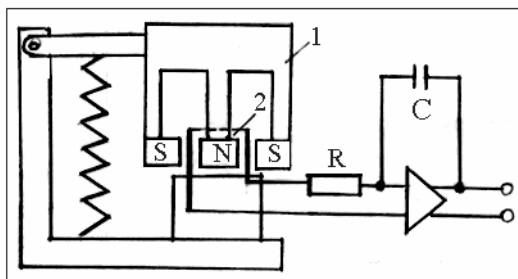


ნახ.2.38. აქსელერომეტრის გამარტივებული სქემა

აჩქარების გარდამსახს წარმოადგენს, აგრეთვე, მუდმივი დენის ტაქოგენერატორი, რომლის ღუზის წრედში მიმდევრობით არის ჩართული ტრანსფორმატორის პირველადი ხვია ან კონდენსატორი. ტრანსფორმატორის ჩართვისას სიჩქარის ცვლილების დროს, პირველად ტრანსფორმატორის ხვიაში შეიცვლება დენის ძალა, რის შედეგადაც ტრანსფორმატორის პირველად ხვიაში შეიცვლება დენის ძალა, რის შედეგადაც ტრანსფორმატორის მეორად ხვიაში წარმოქმნება აჩქარების პროპორციული ძაბვა. კონდენსატორის ჩართვის შემთხვევაში ღუზის წრედში დენი აღიძვრება მხოლოდ სიჩქარის ცვალებადობის დროს, რომლის სიდიდეც აჩქარების პროპორციული იქნება.

მანქანების მუშაობის არასტაციონარული პროცესების გამოკვლევების დროს გამოიყენება ვიბრაციის, სიჩქარისა და ამპლიტუდის გარდამსახები. გარდამსახის მოქმედება ეფუძ-

ნება კორპუსზე ზამბარებით ჩამოკიდებული ინერციული მასის თვისებას, დარჩეს უძრავი ვიბრაციების დროს სიხშირისას, რომელიც აღემატება მასის საკუთარი რხევის სიხშირეს. გარდამსახის კონსტრუქციული სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 2.39. აქ ინერციულ მასას წარმოადგენს მაგნიტური სისტემა (1). გამზომი გრაგნილი (2) ხისტად არის შეკრული გარდამსახის კორპუსთან. კორპუსის ვიბრაციის დროს გამზომ გრაგნილში აღიძვრება ე.მ.დ. რომელიც პროპორციულია მერხევი ობიექტის ვიბრაციის სიჩქარის სიდიდისა. გამოსასვლელი ძაბვის მისაღებად, რომელიც პროპორციულია გადაადგილებისა, გამზომ სქემაში გათვალისწინებულია მაინტეგრირებელი რგოლი (ავტომატური რეგულირების სისტემის რგოლების შესახებ დაწვრილებით იხილე მე-9 თავში). გარდამსახი შედგება ორი ერთი ტიპის ელემენტისაგან, რომელიც აღიქვამს რხევებს ორ ურთიერთ პერპენდიკულარულ მიმართულებაში. ინერციული მასის საკუთარი რხევების დემფირები სრულდება საჭიერო დემფერით.



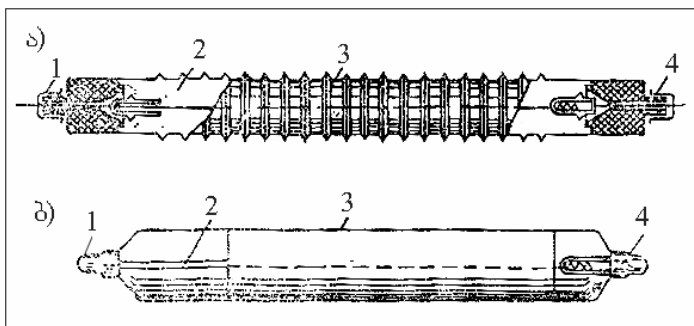
ნახ.2.39. ვიბრაციის სიჩქარისა და ამპლიტუდის გარდამსახი

§11. რადიაქტიური ბარდამსახები

ატომური ენერგიის მშვიდობიანი მიზნებისათვის გამოყენების სამუშაოებთან ერთად ავტომატურ მოწყობილობებში დაიწყო გამოყენება ნივთიერებისა, რომელთაც გააჩნიათ რადიაქტიური გამოსხივების თვისება. ასეთ ნივთიერებებს მიეკუთვნება მენდელეევის ცხრილის სხვადასხვა ელემენტების (მაგალითად, კობალტის, ცერიუმის და სხვ.) რადიაქტი-

ური იზოტოპები. რადიაქტიური იზოტოპი წარმოადგენს ნივთიერებას, რომელიც იქმნება ხელოვნურად, ნორმალური ატომების დაბომბვით ნეიტრონების კოლოსალური ნაკადით, რომლებიც მიიღებიან ბირთვულ რეაქტორებში. როგორც ცნობილია, რადიაქტიური იზოტოპების თავისებურებას წარმოადგენს მათი დაშლა, რომლის დროსაც ადგილი აქვს ალფა (ძალიან მძიმე დადებითად დამუხტული ნაწილაკები), ბეტა (ძალიან მსუბუქი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკები) და გამა სხივების გამოსხივებას. ალფა და ბეტა სხივები შთაინთქმება მაგარი ნივთიერებების მიერ. ასე, მაგალითად, ალფა სხივები მაგარ ნივთიერებაში გაივლიან რამდენიმე ათეულ მიკრონს (ჰაერში რამდენიმე მილიმეტრს), ხოლო ბეტა სხივები – რამდენიმე მილიმეტრს. გამა სხივებს გააჩნიათ გაცილებით დიდი შეღწევადობა, რის გამოც ისინი მეტად გამოიყენებიან რადიაქტიურ გარდამსახებში, ვიდრე ალფა და ბეტა სხივები. რადიაქტიური უკონტაქტო გარდამსახი შედგება რადიაქტიური გამოსხივების წყაროსა (რადიაქტიური იზოტოპი) და მიმღებისაგან (ინდიკატორი). ინდიკატორებად გამოყენებულია იონიზაციური კამერები და იონიზაციური მრიცხველები (გეიგერ-მიულერის მრიცხველები), რომლებშიც გამოყენებულია აირის იონიზაციის მოვლენა, ე.ი. ნეიტრალური მოლეკულების გახლეჩა ელექტრონად და დადებით იონად.

გაიგერ-მიულერის მრიცხველი (ნახ.2.40) წარმოადგენს ლითონის ცილინდრს, რომელშიც მისგან იზოლირებულად დაჭიმულია გამტარი ძაფი. ცილინდრის კედელთან მიყვანილია უარყოფითი პოტენციალი, ხოლო ძაფთან – დადებითი პოტენციალი ბატარეიდან. მრიცხველი ავსებულია აირით, არგონით (Ar) ან ნეონით (Ne) დაბალი წნევის დროს. თუ შემავესებლად ადებულია ჰალოგენი (ქლორი, ბრომის ორთქლი), მაშინ ასეთ მრიცხველებს უწოდებენ ჰალოგენურს. მრიცხველებზე სპილენძის და ვოლფრამის კათოდებით მიეწოდება ძაბვა 500-1000ვ; ჰალოგენურზე – 300-400ვ. რადიაქტიური სხივების მოქმედების შედეგად მრიცხველში (კამერაში) ადგილი აქვს იონების შექმნას (აირის იონიზაცია) და დენის (ელექტრული დენის იმპულსის) წარმოშობას, რომელიც დამოკიდებულია მიმღებში შეღწეული გამოსხივების სიმძლავრეზე.



ნახ.2.40. აირგანმუშებელი მრიცხველი (გეიგერ-მიულერის მრიცხველი): ა) ლითონის კათოდით(CTC-6); ბ) მინისა სპილენძის კათოდით (CMC-4); 1 – ანოდის ცოკოლი; 2 – კათოდის ძაფი; 3 – კათოდი; 4 – კათოდის ცოკოლი

გამა-გამოსხივება მისი ენერგიისაგან დამოკიდებულებით იყოფა სამ ჯგუფად: ხისტი – რომლის ენერგიაც აღემატება 1M_{EB} (მეგაელექტრონვოლტი – ენერგიის ერთეული, რომელსაც იძენს ელექტრონი ელექტრულ ველში პოტენციალთა სხვაობით 1 მილიონი ვოლტი გადაადგილების დროს; საშუალო – ენერგიით $0,3-0,7\text{M}_{\text{EB}}$; რბილი – ენერგიით $0,3\text{M}_{\text{EB}}$ -ზე ნაკლები).

ხისტი გამა-გამოსხივების წყაროდ გამოიყენება კობალტი – $60\text{ (Co}^{60}\text{)}$, ენერგიით $1,25\text{M}_{\text{EB}}$ ნახევარდაშლის დროით $5,27$ წელი (ნახევარდაშლის დრო ეწოდება დროის შუალედს, რომლის განმავლობაშიც იშლება ატომების თავდაპირველად მქონე რაოდენობის ნახევარი); საშუალო გამა-გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს ცეზიუმი – $137\text{ (Cs}^{137}\text{)}$ ენერგიით $0,36\text{M}_{\text{EB}}$ და ნახევარდაშლის დროით 30 წელი; რბილი გამა-გამოსხივების წყაროს – ევროპიუმი – $155\text{ (Eu}^{155}\text{)}$ ენერგიით $0,087\text{M}_{\text{EB}}$ და ნახევარდაშლის დროით $1,7$ წელი და თულიუმი – $170\text{ (Tm}^{170}\text{)}$ ენერგიით $0,084\text{M}_{\text{EB}}$ და ნახევარდაშლის დროით 129 დღე და სხვ.

რაც უფრო დიდია ნახევარდაშლის პერიოდი, მით უფრო მოსახერხებელია გამოსხივების წყარო ექსპლუატაციაში და მით უფრო ზუსტია გაზომვის შედეგები.

გამა-გამოსხივების წყაროები თავსდება ლითონის ამპულაებში დიამეტრით $4,5$ -დან 26 მმ-მდე და სიმაღლით 5 -დან 27 მმ-მდე (Co^{60}) ან დიამეტრით 7 -დან 40 მმ-მდე და სიმაღლით 14 -დან 55 მმ-მდე (Cs^{137}).

დროთა განმავლობაში გამოსხივების შემცირებასთან დაკავშირებით ატომების ნაწილის დაშლის გამო, აუცილებელია შესწორების შეტანა წყაროს აქტიურობის ცვლილებაზე დროის შუალედის შემდეგ, რომელიც ნახევარდაშლის პერიოდის $1/10$ -ის ტოლია. ასე, მაგალითად, Co^{60} -თვის ნახევარდაშლის პერიოდით 5,27 წელი, შესწორება უნდა იქნეს შეტანილი ყოველი 0,5 წლის შემდეგ.

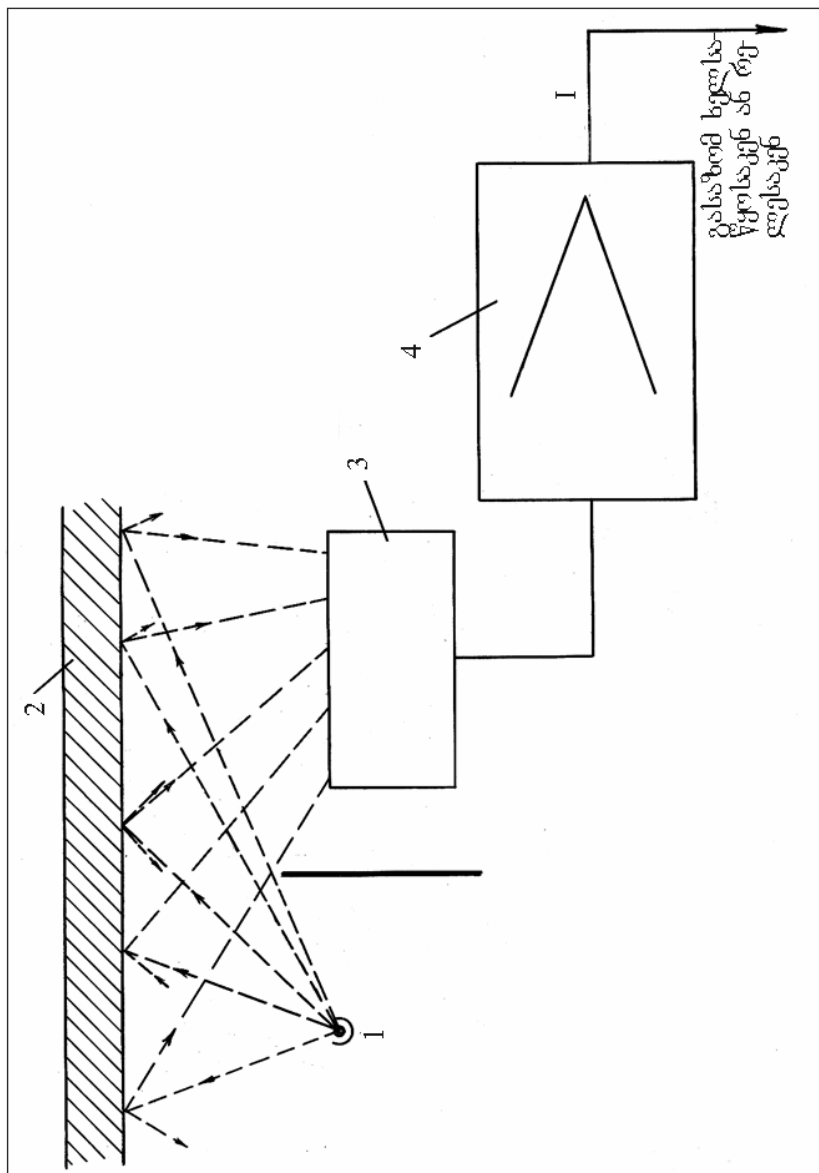
ამიტომ, რადიაქტიური იზოტოპების გამოყენების დროს რადიაქტიური გამოსხივების წყაროებად აუცილებელია ისეთების შერჩევა, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი 1,5-2-ჯერ აღემატება ხელსაწყოს გამოყენების ვადას.

რადიაქტიური გარდამსახის ღირსებას შეადგენს: სიმართივე, ავტომატიკის სისტემებში გამოყენების მოხერხებულობა, სიზუსტის მაღალი ხარისხი, საკონტროლო გარემოსთან არა უშუალო კონტაქტი, უწყვეტი კონტროლის განხორციელება საკონტროლო ნაკეთობის მთლიანობის დაურღვევლად და მცირე ინერციულობა.

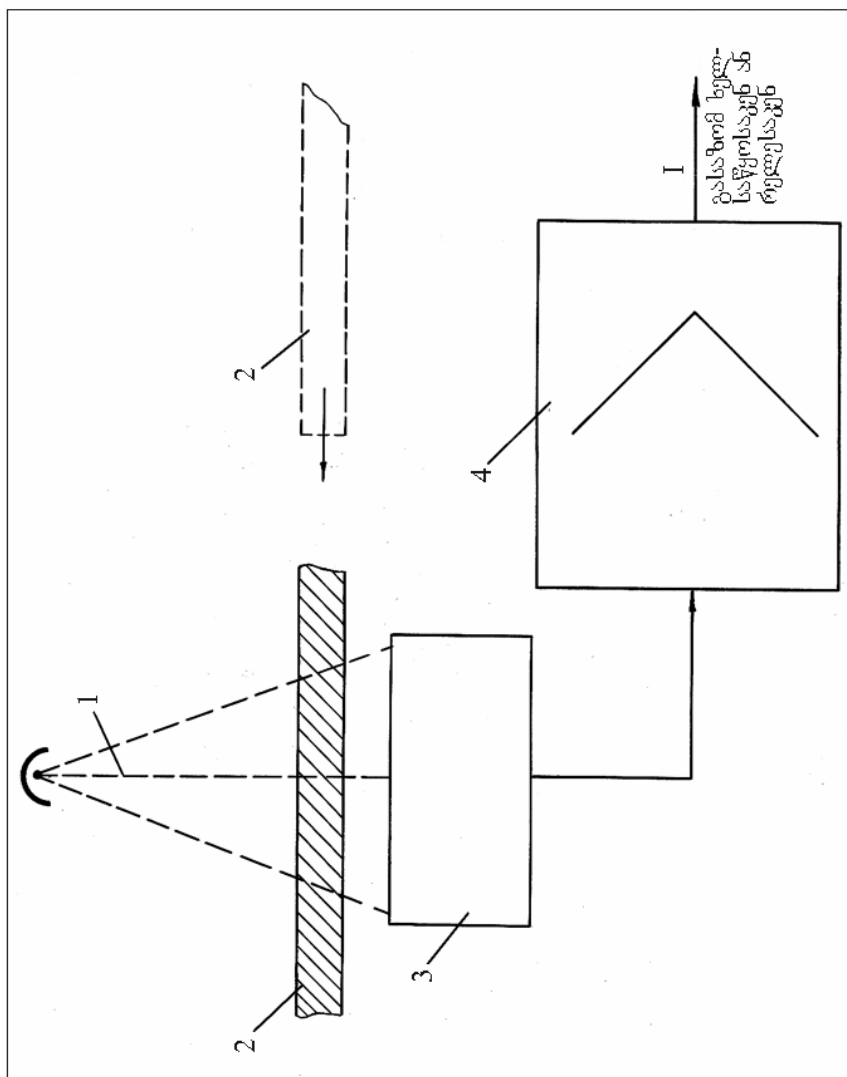
რადიაქტიურ გარდამსახებში, რადიაქტიური გამოსხივების გამოყენება წარმოებს სხვადასხვა პრინციპით. ავტომატურ მოწყობილობათა ერთ ჯგუფს საფუძვლად უდევს გაბნეული გამოსხივების მოვლენის გამოყენება (ნახ.2.41).

ამ შემთხვევაში რადიაქტიური გამოსხივების ნაკადი მიმართულია საკონტროლო ობიექტზე, ხოლო გამოსხივების ინდიკატორი იჭერს გამოსხივების გაბნეულ ნაკადს. გაბნეული გამოსხივების ინტენსივობა განსაზღვრავს ობიექტის თვისებებს. ამ პრინციპით ხორციელდება, მაგალითად, ფურცლოვანი ლითონის სისქის ცალმხრივი კონტროლი. ფურცლის სისქის ზრდა იწვევს გაბნეული გამოსხივების ინტენსივობის მატებას.

გარდამსახების მეორე ჯგუფი დამყარებულია რადიაქტიური გამოსხივების შეღწევადობაზე და ნივთიერების მიერ მისი შთანთქმის ხარისხზე. ასეთი მოწყობილობის სქემა ნაჩვენებია 2.42 ნახაზზე. აღნიშნული სქემით ხორციელდება ნაკეთობის სისქის კონტროლი. ნაკეთობის (2) სისქის მიხედვით იცვლება გამოსხივების ნაკადის (1) ინტენსივობა, რომელსაც იჭერს გამოსხივების ინდიკატორი (3). შესაბამისად იცვლება გამამღიერებელიდან (4) გამომავალი დენის ძალა (I), მიმართული გასაზომი ხელსაწყოს ან რელესაკენ.



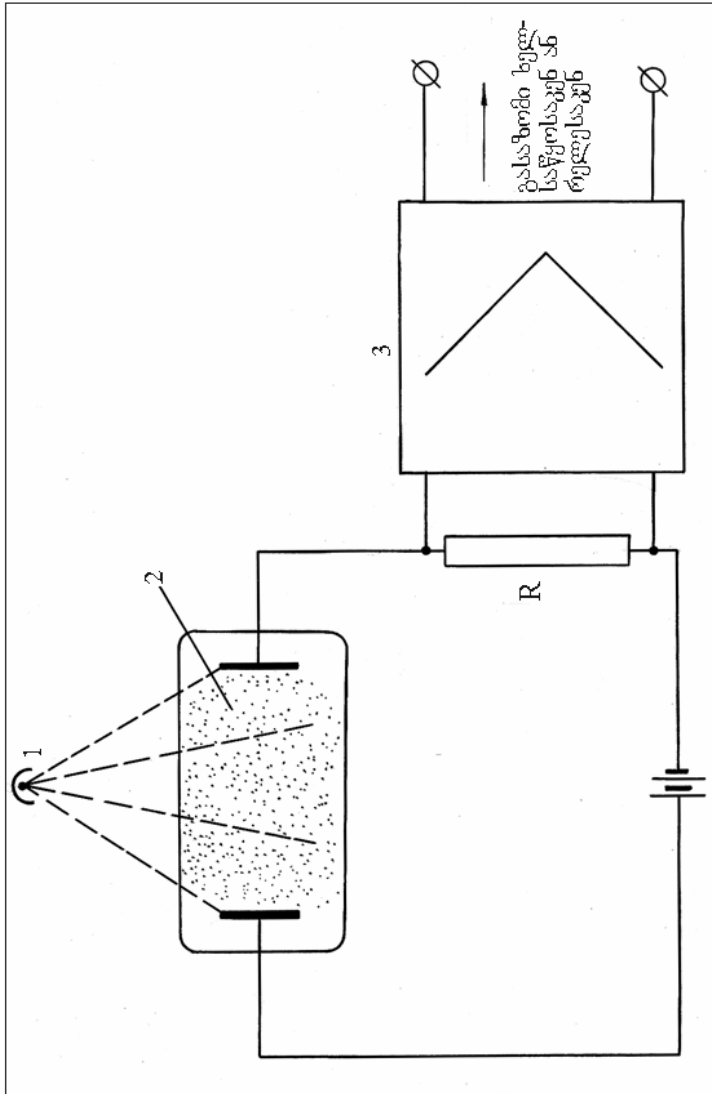
ნახ.2.41. ავტომატური კონტროლის სქემა გაბნეული გამოსხივების მოვლენის გამოყენებით:
 1 – რადიაქტიური გამოსხივების წყარო; 2 – საკონტროლო ობიექტი; 3 – რადიაქტიური გამოსხივების ინდექსირი; 4 – გამაძლიერებელი



ნახ.2.42. ავტომატური კონტროლის სქემა რადიოაქტიური გამოსხივების შეღწევალობის უნარის გამოყენებით

გარდამსახების მესამე ჯგუფს საფუძვლად უდევს რადიოაქტიური გამოსხივების იონიზაციის უნარის გამოყენება (ნახ.2.43). ჭურჭელი აირით (2) განიცდის გამოსხივების მოქმედებას (გამოსხივების წყარო (1)). იცვლება იონების რაოდენობა და წარმოიშობა დენი. დენის კონტროლი წარმოებს ხელსაწყოთი ან რელეთი, რომელიც ჩართულია

მაძლიერებლის (3) გავლით. ამ პრინციპზე მოქმედებენ აირის წნევის საზომი ხელსაწყოები. აირის წნევის მატებასთან ერთად იზრდება იონიზაციური დენი. ანალოგიურად მუშაობენ აირის შემადგენლობის ანალიზატორები.



ნახ.2.43. ავტომატური კონტროლის სქემა რადიაქტური გამოსხივების იონიზაციის უნარის გამოყენებით

რადიაქტიური გარდამსახების მუშაობის პრინციპი ემყარება ნივთიერებასთან ურთიერთმოქმედების შედეგად რადიაქტიური გამოსხივების ნაკადის შემცირების გაზომვას. კავშირი გამოსხივების ინტენსივობებს შორის, საკონტროლო მასალაში გავლის წინ და გავლის შემდეგ, გამოიხატება ექსპონენციური კანონით.

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x} = I_0 \cdot e^{-\mu' \cdot \rho \cdot x}, \quad (2.39)$$

სადაც I_0 და I_x გამოსხივების ინტენსივობებია, შესაბამისად მასალაში გავლამდე და გავლის შემდეგ;

x – მასალის შრის სისქე;

μ' – გამა-გამოსხივების შესუსტების მასობრივი კოეფიციენტი;

μ – შესუსტების ხაზოვანი კოეფიციენტი;

ρ – მასალის სიმკვრივე.

სამშენებლო მასალებისათვის გამა-გამოსხივების შესუსტების მასობრივი კოეფიციენტისათვის გვაქვს გამოსახულება:

$$\mu' = \frac{\delta N}{2} \approx const, \quad (2.40)$$

სადაც δ არის კომპტონოვის განხვევის მთლიანი ეფექტური კვეთი ელექტრონზე, რომელიც გამოითვლება კლეინ-ნიშინტამის ფორმულებით;

$N=6,028 \cdot 10^{23}$ – ავოგადროს რიცხვი.

თუ ვიცით I_x და I_0 , შეგვიძლია განვსაზღვროთ მასალის სიმკვრივე.

$$\rho = \frac{\ln I_0 - \ln I_x}{\mu' \cdot x}. \quad (2.41)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც გამოსაკვლევი მასალა შედგება ორი ფაზისაგან (მყარი და წყალი), გამა-გამოსხივების ნაკადის შესუსტების ექსპონენციური კანონი დებულობს სახეს

$$I_x = I_0 e^{-(\mu'_T \cdot \rho_T + \mu'_B \cdot \rho_B) x}, \quad (2.42)$$

სადაც ρ_T და ρ_B – 1 სმ³ ნარევაში მყარი და თხევადი ფაზის წონაა, გამოსახული გრამებში;

μ'_T და μ'_B შესუსტების მასობრივი კოეფიციენტებია შესაბამისად მყარი და თხევადი ფაზისათვის.

§12. ულტრაბერითი გარდამსახეები

ულტრაბერითი გარდამსახეების საშუალებით ხორციელდება გასაზომ გარემოში დრეკადი რხევების მიღების ან გავლის დროის განსაზღვრა. ისინი ფართოდ გამოიყენება სამშენებლო წარმოებაში სამშენებლო მასალებისა და კონსტრუქციების გამოსაცდელად არამრღვევი მეთოდებით. მასალებში დრეკადი რხევების გავრცელების კანონებით სარგებლობისათვის, მასალების დაურღვევლად მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გამოსაკვლევად საჭიროა მაღალი სიხშირის ვიბრაციით სარგებლობა. ასეთ სიხშირეს წარმოადგენს ულტრაბერითი სიხშირე. სამშენებლო მასალებში ულტრაბერითი იმპულსის გავრცელების სიჩქარისა და რხევის მიღების კოეფიციენტის გაზომვის საშუალებით, შეიძლება ინფორმაციის მიღება გამოსაკვლევი გარემოს პლასტიკურობის, დრეკადობის, დეფორმაციის შესახებ.

ვიბრაციული მეთოდები იძლევა საშუალებას, მასალის დაურღვევლად გამოვიკვლიოთ მისი თვისებების დროში ცვალებადობა, დავადგინოთ გარკვეული სიზუსტით მასალის სიმტკიცე.

სამშენებლო წარმოებაში ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსასაზღვრავად სარგებლობენ შემდეგი მეთოდებით:

1. რეზონანსული მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენებისას ბეტონის თვისებების შეფასება წარმოებს რეზონანსის ზონაში ამპლიტუდის პიკის სიგანისა და საკუთარ რხევათა რიცხვის მიხედვით;

2. იმპულსური მეთოდი. ეს მეთოდი ყველაზე მეტად არის გავრცელებული საგზაო-სამშენებლო მასალების სიმტკიცის კონტროლისა, აგრეთვე, ბეტონის ხარისხის კონტროლისათვის (სიმტკიცის, ერთგვაროვნების ხარისხის) რკინაბეტონის ნაკეთობებში, კონსტრუქციებსა და ნაგებობებში საქარხნო და საველე პირობებში ჰაერის ტემპერატურის დროს -5 -დან $+35^{\circ}\text{C}$ -მდე. ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრა წარმოებს გრძივი ტალღის გავრცელების სიჩქარისა და მისი მიღების ინტენსივობის მიხედვით;

3. დარტყმითი მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში ბეტონის თვისებები შეისწავლება დრეკადი ტალ-

ღის გავრცელების სინქარის მიხედვით, რომელიც აღიძვრება გამოსაცდელ ნიმუშში, მექანიკური დარტყმის მომენტში. ულტრაბგერით იმპულსურ მეთოდთან შედარებით, რიგი უპირატესობების გამო, დარტყმითი მეთოდი საშუალებას იძლევა განსაზღვრული იქნეს საგზაო და აეროდრომების ასფალტბეტონის სიმკვრივის ზრდის კინეტიკა გზის საფარის დაგების პროცესში, შეფასდეს რიგი კლიმატური ფაქტორების ზემოქმედების კინეტიკა ასფალტ-ბეტონის საფარის დაბეჭდვების პროცესზე ექსპლואტაციის დროს და სხვ.

ულტრაბგერითი რხევები და მათი ძირითადი თვისებები. ბგერითი ტალღები წარმოადგენენ დრეკად ტალღებს, რომლებიც ვრცელდება სხვადასხვა მატერიალურ გარემოში. ბგერით ტალღას გააჩნია ენერგია.

ენერგიის რაოდენობას, რომელიც 1 წმ-ში გადის ბგერითი რხევების გავრცელების მიმართულების პერპენდიკულარულად მოთავსებულ 1 სმ² ფართობში, ბგერის ძალა ეწოდება. ბგერის ძალა დამოკიდებულია მბგერი სხეულის რხევის ამპლიტუდაზე. წონასწორობის მდებარეობიდან უდიდეს გადახრას ეწოდება რხევის ამპლიტუდა. რაც უფრო მეტია მბგერი სხეულის რხევის ამპლიტუდა, მით უფრო ძლიერია მისგან გამოცემული ბგერა. ბგერის ძალის ერთეულია ვატი/სმ².

ბგერა ხასიათდება ერთი წამის განმავლობაში რხევების შესქელებათა და შეთხელებათა სიხშირით. შესქელების და შეთხელების ერთობლიობა ქმნის ერთ მთლიან რხევას. სიხშირის ერთეულად მიღებულია ერთი რხევა ერთ წამში. ამ ერთეულს ეწოდება ჰერცი. სიხშირეს 10³ ჰც ეწოდება კილოჰერცი (კჰც), 10⁶ ჰც-მეგაჰერცი (მჰც). რხევითი მოძრაობის გავრცელების პროცესს გარემოში ტალღა ეწოდება. მანძილს, რომელსაც ბგერითი ტალღა გაივლის ერთი პერიოდის განმავლობაში, ტალღის სიგრძე ჰქვია.

სხვადასხვა სიხშირის რხევები ადამიანის ყურის მიერ შეიგრძნობა, როგორც სხვადასხვა სიმაღლის ბგერები. დაბალ ბგერებს შეესაბამება 100-300 ჰც სიხშირეები, მაღალ ბგერებს – 3000-6000 ჰც. 30 ჰც-ზე დაბადლ და 15000 ჰც მაღალ ბგერებს ადამიანის ყური საერთოდ ვერ შეიგრძნობს.

ბგერები, რომელთა სიხშირე აღემატება 15 კჰც (კილოჰერცი) და აღწევს რამდენიმე მეგაჰერცამდე, ეწოდებათ ულ-

ტრაბერები. 17 კვ ნაკლები სიხშირის ბგერებს – ინფრაბგერები. ულტრაბგერითი იმპულსური მეთოდით ბეტონის გამოკვლევა წარმოებს 50-200 კვ სიხშირეების დიაპაზონში.

ბგერითი ტალღების გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოს თვისებებზე. გარემოს სიმკვრივის ზრდასთან ერთად ტალღების გავრცელების სიჩქარე კლებულობს.

ბგერითი ტალღების სიხშირე (f), ტალღის სიგრძე (λ) და ბგერის გავრცელების სიჩქარე დაკავშირებულია ერთმანეთთან

$$C = \lambda \cdot f. \quad (2.43)$$

ფორმულიდან ჩანს, რომ მოცემული სიჩქარის შემთხვევაში რხევის ზრდასთან ერთად ტალღის სიგრძე მცირდება. მაგალითად, 50 კვ სიხშირის დროს ულტრაბგერითი ტალღის სიგრძე ჰაერში, $t=20^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს, შეადგენს 6,9 მმ; ზღვის წყალში (როდესაც $t=17^{\circ}\text{C}$) – 3 სმ, ხოლო ბეტონში მისი სიმტკიცის მიხედვით 5-10 სმ. სიხშირის გაზრდასა $f=100$ კვ-მდე ტალღის სიგრძე ბეტონში მცირდება და შეადგენს $\lambda=2,5-5$ სმ.

ულტრაბგერითი ტალღები ვრცელდება ყველა დრეკად სხეულში – თხევადში, მყარსა და გაზისებრში, მაგრამ არ შეიძლება გავრცელდეს უჰაერო სივრცეში.

ნაწილაკების რხევის მიმართულების, ტალღის გავრცელების მიმართულებასთან დამოკიდებულების მიხედვით, არჩევენ გრძივ, განივ და ზედაპირულ ტალღებს.

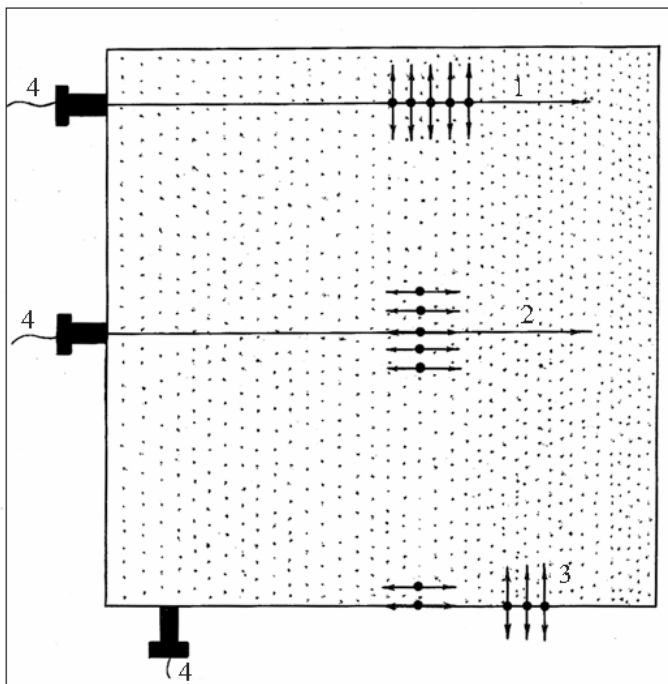
გრძივი ეწოდება ტალღას, რომლის გავრცელების მიმართულება ემთხვევა ნაწილაკების რხევის მიმართულებას. გრძივი ტალღების გავრცელებისას გარემოში წარმოიშობა შესქელებისა და შეთხელების თანმიმდევრობითი არეები.

განივი ეწოდება ისეთ ტალღას, რომლის გავრცელების მიმართულება მართობულია ნაწილაკების რხევის მიმართულებისა.

ტალღებს, რომლებიც არსებობს მხოლოდ სხეულის ზედაპიროზე და არ ვრცელდება მის შიგნით, ეწოდებათ ზედაპირული ტალღები.

მყარ სხეულებში შეიძლება გავრცელდეს, როგორც გრძივი, ასევე განივი ტალღები, თხევად და გაზისებრ გარემოში კი – მხოლოდ გრძივი ტალღები.

2.44 ნახაზზე ნაჩვენებია ტალღის სხვადასხვა სახის შემთხვევაში ნაწილაკების რხევის მიმართულებები.



ნახ.2.44. სხვადასხვა სახის ტალღის შემთხვევაში გარემოს ნაწილაკების რხევის მიმართულება: 1 – განივი ტალღის შემთხვევაში; 2 – გრძივი ტალღის შემთხვევაში; 3 – ზედაპირული ტალღის შემთხვევაში; 4 – რხევის წყარო; 5 – დრეკადი გარემო

გარემოში გავრცელების მაქსიმალური სიჩქარე ახასიათებს გრძივ ტალღებს, მინიმალური – ზედაპირულ ტალღებს

$$C_{გრძ} > C_{განივ} > C_{ზედაპ.}$$

გრძივ, განივ და ზედაპირულ ტალღებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულებანი:

$$\frac{C_{განივ}}{C_{გრძ}} \approx 0.63, \quad \frac{C_{ზედაპ.}}{C_{გან}} \approx 0.9.$$

ულტრაბგერითი ტალღების გავრცელების გარემო ხასიათდება წინააღმდეგობით, რომელსაც აკუსტიკური წი-

ნაადმდეგობა ეწოდება. იგი დამოკიდებულია გარემოს თვისებებზე.

აკუსტიკური წინააღმდეგობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$R_{\rho} = \rho \cdot C, \quad (2.44)$$

სადაც ρ არის გარემოს სიმკვრივე.

გრძივი ბგერითი ტალღის გავრცელების სიჩქარე ტოლია

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2.45).$$

სადაც E არის დრეკადობის მოდული (იუნგის მოდული).

(2.45) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ რამდენადაც ხისტი და მსუბუქია მასალა, მით მეტია მასში ბგერის გავრცელების სიჩქარე. (2.45) ფორმულა სამართლიანია სხეულებისათვის, რომელთაც აქვთ ცილინდრული და პრიზმული დეროს ფორმა, რომლის (l) სიგრძესა და განივკვეთის მაქსიმალურ ზომას (d) შორის არსებობს თანაფარდობა

$$\frac{l}{d} > 5 \text{ და } \lambda > 3d.$$

განივი ბგერითი ტალღის გავრცელების სიჩქარე

$$C = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (2.46)$$

სადაც G არის ძვრის მოდული.

აკუსტიკური წინააღმდეგობის სიდიდე მყარი სხეულისათვის (2.45)-ის გათვალისწინებით

$$R_{\rho} = \rho \cdot C = \rho \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\rho E} = \frac{E}{C}. \quad (2.47)$$

ულტრაბგერითი გრძივი ტალღების გავრცელებისას ფილაში, როდესაც $d < 2\lambda$, ულტრაბგერის სიჩქარე

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}}, \quad (2.48)$$

სადაც μ არის პუასონის დინამიკური კოეფიციენტი.

ულტრაბგერითი ტალღების გავრცელებისას გარემოში, რომლისთვისაც $d \gg \lambda$ ტალღის გავრცელების მიმარ-

თულების პერპენდიკულარულ სიბრტყეში, ულტრაბგერის სიჩქარე

$$C = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}. \quad (2.49)$$

დრეკადობის მოდული წარმოადგენს კოეფიციენტს, რომელიც ახასიათებს მასალის წინააღმდეგობას დრეკადი დეფორმაციისადმი მისი გაჭიმვის ან კუმშვის დროს. დრეკადობის მოდული შედის, როგორც კოეფიციენტი, ჰუკის ფორმულაში.

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}, \quad (2.50)$$

სადაც Δl არის ღეროს სიგრძის ნაზრდი;

l – ღეროს სიგრძე;

F – განივკვეთის ფართობი;

P – მოქმედი ძალა.

რაც მეტია დრეკადობის მოდული, სხვა თანასწორ პირობებში, მით უფრო ნაკლებად იკუმშება ან იჭიმება ღერო ძალის მოქმედებით. პუასონის კოეფიციენტი (განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი) წარმოადგენს ფარდობითი განივი დეფორმაციის შეფარდებას ფარდობით გრძივ დეფორმაციასთან:

$$\mu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}, \quad (2.51)$$

$$\text{სადაც } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ და } \varepsilon_1 = \frac{\Delta b}{b} \quad (2.52)$$

Δb არის ღეროს სიგანის ნაზრდი.

2.1 ცხრილში მოყვანილია ულტრაბგერის გავრცელების სიჩქარე სხვადასხვა გარემოში

ულტრაბგერის გაგრძელების სიჩქარე სხვადასხვა გარემოში

გარემო	C, მ/წმ
მტნარი წყალი ($t=17^{\circ}\text{C}$)	1430
ზღვის წყალი ($t=17^{\circ}\text{C}$)	1510
ჰაერი ($t=0^{\circ}\text{C}$)	331
რკინა	5170
ფოლადი	5050
ბეტონი (სიმტკიცის მიხედვით)	2000-4500

ულტრაბგერითი ტალღის სიგრძე მცირე სიდიდისაა. ტალღა ვრცელდება სწორხაზოვნად და არა აქვს უნარი ჩვეულებრივი ზომების მქონე წინააღმდეგობათა შემოვლისა. გარემოში ასეთი წინააღმდეგობების აღმოჩენა ხდება აღნიშნული წინააღმდეგობების მიერ ულტრაბგერითი ტალღის არეკვლით ან ჩრდილის წარმოქმნით.

როგორც ბგერითი ტალღები, ულტრაბგერითი ტალღებიც განიცდიან არეკვლასაც და გარდატეხასაც. თუ ტალღა მოხვდა გარემოთა გამყოფ ზედაპირზე, მაშინ ენერგიის ნაწილი გადადის მეორე გარემოში და იქ გაგრძელდება, ხოლო დანარჩენი უკანვე აირეკლება. ენერგიის განაწილება არეკლილ და გარდატეხილ ტალღებს შორის დამოკიდებულია გარემოთა აკუსტიკურ წინააღმდეგობებზე. რაც უფრო დიდია განსხვავება ორი გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელთა შორის, მით მეტი ბგერითი ტალღები აირეკლება. თუ ორივე გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი ერთნაირია, მაშინ ტალღა საერთოდ არ აირეკლება.

ულტრაბგერითი გარდამსახები. მოწყობილობას, რომლის საშუალებითაც ენერგიის რომელიმე სახე (ჩვეულებრივ, ელექტრული ენერგია)* გარდაიქმნება ულტრაბგერით ტალღებად, ეწოდება ულტრაბგერითი გარდამსახი. ულტრაბგერით გარდამსახებს მიეკუთვნება: პიეზოელექტრული, მაგნიტოსტრიქციული და ელექტრომაგნიტური გარდამსახები. ბეტონის სიმტკიცის ულტრაბგერითი კონტროლის მოწყო-

* ულტრაბგერა შეიძლება მიღებული იქნეს მექანიკური ხელსაწყოებითაც. ულტრაბგერის მექანიკური მამსხივებელის უმარტივეს ტიპს მიეკუთვნება სასტვენო და სირენა.

ბილობებში, ჩვეულებრივ, გამოიყენება პიეზოელექტრული და მაგნიტოსტრიქციული გარდამსახები.

პიეზოელექტრული გარდამსახი მზადდება კვარცისაგან, სეგნეტის მარილისაგან (ბუნებრივი მასალები), ბარიუმის ტიტანატისაგან, კალციუმის ტიტანატისაგან ან ტურმალინისაგან (ხელოვნური მასალები). პიეზოელექტრული გარდამსახის მოქმედების პრინციპი დამყარებულია პირდაპირ და უკუ პიეზოელექტრულ ეფექტზე. ცნობილია, რომ ზოგიერთი კრისტალი გაჭიმვის ან კუმშვის შემთხვევაში თავისივე ზედაპირზე წარმოქმნის მოდებული ძალვის პროპორციულ მუხტებს (პირდაპირი პიეზოეფექტი); კრისტალზე ძაბვის მოდების შემთხვევაში კრისტალში წარმოიშევა ძაბვის პროპორციული დეფორმაცია (უკუპიეზოეფექტი).

პიეზოელექტრული ელემენტის დეფორმაციის სიდიდე

$$\Delta x = \alpha \cdot U, \quad (2.53)$$

სადაც α არის პიეზოელექტრული მოდული;

U – მოდებული ძაბვის სიდიდე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მასალაზე (პიეზოეფექტის თვისებით) მოქმედებს ცვლადი ელექტრული ველი, კრისტალში აღძრული დეფორმაცია ცვლადი იქნება. ცვლადი დეფორმაცია წარმოშობს კრისტალის პერიოდულ რხევას. თუ ელექტრული ველის სიხშირე ულტრაბერითი ტალღების დიაპაზონშია, მაშინ კრისტალში აღძრული რხევებიც ულტრაბერითი სიხშირისა იქნება. პიეზოელექტრული ეფექტის სიდიდე და ხასიათი დამოკიდებულია მექანიკური დატვირთვის ან კრისტალზე ელექტრული ველის მოდების მიმართულებაზე*. მაქსიმალურ ეფექტს ადგილი აქვს რეზონანსის მომენტში, ე.ი. როდესაც ელექტრული ველის ცვალებადობის სიხშირე ემთხვევა პიეზოელემენტის დრეკადი რხევების საკუთარ სიხშირეს. პიეზოელექტრული კრისტალების რხევის სიხშირემ შეიძლება მიაღწიოს 10^8 ჰც-მდე.

კრისტალის ფინის საკუთარ სიხშირეს, ფინის სისქესა და მასში ბგერის გავრცელების სიჩქარეს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება

* კრისტალების პიეზოეფექტი დამოკიდებულია აგრეთვე ტემპერატურაზე. კვარცის კრისტალებისათვის პიეზოეფექტი ეცემა ტემპერატურის აწევისას 200°C -ზე ზევით, ხოლო სეგნეტის მარილის კრისტალებისათვის -50°C -ზე ზევით.

$$f_0 = \frac{C}{2\lambda}, \quad (\lambda = 2l), \quad (2.54)$$

სადაც f_0 არის ფირფიტის რხევის საკუთარი სიხშირე, კჰც.

პრაქტიკაში გავრცელებულია ნახევარტალღური მამსხივებელი, რომელიც წარმოადგენს ბარიუმის ტიტანატისაგან დამზადებულ ფირფიტას, ტალღის ნახევარი სიგრძის ტოლი სისქით. ფირფიტა ირხევა ძირითად სიხშირეზე.

ნახევარტალღური მამსხივებელის ზუსტი ანგარიშისათვის სარგებლობენ ფორმულით

$$f = \frac{K}{d}, \quad (2.55)$$

სადაც f არის ფირფიტის რხევის სიხშირე, კჰც;

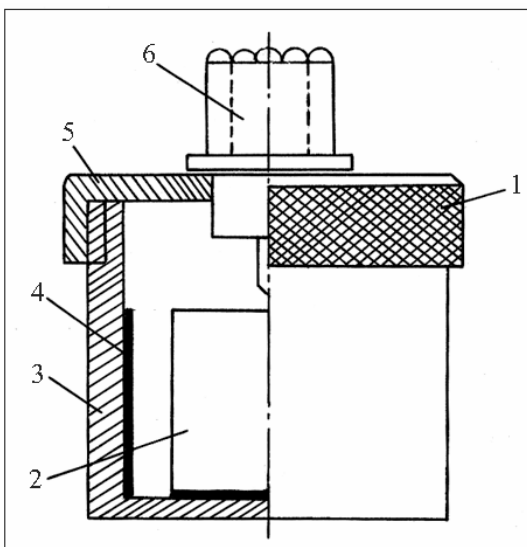
d – ფირფიტის სისქე, მმ.

K – მამსხივებელი მუდმივა, კჰც მმ (კვარცისათვის $K=2280$; სეგნეტის მარილისათვის $K=1540$; ბარიუმის ტიტანატისათვის $K=2200$).

2.45 ნახაზზე გამოსახულია პიეზოელექტრული გარდამსახის ჭრილი. გარდამსახის 40 მმ დიამეტრის ლითონის კორპუსი (1) წარმოადგენს ჭიქას (3) დასახრახნი სახურავით (5). სახურავზე ეპოქსიდური წებოთი დაწებებულია პაკეტი (2) სეგნეტის მარილის ან ბარიუმის ტიტანატისაგან დამზადებული ფინებით. ჭიქის შიდა კედელი იზოლირებულია სამხოლოებელი შუასადებით (4). კორპუსის დასახრახნ სახურავზე მაგრდება მაღალი სიხშირის გასართი (6). ჭიქაში ისხმება საღაფის ზეთი.

მძლავრი ულტრაბგერითი იმპულსების მისაღებად გამოიყენება მაგნიტოსტრიქციული გარდამსახები. გარდამსახის მუშაობას საფუძვლად უდევს მაგნიტოსტრიქციული ეფექტი, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: თუ ფერომაგნიტური მასალისაგან დამზადებულ ფინს მოვათავსებთ მაგნიტურ ველში, მაგნიტური ველის გავლენით ფინის ზომები შეიცვლება. პირიქით, ფერომაგნიტური ფინის ზომების შეცვლა გარეგანი ძალების მოქმედებით იწვევს ფინის მაგნიტური თვისებების შეცვლას.

კარგად გამოხატული მაგნიტოსტრიქციული თვისებები გააჩნიათ სუფთა ნიკელს, რკინისა და კობალტის შენადნობს.



ნახ.245. ულტრაბგერითი
პიეზოელექტრული გარდამ-
სახის კონსტრუქცია

მაგნიტოსტრიქციული გარდამსახები მუშაობენ მაღალი ტემპერატურების პირობებში (კიურის წერტილამდე), რის გამოც მათი გამოყენება ხელსაყრელია რკინაბეტონის ნაკეთობათა თბო-ტენიანობითი დამუშავების კონტროლისა და მართვის ავტომატურ მოწყობილობებში.

ცნობილია, რომ მაგნიტოსტრიქციული მასალების მაგნიტური თვისებები ტემპერატურის ზრდასთან ერთად სუსტდება. კიურის წერტილში მაგნიტური თვისებები საერთოდ ქრება (ნიკელისათვის, მაგალითად, კიურის წერტილის ტემპერატურა ტოლია 360°C -ისა).

თუ ცვლადი დენის მიერ შექმნილ მაგნიტურ ველში მოვათავსებთ ნიკელის ღეროს, ცვლადი მაგნიტური ველის გავლენით ნიკელის ღეროს სიგრძე პერიოდულად შეიცვლება, ე.ი. ღერო დაიწეებს რხევას. მექანიკური დეფორმაციების გაზრდის მიზნით დამატებით შეყავთ მუდმივი შემაგნიტება.

ამგზნები ველის სიხშირისა და ღეროს დრეკადი რხევის საკუთარი სიხშირის თანმთხვევისას, ე.ი. რეზონანსის შემთხვევაში რხევის ამპლიტუდა იქნება მაქსიმალური და ღეროს ბოლოები დაიწეებენ ბგერითი რხევების გამოსხივებას.

ღეროს რხევის საკუთარი სიხშირე (ჰც) გამოითვლება ფორმულით:

$$f_K = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2.56)$$

სადაც l არის ღეროს სიგრძე, სმ-ობით;

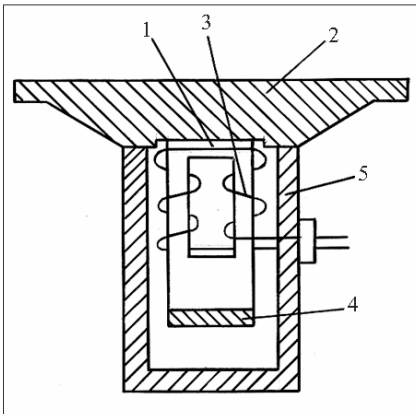
E – დრეკადობის მოდული;

ρ – ღეროს მასალის სიმკვრივე.

მოცემული მასალისათვის დამახასიათებელ მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს ნამრავლი $f_K \cdot l$. მაგალითად, თუ 10 სმ სიგრძის ნიკელის ღეროს შემთხვევაში $f_K \cdot l = 252400$ ჰც სმ, მისი რხევის საკუთარი სიხშირე შეადგენს 25,24 კჰც (ნიკელისათვის $\rho = 8.88 \text{ გ/სმ}^3$, $E = 22.63 \cdot 10^{11}$).

მაგნიტოსტრიქციული ვიბრატორების გულარები მზადდება სხვადასხვა კონსტრუქციისა. გავრცელებულია ღეროს ან ჩაკეტილი ფორმის გულარი, რომელიც შედგება 0,1-0,3 მმ სისქის ცალკეული ფინებისაგან (გრიგაღურ დენებზე დანაკარგების შემცირების მიზნით). გულარის ღეროებზე დახვეულია გრაგნილი, შესაბამისი სიხშირის ცვლადი დენისათვის.

2.46 ნახაზზე წარმოდგენილია მაგნიტოსტრიქციული გარდამსახის სქემატური გამოსახულება. აღნიშნული გარდამსახი გამოიყენება ბეტონის სიმტკიცის გამოსაკვლევ მოწყობილობაში. იგი შედგება ორღეროვანი პაკეტისაგან (1), რომელიც წარმოადგენს მაგნიტოსტრიქციულ ელემენტს; დიაფრაგმისაგან (2), გრაგნილისაგან (3), რეზინის ეკრანისაგან (4) და ცილინდრის კორპუსისაგან (5).



ნახ.2.46. მაგნიტოსტრიქციული გარდამსახის კონსტრუქცია

გამსხივებლის ეფექტური გამოყენება ხორციელდება 70-80 კჰც სიხშირეების დროს.

§13. ზემაღალი სიხშირის გარდამსახები

ზემაღალი სიხშირის რადიოტალღები წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტურ რხევებს ტალღის სიგრძით 30 სმ-დან 1 სმ-მდე, სიხშირით 10^9 ჰც-დან $3 \cdot 10^{10}$ ჰც-მდე. ზემაღალი სიხშირის გარდამსახების მუშაობა დამყარებულია სანტიმეტრული დიაპაზონის რადიოტალღებისა და გასაზომი ობიექტის ურთიერთქმედებაზე.

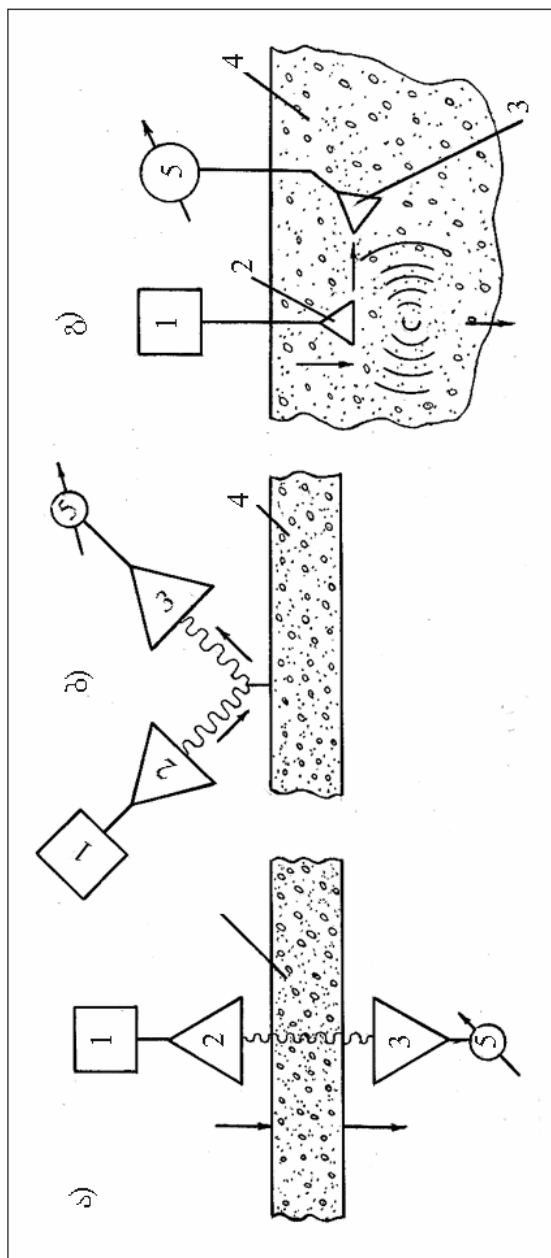
სპეციალური ანტენების საშუალებით რადიოტალღების დაფოკუსება წარმოებს ვიწრო კონებად. რადიოტალღების გენერაცია ხორციელდება რადიონათურებითა და სპეციალური ელექტრონული ხელსაწყოების საშუალებით. ზემაღალი სიხშირის ენერგიის გადაცემა ხორციელდება ტალღასატარებით, რომლებიც წარმოადგენენ ტალღის სიგრძის შესაბამისი ზომების მქონე მრგვალი ან სწორკუთხა კვეთის ღრუ გამტარებს.

2.47 ნახაზზე ნაჩვენებია ზემაღალი სიხშირის გარდამსახის მუშაობის სქემები. გარდამსახი შედგება ზემაღალი სიხშირის გენერატორისაგან (1), გადამცემი (2) და მიმღები (3) ანტენებისაგან და მარეგისტრირებელი მოწყობილობისაგან (5). გადამცემ და მიმღები ანტენებს შორის სივრცეში თავსდება გამოსაკვლევი ნაკეთობა (4).

ზემაღალი სიხშირის რადიოტალღების მიერ დისკრეტული მაკროსტრუქტურის მასალებში (სამშენებლო მასალებში) გავლის შედეგად, წარმოებს ზმს რადიოტალღების ენერგიის შთანთქმა, რომლის ნაწილიც იხარჯება მასალის გახურებაზე. მასალის არაერთგვაროვნება იწვევს რადიოტალღების განბნევას. ზმს რადიოტალღების არეკვლისას მასალის ზედაპირიდან არეკლილი ტალღის ამპლიტუდა დამოკიდებულია გამოსაკვლევი ნაკეთობის (მასალის) სტრუქტურულ და გეომეტრიულ მახასიათებლებზე.

თუ გაეზომავთ ნაკეთობაზე დაცემული, მასში გავლილი ან არეკლილი რადიოტალღების ინტენსივობებს, შეიძლება განვსაზღვროთ გასაზომი ობიექტის გეომეტრიული, ელექტროფიზიკური და სტრუქტურული თვისებები.

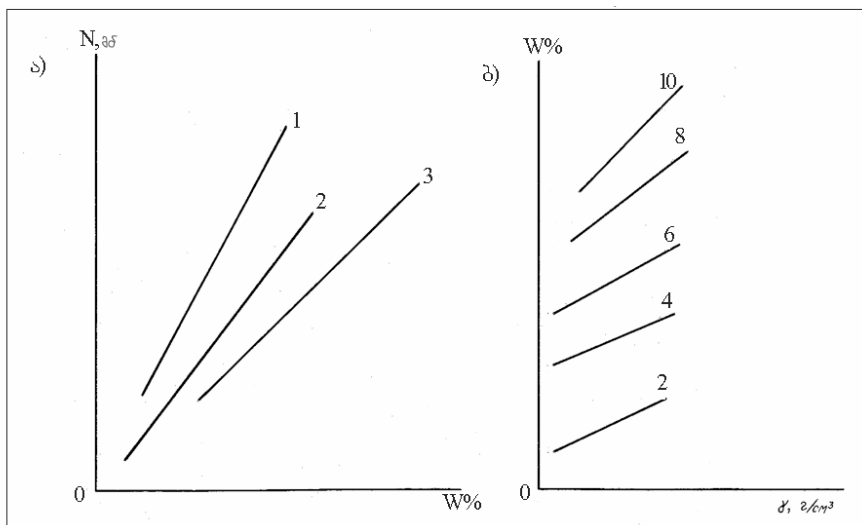
ზმს გარდამსახების საშუალებით შეიძლება დავადგინოთ სამშენებლო მასალების ტენიანობა.



ნახ.2.47. ზემოაღნიშნული სისხრობის (ზმს) გარდაამსახების მუშაობის სქემები: ა) მასალაში რადიოტალღების გავლის პრინციპის მიხედვით; ბ) სხვადასხვა გარემოს გამყოფი საზღვრიდან არეკვლის პრინციპის მიხედვით; გ) გაბნევის პრინციპის მიხედვით

ტენიანობის განსაზღვრისას არეკლილი ტალღის მეოთხით, ღებვა ტარიერებული დამოკიდებულება არეკლილი ტალღის ამპლიტუდასა და მასალის ტენიანობას შორის, რომელიც ხასიათდება მდგრადი კორელაციური კავშირით.

2.48,ა ნახაზზე წარმოდგენილია ზმს ენერგიის შთანთქმის დამოკიდებულება სხვადასხვა საშენი მასალის ტენიანობაზე, ხოლო 2.48ბ ნახაზზე – ბეტონის ნარევის სიმკვრივის დამოკიდებულება სხვადასხვა სიდიდის ტენიანობაზე (ტალღის სიგრძე $\lambda=3\text{სმ}$).



ნახ.2.48. ზმს რადიოტალღების შესუსტების სიდიდის დამოკიდებულება საშენი მასალის ტექნოლოგიური პარამეტრებისაგან: ა) ქვიშის ტენიანობისაგან – 1; ბეტონის ტენიანობისაგან – 2; მერქნის ტენიანობისაგან – 3. ბ) სხვადასხვა ტენიანობის მქონე ბეტონის ნარევის სიმკვრივისაგან [1]

ზმს გარდამსახების საშუალებით შეიძლება განხორციელდეს ბეტონის გამკვრივების პროცესის ავტომატური მართვა, ცემენტის ჰიდრატაციის დროს ტენით შეკავშირების პროცესის კონტროლის საშუალებით.

§14. მანძილის გარდამსახეები (დისტანციური მართვის საშუალებანი)

1. ზოგადი ცნობები

მანძილის გარდამსახეები შეიძლება იყოს წყვეტილი ან უწყვეტი მოქმედების, ახლო მანძილზე და შორ მანძილებზე მოქმედი. როდესაც საჭმე გვაქვს ათეულ და ასეულ კილომეტრზე სიგნალების გადაცემის აუცილებლობასთან, მაშინ მანძილის გარდამსახეებად გამოიყენება რადარები.

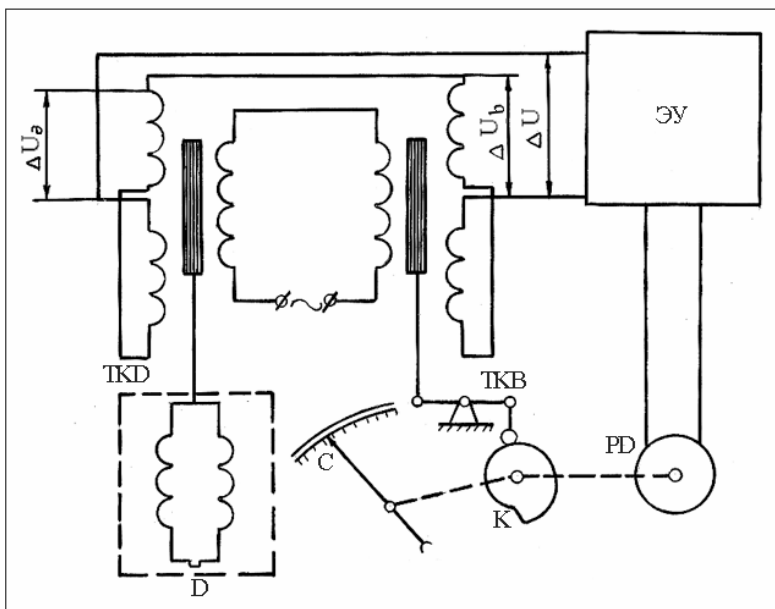
ავტომატიკის ელექტრომექანიკურ მოწყობილობებში ფართოდ გამოიყენება კუთხური გადაადგილების დისტანციური გადაცემის სისტემები და მოთვალთვალე სისტემები.

დისტანციური გადაცემის სისტემის ძირითადი ელემენტებია: პირველადი ხელსაწყო (გარდამსახი) – გადასაცემი კუთხის ამთვისებელი კავშირგაბმულობის ხაზი და მეორეული ხელსაწყო (მიმღები) – გადასაცემი კუთხის აღმწარმოებელი. თუ საჭიროა გადაცემის დიდი სიზუსტის უზრუნველყოფა ან დასაძლევი წინაღობის მომენტის სიდიდე მიმღების ღერძზე მნიშვნელოვანია, გამოიყენება კუთხური გადაადგილების დისტანციური გადაცემის სისტემა მაძლიერებელი ელემენტებით, ანუ ე.წ. მოთვალთვალე სისტემა. მაგალითად, ნებისმიერი სახის მანომეტრი წნევის გაზომვის ადგილიდან შეიძლება დაყენებულ იქნეს არაუმეტეს 50 მ მანძილზე. დისტანციის შემდგომი გაზრდა მაძლიერებელი ელემენტების გამოუყენებლად იწვევს გაზომვის სიზუსტის დაქვეითებას ხელსაწყოს ჩვენების დაგვიანების გამო, რაც დაუშვებელია სწრაფად მიმდინარე პროცესების კონტროლის დროს. ამიტომ, მანომეტრის ჩვენების გადასაცემად 50 მ-ზე მეტ მანძილზე გამოიყენება მანომეტრები პირველადი ხელსაწყოდან მეორეულ ხელსაწყოზე ჩვენებების გადამცემი ელექტრული ან პნევმატური სისტემებით. პირველად ხელსაწყოში (გარდამსახი) გასაზომი წნევა გარდაიქმნება წნევის პროპორციულ ელექტრულ ძაბვად, დენის ძალად ან კუმშული ჰაერის წნევად, რომელიც იწვევს მეორეული ხელსაწყოს (მიმღები) ისრის გადაადგილებას. მეორეულ ხელსაწყოს გააჩნია გარდამსახის სკალის ანალოგიური სკალა.

დისტანციური მართვის აღნიშნული სისტემები გამოიყენება სამშენებლო მანქანებისა და სამშენებლო წარმოების პროცესების ავტომატიზაციისათვის.

2. დისტანციური გადაცემის დიფერენციალურ-ტრანსფორმატორული სისტემა

გადაცემის დიფერენციალურ-ტრანსფორმატორული სისტემა შედგება მიმდევრობით შეერთებული ორი ტრანსფორმატორული კოჭასაგან, რომელთაგან ერთი TKD მოთავსებულია პირველად ხელსაწყოში, მეორე კი TKB მეორეულში (ნახ.2.49).



ნახ.2.49. ჩვენებების გადაცემის დიფერენციალურ-ტრანსფორმატორული სისტემის სქემა

ორივე ტრანსფორმატორული კოჭა მომარაგებულია პირველადი და მეორეული გრაგნილებით. პირველადი გრაგნილი განლაგებულია კოჭას მთელ სიგრძეზე, მეორეული შედგება თანაბარი რაოდენობის ხვეულებიანი ორი სექციისაგან, რომლებიც ჩართულია ურთიერთ შემხვედრად. პირველადი გრაგნილების კვება წარმოებს ცვლადი დენით, ელექტრონული გამაძლიერებლის ბლოკში შემავალი ძაღოვანი ტრანსფორმატორიდან. თითოეულ კოჭაში მოთავსებულია რბილი რკინის გულარი (პლუნჟერი), რომლის სიგრძე ნაკლებია კოჭის სიგრძეზე. სისტემაში შედის ელექტრო-

ნული მაძლიერებელი (ЭУ), ორფაზა ასინქრონული (რევერ-სიული) ელექტროძრავი (PD) მეორეული კოჭას გულარის გადასაადგილებლად (K) მუშტას საშუალებით და პირველადი ხელსაწყო საზომი სისტემა (Π). ელექტროძრავის გამოსავალი ღილვთან დაკავშირებულია მაჩვენებელი ისარი და თვითნამწერი მოწყობილობა (C). როდესაც კოჭას გულარი იმყოფება ნეიტრალურ (შუალებ) მდგომარეობაში, მეორეული გრაგნილის თითოეულ სექციაში აღძრული ინდუქციური ემ ძალები e_1 და e_2 იქნება თანატოლი და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული. ამიტომ მეორეული გრაგნილების სექციების საწყისებს შორის ძაბვა იქნება ნულის ტოლი, ე.ი.

$$e_1 - e_2 = 0.$$

თუ პირველადი კოჭას გულარი გადაადგილდება ნეიტრალური მდებარეობიდან, მეორეული გრაგნილების სექციების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი სხვადასხვა იქნება თითოეული სექციისათვის, რის გამოც სექციებში ინდუქცირებული ემ*მ* იქნებიან განსხვავებულნი და სექციების საწყისებს შორის წარმოიშობა ΔU_{Π} ძაბვა.

$$\Delta U_{\Pi} = e_1 - e_2.$$

ანალოგიურად, მეორეული კოჭას გულარის გადაადგილებისას ნეიტრალური მდებარეობიდან, სექციების საწყისებს შორის წარმოიშობილი ძაბვის სიდიდე

$$\Delta U_B = e_3 - e_4,$$

სადაც e_3 და e_4 მეორეული კოჭას სექციებში აღძრული ემ*მ*-ია. თუ ორივე კოჭას გულარები გადაადგილდება ნეიტრალური მდებარეობიდან თანაბარ მანძილებზე, მაშინ სისტემა მშვიდ მდგომარეობაში იქნება.

$$\Delta U_{\Pi} - \Delta U_B = \Delta U = 0.$$

ერთ-ერთი გულარის გადაადგილებისას ნეიტრალური მდგომარეობიდან მეორეული გრაგნილის თითოეულ სექციაში ინდუქცირებული ემ ძალები სიდიდით განსხვავებულნი იქნებიან, გამომწვევდება სიგნალი, რომელიც გაუტოლდება ძაბვის სხვაობას Π გარდამსახსა და მეორეულ ხელსაწყო - TKB შორის.

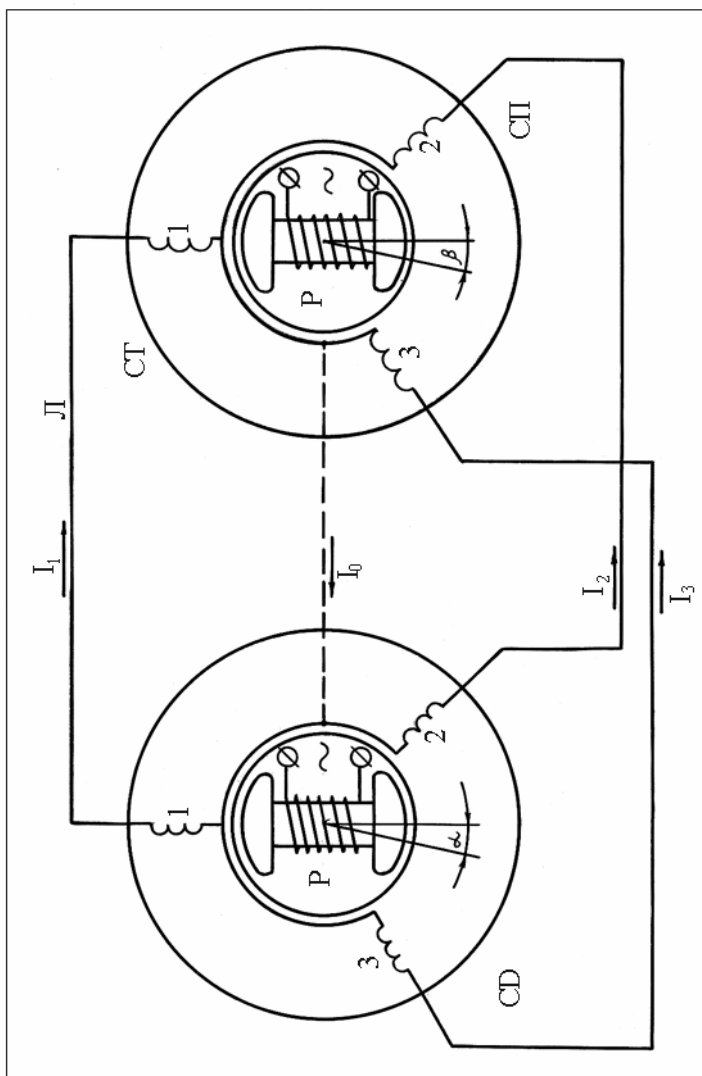
$$\Delta U = \Delta U_{\Pi} - \Delta U_B.$$

გამომუშავებულ სიგნალს, გაძლიერებულს ელექტრონული მაძლიერებლით (ЭУ), მოყავს მოქმედებაში რევერსიული ძრავი (PD), რომელიც აბრუნებს პროფილიან მუშტას (K), გადაადგილებს მაჩვენებელ ისარს (C) და ფრთას (კალამს). პროფილიანი მუშტა ბერკეტის საშუალებით გადაადგილებს მუშა ინდუქციურ კოჭას (მეორეული ხელსაწყო) გულარს მანამ, ვიდრე ის არ დაიკავებს გარდამსახის გულარის ანალოგიურ მდებარეობას. ამრიგად, პირველადი ხელსაწყო (გარდამსახის) გულარის ნებისმიერ მდებარეობას, რომელიც განისაზღვრება გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობით, შეესაბამება მეორეული ხელსაწყო გულარის გარკვეული მდებარეობა. გასაზომი სიდიდის ფიქსირება წარმოებს მაჩვენებელი ისრით, ხოლო მისი ჩაწერა – დისკოსმაგვარ დიაგრამაზე ფრთით. დიაგრამას აბრუნებს სინქრონული ძრავი.

3. დისტანციური გადაცემის სელსინური სისტემა

კუთხური გადაადგილების გადაცემის სელსინური სისტემის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს გარდამსახის სამ გრაგნილში ინდუქცირებული ცვლადი ემმ გადანაწილებაში.

სელსინი წარმოადგენს მცირე ზომის ელექტრულ მანქანას, რომელიც შედგება უძრავი (სტატორი (CT) და მოძრავი (როტორი (P) ნაწილებისაგან. სტატორში გვაქვს სამი გრაგნილი, რომელთა ფაზებიც ერთმანეთთან ადგენენ 120° კუთხეს. გრაგნილების შეერთება შეიძლება შესრულდეს ვარსკვლავის ან სამკუთხედის სქემით (2.50 ნახაზზე ნაჩვენებია ფაზების შეერთება ვარსკვლავის სქემით). როტორს გააჩნია მხოლოდ ერთი გრაგნილი, რომელიც ქმნის როტორის ღერძის პერპენდიკულარულ მაგნიტურ ველს. ცვლადი ღენის მკვეთავი ძაბვა ამ გრაგნილის გამოყვანებთან მიერთებულია ორი რგოლით, რომლებთანაც მჭიდროდ არის მიჭერილი ორი მუსი. შესაძლებელია სელსინური წყვილის მუშაობა ინდიკატორულ და ტრანსფორმატორულ რეჟიმებზე. ინდიკატორული სელსინური გადაცემის სქემა ნაჩვენებია 2.50 ნახაზზე.



ნახ.2.50. კუთხური გადანადგობის დისტანციური გადანადგობის სელსინური სისტემის სქემა

სელსინი მუშაობს შემდეგნაირად: როტორის წრედში ჩართული ცალფაზა ცვლადი დენი წარმოქმნის მასში ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც სტატორის გრაგნილების ფაზების გადაკვეთისას აღძრავს მათში ცვლადი დენის ემ ძალებს, რომელთა სიხშირეც ტოლია მკვებავი ძაბვის სიხშირისა. სტატორის ფაზაში ინდუქცირებული ემ

სიდიდე დამოკიდებულია როტორის მდებარეობაზე და მის მაგნიტურ ნაკადზე. ასე მაგალითად, თუ როტორის ღერძი ემთხვევა სტატორის ერთ-ერთი ფაზური გრაგნილის ღერძს, მასში აღძრული ემმ მაქსიმალური იქნება. თუ როტორს შემოვაბრუნებთ 90^0 -ით, ფაზურ გრაგნილში ემმ არ აღიძვრება. ხოლო თუ როტორს შემოვაბრუნებთ იმავე მიაართულებით კიდევ 90^0 -ით, ემმ კვლავ მაქსიმალური გახდება, მხოლოდ შეიცვლის ნიშანს. შეიძლება დავუშვათ, რომ გარდამსახის სტატორის ფაზურ გრაგნილებში აღძრული ემმ პროპორციულია გრაგნილებისა და როტორის ღერძებს შორის შექმნილი კუთხეების კოსინუსებისა, ე.ი.

$$\left. \begin{aligned} E'_{1II} &= E_{\max} \cdot \cos \alpha; \\ E'_{2II} &= E_{\max} \cdot \cos(\alpha + 120^0); \\ E'_{3II} &= E_{\max} \cdot \cos(\alpha + 240^0). \end{aligned} \right\} \quad (2.57)$$

ემმ განტოლებათა სისტემა სელსინ მიმღებისათვის:

$$\left. \begin{aligned} E_{1II} &= E_{\max} \cdot \cos \beta; \\ E_{2II} &= E_{\max} \cdot \cos(\beta + 120^0); \\ E_{3II} &= E_{\max} \cdot \cos(\beta + 240^0). \end{aligned} \right\} \quad (2.58)$$

სადაც $E'_{1II}, E'_{2II}, E'_{3II}, E_{1II}, E_{2II}, E_{3II}$, არის ემმ სელსინ გარდამსახისა და სელსინ მიმღების სტატორების ფაზურ გრაგნილებში;

$E_{\max}$ – ემმ მაქსიმალური მნიშვნელობა ფაზურ გრაგნილში;

α – სელსინ გარდამსახის ღერძის მობრუნების კუთხე;

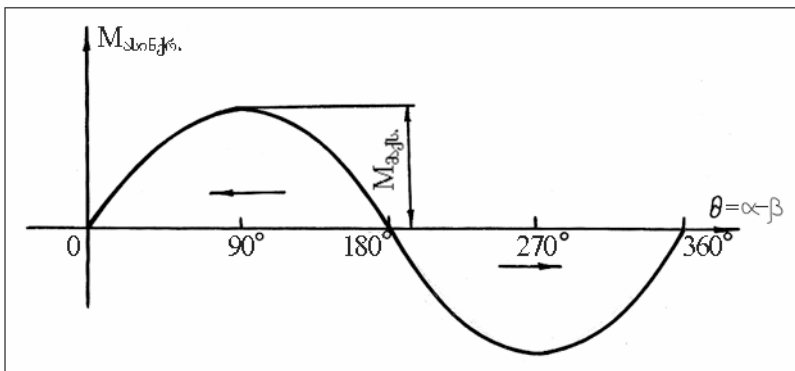
β – სელსინ მიმღების ღერძის მობრუნების კუთხე.

ინდიკატორულ რეჟიმში სელსინ გარდამსახისა და სელსინ მიმღებისათვის ყოველთვის $E'_{II} = E_{II}$, ამიტომ, თუ $\alpha = \beta$ (2.57) და (2.58) განტოლებათა სისტემის მიხედვით $\Delta E = E'_{1II} - E_{1II} = 0; E'_{2II} - E_{2II} = 0; E'_{3II} - E_{3II} = 0$. ამრიგად, როდესაც $\alpha = \beta$ მასინქრონებული მომენტები არ არსებობს. თუ გარდამსახის როტორს გადავიყვანთ სხვა მდგომარეობაში (შევცვლით α) და მას ასე დავამაგრებთ (დავამუხრუჭებთ),

მაშინ $\theta = \alpha - \beta \neq 0$ და სამფაზა გრაგნილების ხაზოვან სადენებში გაივლის მათანაბრებელი დენები, რადგან $\Delta E \neq E'_H \neq E_H$. მათანაბრებელი დენებით გამოწვეული ნაკადებისა და როტორის მაგნიტური ნაკადის ურთიერთქმედების შედეგად გარდამსახისა და მიმღების ლილვებზე წარმოიქმნება მასინქრონებული მომენტები. მასინქრონებული მომენტის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$M_{\text{სინქრ}} = M_{\text{max}} \cdot \sin \theta. \quad (2.59)$$

მასინქრონებული მომენტის დამოკიდებულება θ კუთხესთან წარმოდგენილია 2.51 ნახაზზე. გრაფიკის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ როდესაც θ იცვლება 0° -დან 260° -მდე, სისტემას გააჩნია წონასწორობის ($M_{\text{სინქრ}} = 0$) ორი მდგომარეობა: როცა $\theta = 0$ და $\theta = 180^\circ$. წონასწორობის მდგომარეობა, როდესაც $\theta = 360^\circ$, შეესაბამება $\theta = 0^\circ$, ვინაიდან ერთი სრული ბრუნვის შემდეგ როტორი უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. $\theta = 180^\circ$ შეესაბამება სისტემის არამდგრად მდგომარეობას, რომელშიც სელსინის როტორს შეჩერება არ შეუძლია. როგორც კი კუთხე θ გახდება 180° -ზე ოდნავ მეტი ან ნაკლები, წარმოიქმნება მასინქრონებული მომენტი, რომელიც აიძულებს სელსინის როტორს დაბრუნდეს საწყის მდგომარეობაში. ვინაიდან სელსინ მიმღების როტორი დამუხრუჭებული არ არის, იგი შემობრუნდება და მიიღებს სელსინ გარდამსახის როტორის მდებარეობას, რომლის დროსაც $\theta = \alpha - \beta = 0$.



ნახ.2.51. მასინქრონებული მომენტის სტატიკური მახასიათებელი

(2.57) და (2.58) განტოლებათა სისტემიდან გამომდინარეობს, აგრეთვე, რომ გარდამსახის როტორის ერთი შემობრუნების ფარგლებში α კუთხის ნებისმიერ მნიშვნელობას შეესაბამება სელსინ მიმღების როტორის ერთი გარკვეული მდებარეობა, რომლის დროსაც ადგილი არ ექნება მათანაბრებელი დენებისა და, მაშასადამე, მასინქრონებული მომენტების წარმოქმნას. ამ მოვლენას თვითსინქრონიზაცია ეწოდება. თვითსინქრონიზაციის მოვლენის გარდა, სელსინებისათვის ინდიკატორული სისტემის გამოყენებას ის დადებითი თვისება გააჩნია, რომ მასინქრონებული მომენტის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ θ კუთხეზე და არ არის დამოკიდებული სელსინ გარდამსახისა და სელსინ მიმღების როტორების მდებარეობაზე საწყისი მდგომარეობის მიმართ.

სელსინ გარდამსახისა და სელსინ მიმღების გარდა, დისტანციურ გადამცემებში გამოიყენება სელსინ დიფერენციალები. სელსინ დიფერენციალი წარმოადგენს მანქანას სამფაზა სტატორითა და სამფაზა როტორით. მისი ჩართვა ხდება სელსინ გარდამსახისა და სელსინ მიმღებს შორის. დიფერენციალური სელსინ მიმღების საშუალებით შეიძლება გაიზომოს ორი სელსინ გარდამსახის მობრუნების ალგებრული ჯამი.

სამამულო მრეწველობა უშეგებს სელსინებს სხვადასხვა სიხშირის მკვებავ ძაბვაზე – 50-დან 500 ჰერცამდე.

განხილული სახის სელსინებს გარდა, ხშირად გამოიყენება უკონტაქტო სელსინებიც, რომელთა კონსტრუქციებიც დამუშავებულია ცნობილი მეცნიერების – ა.გ. იოსიფიანოვისა და დ.ვ. სვერჩარნიკის მიერ. უკონტაქტო სელსინის როტორს არ გააჩნია გრაგნილი და, მაშასადამე, დენმიმცვანი რგოლებიც, რაც ზრდის მათი მუშაობის სამეფლობას. უკონტაქტო სელსინები შექმნილია სპეციალური კონსტრუქციის როტორისა და სტატორის საფუძველზე.

მასინქრონებული მომენტისა და სიმძლავრის თანაბარი მნიშვნელობების დროს უკონტაქტო სელსინის ზომები და წონა მეტი გამოდის კონტაქტებიან სელსინთან შედარებით. უკონტაქტო სელსინები გამოიყენება ძირითადად დიდი სიხუსტის გამზომ გადაცემებში.

დისტანციური გადაცემის სელსინური სისტემების გამოყენების შემთხვევაში შეიძლება შესრულდეს შემდეგი ოპერა-

ციები: გადაეცეს ბრუნვის სიიჩქარე (განხორციელდეს სინქრონულობა), მობრუნების კუთხე (განხორციელდეს სინფაზურობა), ბრუნვის სიიჩქარე და მობრუნების კუთხე ერთდროულად.

4. სასიგნალო მოწყობილობანი

სამშენებლო პროცესების ავტომატიზაცია გამორიცხავს ოპერატორის მუდმივ მეთვალყურეობას საკონტროლოსაზომი ხელსაწყოების ჩვენებაზე, რომლებიც კოორდინაციას უწევენ ცალკეული მანქანებისა და ტექნოლოგიური საამქროების მუშაობას. ძირითადი გასაზომი პარამეტრების რეგულირება და მართვა სრულდება ავტომატურად. ტექნოლოგიური პროცესის ან სამშენებლო მანქანის ავტომატური რეგულირებისა და მართვის პროცესში ზოგიერთი დანადგარის ან მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმის დამახასიათებელმა სიდიდემ შეიძლება მიაღწიოს ავარიულ მნიშვნელობას, რომელიც მოითხოვს ოპერატორის დაუყოვნებლივ რეაგირებას. ამ მიზნით ოპერატორის ყურადღების მისაქცევად გამოიყენება სხვადასხვა სასიგნალო მოწყობილობა. სასიგნალო მოწყობილობანი შეიძლება იყოს: ბგერითი, შუქის, ელექტრომაგნიტური და კომბინირებული. ბგერითი სიგნალისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ელექტრული სირენები და ჩვეულებრივი ზარები, შუქის სიგნალებისათვის – ელექტრული ნათურები, რომლებიც მოთავსებულია ფერადი მინის ვაზნებში. სტაბილური მწვანე ფერი ჩვეულებრივ მიუთითებს აგრეგატის ნორმალურ მუშაობაზე, სტაბილური წითელი ფერი – შესაბამისი აგრეგატის გაჩერებაზე. აგრეგატის მდგომარეობის შეცვლის შემთხვევაში ნათურა იწყებს ციმციმს, მაგრამ სხივის ფერი არ იცვლება. ამ დროს ირთება ბგერითი სიგნალიც და ა.შ. ელექტრომაგნიტური სიგნალებისათვის გამოიყენება ბლინკერები. ბლინკერი წარმოადგენს დისკოს, რომელსაც შეუძლია შემობრუნება ელექტრომაგნიტის საშუალებით. ჩვეულებრივ, ბლინკერები იღებება სხვადასხვაფერად.

გამზომი სქემები

გარდამსახებიდან მიღებული ინფორმაცია შესაბამისად უნდა იქნას გადამუშავებული. ასეთი გადამუშავების ერთ-ერთ ამოცანას წარმოადგენს მიღებული სიგნალის სიდიდის განსაზღვრა – მისი გაზომვა, ე.ი. შედარება ეტალონთან. ასეთი ელემენტების როლს ასრულებენ გამზომი სქემები.

ავტომატურ სისტემებში ყველაზე ფართოდ გამოიყენება მოწყობილობები გამზომი სქემების სამი სახიდან ერთერთით: კომპენსაციური, ხილური, დიფერენციალური. სქემის კონკრეტული სახე განისაზღვრება გამოყენებული გარდამსახით (პირველადი გარდამქმნელით).

სქემების სამივე სახე აგებულია შედარების მეთოდით, რომელიც ხასიათდება თანმიმდევრობითი გარდაქმნების ორი ჯაჭვით, რომელთაგან ერთერთში ჩართულია მუშა გარდამქმნელი, ხოლო მეორეში – სანიმუშო. შედარების რგოლი (საერთო ორივე გარდამქმნელისათვის) გამოიმუშავებს სიგნალს, რომელიც შეესაბამება ეტალონისა და ფაქტიური მნიშვნელობების სხვაობას.

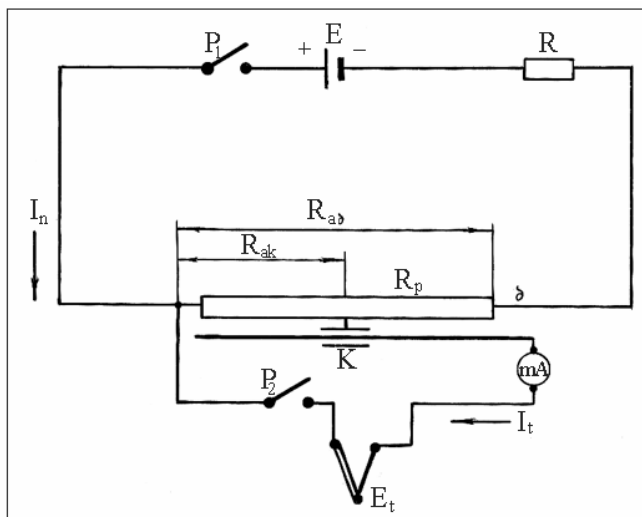
§1. გაზომვის კომპენსაციური სქემა

კომპენსაციური სქემები გამოიყენება გარდამსახებიდან ძაბვის შეცვლის სახით მიღებული სიგნალების გასაზომად. კომპენსაციურ სქემებს საფუძვლად უდევთ შედარების მეთოდი. ამ სქემების დამახასიათებელი ნიშანია გაზომვის მაღალი სიზუსტე.

ავტომატურ სისტემებში გამოყენებული საკომპენსაციო მოწყობილობები სრულდება ავტომატური გაწონასწორებით. ამ მოწყობილობებს ეწოდება მუდმივი ან ცვლადი დენის ავტომატური პოტენციომეტრები (კომპენსატორები). ამრიგად, გაზომვის კომპენსაციური ანუ პოტენციომეტრული მეთოდის პრინციპი მდგომარეობს განსასაზღვრავი ემპ გაწონასწორე-

* მესამე თავი დაწერილია რადიოინჟინერ ილია ბიჭიაშვილთან ერთად.

ბაში წინასწარ ცნობილ პოტენციალთა სხვაობით, რომელიც წარმოიქმნება დამხმარე დენის წყაროთი. 3.1 ნახაზზე წარმოდგენილია აღნიშნული მეთოდის გამარტივებული პრინციპული სქემა. სქემაზე აღნიშნულია: E – ემძ წყარო; R – მუდმივი წინაღობა; $R_p = R_{a\delta}$ – რეოქორდის საერთო წინაღობა; R_{ak} – რეოქორდის წინაღობა ak უბანზე; k – ძვრია; I_n – მკვებავი დენის ძალა; mA მილიამპერმეტრი; E_t – გარდამსახის ემძ; I_t – დენის ძალა გარდამსახიდან; P_1, P_2 – ამომრთველები.



ნახ.3.1. ემძ გაზომვის კომპენსაციური მეთოდის პრინციპული სქემა

რექორდას გააჩნია წინაღობის ხაზოვანი განაწილება. სიტყვა “რეოქორდა” ნიშნავს ხაზოვან წინაღობას. იგი მზადდება ერთნაირი განივკვეთისა და სხედრითი წინაღობის მქონე ერთგვაროვანი გამტარისაგან. ამიტომ, რექორდას წინაღობა პროპორციულია მისი გამტარის სიგრძისა. თუ მოსვრიალე კონტაქტს დავეკავშირებთ ისარს, შეიძლება გამოვითვალთ რეოქორდის ერთეულ სიგრძეზე ძაბვის ვარდნის სიდიდე მილივოლტებში, დავიტანოთ სკალაზე ნიშნები მილივოლტებში ან ცელსიუსის გრადუსებში ($^{\circ}C$) და რეოქორდის ძვრიას მდებარეობის მიხედვით განვსაზღვროთ გარდამსახის ემძ. აღნიშნული მოსაზრება უდევს საფუძვლად გაზომვის კომპენსაციურ სქემას.

დავუშვათ წრედში ჩართული გარდამსახი წარმოადგენს თერმოწყვილს, რომლის ემპ უნდა განვსაზღვროთ. თუ დენის ძალა (E) ემპ წყაროდან არის (I_n), თერმოწყვილიდან (I_t), მაშინ წინაღობის (a_k) უბანზე დენის ძალისათვის (I_{ak}) კირხჰოფის პირველი კანონის თანახმად, გვექნება

$$I_{ak}=I_n+I_t. \quad (3.1)$$

თუ გამოვიყენებთ $E_t -k-a-P_2$ კონტურისათვის კირხჰოფის მეორე კანონს, მივიღებთ

$$E_t=I_tR_t+ I_{ak}R_{ak}, \quad (3.2)$$

სადაც R_t არის თერმოწყვილის წინაღობა;

R_{ak} – რეოქორდის წინაღობის ჩართული უბნის წინაღობა (მილიამპერმეტრისა და მიმყვანი სადენების წინაღობას უგულებელვყოფთ, რადგან გაზომვის აღნიშნული სქემის შემთხვევაში ანათვალის აღება ხდება სრული კომპენსაციის დროს, როდესაც გასაზომ წრედში დენის ძალა ნულის ტოლია).

თუ გავითვალისწინებთ (3.2) გამოსახულებაში I_{ak} მნიშვნელობას (3.1) ტოლობიდან და განვსაზღვრავთ I_t -ს, გვექნება:

$$\begin{aligned} E_t &= I_tR_t + I_nR_{ak} + I_tR_{ak} = I_t(R_t + R_{ak}) + I_nR_{ak}; \\ I_t(R_t + R_{ak}) &= E_t - I_nR_{ak}. \\ I_t &= \frac{E_t - I_n \cdot R_{ak}}{R_t + R_{ak}}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

მოსრიადე K კონტაქტის გადაადგილებით შეიძლება მივაღწიოთ მის ისეთ მდებარეობას რეოქორდაზე, რომ თერმოწყვილის წრედში გამავალი დენის ძალა იყოს ნულის ტოლი ($I_t=0$).

(3.3) გამოსახულების თანახმად ეს შესაძლებელია, როდესაც

$$E_t - I_nR_{ak} = 0,$$

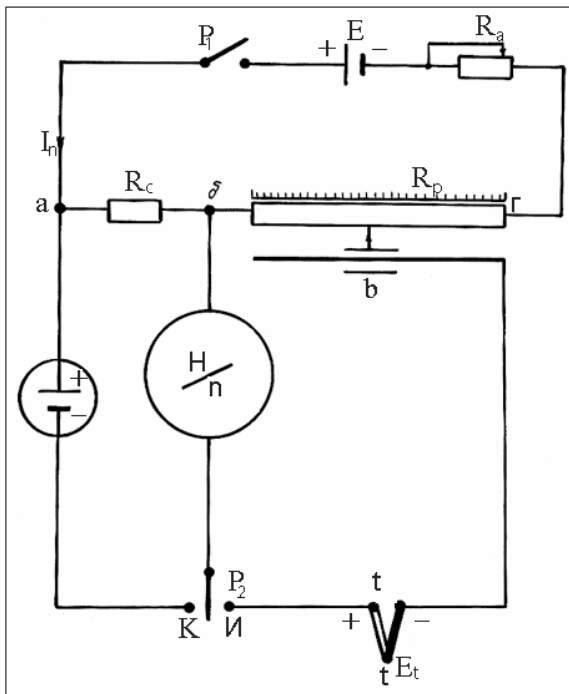
საიდანაც

$$E_t = I_nR_{ak} = U_{ak}. \quad (3.4)$$

მაშასადამე, თერმოწყვილის გასაზომი ემპ ტოლია $a(k)$ რეოქორდის უბანზე ძაბვის ვარდნისა. თუ მკვებავი დენის ძალის სიდიდეს მუდმივად შევინარჩუნებთ, ე.ი. $I_n=\text{const}$, მაშინ რეოქორდიდან მოხსნილი ძაბვის სიდიდე (U_{ak}) დამოკიდებული იქნება მხოლოდ რეოქორდას (a_k) უბნის წინააღობაზე (R_{ak}).

ემპ გაზომვის მოყვანილი კომპენსაციური სქემა ვერ უზრუნველყოფს ემპ გაზომვის მაღალ სიზუსტეს, ვინაიდან მკვებავი დენის ძალის სიდიდეზე გავლენას ახდენს დენის წყაროს ემპ ცვალებადობა, რაც გამოწვეულია ელემენტის ძაბვის თანდათანობითი შემცირებით. თუ მკვებავი დენის ძალა (I_n) რეოქორდის ძვრისა ფიქსირებული მდებარეობის დროს არ იქნება მუდმივი, ცხადია, რეოქორდიდან მოხსნილი ძაბვის სიდიდე იქნება ცვალებადი, ხოლო გაზომილი ემპ – არაზუსტი.

გასაზომ ტექნიკაში და ავტომატურ მოწყობილობებში ფართოდ არის გამოყენებული გაზომვის კომპენსაციური სქემა საკონტროლო წრედით (ნახ.3.2). საკონტროლო წრედის საშუალებით პერიოდულად ვაწარმოებთ მშრალი ელემენტის ძაბვის შედარებას ნორმალური ელემენტის ($H\Theta$) ძაბვასთან იმ მიზნით, რომ მაკომპენსირებელ რეოქორდაზე უზრუნველდყოთ მკვებავი დენის მუდმივობა.



ნახ.3.2. კომპენსაციური სქემა საკონტროლო წრედით

ნორმალური ელემენტი წარმოადგენს დენის ქიმიურ წყაროს, მისი ემმ 20°C ტემპერატურის დროს შეადგენს 1.0186ვ და ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებში დიდი ხნის განმავლობაში არ განიცდის ცვალებადობას. ნორმალური ელემენტის დატვირთვა არ შეიძლება 10 მკა-ზე მეტი სიდიდის დენის ძალით დაზიანებისაგან დაცვის მიზნით.

კომპენსაციურ სქემაში საკონტროლო წრედით გათვალისწინებულია ნულოვანი ხელსაწყო (გალვანომეტრი) H/P , რომელიც იძლევა დენის მხოლოდ წარმოშობისა და მისი გაქრობის რეგისტრირების საშუალებას (საკომპენსაციო სქემებში იგი დენის გასაზომად არ გამოიყენება. ნულოვანი ხელსაწყოს მგრძნობიარობა განსაზღვრავს გაზომვის სიზუსტეს).

სქემაზე გადასართი ჩამრახის (P_2) დანიშნულებაა ნულოვანი ხელსაწყოს ჩართვა ნორმალური ელემენტის წრედში ან თერმოწყვილის წრედში. H მდგომარეობა შეეფარდება გაზომვას, ხოლო k მდგომარეობა – კონტროლს.

სქემაში ჩართულია სამი წინაღობა: R_a – ცვლადი, რომლითაც წარმოებს მკვებავი დენის ძალის I_n მუდმივობის რეგულირება; R_c – დიდი სიდიდის შესადარებელი მუდმივი წინაღობა, რომელიც გათვალისწინებულია მკვებავი დენის ძალის მოსამართავად (ასაწყობად) ნორმალური ელემენტის მიხედვით; $R_p = R_{\delta z}$ – რეოქორდის წინაღობა სკალის მიღვოლტებში.

აღვნიშნოთ: $R_{H/\Pi}$ – ნულოვანი ხელსაწყოს წინაღობა; R_t – გარდამსახის (თერმოწყვილის) წინაღობა; $I_{H/\Pi}$ დენის ძალა ნულოვანი ხელსაწყოს წრედში; R_{δ} – რეოქორდის წინაღობა δ უბანზე.

დენის ძალის მნიშვნელობა ნულოვან ხელსაწყოში გამოსახება ელტექნიკის კურსის ცნობილი გამოსახულებით:

$$I_{H/\Pi} = \frac{E_t - U_{\delta}}{\frac{R_{\delta}(R_p - R_{\delta} + R_a)}{R_p + R_a} + R_{H/\Pi} + R_t}, \quad (3.5)$$

სადაც $\frac{R_{\text{ფ}}(R_p - R_{\text{ფ}} + R_a)}{R_p + R_a}$ წარმოადგენს ორი პარალელურად

ჩართული შტოების $R_{\text{ფ}}$ და $R_p - R_{\text{ფ}} + R_a$ წინააღობათა ჯამს.

როდესაც $U_t = U_{\text{ფ}}$, დენის ძალა ნულოვან ხელსაწყოში იქნება ნულის ტოლი. დავუშვათ, $U_t = U_{\text{ფ}} = \Delta U_t$, რომ, მაშინ

$$I_{H/\Pi} = \Delta I_{H/\Pi} = \frac{\Delta U_t}{\frac{R_{\text{ფ}}(R_p - R_{\text{ფ}} + R_a)}{R_p + R_a} + R_{H/\Pi} + R_t}. \quad (3.6)$$

კომპენსაციური სქემის მგრძნობიარობა გამოისახება განტოლებით

$$S = \frac{\Delta I_{H/\Pi}}{\Delta U_t} = \frac{1}{\frac{R_{\text{ფ}}(R_p - R_{\text{ფ}} + R_a)}{R_p + R_a} + R_{H/\Pi} + R_t} \cdot \frac{\Delta}{\Delta}. \quad (3.7)$$

(3.7) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ კომპენსაციური სქემის მგრძნობიარობა დამოკიდებულია ძვრის მდებარეობაზე, ანუ $R_{\text{ფ}}$ წინააღობაზე. უდიდესი მგრძნობიარობა გვექნება სკალის დასაწყისში ($R_{\text{ფ}}=0$) და ბოლოში ($R_{\text{ფ}}=R_p + R_a$).

$$S_{\text{უდ}} = \frac{1}{R_{H/\Pi} + R_t}. \quad (3.8)$$

უმცირესი მგრძნობიარობა კომპენსაციურ სქემას გააჩნია იმ შემთხვევაში, როდესაც

$$R_{\text{ფ}} = \frac{1}{2}(R_p + R_a). \quad (3.9)$$

კომპენსაციური სქემა საკონტროლო წრედით ხასიათდება გაზომვის დიდი სიზუსტით სხვა სქემებთან შედარებით, ვინაიდან გაზომვის მომენტში დენი გასაზომ ხელსაწყოში არ გადის, მაშასადამე, ცდომილებასაც არა აქვს ადგილი.

კომპენსაციური სქემის მიხედვით გაზომვას ვაწარმოებთ შემდეგნაირად: ვრთავთ P_1 ჩამრახს და R_a რეოსტატის ძვრის გადაადგილებით ვპოულობთ მის ისეთ მდებარეობას, რომლის დროსაც წრედში $H\Theta - R_c - H/\Pi$ დენი არ გადის და ნულოვანი ხელსაწყოს (გალვანომეტრი) ისარი ნულზე გაჩერ-

დება. ამას გამოწმებით P_2 ჩამრახის დაყენებით k მდგომარეობაში. როდესაც დავრწმუნდებით, რომ $E_{H\beta} = R_c I_n$, ანუ მკვეთრი დენის ძალა შერჩეულია სწორად, ვიწყებთ თერმოწყვილის ემპ გაზომვას. P_2 ჩამრახი გადაგვყავს H მდგომარეობაში და რეოქორდის ძვრის გადაადგილებით ვაყენებთ ნულოვანი ხელსაწყოთ ისარს ნულოვან მდგომარეობაში. რეოქორდიდან მოხსნილი ძაბვის სიდიდე - $U_{\text{ж}}$ შეესაბამება თერმოწყვილის გასაზომ ემპ, რომლის მნიშვნელობასაც ვღებულობთ სკალაზე, მილივოლტობით, ან უშუალოდ $^{\circ}\text{C}$.

§2. ელექტრული გამზომი ხიდები (ბოზირები)

ხიდურმა სქემებმა მაღალი მგრძნობიარობის გამო დიდი გავრცელება პოვეს გამზომ ხელსაწყოებში. ტექნოლოგიური ინფორმაციის ელექტრული გარდამსახების უმრავლესობა (წინააღმდეგობის, თერმოელექტრული, ტენზო, ტევადური, ინდუქციური და სხვ.) ფართოდ გამოიყენება ხიდურ სქემებში წინაღობის, ტემპერატურის, დეფორმაციის და სხვა სიდიდეთა გასაზომად, აგრეთვე, როგორც შესადარებელი ელემენტი, სხვადასხვა პარამეტრის ავტომატური რეგულირების დროს.

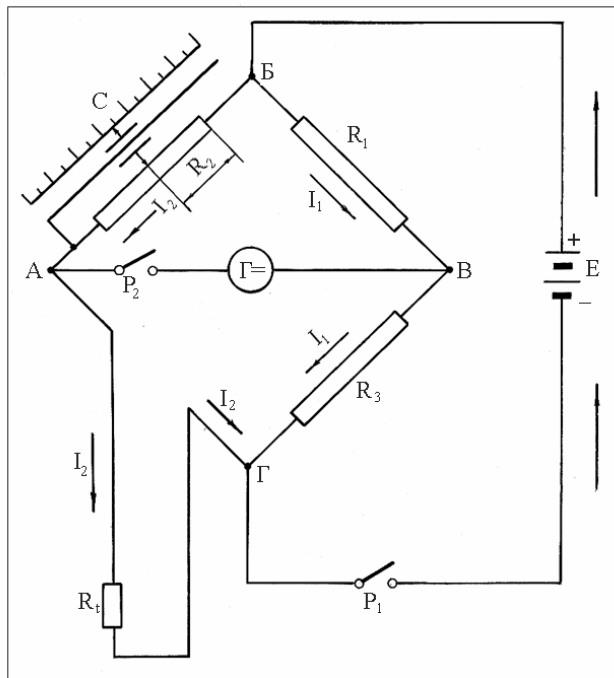
არჩევენ გაწონასწორებულ და გაუწონასწორებულ ელექტრულ გამზომ ხიდებს. ჩვეულებრივ, ხიდური სქემა შედგება ოთხი წინაღობისაგან, რომელთაც “ხიდის მხრები” ეწოდებათ. ხიდის კვება შეიძლება განხორციელდეს, როგორც ცვლადი, ასევე მუდმივი დენით. მუდმივი დენის ხიდებში ხიდის მხრები წარმოადგენენ ომურ წინაღობებს - R_1, R_2, R_3, R_4 , ცვლადი დენის ხიდებში კი აქტიურ, ინდუქციურ და ტევადურ წინაღობებს - Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 .

ხიდურ სქემებში გასაზომი სიდიდე გარდამსახის დახმარებით გარდაიქმნება აქტიური ან რეაქტიული წინაღობის ცვლილებაში. ხიდური სქემების საფუძველში დევს უიტსონის ხიდის სქემა (ნახ.3.3) - წინაღობების შეერთების წესი. ხიდის მოქმედების პრინციპი ემყარება იმას, რომ ხიდის მხრებში წინააღობათა შეფარდების მუდმივობის დროს $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ ხიდის

დიაგონალში დენი არ არის. ამ პრინციპზეა დამყარებული

ხიდური გაზომვები. ამასთან, ხიდის გაწონასწორება არ არის დამოკიდებული კვების წყაროს ძაბვის რყევებზე.

3.3 ნახაზზე წარმოდგენილია გამტარის წინაღობის გაზომვის პრინციპული სქემა, ელექტრული გამზომი ხიდის საშუალებით. ხიდის გამზომ AB დიაგონალში ჩართულია ნულო-



ნახ.3.3. წინაღობის გაზომვის სქემა მუდმივ დენზე მომუშავე გამზომი ხიდით

ვანი ხელსაწყო (გალვანომეტრი), ხოლო მკვებავ BF დიაგონალში – ემ ძალის წყარო E . სქემაში R_1, R_3 და R_4, R_2 წინაღობები ჩართულია ორი პარალელური შტოს სახით, რომელთა შორის წონასწორობის მაჩვენებელი ნულოვანია ხელსაწყო Γ ქმნის “ხიდს”. R_1, R_2, R_3 წინაღობები შეიძლება შევარჩიოთ იმგვარად, რომ შეკრული P_1 და P_2 ჩამრახების შემთხვევაში ხიდი აღმოჩნდეს გაწონასწორებული, ე.ი. ნულოვან ხელსაწყოში დენის გავლას არ ჰქონდეს ადგილი. ამ შემთხვევაში A და B წერტილების პოტენციალები იქნება ერთნაირი, ხოლო ძაბვა $U_{\delta B} = U_{AB}$ და $U_{\Gamma D} = U_{A\Gamma}$. მაგრამ, ომის კანონის თანახმად,

$$U_{BB} = I_1 R_1;$$

$$U_{AB} = I_2 R_2;$$

$$U_{TB} = I_1 R_3;$$

$$U_{AT} = I_2 R_t$$

$$\text{ანუ } I_1 R_1 = I_2 R_2, I_1 R_3 = I_2 R_t.$$

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_3} = \frac{I_2 R_2}{I_2 R_t};$$

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_t},$$

$$\text{საიდანაც } R_t = R_2 \frac{R_3}{R_1}.$$

ამავე შედეგს მივიღებთ, თუ დავუშვებთ, რომ გამზომი დიაგონალის A და B წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობა $\Delta U \neq 0$, ხოლო გამზომი ხელსაწყოთა წინაღობა უსასრულოდ დიდია. მართლაც, ომის კანონის თანახმად,

$$U = I_1 (R_1 + R_3);$$

$$U = I_2 (R_2 + R_t).$$

აქედან

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_3}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2 + R_t}.$$

პოტენციალთა სხვაობა

$$\begin{aligned} \Delta U &= I_2 R_2 - I_1 R_1 = U \left(\frac{R_2}{R_2 + R_t} - \frac{R_1}{R_1 + R_3} \right) = \\ &= U \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 - R_1 R_2 - R_1 R_t}{(R_2 + R_t)(R_1 + R_3)} = U \frac{R_2 R_3 - R_1 R_t}{(R_2 + R_t)(R_1 + R_3)}. \end{aligned}$$

პოტენციალთა სხვაობა იქნება ნულის ტოლი, თუ $R_2 R_3 - R_1 R_t = 0$, ანუ $R_2 R_3 = R_1 R_t$.

$$\text{აქედან } R_t = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_1}. \quad (3.10)$$

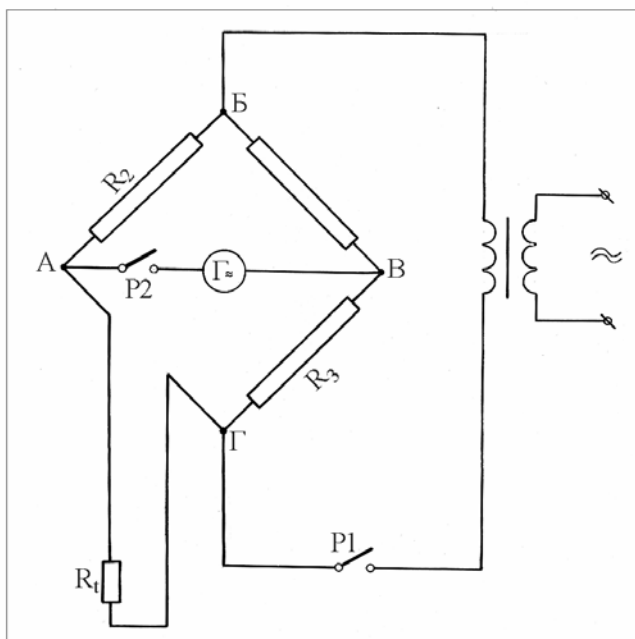
(3.10) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ R_1 და R_3 წინააღობების მუდმივი მნიშვნელობების დროს საძიებელი R_t წინააღობა და-

მოკიდებულია R_2 წინაღობის სიდიდეზე. R_4 ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის შეიძლება შევარჩიოთ R_2 წინაღობის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ხიდური სქემის წონასწორობა არ დაირღვევა, ე.ი. დენის ძალა AB დიაგონალში იქნება ნულის ტოლი. R_2 წინაღობა შეიძლება განვსაზღვროთ უძრავი სკალის მიხედვით. ვიცით რა R_4 და მისი დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, შესაძლებელია სკალის გრადუირება შევასრულოთ უშუალოდ $^{\circ}C$ -ში.

საჭიროა აღვნიშნოთ, რომ გაწონასწორებული გამზომი ხიდი წარმოადგენს მეტად ზუსტ ხელსაწყოს. დენის წყაროს ძაბვა არ ახდენს გავლენას გაზომვის სიზუსტეზე. (3.10) გამოსახულებაში არ შედის არც ძაბვა და არც დენის ძალა. გაწონასწორებულ მდგომარეობაში, სულ ერთია, რომელი დიაგონალი იქნება გამზომი და რომელი – მკვებავი. გამზომი ხიდის მგრძნობიარობა ძაბვის მიხედვით დამოკიდებულია ხიდის მხრების წინაღობებისა და მკვებავი ძაბვის შეფარდების მნიშვნელობაზე და ცვალებადობს დიდ საზღვრებში.

თუ ემმ E და წინაღობები R_1, R_2, R_3 მუდმივი და წინასწარ ცნობილი სიდიდეებია, მაშინ AB დიაგონალში გამავალი დენის ძალის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს R_4 წინაღობა. ამ შემთხვევაში წინაღობების მნიშვნელობები დაიცანება ნულოვანი ხელსაწყო სკალაზე. ასეთი გამზომი ხიდი წარმოადგენს გაუწონასწორებელ ხიდს. გაუწონასწორებელი ხიდის გამოყენებისას საჭიროა პერიოდულად შემოწმდეს დენის წყაროს ძაბვა. გაუწონასწორებელი ელექტრული გამზომი ხიდი შედარებით ნაკლები სიზუსტის მოწყობილობაა. მიუხედავად ამისა ის ფართოდ გამოიყენება სწრაფად ცვლადი პროცესების გასაზომად.

თუ ხიდური სქემა იკვებება ცვლადი დენით და ხიდის მხრები შედგება კომპლექსური წინაღობებისაგან Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , მაშინ გაწონასწორება ხიდისა უნდა მოხდეს ძაბვის, როგორც მოდულის, ასევე ფაზის მიხედვით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ხიდის მხარის წინაღობა წარმოადგენს აქტიური, ტევადური და ინდუქციური წინაღობების გეომეტრიულ ჯამს. ცვლად დენზე მომუშავე ხიდური სქემა ნაჩვენებია 3.4 ნახაზზე.



ნახ.3.4. ცვლად დენზე მომუშავე ელექტრული გამზომი ხიდის სქემა

§3. დიფერენციალური გამზომი სქემა

დიფერენციალური სქემა წარმოადგენს ცვლად დენზე მომუშავე ელექტრულ წრედს, რომელიც შედგება ორი მოსახლვრე კონტურისაგან ერთი საერთო, დიფერენციალური შტოთი. დიფერენციალურ შტოში ჩართულია გასაზომი ხელსაწყო; თითოეულ კონტურში მოქმედებს დამოუკიდებელი ემპ - E , მკვებავი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილიდან.

კონტურში აღბრული დენის ძალის სიდიდე (I) განისაზღვრება ემპ (E) და წინაღობის (Z) მნიშვნელობებით. საერთო შტოში დენის ძალა ტოლია კონტურების დენების სხვაობისა, ე.ი. $I_0 = I_1 - I_2$.

როდესაც დიფერენციალური სქემა გარეშე ზემოქმედებას არ განიცდის, კონტურების ემ ძალები და წინაღობები თანა-

ტოლია, ტოლია, აგრეთვე, მათში აღძრული დენის ძალები ($I_1=I_2$) და დიფერენციალურ შტოში დენი არ გადის ($I_0=0$).

სქემაზე გარეშე ზემოქმედების შემთხვევაში შეიძლება შეიცვალოს კონტურის ემპ E , ΔE სიდიდით (ნახ.3.5ა), ან კონტურის წინაღობა - z , Δz მნიშვნელობით (ნახ.3.5ბ). ორივე შემთხვევაში დიფერენციალურ შტოში გაივლის დენი (I_0). გამზომი ხელსაწყო (z_0) ისრის გადახრა იქნება გასაზომი გარეშე ზემოქმედების პროპორციული.

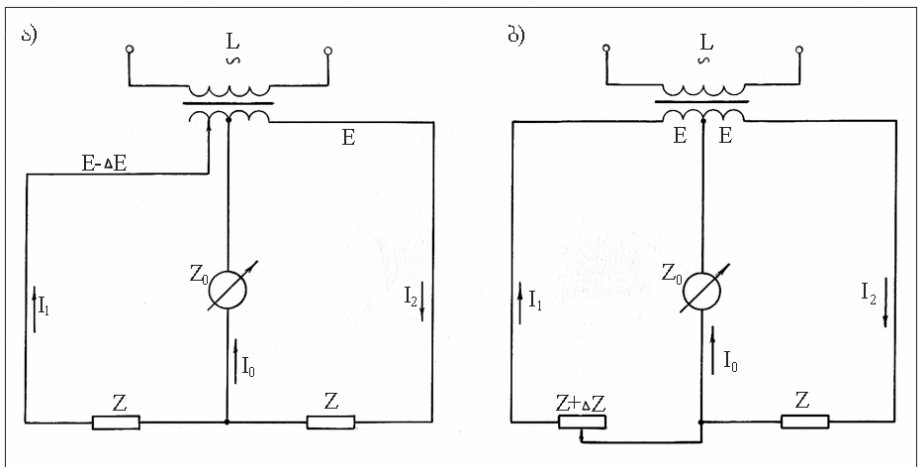
ხიდურ სქემასთან შედარებით დიფერენციალური სქემა მარტივია და გააჩნია მეტი მგრძნობიარობა დენის ძალის მიხედვით. თანასწორ პირობებში ორივე სქემის მგრძნობიარობა ძაბვის მიხედვით თანაბარია.

მგრძნობიარობის სიდიდე დენის ძალის მიხედვით განისაზღვრება ფორმულით

$$S_I = \frac{E}{z + 2z_0} \frac{\text{ამპ}}{\text{ომი}}, \quad (3.11)$$

ხოლო ძაბვის მიხედვით

$$S_U = \frac{E}{4z} \frac{\text{ვ}}{\text{ომი}}. \quad (3.12).$$

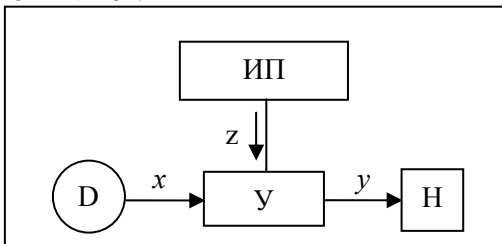


ნახ.3.5. დიფერენციალური გამზომი სქემა: ა) გარეშე ზემოქმედებით იცვლება ე.მ.ძ. ბ) წინაღობა

გამაძლიერებლები

§1. პირითაღი განსაზღვრებანი და მახასიათებლები

გამაძლიერებელი ეწოდება მოწყობილობას, რომელშიც წარმოებს გადამწოდის მიერ გამომუშავებული იმპულსის სიმძლავრის გაზრდა. უმეტეს შემთხვევაში, გადამწოდიდან მიღებული სიგნალის სიმძლავრე არ არის საკმარისი მარეგულირებელი ორგანოს უშუალო გადაადგილებისათვის. გამომავალი სიდიდის ენერგიის გაზრდა შემავალი სიდიდის ენერგიასთან შედარებით ხორციელდება დამატებითი წყაროს ენერგიის ხარჯზე. გამაძლიერებლის პრინციპული სახე მოცემულია 4.1 ნახაზზე, სადაც x და y -ით აღნიშნულია შემავალი და გამომავალი სიგნალები, z - გამაძლიერებელში შემავალი დამატებითი ენერგია, D - გადამწოდი, ხოლო H - დატვირთვის წრედი.



ნახ.4.1. გადამწოდთან, დატვირთვასთან და კვების წყაროსთან გამაძლიერებლის კავშირის სქემა

ავტომატიზაციის სქემებში გამაძლიერებლებს შუალედი მდებარეობა უჭირავს გადამწოდებსა და შემსრულებელ ელემენტებს შორის. ავტომატიკის სისტემებში გამოიყენება მუდმივი და ცვლადი დენის ყველა სახის გამაძლიერებლები.

გამოყენებული დამატებითი ენერგიის სახის მიხედვით ანსხვავებენ: ჰიდრაულიკურ, პნევმატიკურ, ელექტრულ და კომბინირებულ გამაძლიერებლებს (მაგალითად ჰიდრო-პნევმატიკურს, ტრანზისტორულ-მაგნიტურ-ელექტრომანქანურს, ფერიტო-ტრანზისტორულს და სხვა).

დენის ხასიათის მიხედვით არჩევენ: ცვლადი დენისა და მუდმივი დენის გამაძლიერებლებს.

ელექტრული მოქმედების გამაძლიერებლები იყოფიან: ელექტრონულ, მაგნიტურ და ელექტრომაგნიტურ გამაძლიერებლებად. ელექტრული მოქმედების გამაძლიერებლებს, ხშირად პროპორციულად გამაძლიერებლებსაც უწოდებენ.

ავტომატიკის თანამედროვე სისტემებში გამოყენებულია, აგრეთვე, ნახევრადგამტარიანი, ელექტრომანქანური და მექანიკური გამაძლიერებლები. ელექტრომანქანური გამაძლიერებელი, ჩვეულებრივად, გათვალისწინებულია დიდი სიმძლავრეების სამართავად.

გამაძლიერებლის ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს გაძლიერების კოეფიციენტი. იგი ტოლია გამომავალი (y) და შემავალი (x) სიგნალების სიდიდეების ფარდობისა

$$K = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შემ}}} = \frac{y}{x}; \quad (4.1)$$

გამაძლიერებლის დანიშნულებისა და მოქმედების პრინციპის მიხედვით ანსხვავებენ გაძლიერების შემდეგ კოეფიციენტებს: ძაბვის მიხედვით

$$K = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შემ}}}, \quad (4.2)$$

დენის ძალის მიხედვით

$$K_i = \frac{I_{\text{გამ}}}{I_{\text{შემ}}}, \quad (4.3)$$

სიმძლავრის მიხედვით

$$K_p = \frac{P_{\text{გამ}}}{P_{\text{შემ}}}. \quad (4.4)$$

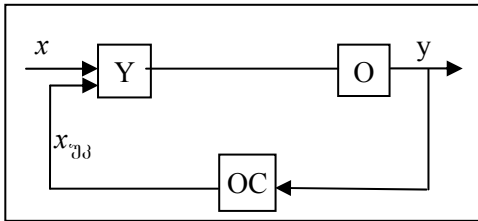
გამაძლიერებლის ძირითადი მახასიათებლებია სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები. სტატიკური მახასიათებელი $U_{\text{გამ}} = f(U_{\text{შემ}})$ ეწოდება გამომავალი სიგნალის სიდიდის დამოკიდებულებას შემავალი სიგნალის სიდიდესთან დამყარებული რეჟიმის დროს. დინამიკური მახასიათებელი ეწოდება გამომავალი სიგნალის სიდიდის

დამოკიდებულებას შემავალი სიგნალის სიდიდესთან, გარდამავალი რეჟიმის დროს.

გაძლიერების კოეფიციენტის სტაბილიზაციის ან მისი გაზრდის მიზნით, გამაძლიერებელ მოწყობილობებში გამოყენებულია უკუკავშირი. გამაძლიერებლის სტრუქტურა უკუკავშირით ნაჩვენებია 4.2 ნახაზზე. უკუკავშირი ეწოდება გამაძლიერებლის შემავალ და გამოშვალ სიგნალებს შორის უშუალო, პროპორციულ, ურთიერთდამოკიდებულებას. უკუკავშირი ხორციელდება უკუკავშირის (OC) დამატებითი ელემენტის საშუალებით, რომლიდანაც გამოშვალი სიგნალის სიდიდეა

$$x_{\text{უკ}} = \beta y, \quad (4.5)$$

სადაც β უკუკავშირის კოეფიციენტია.



ნახ.4.2. ავტომატური მართვის სისტემა უკუკავშირით: O-სა-მართავი ობიექტი; y-მართვის მოწყობილობა; OC – უკუკავშირის მოწყობილობა

უკუკავშირის კოეფიციენტის ნიშნის მიხედვით, უკუკავშირი შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი. დადებითი უკუკავშირის შემთხვევაში გამაძლიერებელში შემავალი სიგნალის სიდიდე იქნება

$$x + x_{\text{უკ}} = x + \beta y. \quad (4.6)$$

გაძლიერების კოეფიციენტისათვის გვექნება

$$y = k(x + \beta y). \quad (4.7)$$

აქედან $y = kx + k\beta y$; $y(1 - k\beta) = kx$;

$$y = x \frac{k}{1 - k\beta}. \quad (4.8)$$

თუ აღვნიშნავთ გაძლიერების კოეფიციენტს, უკუკავშირის შემთხვევაში $K_{\text{უკ}}$, მივიღებთ

$$K_{\text{უკ}} = \frac{y}{x} = \frac{k}{1 - k\beta}. \quad (4.9)$$

უკანასკნელი გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ დადებითი უკუკავშირის გამოყენება ზრდის გაძლიერების კოეფიციენტს.

უარყოფითი უკუკავშირის შემთხვევაში გამაძლიერებელში შემავალი სიგნალის სიდიდე იქნება

$$x - x_{\text{უკ}} = x - \beta y; \quad (4.10)$$

$$y = k(x - \beta y); \quad (4.11)$$

$$y = x \frac{k}{1 + k\beta}; \quad (4.12)$$

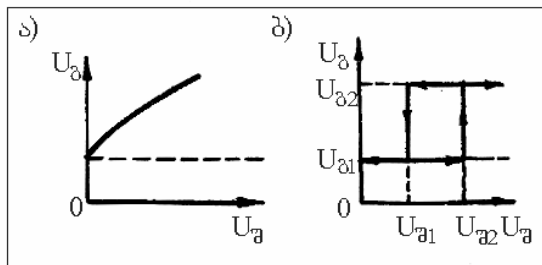
$$K_{\text{უკ}} = \frac{k}{1 + k\beta}. \quad (4.13)$$

უარყოფითი უკუკავშირის გამოყენება ამცირებს გაძლიერების კოეფიციენტს.

გამაძლიერებლის მახასიათებლების მიხედვით გაძლიერება შეიძლება იყოს ორი ძირითადი ტიპის: ნარნარი და რელეური მოქმედების. ნარნარი მოქმედების გამაძლიერებლებში გაძლიერების კოეფიციენტი იცვლება უმნიშვნელოდ; რელეური მოქმედების გამაძლიერებლებში ნარნარი მოქმედების გამაძლიერებლებთან შედარებით, შემავალი და გამომავალი სიგნალების სიდიდეებს შორის გარკვეული ფუნქციონალური დამოკიდებულება არ არსებობს. გამომავალი სიგნალი წარმოიქმნება შემავალი სიგნალის სიდიდის გარკვეულ მნიშვნელობამდე მიღწევის შემდეგ; ამიტომ, როდესაც არ არსებობს გამომავალი სიგნალი, გაძლიერების კოეფიციენტი ნულის ტოლია, ხოლო მისი წარმოქმნის შემდეგ, გაძლიერების კოეფიციენტი ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას.

ნარნარი მოქმედების გამაძლიერებლებიდან მეტად გავრცელებულია ელექტრონული, მაგნიტური, ელექტრომანქანური, ჰიდრავლიკური და პნევმატიკური გამაძლიერებლები. რელეური მოქმედების გამაძლიერებლებს მიეკუთვნება რელე. ნარნარი და

რელეური მოქმედების გამაძლიერებლების მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.3 ნახაზზე.

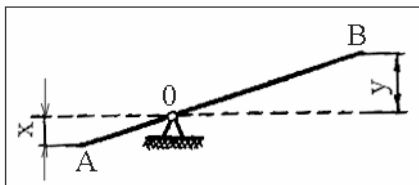


ნახ.4.3. გამაძლიერებლების მახასიათებლები: ა) ნარნარი მოქმედების; ბ) რელეური მოქმედების

§2. მექანიკური გამაძლიერებლები

მექანიკური გამაძლიერებლის უმარტივეს სახეს წარმოადგენს ბერკეტი. ბერკეტის მოკლე და გრძელი ბოლოების ვერტიკალური გადაადგილებები შეესაბამება მექანიკური გამაძლიერებლის შემავალ (x) და გამომავალ (y) სიდიდეებს. გაძლიერების კოეფიციენტი შეიძლება იყოს ერთზე მეტი ან ნაკლები ბერკეტის მხრების სიგრძეების ფარდობისაგან დამოკიდებულებით. 4.4 ნახაზზე წარმოდგენილია ბერკეტი, როგორც გამაძლიერებელი. ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$K = \frac{y}{x}; \quad (4.14)$$

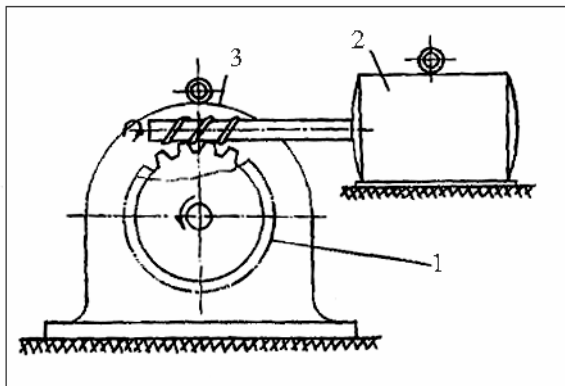


ნახ.4.4. ბერკეტული გამაძლიერებელი

მექანიკურ გამაძლიერებლებს მიეკუთვნებიან, აგრეთვე, მექანიკური რედუქტორები და სიმძლავრის მექანიკური გამაძლიერებლები.

სიმძლავრის მექანიკური გამაძლიერებლის მუშაობის სქემა ნაჩვენებია 4.5 ნახაზზე. გამაძლიერებელი შედგება: თვითმუხრუჭებადი ჭიაგადაცემისაგან – 1, სერვო (დამხმარე)

ძრავასაგან – 2, ენერგიის წყაროსაგან – 3. სერვოდრავას ლილვის უძრავ მდგომარეობაში ყოფნის დროს ჭიათვალის ლილვი, რომელიც გადასცემს სიგნალს სისტემის გამოსავალზე, თვითმუხრუჭებადობის გამო, რჩება უძრავი მბრუნავი მომენტის სიდიდისაგან დამოუკიდებლად. თუ სერვოდრავას როტორი ბრუნავს, მაშინ ჭიახრახნი ათავისუფლებს ჭიათვალს, რომელიც გადასცემს მოძრაობას ენერგიის წყაროდან გამაძლიერებლის გამოსავალზე.



ნახ.4.5. სიმძლავრის მექანიკური გამაძლიერებლის სქემა

სიმძლავრის მექანიკური გამაძლიერებლის სქემიდან ჩანს, რომ გამაძლიერებლის შემაჯავალ და გამომაჯავალ რგოლებს შორის არსებობს მუდმივი კინემატიკური კავშირი, რომელიც უზრუნველყოფს კუთხური გადაადგილებების სინქრონიზაციას, სერვოდრავას როტორის ბრუნვისაგან დამოკიდებულებით. ეს გარემოება საშუალებას იძლევა თავიდან ავიცილოთ შეცდომები რეგულირების დროს. ცხადია, რომ სერვოდრავის როტორის (ჭიახრახნის) ბრუნვით მოძრაობაში მოსაყვანად საჭიროა უმნიშვნელო სიმძლავრე, ხოლო ენერგიის წყაროდან გამოთავისუფლებული ენერგიის ნაკადი შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს. ეს პრინციპი საფუძვლად უდევს სიმძლავრის მექანიკური გამაძლიერებლის მუშაობას.

ელექტრონულ, ელექტრულ, ჰიდრავლიკურ და სხვა გამაძლიერებლებისაგან განსხვავებით, სიმძლავრის მექანიკური გამაძლიერებელი არ საჭიროებს ენერგიის ორჯერად გარდაქმნას სისტემის შესავალ და გამოსავალ რგოლებში, რაც მექანიკური გამაძლიერებლის დადებით მხარეს მიეკუთვნება.

§3. ელექტრონული ბამაძლიერებლები

1. ელექტრონული ნათურა და მისი მახასიათებლები

ელექტრონული ხელსაწყოები ეწოდებათ ვაკუუმში, გაიშვიათებულ გაზებში ან ელექტრონულ ნახევრადგამტარებში ელექტრული დენის გავლის მოვლენაზე დამყარებულ ხელსაწყოებს.

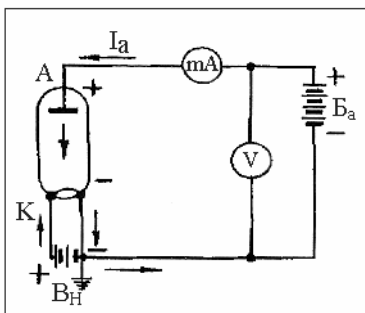
ელექტრონული ხელსაწყის ერთ-ერთი ძირითადი ელემენტია ელექტრონული ნათურა. იგი წარმოადგენს მინის, კერამიკის ან ლითონის ბალონს, რომლის შიგნით განლაგებულია ლითონის ელექტროდები. ბალონში შექმნილია ვაკუუმი $133,322 (10^{-7}-10^{-8})$ ნ/მ² ანუ $(10^{-7}-10^{-8})$ მმ ვერცხ. წყ. სვეტისა.

ელექტრონული ნათურის უმარტივეს კონსტრუქციას წარმოადგენს ორელექტროდიანი ნათურა-დიოდი. დიოდში ანოდს A წარმოადგენს ლითონის ცილინდრი, რომლის ღერძის მიმართულებით თავსდება ვარვარების ძაფი – კათოდი K . კათოდი ელექტრონულ ნათურაში ქმნის თერმოელექტრონულ ემისიას, რომელიც წარმოადგენს სითბოს მოქმედებით ნივთიერების ზედაპირიდან თავისუფალი ელექტრონების ამოფრქვევის მოვლენას. ელექტრონული ნათურას მუშაობა დამყარებულია ნათურის ბალონის ვაკუუმში თერმოელექტრონული ემისიის გამოყენებაზე. ვაკუუმში ელექტრონები მოძრაობენ უფრო თავისუფლად, ხოლო გავარვარებული კათოდი არ იწვის. კათოდის გავარვარება წარმოებს მუდმივი დენით, რომელიც მიიღება ვარვარის ბატარიიდან E_H , ან ცვლადი დენით ჩვეულებრივ დაქვეითებული ძაბვის ტრანსფორმატორიდან.

ნათურის ანოდი განკუთვნილია კათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონების მისაზიდად. თუ ძაბვა ანოდსა და კათოდს შორის ნულის ტოლია, მაშინ კათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონები არ მიემართებიან ანოდისაკენ და კათოდის გარშემო ქმნიან ელექტრონულ ღრუბელს. კათოდი ელექტრონების დაკარგვის გამო იმუხტება დადებითად და არა მხოლოდ აჩერებს მისგან ამოფრქვეულ ელექტრონებს, არამედ კიდევაც მიიზიდავს მათ უკანვე.

თუ ანოდის წრედში ჩავრთავთ ანოდის ბატარეას E_a , მაშინ ნათურაში შევქმნით ელექტრულ ველს, რომლის გავლენითაც ელექტრონული ღრუბლიდან ელექტრონები გაემართებიან ანოდისაკენ და ნათურის ანოდურ წრედში გაივლის დენი.

4.6 ნახაზზე ნაჩვენებია ორელექტროდიანი ნათურის ჩართვის სქემა. სქემაზე კათოდის ერთი ბოლო მიერთებულია ანოდური ბატარეის – E_a და ვარვარის ბატარეის E_H უარყოფით კონტაქტებთან. ამ წერტილს საერთო მინუსი ეწოდება. იგი ჩვეულებრივად შეერთებულია ხელსაწყოთა ლითონის კორპუსთან და მიწასთან. მას უწოდებენ, აგრეთვე, ნულოვანი პოტენციალის წერტილს.



ნახ.4.6. ორელექტროდიანი ნათურა (დიოდ)

დიოდის მნიშვნელოვან თვისებას წარმოადგენს მისი ცალმხრივი გამტარობა. მასში ელექტრონები მოძრაობენ კათოდისა და ანოდისაკენ, რაც შეესაბამება დენის მიმართულებას ანოდისა და კათოდისაკენ. დიოდები გამოიყენება ცვლადი დენის გამართვისათვის, ე.ი. ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდაქმნისათვის.

ანოდური დენი ცვალებადობს რამდენიმე მილიამპერიდან რამდენიმე ათეულ მილიამპერამდე. ვარვარის დენი შეადგენს რამდენიმე ათეულ ან ასეულ მილიამპერს. ვარვარის ძაბვა შეადგენს რამდენიმე ვოლტს, ანოდური ძაბვა – რამდენიმე ასეულ ვოლტს.

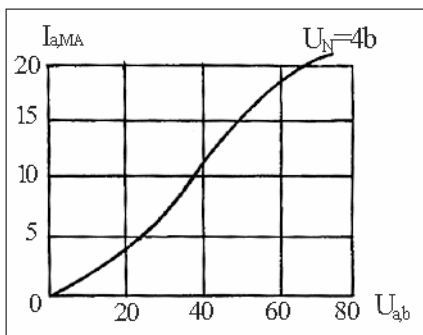
ელექტრონული ნათურების შერჩევისას დიდი მნიშვნელობა აქვს ანოდურ დენსა I_a და ანოდურ ძაბვას U_a შორის დამოკიდებულების ცოდნას. ეს დამოკიდებულება გამოისახება სამი მეორედის ხარისხის კანონით:

$$I_a = C U_a^{3/2}, \quad (4.15)$$

სადაც C კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნათურის ელექტროდების ზომებზე და ფორმაზე.

მრუდს, რომელიც გამოხატავს ნათურის ანოდური დენის ძალის დამოკიდებულებას ანოდური ძაბვისაგან, ეწოდება ნათურის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი, როდესაც ვარვარის ძაბვა $U_H=43$ ნაჩვენებია 4.7 ნახაზზე.



**ნახ.4.7. დიოდის
ვოლტამპერული
მახასიათებელი**

თუ კათოდის მოცემული ვარვარების დროს ძაფსა და ანოდს შორის ძაბვას გავადიდებთ, მაშინ უფრო მეტი რაოდენობის ელექტრონები იმობრავებენ ანოდისაკენ, ე.ი. დენი ანოდურ წრედში მოიმატებს. კათოდსა და ანოდს შორის ძაბვის ცვალებადობის მიზნით მათ შორის ათავსებენ მესამე ელექტროდს, რომელსაც ბადე C ეწოდება. ასეთ ელექტრონულ ნათურას სამეელექტროდიან ნათურას ანუ ტრიოდს უწოდებენ. ტრიოდში ბადე ასრულებს ანოდური დენის მართვის გრძნობიერი ორგანოს როლს. ბადეები სრულდება სპირალის სახით ლითონის ტრავერსთან მიდებული ხვეულებით.

ბადის მმართველი მოქმედება მდგომარეობს, ბადეზე მოდებული ძაბვის ცვალებადობით ანოდური დენის რეგულირებაში. კერძოდ, უარყოფითი ძაბვა ბადეზე ამცირებს ანოდურ დენს, ხოლო დადებითი ძაბვა კი ზრდის. ბადეზე უარყოფითი ძაბვის გაზრდით შეიძლება მივაღწიოთ ელექტრონების მოძრაობის სრულ შეწყვეტას. ბადურ ძაბვას, რომლის შემთხვევაშიაც ნათურაში ანოდური დენი მცირდება ნულამდე, უწოდებენ ჩაკეტვის (წაკეთის) ძაბვას. ჩაკეტვის ძაბვა მით უფრო მეტია, რაც მეტია U_a .

რაოდენობითი კავშირი U_a ანოდურ და U_c ბადურ ძაბვებსა და ანოდურ I_a დენს შორის ანალიზურად გამოისახება განტოლებით:

$$I_a = C(U_c + DU_a)^{3/2}, \quad (4.16)$$

სადაც I_a არის ანოდური დენი;

U_c – ძაბვა ბადესა და კათოდს შორის;

U_a – ძაბვა ანოდსა და კათოდს შორის;

D – ბადის შეღწევადობის განმსაზღვრელი რიცხვითი კოეფიციენტი;

C – კოეფიციენტის მნიშვნელობა განმარტებულია ზევით.

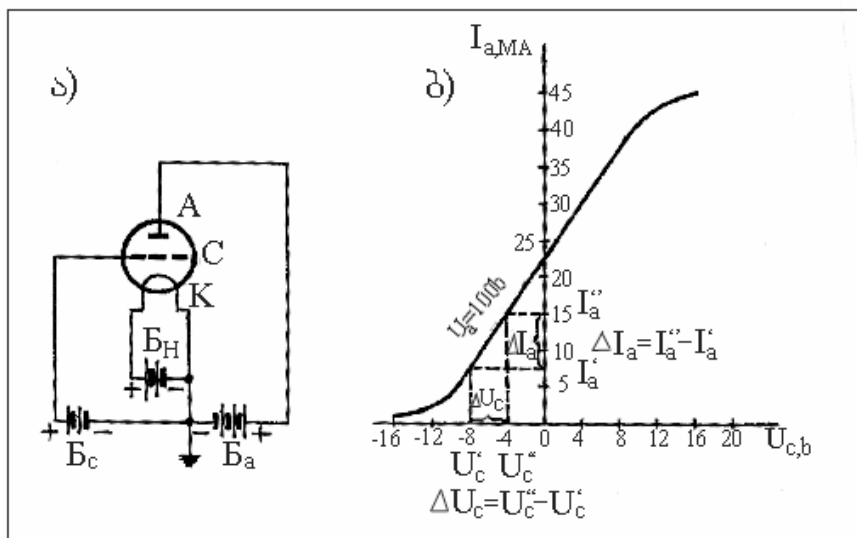
ტრიოდი ხასიათდება ორი ძირითადი სტატიკური მახასიათებლით: 1) ანოდური, 2) ანოდურ-ბადური მახასიათებელი.

ანოდური მახასიათებელი გამოსახავს ტრიოდის ანოდური დენის დამოკიდებულებას ანოდური ძაბვისაგან, მუდმივი ბადური ძაბვის დროს.

ანოდურ-ბადური მახასიათებელი წარმოადგენს ანოდური დენის დამოკიდებულებას ბადეზე ძაბვისაგან, მუდმივი ანოდური ძაბვის დროს.

იგულისხმება, რომ ორივე სტატიკური მახასიათებლის გადაღებისას კათოდის ვარვარის ძაბვა მუდმივია.

ნახ.4.8,ა – ნახვენებია ტრიოდის წრედების სქემა, ხოლო ნახ. 4.8,ბ – ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებელი.



ნახ.4.8. სამელექტროდიანი ნათურა (ტრიოდი): ა) ტრიოდის წრედების სქემა. A – ანოდი; C – ბადე; K – კათოდი; E_H – ვარვარას ბატარეა; E_a – ანოდის ბატარეა. ბ) ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებელი

ტრიოდის, როგორც გამაძლიერებლის თვისებები ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით: მახასიათებლის დახრილობა, ნათურის შიგა წინაღობა და გაძლიერების კოეფიციენტი. (მუდმივ სიდიდეებს, რომლებიც განსაზღვრავენ ელექტრონული ნათურის თვისებებს, ეწოდებათ ნათურის პარამეტრები).

მახასიათებლის დახრილობა წარმოადგენს ანოდური დენის ნაზრდის შეფარდებას ბადური ძაბვის შესაბამის ნაზრდთან, ანოდური ძაბვის მუდმივი მნიშვნელობის დროს. დიფერენციალურ ფორმაში

$$S = \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_c} \right)_{U_a} = \text{const} . \quad (4.17)$$

ამრიგად, მახასიათებლის დახრილობა განსაზღვრავს ბადური ძაბვის გავლენას ანოდურ დენზე.

დახრილობის ერთეულია ერთი მილიამპერი გაყოფილი ერთ ვოლტზე (მპ/ვ). რაც მეტია მახასიათებლის დახრილობა, მით უკეთესად იმუშავებს ნათურა, როგორც გამაძლიერებელი.

ცვლადი დენისადმი ნათურის შინაგანი წინააღმდეგობა განისაზღვრება ანოდური ძაბვის ნაზრდის შეფარდებით შესაბამისი ანოდური დენის ნაზრდთან, მუდმივი ბადური ძაბვის დროს. დიფერენციალურ ფორმაში გამოიხატება წარმოებულთ:

$$R_I = \left(\frac{\partial U_a}{\partial I_a} \right)_{U_c} = \text{const.} \quad (4.18)$$

შიგა წინაღობა ახასიათებს ანოდური ძაბვის გავლენას ანოდურ დენზე, ბადური ძაბვის მუდმივი მნიშვნელობის დროს.

ცნობილია, რომ ანოდურ დენზე დიდ გავლენას ახდენს ბადური ძაბვის ცვალებადობა, რადგან ბადე კათოდთან უფრო ახლოს არის განლაგებული, ვიდრე ანოდთან.

თუ გავზრდით ბადურ ძაბვას ΔU_c სიდიდით, შესაბამისად გაიზრდება, აგრეთვე, ანოდური დენიც ΔI_a მნიშვნელობით; იმისათვის, რომ ანოდური დენი გაიზარდოს იმავე ΔI_a სიდიდით, მხოლოდ ანოდური ძაბვის ΔU_a გაზრდის ხარჯზე, ΔU_a მნიშვნელობა უნდა იყოს გაცილებით მეტი, ვიდრე ΔU_c .

ნათურის გაძლიერების სტატიკური კოეფიციენტი μ განისაზღვრება ანოდური და ბადური ძაბვის ცვლილებათა ფარდობით, რომელთა შემთხვევაში მიიღწევა ანოდური დენის ერთი და იგივე ცვლილება. დიფერენციალურ ფორმაში იგი უდრის:

$$\mu = - \left(\frac{\partial U_a}{\partial U_c} \right)_{I_a} = \text{const.} \quad (4.19)$$

ამრიგად, ნათურის გაძლიერების კოეფიციენტი გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ იზრდება ცვლადი ძაბვა, ელექტრონული ნათურის მოქმედების შედეგად. წარმოებულის წინ ნიშანი მინუსი გაპირობებულია იმით, რომ ბადური და ანოდური ძაბვების ნაზრდები, ანოდური დენის მუდმივი მნიშვნელობის დროს, ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნების უნდა იყოს.

გაძლიერების სტატიკურ კოეფიციენტს μ , მაახასიათებლის დახრილობასა S და ნათურის შიგა წინააღმდეგობას R_i შო-

რის არსებობს დამოკიდებულება, რომელსაც ნათურის შიგა განტოლებას უწოდებენ.

$$\mu = R_i S. \quad (4.20)$$

(4.20) გამოსახულება გამომდინარეობს (4.19)-დან, თუ წილადის მრიცხველსა და მნიშვნელს გავამრავლებთ ∂I_a , ე.ი.

$$\mu = \frac{\partial U_a \partial I_a}{\partial U_c \partial I_a} = \frac{\partial U_a \partial I_a}{\partial I_a \partial U_c} = R_i S,$$

სადაც $R_i = \frac{\partial U_a}{\partial I_a}$, ხოლო $S = \frac{\partial I_a}{\partial U_c}$ შესაბამისად (4.18) და

(4.17) გამოსახულებების მიხედვით.

მე-4.1 ცხრილში მოყვანილია ავტომატიკის გავრცელებულ სქემებში გამოყენებული ზოგიერთი ტრიოდის ძირითადი ნომინალური პარამეტრები.

ცხრილი 4.1
ზოგიერთი ტრიოდის ძირითადი ნომინალური პარამეტრები

ნათურის აღნიშვნა	ვარგარების დენია	ანოდის ძაბვა, ვ	გადაადგილების ძაბვა ბაღეზზე, ვ	ანოდური დენი, მა	ბაღეზური მახასიათებლის დახრილობა, მ/ვ	გაძლიერების კოეფიციენტი	შინაგანი წინააღმდეგობა, კომ	ანოდის მიერ ზღვრული დასაშვები განბნევის სიმძლავრე, ვტ
6C5C	0.3	250	-8	8	2.2	20	9	2.75 ტრიოდი
6H7C	0.81	300	-6	7	3.2	35	11.3	6.0 ორმაგი ტრიოდი
6H9C	0.3	250	-2	2.3	1.6	70	44	1.1 ორმაგი ტრიოდი
6H2Π	0.345	250	-1.5	2.3	2	97.5	49	1 ორმაგი ტრიოდი

თანამედროვე მიმღები – გამაძლიერებელი ნათურა პირობითად აღინიშნება ოთხი ელემენტით:

პირველი ელემენტი არის რიცხვი (დამრგვალებული), რომელიც გამოსახავს ვარვარის ძაბვას ვოლტებში;

მეორე ელემენტი – ასო გვიჩვენებს ნათურის ელექტროდების სისტემას. ცალმაგ ტრიოდებს აქვს ასო C, ხოლო ორმაგებს – ასო H;

მესამე ელემენტი – ციფრი, რომელიც აღნიშნავს ნათურის შესრულების საწარმოო (რიგით) ნომერს;

მეოთხე ელემენტი – ასო უჩვენებს კონსტრუქციულ შესრულებას და მის მიკუთვნებას განსაზღვრული სერიისადმი. მაგალითად, მინის გარსიანი ნათურა - C, მცირეგაბარიტიანი თითისებრი ნათურა - Π, ზემინიატურული ნათურა დიამეტრით 10 მმ - E; ლითონის გარსიანი ნათურების შესრულებისას ბოლო ასო არ იწერება.

წარმოება უშვებს, აგრეთვე, კომბინირებულ ნათურებს. კომბინირებული ნათურის შემთხვევაში ერთ ბალონში მოთავსებულია ელექტროდების ორი სისტემა. ასეთ ნათურებს მიეკუთვნება: ორმაგი ტრიოდები, დიოდ-ტრიოდები, დიოდ-პენტოდები და ტრიოდ-პენტოდები (პენტოდი ეწოდება ნათურას, რომელშიც მოთავსებულია სამი ბადე – მმართველი, მაეკრანებელი და დინატრონსაწინააღმდეგო. მაეკრანებელი ბადე მოთავსებულია ანოდთან მმართველ ბადეზე ახლოს. მასზე მიეწოდება დადებითი ძაბვა, რომელიც სიდიდით ანოდურ ძაბვაზე ნაკლებია. ამ შემთხვევაში ანოდური ძაბვის ცვალებადობა ნაკლებ გავლენას მოახდენს ანოდურ დენზე, რადგან კათოდსა და ანოდს შორის მოთავსებულია დამატებითი დადებითად დამუხტული ელექტროდი, ანოდის მაეკრანებელი კათოდისაგან. მაეკრანებელ ბადესა და ანოდს შორის დინატრონული ეფექტისაგან – კათოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონების მიერ ანოდიდან და მაეკრანებელი ბადიდან ამოტყორცნილი მეორადი ელექტრონების ამოგდება-დაცვის მიზნით, ათავსებენ მესამე დამცველ ანუ დინატრონსაწინააღმდეგო ბადეს და უერთებენ კათოდს. ამ შემთხვევაში ანოდიდან ამოფრქვეული ელექტრონები უბრუნდებიან უკანვე ანოდს. პენტოდებში გაძლიერების კოეფიციენტი აღწევს 1500-მდე).

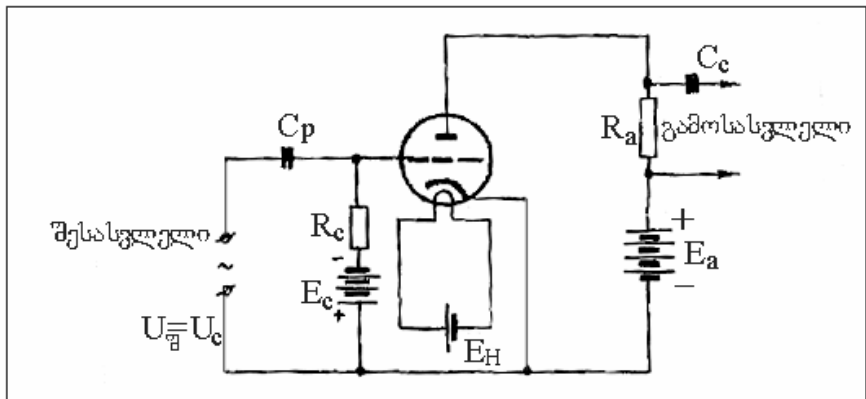
2. ელექტრონული გამაძლიერებლები

ელექტრონული გამაძლიერებლები ფართოდაა გამოყენებული ავტომატიკის სქემებში. ელექტრონული გამაძლიერებელი არის აპარატი, რომელიც გაძლიერებას აწარმოებს ელექტრონული ნათურის მეშვეობით. გაძლიერებისათვის გამოყენებულია ანოდური წრედის მკვებავი ენერგიის წყარო.

სამელექტროდიანი ნათურის ძირითადი დანიშნულებაა ცვლადი ძაბვის გაძლიერება. გასაძლიერებელი ცვლადი ძაბვა მიეწოდება ბადეზე და ნათურის კათოდზე, ხოლო გაძლიერებული ძაბვა მოიხსნება ანოდურ წრედში.

4.9 ნახაზზე მოცემულია გაძლიერების საფეხურის ანუ კასკადის სქემა. იგი შედგება ნათურის, კეების წყაროებისა და ანოდის წრედში ჩართული დამტვირთავი წინააღმდეგობის R_a . ცვლადი ძაბვა U_c მცირე აქტიური წინააღმდეგობის ტრანსფორმატორის გრაგნილიდან ნათურის ბადეზე მიიყვანება გამყოფი კონდენსატორით C_p . გამყოფი კონდენსატორი C_p იცავს E_c წყაროს ტრანსფორმატორის გრაგნილთან მოკლე ჩართვისაგან. ერთდროულად ბადეზე მიიყვანება მუდმივი ძაბვა (გადაადგილების ძაბვა) E_c წყაროდან.

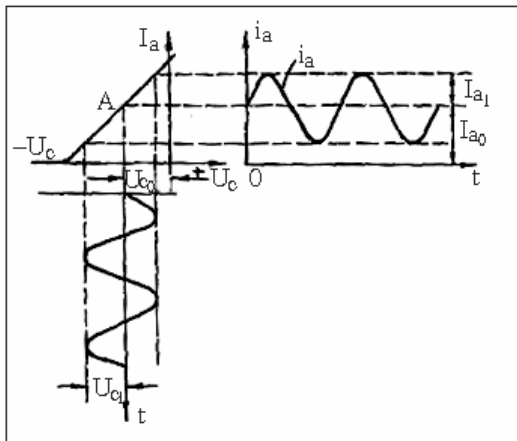
მცირე სიმძლავრის ელექტრონული სიგნალი მიწოდებული ნათურის ბადეზე იწვევს ანალოგიურ, მაგრამ გაცილებით მძლავრ სიგნალს R_a წინააღობაზე.



ნახ.4.9. გაძლიერების სქემა სამელექტროდიანი ნათურის გამოყენებით

გამაძლიერებელი კასკადის მუშაობის თვალსაჩინოების მიზნით განვიხილოთ სამელექტროდიანი ნათურის ანოდურ-

ბადური მახასიათებელი დენისა და ძაბვის მრუდების სახით (ნახ.4.10)



ნახ.4.10. ნათურულ-ტრიოდის გამაძლიერებლის ანოდურ-ბადური დიაგრამა

როდესაც ბადეზე არ არის ცვლადი ძაბვა, ანოდური დენი იწოდება სიმშვიდის დენად I_{a0} , ხოლო მისი შესაბამისი A წერტილი მახასიათებელზე (ნახ.4.10) – მუშა წერტილად.

ბადური დენით შექმნილი გაძლიერების მისაღებად, დამახინჯებების გარეშე, აუცილებელია, რომ მახასიათებლის მუშა წერტილი იმყოფებოდეს ბადეზე უარყოფითი ძაბვების სწორხაზოვანი უბნის არეში. ამისათვის გამაძლიერებლებში ბადეზე მიეწოდება მუდმივი უარყოფითი ძაბვა, რომელიც გადაადგილებს მუშა წერტილს მარცხნივ. ამ ძაბვას ეწოდება გადაადგილების ძაბვა. მახასიათებლის უბანს, რომლის ფარგლებშიც იცვლებიან ბადური ძაბვა და ანოდური დენი, ეწოდება მუშა უბანი.

მუშა წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება გადაადგილების ძაბვით, ხოლო ნათურის ანოდური დენი გადაადგილების ძაბვის და ცვლადი ძაბვის U_c მყისი მნიშვნელობის ჯამით.

თუ ბადურ წრედში არ არსებობს გასაძლიერებელი ძაბვა $U_{აგ}$, ნათურის ანოდურ წრედში გადის მუდმივი I_{a0} დენი, რომლის სიდიდეც განისაზღვრება ანოდური ძაბვითა და მუდმივი ბადური გადაადგილების ძაბვით U_{c0} .

ბადურ წრედში გასაძლიერებელი ძაბვის $U_{აგ} = U_{ci}$ წარმოქმნა იწვევს ანოდური დენის შეცვლას, რომელშიც ჩნდება

ცვლადი მდგენელი I_{a1} ამპლიტუდით. მაშასადამე, ანოდურ წრედში გაივლის დენი, რომელიც შეიცავს მუდმივ მდგენელს I_{a0} და ცვლად მდგენელს I_{a1} . ამის გამო R_a წინაღობის მომჭერებზე იქმნება ძაბვა, რომელიც შეიცავს მუდმივ მდგენელს $I_{a0} R_a$ და ცვლად მდგენელს $I_{a1} R_a$.

კონდენსატორის ჩართვით, რომელიც ატარებს ცვლად დენს, მაგრამ არ ატარებს მუდმივ დენს, შეიძლება გამოვყოთ ცვლადი ძაბვა ამპლიტუდით $U_{გამ} = I_{a1} R_a$, რომელიც წარმოადგენს გაძლიერებულ ძაბვას გამაძლიერებლის გამო-სასვლელზე.

გაძლიერებული ცვლადი ძაბვის ამპლიტუდა აღემატება ბადეზე მიწოდებულ ცვლად ძაბვას, დამტვირთავი ანოდური წინაღობის R_a საკმაოდ დიდი მნიშვნელობის შემთხვევაში.

განხილული სახის გამაძლიერებელს ხშირად უწოდებენ გამაძლიერებელს წინაღობებზე ან რეოსტატულ გამაძლიერებელს.

ნათურული გამაძლიერებლის ანოდური წრედი შედგება თანმიმდევრულად შეერთებული ტრიოდის შიგა წინაღობისა R_i და ანოდური დატვირთვისაგან R_a ამიტომ ანოდური დენის შეცვლა

$$\Delta I_a = \frac{\Delta U_a}{R_i + R_a}. \quad (4.21)$$

(4.19) ფორმულის თანახმად $\Delta U_a = \mu \Delta U_c$.

თუ ჩავსვამთ ΔU_a -ს მნიშვნელობას (4.21) მივიღებთ

$$\Delta I_a = \frac{\mu \Delta U_c}{R_i + R_a}; \quad (4.22)$$

გამომავალი ძაბვის შეცვლა

$$\Delta U_{გამ} = \Delta I_a R_a; \quad (4.23)$$

გავითვალისწინოთ (4.22) ΔI_a -ს მნიშვნელობა (4.23), მივიღებთ

$$\Delta U_{გამ} = \mu \Delta U_c \frac{R_a}{R_i + R_a}; \quad (4.24)$$

გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი ნაკლებია ნათურის გაძლიერების კოეფიციენტზე.

გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი

$$K = \frac{\Delta U_{\text{გამ}}}{\Delta U_{\text{შემ}}}; \quad (4.25)$$

თუ ჩავსვამთ (4.25) $\Delta U_{\text{შემ}}$ -ის ნაცვლად მის ტოლ მნიშვნელობას ΔU_c , ხოლო $\Delta U_{\text{გამ}}$ ნაცვლად მის მნიშვნელობას (4.24), მივიღებთ:

$$K = \frac{\mu \Delta U_c \frac{R_a}{R_i + R_a}}{\Delta U_c} = \mu \frac{R_a}{R_i + R_a};$$

აბ

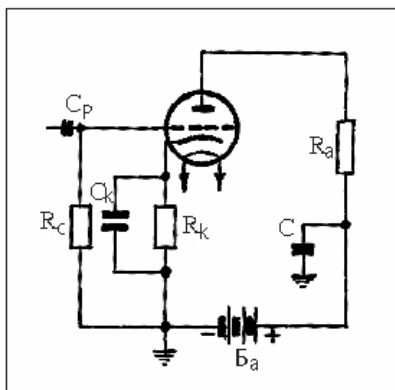
$$K = \mu \frac{1}{\frac{R_i}{R_a} + 1}. \quad (4.26)$$

(4.26) ფორმულიდან ჩანს, რომ

$$K < \mu.$$

თანამედროვე გამაძლიერებლებში გადაადგილების ძაბვის შესაქმნელად დამოუკიდებელი დენის წყაროს ნაცვლად გამოიყენება ანოდური წყაროს ძაბვის ნაწილი (გადაადგილების ავტომატური ძაბვა).

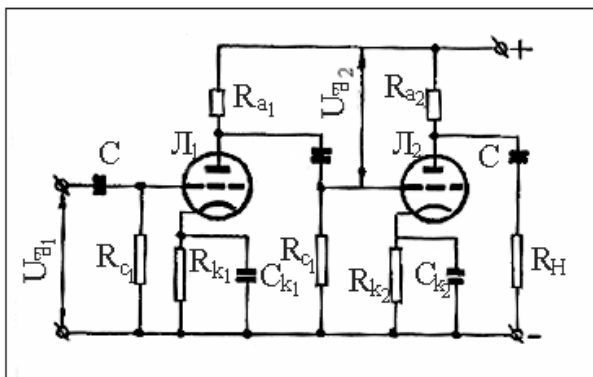
გადაადგილების ავტომატური ძაბვის მისაღები სქემა შესათბობი კათოდიანი ნათურისათვის წარმოდგენილია 4.11 ნახაზზე.



ნახ.4.11. გადაადგილების ავტომატური ძაბვის მისაღები სქემა

ანოდურ წრედში მიმდევრობით კათოდსა და ანოდური წყაროს უარყოფით პოლუსს შორის ჩართულია R_k წინაღობა, რომელსაც გადაადგილების წინააღობა ან კათოდური წინააღობა ეწოდება. ანოდური დენის მუდმივი მდგენელი R_k წინააღობაში გავლისას ქმნის მასზე ძაბვის ვარდნას. ასეთივე სიდიდის ძაბვის ვარდნას აქვს ადგილი, აგრეთვე, ბადეზე. ანოდურ წრედში ჩართულია, აგრეთვე, დიდი ტევადობის კონდენსატორი C_k , რომლის წინააღობა რამდენჯერმე ნაკლებია კათოდურ R_k წინააღობაზე.

ორკასკადიანი გამაძლიერებლის სქემა მოცემულია 4.12 ნახაზზე. ცვლადი ძაბვა $U_{\text{გმ1}}$ გასაძლიერებლად მიეწოდება პირველი კასკადის ბადეზე. ამის გამო ანოდური დენი ხდება მკუესავი. ანოდური დენის ცვლადი მდგენელი I_{a1} დამტვირთავ წინააღობაზე R_{a1} ქმნის გაძლიერებულ ცვლად ძაბვას $U_{\text{გმ1}} = I_{\text{გმ1}} \cdot R_{a1}$, რომელიც გადის C_c კონდენსატორის გავლით; ეს ძაბვა წარმოადგენს შემავალ სიგნალს მეორე $\mathcal{A}_2$ ნათურისათვის, ე.ი. $U_{\text{გმ1}} = U_{\text{გმ2}}$.



ნახ.4.12. ორკასკადიანი გამაძლიერებლის სქემა

ცვლადი ძაბვა $U_{\text{გმ2}}$ მიეწოდება შემდეგ საფეხურს ბადური C_c კონდენსატორის გავლით; ბადური კონდენსატორი $\mathcal{A}_2$ ნათურის ბადეს ამხოლოებს ანოდური კვების მაღალი მუდმივი ძაბვისაგან, მაგრამ თავისუფლად ატარებს ცვლად ძაბვას.

ბადური წინააღობა R_{c2} ხელს უწყობს ბადიდან ელექტრონების გადინებას, რის გამოც მეორე ნათურის $\mathcal{A}_2$

ბადეზე არ წარმოიქმნება ნათურის მუშაობაში ხელის შემშლელი უარყოფითი პოტენციალი. გამაძლიერებლის გამოსასვლელს შეადგენს მეორე კასკადის R_H წინაღობიდან მოხსნილი ძაბვა.

მრავალსაფეხურიან გამაძლიერებელში საწყისი საფეხურები, დაწყებული შესასვლელიდან, შეადგენენ ძაბვის გამაძლიერებელს ან წინასწარ გამაძლიერებელს, ხოლო გამაძლიერებლის უკანასკნელი საფეხური კი წარმოადგენს სიმძლავრის გამაძლიერებელს.

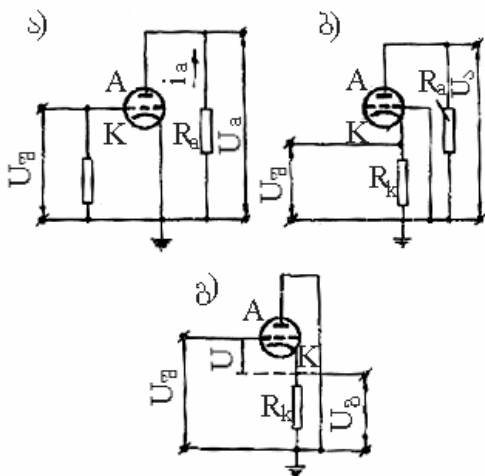
ნათურულ გამაძლიერებლებში გამოიყენება ელექტრონული ნათურის ჩართვის სამი ძირითადი სქემა (ნახ.4.13): 1) დამიწებული კათოდით; 2) დამიწებული ბადითა და 3) დამიწებული ანოდით.

ნათურის ჩართვის სქემამ, დამიწებული კათოდით, დიდი გავრცელება ჰპოვა ძაბვისა და სიმძლავრის გამაძლიერებლებში. კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი აღნიშნული სქემისათვის გამოისახება ფორმულით (4.26).

სქემა დამიწებული ბადით გამოიყენება ზემოაღნიშნული სიხშირის სიგნალებისა და მუდმივი დენის გასაძლიერებლად. ასეთი კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი საშუალო სიხშირეებზე ტოლია

$$K = \frac{(\mu + 1)R_a}{R_i + R_a}. \quad (4.27)$$





ნახ.4.13. ნათურის ჩართვის სქემა:

- ა) დამიწებული კათოდით;
- ბ) დამიწებული ბადით;
- გ) დამიწებული ანოდით.

სქემა დამიწებული ანოდით ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე გამაძლიერებლებში.

ასეთი კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი ყოველთვის ერთზე ნაკლებია, რადგან

$$U_{შეშ} = U_{ck} + U_{გამ}$$

და

$$K = \frac{U_{გამ}}{U_{შეშ}} < 1. \quad (4.28)$$

ავტომატიკაში გამოყენებული ელექტრონული გამაძლიერებლები წარმოადგენენ უნიფიცირებულ კვანძებს, რომლებსაც ქარხნები უშვებენ აწყობილი სახით. განსაკუთრებით გავრცელებულია $УЭ$ და $УЭМ$ ტიპის გამაძლიერებლები.

§4. ნახევარგამტარული გამაძლიერებლები

1. ნახევარგამტარები და მათი თვისებები

ნახევარგამტარები ეწოდებათ ნივთიერებებს, რომლებიც ჩვეულებრივი ტემპერატურის პირობებში შეიცავენ თავისუფალი ელექტრონების ძალიან მცირე რაოდენობას, რაც განაპირობებს ნახევარგამტარების მეტად დიდ კუთრ წინააღობას.

ელექტრული წინაღობის თვალსაზრისით ნახევარგამტარებს უჭირავთ შუალედი მდგომარეობა გამტარებსა და იზოლატორებს შორის. მართლაც, გამტარების კუთრი წინაღობა შეადგენს $1,6 \cdot 10^{-2} \div 1$ ომიმმ²/მ, იზოლატორების კუთრი წინაღობა $10^{15} \div 10^{23}$ ომიმმ²/მ, ხოლო ნახევარგამტარების კი $10 \div 10^{14}$ ომიმმ²/მ.

ლითონებისაგან განსხვავებით ნახევარგამტარებს წინაღობის უარყოფითი ტემპერატურული კოეფიციენტი აქვთ. ეს ნიშნავს, რომ თუ ნახევარგამტარს, რომელშიც დენი გადის, გავატობთ, მასში დენი მნიშვნელოვნად გაიზრდება, ხოლო თუ გავატობთ გამტარს, რომელშიც დენი გადის, მასში დენი შემცირდება. მაშასადამე, ნახევარგამტარის გატობისას თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი მკვეთრად იზრდება.

ცნობილია ნახევარგამტარული გამტარობის ორი სახე: ელექტრონული გამტარობა და ხვრელური გამტარობა.

ნახევარგამტარებს ელექტრონული გამტარობით გააჩნიათ ე.წ. თავისუფალი ელექტრონები, რომლებიც სუსტად არიან დაკავშირებული ატომების ბირთვებთან. თუ ასეთ ნახევარგამტარს მოვდებთ პოტენციალთა სხვაობას, თავისუფალი ელექტრონები დაიწყებენ გადატანით მოძრაობას გარკვეული მიმართულებით, ე.ი. ნახევარგამტარში გაივლის ელექტრული დენი. ვინაიდან აღნიშნული ტიპის ნახევარგამტარებში ელექტრული დენი წარმოადგენს უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების გადაადგილებას, ამიტომ მათ უწოდებენ n ტიპის ნახევარგამტარებს (სიტყვისაგან negative – უარყოფითი).

ნახევარგამტარებს ხვრელური გამტარობით არ გააჩნიათ თავისუფალი ელექტრონები. მათში ელექტრული დენის გავლა განიხილება, როგორც დადებითი მუხტების გადაადგილება. ნახევარგამტარებს ხვრელური გამტარობით ეწოდებათ p ტიპის ნახევარგამტარები (სიტყვისაგან positive – დადებითი).

ნახევარგამტარში სრული დენი წარმოადგენს ელექტრონული გამტარობით (I_n) და ხვრელური გამტარობით (I_p) გამოწვეული დენის ჯამს

$$I = I_n + I_p.$$

ხვრელური გამტარობა მდგომარეობს შემდეგში: თუ ნახევარგამტარს მოვდებთ ძაბვას, მასში პოტენციალთა

სხვაობის გავლენით დაიწყებენ გადაადგილებას ხვრელები, რაც ტოლფასია დადებითი მუხტების გადაადგილებისა. ხვრელების გადაადგილების მიმართულება ელექტრონების მოძრაობის საწინააღმდეგოა. თეორია და ცდა გვიჩვენებს, რომ ხვრელები იქცევიან ისე, როგორც ელემენტარული დადებითი მუხტები.

თუ ატომს გარე ორბიტაზე აკლია ერთი ელექტრონი, მას გააჩნია ერთი ხვრელი. პოტენციალთა სხვაობის გავლენით, მეზობელი ნეიტრალური ატომიდან, რომლის ყველა ელექტრონი თავის ადგილზეა, ერთი ელექტრონი გადაადგილდება ხვრელიანი ატომისაკენ, რის შედეგადაც ხვრელიანი ატომი გადაიქცევა ნეიტრალურ ატომად, ხოლო ხვრელი გაჩნდება ატომში, რომელმაც ერთი ელექტრონი დაკარგა. ასეთ პროცესს ელექტრონებისა და ხვრელების რეკომბინაცია ეწოდება.

აბსოლუტურად სუფთა ნახევარგამტარების გამტარობას, რომლებიც მინარევებს არ შეიცავენ, საკუთარი გამტარობა ეწოდება. აბსოლუტურად სუფთა ნახევარგამტარებში სინათლის ან სითბოს მოქმედებით, ელექტრონები და ხვრელები წარმოიშობიან წყვილწყვილად. ამიტომ საკუთარ ნახევარგამტარებში ელექტრონებისა და ხვრელების რიცხვი თანაბარია.

დიდი გამტარობა ახასიათებთ მინარევიან ნახევარგამტარებს. მინარევის სახეობის მიხედვით მათში ჭარბობს ელექტრონული ან ხვრელური გამტარობა. მინარევები შეიძლება იყოს დონორული, რომლებიც ზრდიან თავისუფალი ელექტრონების მარაგს და აქცეპტორული, რომლებიც ზრდიან ხვრელების რიცხვს. მაშასადამე, დონორული მინარევიანი ნახევარგამტარის გამტარობა ძირითადად ელექტრონულია ანუ ხასიათდება n-გამტარობით. ამ ნახევარგამტარებში მუხტების ძირითად მატარებლებს წარმოადგენენ ელექტრონები, ხოლო არა ძირითად მატარებლებს – ხვრელები. აქცეპტორული მინარევიანი ნახევარგამტარის გამტარობა კი პირიქით ხვრელურია, ანუ ხასიათდება p-გამტარობით. აქ მუხტების ძირითად მატარებლებს წარმოადგენენ ხვრელები, არა ძირითად მატარებლებს – ელექტრონები. აღსანიშნავია, რომ ძირითადი და არა ძირითადი მატარებლების კონ-

ცენტრაციათა ნამრავლი უცვლელი სიდიდეა, ნებისმიერი ტიპის ნახევარგამტარისათვის, ე.ი.

$$pn = p_i n_i. \quad (4.29)$$

სადაც p და p_i არის ხერელების კონცენტრაციები შესაბამისად მინარევიან და არამინარევიან ნახევარგამტარებში.

n და n_i ელექტრონების კონცენტრაცია მინარევიან და არამინარევიან ნახევარგამტარებში.

ნახევარგამტარიანი დიოდებისა და ტრიოდების დასამზადებლად ძირითადად გამოიყენება გერმანიუმი და კაჟბადი. მათთან შეფარდებით დონორებს წარმოადგენენ სტიბიუმი, ფოსფორი, დარიშხანი; აქცეპტორებს – ინდიუმი, გალიუმი, ალუმინი, ბორი.

n გამტარობის მინარევიან ნახევარგამტარში გვაქვს შემდეგი სახის ელექტრული მუხტები:

1) მოძრავი უარყოფითი მუხტები (ელექტრონები), რომლებიც წარმოადგენენ ძირითად მატარებლებს;

2) მოძრავი დადებითი მუხტები (ხერელები) – წარმოადგენენ არა ძირითად მატარებლებს;

3) უძრავი დადებითი მუხტები – დონორული მინარევის იონები.

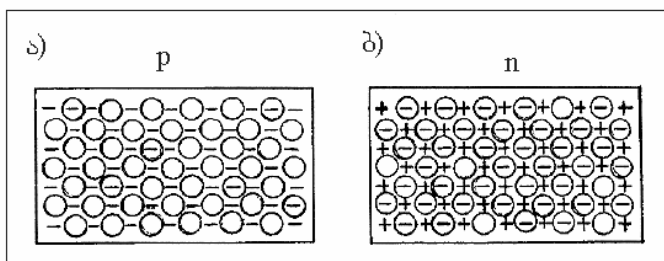
p -გამტარობის მინარევიან ნახევარგამტარში გვაქვს შემდეგი სახის ელექტრული მუხტები:

1) მოძრავი დადებითი მუხტები (ხერელები) – ძირითადი მატარებლები;

2) მოძრავი უარყოფითი მუხტები (ელექტრონები) – არაძირითადი მატარებლები;

3) უძრავი უარყოფითი მუხტები – აქცეპტორული მინარევის იონები.

4.14 ნახაზზე ნაჩვენებია p -გერმანიუმის (ა) და n -გერმანიუმის (ბ) ფორფიტები ელექტრული მუხტების განლაგებით.



ნახ.4.14. ნახევარგამტარში ელექტრული მუხტების განლაგება:
 ა) p-გერმანიუმის ფირფიტა; ბ) n-გერმანიუმის ფირფიტა; $\ominus$ - ელექტრონები; $\bigcirc$ - ხვრელები; “-” – უძრავი უარყოფითი მუხტები; “+” – უძრავი დადებითი მუხტები

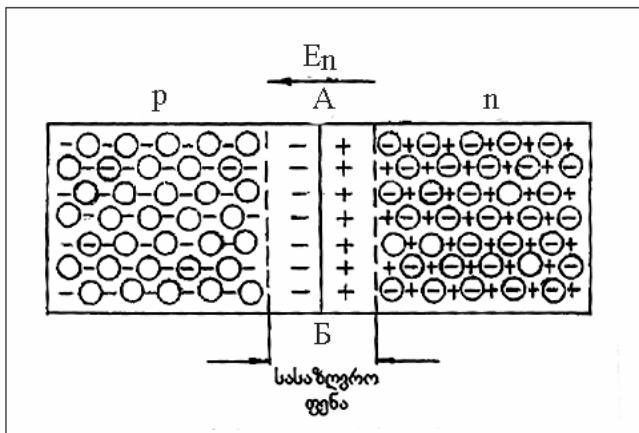
2. ნახევარგამტარული დიოდები

განვიხილოთ სხვადასხვა ტიპის გამტარობის ორი ნახევარგამტარის კონტაქტი. ნახევარგამტარების სასაზღვრო არეს ამ შემთხვევაში ეწოდება p-n გადასვლა.

კონტაქტი ორ ფირფიტას შორის p-n გადასვლით მიიღება არა მექანიკური გზით, არამედ გამოსავალ ფირფიტაში საჭირო მინარევის შედნობით და დიფუზიით. გადასვლას, რომელიც მიიღება შენარევის შედნობით, ეწოდება შენადნობი, ხოლო დიფუზიით მიღებულს კი დიფუზიური გადასვლა. დამზადების ტექნოლოგიისაგან დამოკიდებულებით დიოდებსა და ტრიოდებს (ტრანზისტორებს) შესაბამისად ეწოდებათ შენადნობი ან დიფუზიური.

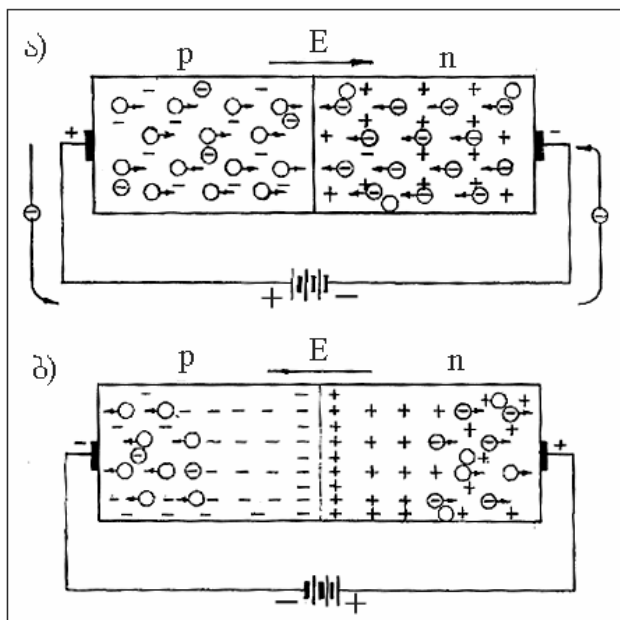
ორი ნახევარგამტარის კონტაქტის წინაღობა დამოკიდებულია დენის მიმართულებაზე, ე.ი. პრაქტიკულად კონტაქტი ხასიათდება ცალმხრივი გამტარობით. განვიხილოთ ნახევარგამტარიანი დიოდის ცალმხრივი გამტარობის ფიზიკური პროცესი. ავიღოთ დიოდი წარმოქმნილი n და p გამტარობის ორი ნახევარგამტარიდან, რომელთა შორის კონტაქტი ხორციელდება A-B ხაზით (ნახ.4.15). ელექტრონები (n-გამტარობის ნახევარგამტარიდან) და ხვრელები (p-გამტარობის ნახევარგამტარიდან) ერთი ნახევარგამტარიდან მეორეში p-n გადასვლის გავლით დიფუნდირებას დაიწყებენ. კერძოდ n ნახევარგამტარიდან p ნახევარგამტარში შეაღწევენ ელექტრონები, ხოლო p ნახევარგამტარიდან n ნახევარგამტარში – ხვრელები. სასაზღვრო ფენაში მოხდება ელექტრონების ხვრელებთან რეკომბინაცია, რის შედეგადაც p-n გადასვლის ზონაში დარჩებიან მხოლოდ უძრავი მუხტები: დადებითი n – არის საზღვარზე და უარყოფითი p – არის საზღვარზე. აღნიშნული მუხტების გავლენით ნახევარგამტარებს შორის აღიძვრება კონტაქტური პოტენციალთა სხვაობა, რაც შეაფერხებს ელექტრონებისა და ხვრელების შემდგომ დიფუზიას. ამის შედეგად ნახევარგამტარის სასაზღვრო არეები მუხტის ძირითადი მატარებლებით გაღარიბ-

დება, რის გამოც p-n გადასვლის ელექტრული წინაღობა ძალიან გაიზრდება. p-n გადასვლას ამასთან დაკავშირებით ეწოდება ჩამკეტი ფენა ან პოტენციალური ბარიერი. ჩამკეტი ფენის E_0 ელექტრულ ველს – კონტაქტური ველი. კონტაქტური ველი ხელს უწყობს ორივე ნახევარგამტარში მცირე რაოდენობით არსებული მუხტის არაძირითადი მატარებლების მოძრაობას და აფერხებს ძირითადი მატარებლების მოძრაობას.



ნახ.4.15. ელექტრული მუხტების განაწილება p და n გამტარების ორი ნახევარგამტარის კონტაქტის დროს

მოვდოთ დიოდზე ძაბვა (ნახ.4.16,ა). p – არე შემუვრით ბატარეის დადებით პოლუსს, ხოლო n – არე – უარყოფით პოლუსს. მოდებული პოტენციალთა სხვაობის გავლენით მუხტების ძირითადი მატარებლები დაიწყებენ მოძრაობას p-n გადასვლისაკენ: ხვრელები p-არეში, ხოლო ელექტრონები n-არეში. p-n გადასვლაში ელექტრონები და ხვრელები ერთმანეთს ეჯახებიან და ხდება მათი რეკომბინაცია. ამის გამო ჩამკეტი ფენა მუხტის ძირითადი მატარებლებით გამდიდრდება, ხოლო p-n გადასვლის წინაღობა ძალიან შემცირდება. n ნახევარგამტარში ელექტრონების შემცირების კომპენსაცია ე.მ.დ. წყაროს უარყოფით პოლუსთან შემადგენელი გამტარიდან გადმოსული ელექტრონებით ხდება, ხვრელების ნაკლებობის კომპენსაცია კი p ნახევარგამტარიდან ბატარეის დადებით პოლუსზე გადასული ელექტრონებით.



ნახ.4.16. დიოდის ჩართვა ელექტრულ წრედში მუდმივი ძაბვის წყაროსთან: ა) დენის წყაროს გამტარი მიმართულებით; ბ) დენის წყაროს “ჩამკეტი” მიმართულებით

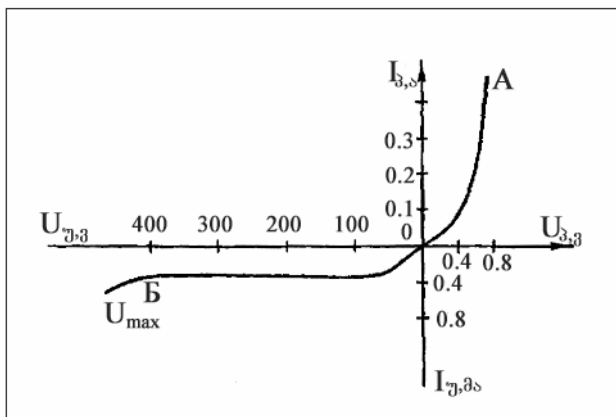
ჩაკეტილი წრედის შემთხვევაში აღწერილი პროცესი განუწყვეტლივ მიმდინარეობს და ამიტომ წრედში დენიც განუწყვეტლივ არსებობს, ამასთან დენის სიდიდე მნიშვნელოვანია. ამ დენს პირდაპირი დენი ეწოდება, ხოლო ძაბვას, რომლის დროსაც იგი აღიძვრება – პირდაპირი ძაბვა.

ამრიგად, ორი ნახევარგამტარის ერთობლიობა p-n გადასვლით ატარებს დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით და ამიტომ შეიძლება გამოიყენოთ ცვლადი დენის გასამართავად.

თუ შევცვლით ნახევარგამტარებზე მოდებული ძაბვის პოლარობას, სასაზღვრო ფენაში გამავალი დენის სიდიდე მკვეთრად შეიცვლება (ნახ.4.16,ბ), რადგან ხვრელები p-არეში გადაადგილდებიან უარყოფითი ელექტროდისაკენ, ხოლო ელექტრონები n-არეში დადებითი ელექტროდისაკენ, ე.ი. მუხტის ძირითადი მატარებლები მოცილდებიან p-n გადასვლას. ამის გამო სასაზღვრო ფენის წინაღობა ძალიან გაიზრდება. ნახევარგამტარებში სითბური პროცესების გავლენით წარ-

მოიშობა უმნიშვნელო რიცხვი თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელებისა, რომლებიც მათში მუხტის ძირითად მატარებლებს არ წარმოადგენენ; ეს ელექტრონები და ხვრელები ქმნიან სუსტ არაპირდაპირ დენს, რომელსაც დიოდის უკუდენი ეწოდება. ძაბვას, რომლის დროსაც აღიძვრება უკუდენი უკუძაბვა ეწოდება.

ნახ.4.17 წარმოდგენილია გერმანიუმის დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი. კოორდინატთა სისტემის პირველ კვადრანტში მოთავსებულია დიოდში პირდაპირი მიმართულების შესაბამისი შტო (OA უბანი), ხოლო მესამე კვადრანტში – დიოდში უკუმიმართულების შესაბამისი შტო (OB უბანი).

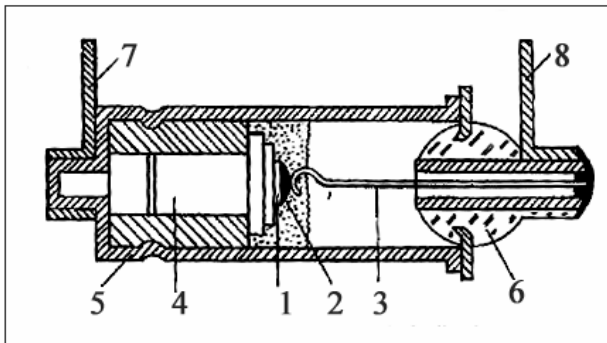


ნახ.4.17. გერმანიუმის დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი

პირდაპირი და უკუდენისათვის, აგრეთვე, ძაბვისათვის ვოლტამპერულ მახასიათებელზე აღებულია სხვადასხვა მასშტაბი, რადგან პირდაპირი და უკუდენების მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ასჯერ და მეტჯერ. როგორც ვოლტამპერული მახასიათებლიდან ჩანს, 0,6 ვ ძაბვა ქმნის 0,1 ამპ. სიდიდის პირდაპირ დენს, მაშინ, როდესაც 0,0001 ამპ (0,1 მეგა ამპ.) უკუდენის შესაქმნელად საჭიროა 400ვ მეტი ძაბვა.

წარმოება უშვებს გერმანიუმის, კაუბადის, სელენის და სპილენძქვეყანგური ტიპის ნახევარგამტარულ დიოდებს. დატვირთვის ყველაზე დიდი უნარიანობა ახასიათებს გერმანიუმისა და კაუბადის დიოდებს, მაგრამ მათი ღირებულებაც მეტია.

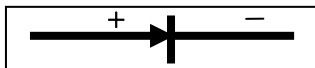
ნახ.4.18 ნახვენებია Π - Π ტიპის გერმანიუმის ფირფიტოვანი დიოდის მოწყობილობა. აღნიშვნის პირველი ასო შეესაბამება დიოდს - Π ; მეორე ასო Γ - გერმანიუმს, მესამე Π - გამმართველს.



ნახ.4.18. გერმანიუმის დიოდის მოწყობილობა (ელექტროდი შეერთებული ინდიუმის კრისტალთან წარმოადგენს ანოდს, ხოლო ელექტროდი შეერთებული გერმანიუმთან - კათოდს)

დიოდი შედგება ერთმანეთთან მიდნობილი გერმანიუმისა (1) და ინდიუმის (2) კრისტალისაგან, რომლებიც შეერთებულია (3) და (4) დენსართმევთან. დენსართმევი (4) ლითონის კორპუსით (5) უერთდება კონტაქტურ გამომყვანს (7). დენსართმევი 3 მიწის იზოლატორით (6) იზოლირებულია კორპუსისაგან და შეერთებულია კონტაქტურ გამომყვანთან (8). ჰერმეტიკული კორპუსი ნახევარგამტარს სინესტისაგან იცავს.

ნახევარგამტარული დიოდის გამოსახვა სქემაზე ნახვენებია 4.19 ნახაზზე.



ნახ.4.19. ნახევარგამტარული დიოდის გამოსახვა სქემაზე

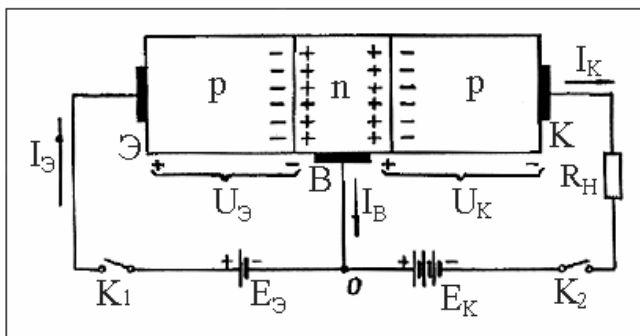
3. ნახევარგამტარული ტრიოდები

ნახევარგამტარული ტრიოდი (ტრანზისტორი) წარმოადგენს გერმანიუმისა და კაუბადისაგან შესრულებულ მონოკრისტალს, რომელიც შეიცავს შენაცვლებადი p და n გამტარობის სამ ფენას. განაპირა ფენებს გააჩნიათ ერთგვარი გამტარობა, ხოლო შუალედ ფენას მათგან განსხვავებული (სხვაგვარი გამტარობა).

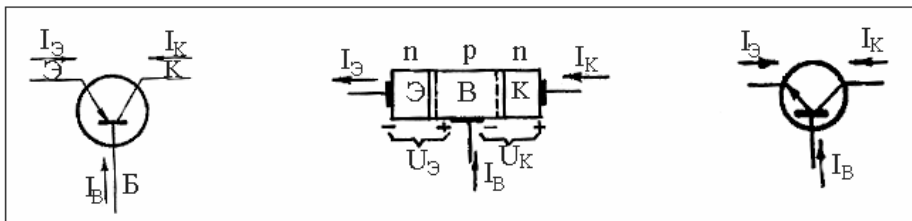
არჩევენ p - n - p ტიპის (პირდაპირი გამტარობის) და n - p - n ტიპის (უკუგამტარობის) ტრიოდებს. p - n - p ტიპის ტრიოდებში გარე ფენებს აქვს p გამტარობა, ხოლო შიგას – n -გამტარობა (ნახ.4.20). ასეთი ტრიოდის პირობითი აღნიშვნა სქემებში ნაჩვენებია ნახ.4.21. n - p - n ტიპის ტრიოდების გარე ფენებს აქვს n -გამტარობა, ხოლო შიგას – p გამტარობა (ნახ.4.22). მათი პირობითი აღნიშვნა სქემებში ნაჩვენებია ნახ.4.23.

ემიტერი $\mathfrak{E}$ და კოლექტორი K წარმოადგენენ ტრანზისტორის ელექტროდებს. შუალედ ფენას, რომელიც ატარებს მუხტებს ემიტერიდან კოლექტორისაკენ, ეწოდება ბაზა – B .

ნახ.4.20 ნაჩვენებია ტრიოდის ჩართვა წრედში ელექტრული სიგნალის გასაძლიერებლად. სქემაზე წარმოდგენილია ორი წრედი – შემავალი ანუ მართვის წრედი და გამომავალი ანუ სამართავი წრედი. მკვებავი ძაბვების პოლარობა შერჩეულია ისეთნაირად, რომ ემიტერული გადასვლა (p - n გადასვლა) მუშაობს პირდაპირი მიმართულებით, ხოლო კოლექტორული გადასვლა (n - p გადასვლა) უკუმიმართულებით.



ნახ.4.20. p - n - p ტიპის ტრიოდის ჩართვა წრედში ელექტრული სიგნალის გასაძლიერებლად



ნახ.4.21. p-n-ტრანზისტორის პირობითი აღნიშვნა სქემებში

ნახ.4.22. n-p-n ტიპის ტრიოდის სტრუქტურული სქემა

ნახ.4.23. n-p-n ტიპის ტრიოდის პირობითი აღნიშვნა სქემებში

ემიტერული გადასვლის წინაღობა მცირეა. ამიტომ ემიტერის წრედში ნორმალური დენის მისაღებად საკმარისია ემიტერის ე.მ.დ. წყაროს ძაბვა იყოს ვოლტის მეთაფი ნაწილი. რაც შეეხება კოლექტორულ გადასვლას, მისი წინაღობა მეტად მნიშვნელოვანია, ამიტომ კოლექტორის ე.მ.დ. წყაროს ძაბვა E_k აღემატება ემიტერის ე.მ.დ. წყაროს ძაბვას E_e და შეადგენს რამდენიმე ერთეულ ან ათეულ ვოლტს.

ელექტრული სიგნალების გაძლიერება ნახევარგამტარიანი ტრიოდის საშუალებით ემყარება კოლექტორის დენის მართვას, ემიტერის დენის დახმარებით.

თუ K_1 და K_2 ჩამრახები გათიშულია ელექტრონებისა და ხვრელების დიფუზიის გამო, p-n და n-p გადასვლებზე წარმოიქმნება უძრავი მუხტები, რომელთა პოლარობა ნაჩვენებია 4.20 ნახაზზე.

თუ K_1 ჩამრახს შევკრავთ, მაშინ ტრიოდის $E_e-K_1-E-O-E$ შემავალ წრედში ემიტერის ბატარეის p-n გადასვლაზე, პირდაპირი მიმართულებით ჩართვის გამო, წრედში გაივლის დიდი სიდიდის ემიტერის დენი I_e .

თუ K_1 ჩამრახს გავთიშავთ, ხოლო K_2 შევკრავთ, მაშინ წარმოიქმნება ტრანზისტორის გამომავალი წრედი, რომელშიც პრაქტიკულად დენი არ გაივლის, რადგან კოლექტორის ბატარეა კოლექტორის n-p გადასვლასთან ჩართულია უკუმიმართულებით.

K_1 და K_2 ჩამრახების ერთდროულად შეკვრის შემთხვევაში p-n გადასვლაზე ემიტერი – ბაზა გაივლის E_e ძაბვის პროპორციული ხვრელური დენი. დენის ხვრელების ძირითადი ნაკადი კოლექტორის ბატარეის E_k ძაბვის მო-

ქმედებით გაემართება ემიტერი-ბაზა გადასვლისაკენ და ხვრელები გადავლენ K კოლექტორში, საიდანაც R_H დამტვირთავი წინაღობის გავლით გაედინებიან E_k ბატარეის უარყოფითი პოლუსისაკენ. რაც უფრო მცირეა ბაზის სისქე (შეადგენს 15-50 მიკრონს), მით მეტი რაოდენობა მიაღწევს ემიტერიდან გადმოსული ხვრელებისა კოლექტორს. ჩვეულებრივად 92-99% ხვრელებისა სვდება კოლექტორში და წარმოქმნის კოლექტორის დენს I_k . ხვრელების ნაწილი, რომლებიც ვერ მიაღწევნ ბაზა-კოლექტორის გადასვლას, შეივსება ემიტერის ბატარიდან - E_3 $B-O$ სადენით მოსული ელექტრონებით. ხვრელების მცირე ნაწილი მოხვდება რა n -გამტარობის არეში (p გამტარობის არედან გადმოსვლის შემდეგ) რეკომბინირებს თავისუფალ ელექტრონებთან და ნეიტრალდებიან.

ამრიგად, ბაზის დენის ძალა I_δ ძალიან მცირე სიდიდეა, უახლოვდება ნულს, მაშინ, როდესაც კოლექტორის დენის ძალა უტოლდება ემიტერის დენის ძალას

$$I_k = \alpha I_\delta, \quad (4.30)$$

სადაც α არის ტრიოდის გაძლიერების კოეფიციენტი დენის ძალის მიხედვით

$$\alpha = \left(\frac{\partial I_k}{\partial I_\delta} \right)_{U_k = const} = 0.92 - 0.99. \quad (4.31)$$

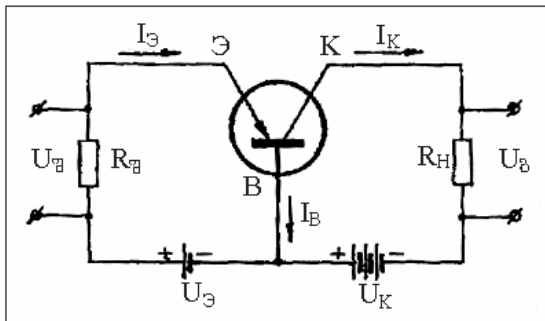
ბაზური დენი, რომელიც წარმოადგენს კოლექტორული და ემიტერული დენის სხვაობას, უდრის

$$I_\delta = (1 - \alpha) I_\delta. \quad (4.32)$$

კოლექტორის დენის ძალა არ არის დამოკიდებული კოლექტორის ბატარეის E_k ძაბვაზე და R_H დამტვირთავ წინაღობაზე. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ ემიტერის დენის ძალაზე I_δ , რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება ემიტერის ბატარეის E_3 ძაბვის სიდიდით. მაშასადამე, ემიტერსა და ბაზას შორის ძაბვის $U_{\delta,6}$ ცვალებადობით შეიძლება განვახორციელოთ კოლექტორული დენის ძალის რეგულირება.

ნახ.4.24 ნაჩვენებია გამაძლიერებელ კასკადში ტრიოდის ჩართვის სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს, ემიტერი-ბაზის წრედში შესასვლელ წინაღობაზე R_β მიეწოდება შესასვლელი სიგნალის ძაბვა U_β , ხოლო დამტვირთავ წინაღობაზე

მივიღებთ შესასვლელ ძაბვაზე გაცილებით დიდ გამოსასვლელ ძაბვას U_{κ} , რომელიც წარმოადგენს სიგნალის გაძლიერებულ ძაბვას. სქემებში საერთო ბაზითა და საერთო ემიტერით გაძლიერების კოეფიციენტმა ძაბვის მიხედვით შეიძლება მიაღწიოს მნიშვნელობებს $1000 \div 5000$. ეს აიხსნება იმ გარემოებით, რომ ბაზა-კოლექტორის წინააღობა ათასჯერ მეტია, ემიტერი-ბაზის წინააღობაზე, მაშინ როდესაც ემიტერის დენის ძალა უმნიშვნელოდ აღემატება კოლექტორისას.



ნახ.4.24. გამაძლიერებელ კასკადში ტრიოდის ჩართვის სქემა

თუ შევადარებთ ნახევარგამტარულ ტრიოდის მუშაობას სამელექტროდიან ვაკუუმის ნათურის მუშაობას, შეიძლება შევამჩნიოთ შემდეგი გარეგანი მსგავსება (ფიზიკური არსი სხვადასხვაა): ემიტერი ასრულებს ელექტრონული ნათურის კათოდის ფუნქციებს, კოლექტორი – ანოდის ფუნქციებს, ხოლო ბაზა – ბადის როლს. მაშასადამე, შესასვლელი წრედი მსგავსია ბადური წრედისა, გამოსასვლელი წრედი კი ელექტრონული ნათურის ანოდური წრედისა.

ნახევარგამტარული ტრიოდებიანი სქემის პარამეტრების განსასაზღვრავად სარგებლობენ ემიტერული და კოლექტორული ვოლტამპერული მახასიათებლებით.

ემიტერული მახასიათებელი წარმოადგენს ემიტერის დენის I_3 დამოკიდებულებას ბაზასა და ემიტერს შორის ძაბვაზე $U_{3\kappa}$, ბაზასა და კოლექტორს შორის ძაბვის $U_{\kappa\delta}$ მუდმივი მნიშვნელობის დროს, ე.ი.

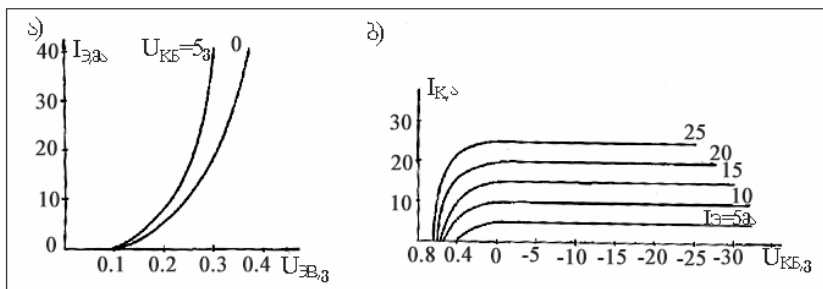
$$I_3 = f(U_{3\kappa})_{U_{\kappa\delta} = \text{const.}}$$

კოლექტორული მახასიათებელი წარმოადგენს კოლექტორის დენის I_k დამოკიდებულებას კოლექტორის ძაბვისა-

გან U_{K6} , ემიტერის დენის I_3 რაიმე მუდმივი მნიშვნელობის დროს, ე.ი.

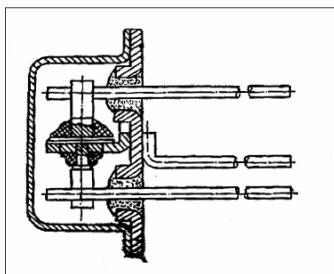
$$I_K = f(U_{K6})_{I_3 = \text{const}}.$$

ემიტერულ მახასიათებლებს სქემაში საერთო ბაზით, ეწოდებათ შესასვლელი, ხოლო კოლექტორულ მახასიათებლებს – გამოსასვლელი (ნახ.4.25 ა,ბ)



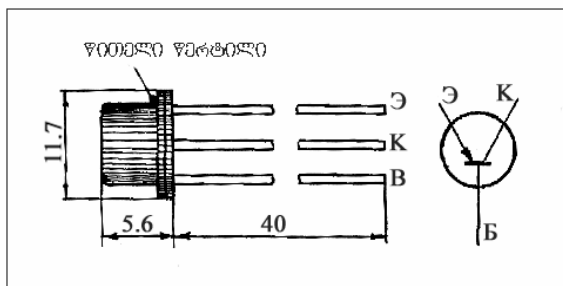
ნახ.4.25. П13-П15А ტიპის ტრანზისტორის ტიპური მახასიათებლები სქემაში საერთო ბაზით: ა) შესასვლელი; ბ) გამოსასვლელი

(ნახ.4.26) ნაჩვენებია ბრტყელი, შენადნობი გერმანიუმის ტრიოდის კონსტრუქციული სქემა. ტრიოდის გერმანიუმის საწყის მონოკრისტალს აქვს n-გამტარობა, ხოლო გარე ფენებში p-გამტარობა მიიღწევა მის კრისტალურ გისოსში სამჟაღენტიანი ინდიუმის პატარა ნაჭრების შედნობით, რომლის ნარჩენი მოცულობები ასრულებენ p-ფენებთან ორგანულად დაკავშირებული ღითონური ელექტროდების როლს, რომელთა გამოყენება მზადდება ნიკელის ან მონიკელელებული სპილენძისაგან და ინდიუმს მიერჩილება კალით. П-14 ტიპის დაბალსიხშირული ტრიოდი გამოიყენება დენის წინასწარი გაძლიერების კასკადებში, ხოლო П-207 ტიპის ტრიოდი – სიმძლავრის გაძლიერების კასკადებში.



**ნახ.4.26 ბრტყელი
შენადნობი
გერმანიუმის
ტრიოდის**

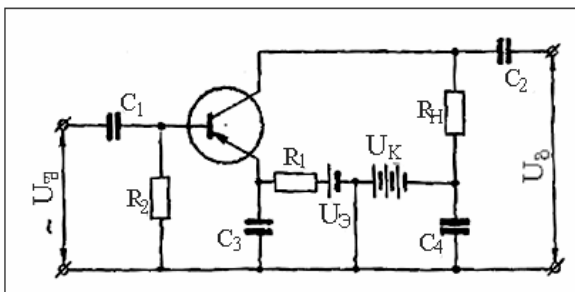
ნახ.4.27 წარმოდგენილია П401– П403А ტიპის გერმანიუმის ტრიოდის ზომები და ელექტროდების განლაგება. ასო П ტრიოდის აღნიშვნაში მიღებულია ბრტყელი ტრიოდებისათვის.



ნახ.4.27. П401- П403А ტიპის გერმანიუმის ტრიოდის საერთო ხელი ზომებითა და ელექტროდების განლაგებით

4. ნახევარგამტარული გამაძლიერებლები

სამრეწველო ხელსაწყოების გამაძლიერებლებში დიდი პრაქტიკული გავრცელება ჰპოვა საერთო ემიტერით ჩართვის სქემამ (ნახ.4.28). ნათურულ ტექნიკაში ანალოგს წარმოადგენს სქემა საერთო კათოდით.



ნახ.4.28. ელექტრული სიგნალების გაძლიერება საერთო ემიტერით ტრიოდის ჩართვის დროს

სქემა საერთო ემიტერით იძლევა, როგორც ძაბვის, ისე დენისა და სიმძლავრის მნიშვნელოვნად გაძლიერების შესაძლებლობას (საერთო ბაზის სქემის დროს დენის გაძლიერება შეუძლებელია, რის გამოც სიმძლავრის გაძლიერების კოეფიციენტი მცირეა, ნათურულ ტექნიკაში საერთო ბაზით გამაძლიერებლის ანალოგს წარმოადგენს სქემა დამიწებული ბადით).

ცნობილია აგრეთვე სქემა საერთო კოლექტორით. ამ შემთხვევაში ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი ყოველთვის

ერთზე ნაკლებია. ნათურულ ტექნიკაში ანალოგს წარმოადგენს სქემა დამიწებული ანოდით.

ნახევარგამტარული გამაძლიერებლის სქემაზე, საერთო ემიტერით ტრანზისტორის ჩართვის დროს, ნახევნების: $U_{\text{ჟ}}$ – ცვლადი ძაბვა გამაძლიერებლის შესასვლელზე; C_1 – კონდენსატორი, რომელიც არ ატარებს, ტრიოდზე $U_{\text{ჟ}}$ ძაბვის მუდმივ მდგენელს; C_2 – კონდენსატორი, რომელიც არ ატარებს გამაძლიერებლის გამოსასვლელზე ძაბვის მუდმივ მდგენელს R_H გამოსასვლელი წინააღობიდან; C_1 და C_2 კონდენსატორებს ეწოდებათ გამყოფი. C_3 და C_4 – კონდენსატორებს, რომლებიც მუხტავენ მუდმივი ძაბვის წყაროებს U_3 და U_K , ეწოდებათ მახლოკირებელი.

ძაბვა ემიტერსა და ბაზას შორის განისაზღვრება U_3 წყაროს მუდმივი ძაბვისა და შესასვლელი დენის R_2 წინააღობაზე ძაბვის ცვლადი ვარდნის აღგებრული ჯამით.

აღნიშნული ნახევარგამტარული გამაძლიერებელი კასკადის სქემის შემთხვევაში დენის ძალის გაძლიერების კოეფიციენტი აღწევს სიდიდეებს – (10-100), როცა α იცვლება 0,91-დან 0,99-მდე. მართლაც, გაძლიერების კოეფიციენტი

$$\beta = \left(\frac{\partial I_K}{\partial I_{\text{ფ}}} \right)_{U_K = \text{const}} = \frac{I_K}{I_{\text{ფ}}}; \quad (4.33)$$

(4.32)-ის თანახმად $I_{\text{ფ}} = (1 - \alpha)I_3$, (ბაზური დენი წარმოადგენს კოლექტორული და ემიტერული დენების სხვაობას).

თუ გავითვალისწინებთ I_K -ის მნიშვნელობას (4.33), მივიღებთ

$$\beta = \frac{I_K}{(1 - \alpha)I_3}. \quad (4.34)$$

მაგრამ (4.30)-ის თანახმად $\frac{I_K}{I_3} = \alpha$ წარმოადგენს დენის

გაძლიერების კოეფიციენტს, ვინაიდან $I_K = I_{\text{ფ}}$ და $I_K = I_{\text{ჟ}}$.

$$\text{მაშასადამე,} \quad \beta = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)}. \quad (4.35)$$

თუ მაგალითად, $\alpha = 0,98$, მაშინ

$$\beta = \frac{0,98}{1 - 0,98} = \frac{0,98}{0,02} = 49.$$

ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი საერთო ემიტერით ს.ე. სქემის შემთხვევაში აღწევს რამდენიმე ათასს, ხოლო სიმძლავრის გაძლიერების კოეფიციენტი ათი ათასს.

ნახევარგამტარული გამაძლიერებლები გამოიყენება როგორც გამმართველები, გენერატორები და სხვ. მათ გააჩნიათ დიდი მექანიკური გამძლეობა, მცირე ზომები და წონა, ვიდრე ელექტროვაკუუმურ და ელექტროიონურ ხელსაწყოებს, რაც მეტ უპირატესობაზე მეტყველებს.

§5. მაგნიტური გამაძლიერებლები

1. ფერომაგნიტური მასალების თვისებები

მაგნიტური გამაძლიერებლების მოქმედება დამყარებულია ფერომაგნიტური მასალების თვისებების გამოყენებაზე. კერძოდ, ფერომაგნიტური მასალების მაგნიტური შეღწევადობა, მათი მუდმივი მაგნიტით შემავსების დროს მკვეთრად იცვლება.

მაგნიტური ინდუქცია, როგორც ცნობილია, გამოისახება არახაზოვანი დამოკიდებულებით

$$B = \mu H ,$$

სადაც B არის მაგნიტური ინდუქცია, ტლ (1 ტესლა = $1 \frac{\text{ვბ}}{\text{მ}^2} = 10^4$ გაუსი);

H - მაგნიტური ველის დაძაბულობა, $\frac{\text{ამპერი}}{\text{მ}}$ ($1 \text{ ა/მ} = 4\pi \cdot 10^3$ ერსტედი);

$$\mu \text{ მაგნიტური შეღწევადობა, } \frac{\text{ჰენრი}}{\text{მ}} \left(\frac{\text{ჰნ}}{\text{მ}} \right).$$

გულარის მაგნიტურ ინდუქციასა - B , გულარის განივი კვეთის ფართსა (S) და მაგნიტურ ნაკადს - Φ შორის დამოკიდებულება გამოისახება ცნობილი ფორმულით

$$\Phi = B \cdot S .$$

მაგნიტური ველის დაძაბულობა თავის მხრივ განისაზღვრება დენის ძალით - I , მაგნიტური გამტარის სიგრძით -

ℓ (მ) და გრაგნილის ხვეულების რიცხვით - ω შემდეგი გამოსახულებით

$$H = \frac{I\omega}{\ell} \text{ (ამპ/მ)}.$$

როგორც ცნობილია, დენის ძალის ცვალებადობა გრაგნილში იწვევს მასში თვითინდუქციის ე.მ.ძ. - e აღდგრას, რომელიც დამოკიდებულია გრაგნილის ხვეულების რიცხვზე - ω და მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარეზე

$$e = -\omega \frac{d\phi}{dt};$$

აქ e აღებულია ვოლტებში;

Φ ვებერებში (1 ვებერი = 10^8 მაქსველს).

ამრიგად, მაგნიტური ინდუქციისათვის გვაქვს შემდეგი დამოკიდებულება

$$B = \mu \frac{I\omega}{\ell} \cdot \text{ტლ} \quad (4.36)$$

რადგან (4.36) გამოსახულება არახაზოვანია, ამიტომ μ - კოეფიციენტი ცვალებადია. μ - განისაზღვრება ორი თანამამრავლის ნამრავლით

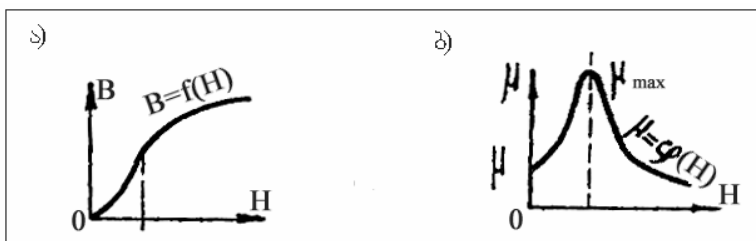
$$\mu = \mu_r \mu_0. \quad (4.37)$$

სადაც μ_0 არის ვაკუუმის მაგნიტური შეღწევადობა და მას მაგნიტური მუდმივა ეწოდება.

μ_r - ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობა (განყენებული რიცხვი).

მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაზრდა გარკვეული მნიშვნელობის შემდეგ იწვევს მაგნიტური შეღწევადობის მკვეთრად შემცირებას. მაშასადამე, $\mu = \varphi(H)$ ფუნქციას გააჩნია მაქსიმუმი, ე.ი. იგი საწყისი $\mu_{\text{საწყ}}$ მნიშვნელობიდან იზრდება მაქსიმუმამდე და კვლავ მცირდება. $\mu = \varphi(H)$ ფუნქციის გრაფიკული გამოსახულება ნაჩვენებია ნახ.4.29,ბ.

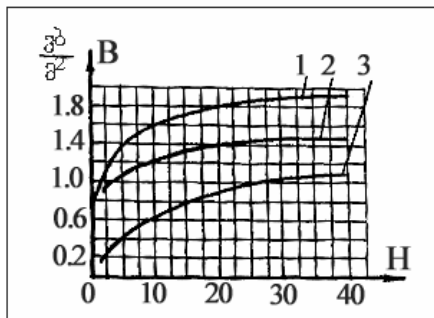
მაგნიტური გამაძლიერებლის მუშაობის დროს გამოიყენება $\mu = \varphi(H)$ დამოკიდებულების მარჯვენა ნაწილი, რომელიც შეესაბამება მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაზრდისას, მაგნიტური შეღწევადობის შემცირებას.



ნახ.4.29. ფერომაგნიტური მასალების თვისებები: ა) $B=f(H)$ ფუნქციის გრაფიკი; ბ) $\mu=\varphi(H)$ ფუნქციის გრაფიკი

ფერომაგნიტური მასალის მოქმედი მაგნიტური შეღწევა-
დობის სიდიდე ცვლადი დენის შემთხვევაში შეიძლება განი-
საზღვროს ნახ.4.29,ა აგებული მრუდის საშუალებით, რო-
მელიც გამოსახავს $B=f(H)$ დამოკიდებულებას. გრაფიკიდან
ჩანს, რომ $B=f(H)$ მრუდი მაგნიტური ველის დაძაბულობის
საშუალო მნიშვნელობების დროს იზრდება სწრაფად, ვიდრე
მცირე და დიდი მნიშვნელობის შემთხვევაში. სწორედ ამ შუ-
ალედში აღწევს რკინის მაგნიტური შეღწევადობა თავის
მაქსიმალურ სიდიდეს, რომელიც ტოლია ჰაერის მაგნიტური
შეღწევადობისა. გრაფიკულ დამოკიდებულებას მაგნიტური
ინდუქციისას მაგნიტური ველის დაძაბულობისაგან ეწოდება
დამაგნიტების მრუდი. აღნიშნული მრუდის არახაზოვანი
ხასიათი ფერომაგნიტური მასალებისათვის აღმოაჩინა პროფ.
ა.გ. სტოლეტოვმა. ფერომაგნიტური მასალის თვისებების გა-
მოკვლევაში დიდი წვლილი შეიტანეს, აგრეთვე, მეცნიერებმა
– ვ.კ. არკადიევმა, ნ.ს. აკულოვმა, ი.ტ. ღორფმანმა, ს.გ.
კონსოვსკიმ და სხვებმა.

ნახ.4.30 მოცემულია სხვადასხვა ფერომაგნიტური ნიე-
თიერების დამაგნიტების მრუდები



ნახ.4.30. სხვადა-
სხვა ფერომაგნი-
ტური ნივთიერების
დამაგნიტების
მრუდები

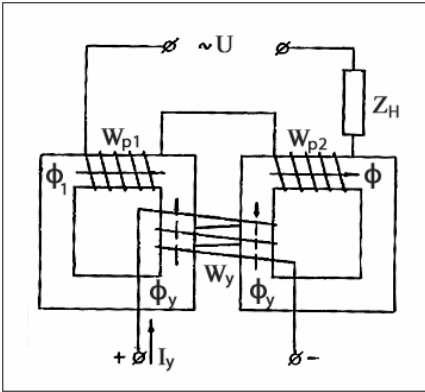
2. მაგნიტური გამაძლიერებლები

მაგნიტური გამაძლიერებელი MY წარმოადგენს ცვლადი დენის ფერომაგნიტურ მოწყობილობას, რომლის ინდუქციურობა იცვლება ფართო საზღვრებში დროსელის მუდმივი დენით შემაგნიტების დროს. ამრიგად, შესასვლელი არის მუდმივი დენის ძაბვა, გამოსასვლელი – ცვლადი დენის ძაბვა, თუ გამოსასვლელზე გათვალისწინებული არ არის გამმართველები. მაგნიტური გამაძლიერებლები გამოირჩევიან მოწყობილობის სიმარტივით, გაძლიერების მნიშვნელოვანი კოეფიციენტით (ერთ კასკადში სიმძლავრის გაძლიერება აღწევს 1000-10000 და მეტს), მოძრავი ნაწილების უქონლობით, არამგრძნობიარობით დიდი გადატვირთვებისადმი, დარტყმებისადმი, რყევისადმი და მაღალი საექსპლოატაციო საიმედოობით. ელექტრონული გამაძლიერებლებისაგან განსხვავებით, მაგნიტური გამაძლიერებლები არ საჭიროებენ წინასწარ გახურებას და მზად არიან სამოქმედოდ, კვების წყაროს ჩართვისთანავე. მათ გააჩნიათ სტაბილური მახასიათებლები. მაგნიტური გამაძლიერებელი ერთნაირ რეაგირებას ახდენს შემაგნიტების დენის მიმართულებისაგან დამოუკიდებლად.

ჩამოთვლილი უპირატესობების გამო მაგნიტური გამაძლიერებლები ფართოდ გამოიყენება ავტომატური რეგულირების, მართვისა და კონტროლის მოწყობილობებში.

მაგნიტური გამაძლიერებლების არსებით ნაკლს წარმოადგენს დიდი ინერციულობა, განპირობებული მართვის გრაგნილების ინდუქციურობით.

უმარტივესი მაგნიტური გამაძლიერებელი შედგება ორი ფერომაგნიტური გულარისაგან, რომელზეც დახვეულია მუდმივი დენის მართვის გრაგნილი Wy . ორი მუშა, ცვლადი დენის გრაგნილი Wp დახვეულია თითოეული თავის გულარზე და შეერთებულია ერთმანეთთან თანმიმდევრობით ისე, რომ მათ მიერ შექმნილი Φ_1 და Φ_2 ნაკადიდან ერთ-ერთი ემთხვევა მართვის გრაგნილის ნაკადს Φ_y , ხოლო მეორე მის საწინააღმდეგოდ არის მიმართული. ცვლადი დენის გრაგნილს ეწოდება მართვადი გრაგნილი. მართვის გრაგნილზე ორი ცვლადი მაგნიტური ველის მოქმედება ერთმანეთს აკომპენსირებს. არარევერსიული მაგნიტური გამაძლიერებლის სქემა ნაჩვენებია 4.31 ნახაზზე.



ნახ.4.31. უმარტივესი
მაგნიტური გამაძლიერ-
ებლის სქემა

მაგნიტური გამაძლიერებლის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: როდესაც მართვის გრაგნილში მუდმივი დენი არ არსებობს, ე.ი. $I_x=0$, ნულის ტოლი იქნება, აგრეთვე, მუდმივი მაგნიტური ველის დაძაბულობაც $H_x=0$. მაშასადამე, გულარის შემაგნიტებას ადგილი არა აქვს. როდესაც $H_x \neq 0$ მცირდება მაგნიტური შეღწევადობა - μ , ეს კი იწვევს ინდუქციურობისა L და ინდუქციური წინააღობის X_L შემცირებას, რაც გამომდინარეობს დამოკიდებულებიდან

$$L = \frac{0.4\pi\omega^2 S \cdot 10^{-8}}{\ell} \mu \sim C_L \mu, \quad (4.38)$$

სადაც

ω არის მუშა გრაგნილის ხვეულების რიცხვი;

S - გულარის განივკვეთის ფართი, სმ²;

ℓ - მაგნიტური სადენის საშუალო სიგრძე, სმ;

L - დროსელის ინდუქციურობა (W_p გრაგნილის);

$$C_L = \frac{0.4\pi\omega^2 S \cdot 10^{-8}}{\ell} = const \quad (\text{მოცემული დროსელისათვის}).$$

ინდუქციურობის შემცირება იწვევს ცვლადი დედნის გაზრდას, რაც გამომდინარეობს შემდეგი გამოსახულებიდან

$$I_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{Z_H} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{R_0^2 + (\omega_f L + r)^2}}, \quad (4.39)$$

სადაც $U_{\sim}$ არის ძაბვა წრედში;

R_0 - W_p გრაგნილისა და Z_H დატვირთვის აქტიური წინააღობა;

$r-Z_H$ დატვირთვის რეაქტიული წინაღობა;

$\omega_f = 2\pi f$ – წრედის წრიული სიხშირე; f – ტექნიკური სიხშირე.

ამრიგად, შემაგნიტების დენის შეცვლა $I=I_y$ იწვევს μ_- შეცვლას. μ_- შეცვლას, როგორც ეს გამომდინარეობს (4.38) და (4.39) ფორმულებიდან მივყავართ დატვირთვის წრედის დენის I_- შეცვლამდე. მაგნიტური შეღწევადობა μ_- იცვლება მნიშვნელოვნად შემაგნიტების დენის უმნიშვნელოდ ცვლილებისას. ამიტომ დენის მიხედვით შეგვიძლია მცირე შესასვლელი სიგნალებით ვმართოთ მნიშვნელოვანი სიმძლავრეები დატვირთვის წრედში. მაშასადამე, აღნიშნული მოწყობილობა წარმოადგენს გამაძლიერებელს, რომელიც ხასიათდება გაძლიერების ორი კოეფიციენტით – სიმძლავრის მიხედვით K_p და ძაბვის მიხედვით K_u :

$$K_p = \frac{P_H - P_0}{P_y}; \quad (4.40)$$

$$K_u = \frac{U_H - U_0}{U_y}, \quad (4.41)$$

სადაც

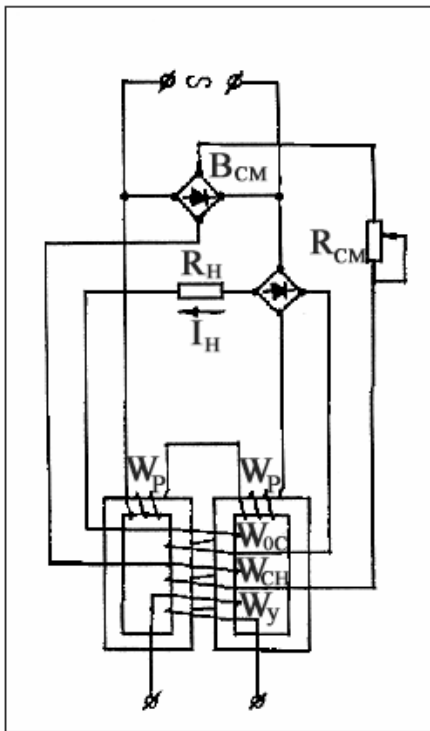
P_y და U_y არის შესაბამისად სიმძლავრე და ძაბვა შესასვლელი სიგნალისა;

P_H და U_H – სიმძლავრე და ძაბვა დატვირთვაზე;

P_0 და U_0 – სიმძლავრე და ძაბვა, როდესაც ადგილი არა აქვს შემაგნიტებას $I_y=0$.

გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდის მიზნით გამოიყენება სპეციალური მაგნიტური შენადნობები (პერმალური რკინა-ნიკელის შენადნობი), მაღალი სიხშირის (400-2000 კც) ცვლადი დენი და უკუკავშირი. პერმალისაგან დამზადებულ გულარს გააჩნია გაცილებით დიდი მაგნიტური შეღწევადობა, ვიდრე სატრანსფორმატორო ფოლადს. კვების მაღალი სიხშირეები იწვევენ გაძლიერების კოეფიციენტის პროპორციულ ზრდას და ინერციულობის შემცირებას. მაგნიტური გამაძლიერებლების სქემებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს უკუკავშირს. ცვლადი დენის მნიშვნელობის ზრდა იწვევს უკუკავშირს გრაგნილის მიერ

შექმნილი დამამაგნიტებელი ძალის გაზრდას. მაშასადამე, მცირდება დამაგნიტების ძალა (ამპერ-ხვეულები) და მუდმივი დენის მართვის გრაგნილების ზომები. ნახ.4.32 წარმოდგენილია მაგნიტური გამაძლიერებლის სქემა დადებითი უკუკავშირით, რომლის განხორციელებაც ადვილია, თუ დატვირთვის დენს I_H მივაწოდებთ უკუკავშირის დადებით გრაგნილში W_{oc} , რომელიც ისევეა შეერთებული, როგორც მართვის გრაგნილი W_y .

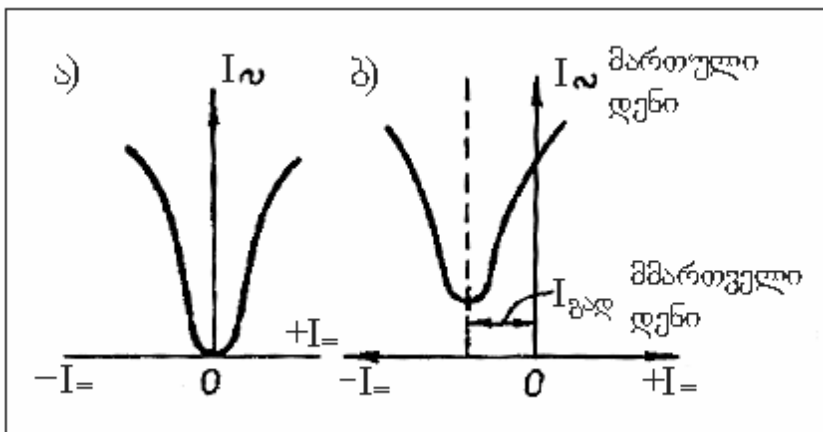


ნახ.4.32. მაგნიტური გამაძლიერებლის სქემა, უკუკავშირის და მუშა წერტილის გადასაადგილებელი გრაგნილებით

საწყისი შემაგნიტების ან გადაადგილებისათვის, რომელიც საშუალებას იძლევა გამაძლიერებლის მახასიათებელზე გადავაადგილოთ მუშა წერტილი, როდესაც $I_y=0$, სქემაში გათვალისწინებულია მყარი გამმართველი B_{CM} (კუპროქსის ან სელენის), რომლისგანაც ცვლადი რეზისტორის R_{CM} გავლით იკვებება გადაადგილების გრაგნილი W_{CM} , რომელიც ხშირად გამოიყენება საწყისი მუშა წერტილის გადასაადგილებლად ხაზოვანი უბნის შუაში.

მაგნიტური გამაძლიერებლის ძირითადი მახასიათებელია მართვად გრაგნილში დენის $I_{\sim}$ დამოკიდებულება დენისაგან $I_{=}$ მართვის გრაგნილში.

ნახ.4.33 ნაჩვენებია მაგნიტური გამაძლიერებლის მახასიათებელი.



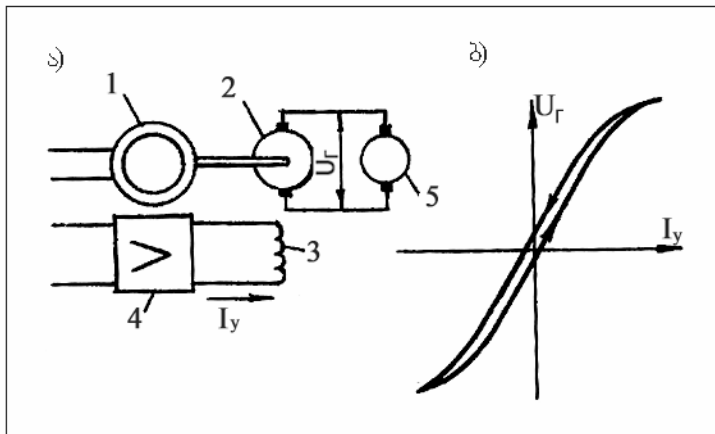
ნახ.4.33. მაგნიტური გამაძლიერებლის მახასიათებელი: ა) გადაადგილების დენის გარეშე; ბ) გადაადგილების დენის შემთხვევაში

§6. ელექტრომანქანური გამაძლიერებლები

ელექტრონული და მაგნიტური გამაძლიერებლებისაგან განსხვავებით ელექტრომანქანურ გამაძლიერებლებს ЭМҮ გააჩნიათ მბრუნავი ან მოძრავი ნაწილები. ელექტრომანქანური გამაძლიერებელი უმარტივესი სახით წარმოდგენს მუდმივი დენის გენერატორს, რომელიც ბრუნავს მუდმივი სიჩქარით დამხმარე ძრავას საშუალებით (ამ მიზნით ჩვეულებრივად გამოიყენება ასინქრონული მოკლედ ჩართული ძრავა). ნახაზზე 4.34,ა წარმოდგენილია უმარტივესი ელექტრომანქანური გამაძლიერებლის სქემა, ხოლო 4.34,ბ-ზე გამოსახული ძაბვის დამოკიდებულება მართვის დენისაგან. სქემაზე 1 – არის მექანიკური ენერგიის დამხმარე წყარო; 2 – გენერატორის ღუზა; 3 – გენერატორის მართვის გრაგნილი; 4 – გამაძლიერებელი, რომელიც კვებავს მართვის გრაგნილს;

5 – ელექტრომანქანური გამაძლიერებლის დატვირთვა დამოუკიდებელი აგზნებით (შემსრულებელი ძრავას ღუზა).

რადგანაც გენერატორის გამოსასვლელი ძაბვა პროპორციულია აგზნების ნაკადისა, ამიტომ აგზნების გრაგნილში (მართვის გრაგნილში – 3) დენის სიდიდისა და მიმართულების ცვლილებით შესაძლებელია გენერატორის გამოსასვლელი ძაბვის მართვა. გაძლიერების კოეფიციენტი სიმძლავრის მიხედვით შეადგენს 10-100.

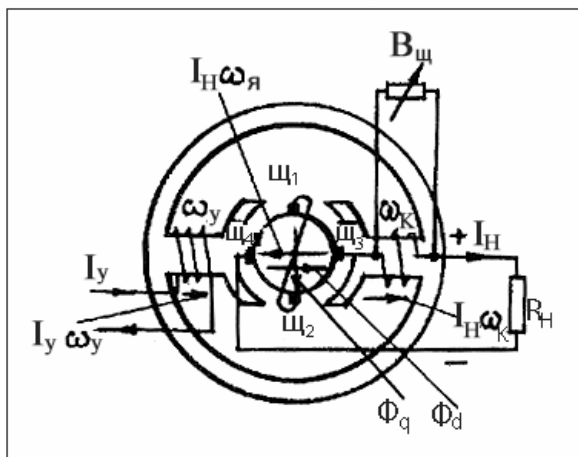


ნახ.4.34. უმარტივესი ელექტრომანქანური გამაძლიერებელი: ა) სქემა; ბ) მახასიათებელი

აღწერილი უმარტივესი ელექტრომანქანური გამაძლიერებლის გარდა, თანამედროვე ტექნიკაში გამოიყენება უფრო სრულყოფილი აგრეგატები, რომლებიც აგზნების სისტემის მიხედვით იყოფიან გრძივი და განივი ველის ელექტრომანქანურ გამაძლიერებლებად (ЭМΥ). გრძივი ველის ЭМΥ, აგზნების ძირითადი მუშა ნაკადი მოქმედებს მანქანის გრძივი ღერძის მიმართულებით პოლუსების გასწვრივ, ხოლო განივი ველის ЭМΥ – განივი ღერძის მიმართულებით. პრაქტიკაში ფართო გამოყენება ჰპოვა ელექტრომაგნიტურმა გამაძლიერებლებმა განივი ველით, რომელთაც ამჟილდინი ეწოდებათ. ამჟილდინის აგზნების წრედის მიერ გამოყენებული სიმძლავრე შეადგენს მცირე სიდიდეს, გენერატორის გამოსასვლელზე განვითარებულ სიმძლავრესთან შედარებით. მაგალითად, ელექტრომანქანურ გამაძლიერებელს ЭМΥ-25, რომელსაც უშვებს წარმოება, გააჩნია გამოსასვლელი სიმ-

ძლავრე 2,5კვტ., ხოლო შესასვლელი სიმძლავრე ორი გრაგნილის შემთხვევაში 0,5ვტ.; ЭМУ-110 მართვის ორი გრაგნილის შემთხვევაში ავითარებს 11კვტ გამოსასვლელ სიმძლავრეს, 0,5ვტ შესასვლელი სიმძლავრის დროს. გაძლიერების კოეფიციენტის სიდიდე ცვალებადობს 1000-100000-ის საზღვრებში.

4.35 ნახაზზე ნაჩვენებია განივველიანი ელექტრომანქანური გამაძლიერებლის სრული სქემა. ნახაზზე ω_y – წარმოადგენს მართვის გრაგნილს; ω_k – საკომპენსაციო გრაგნილს; $R_{\text{ш}}$ – რეგულირებად წინაღობას, ჩართულს საკომპენსაციო გრაგნილის პარალელურად, კომპენსაციის ხარისხის შესარჩევად; ш_1 და ш_2 – განივ მუსებს; ш_3 და ш_4 – გრძივ მუსებს; I_y – მართვის დენს; E_q – განივი წრედის ე.მ.ძ.; E_d – გრძივი წრედის ე.მ.ძ.

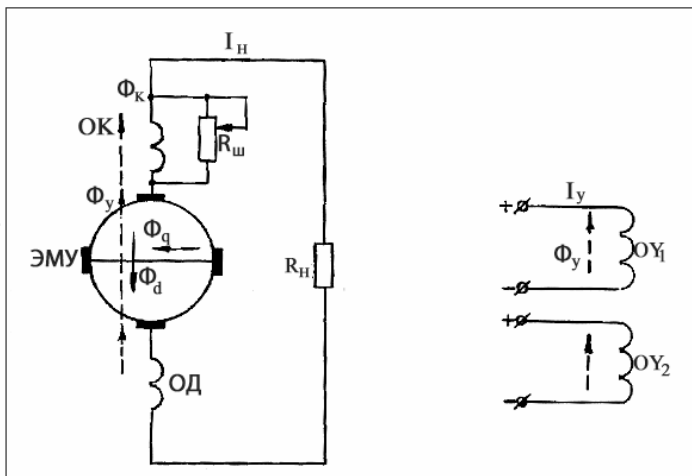


ნახ.4.35. ელექტრომანქანური გამაძლიერებელი განივი ველით (ამპილდინი)

$I_y \omega_y$ მაგნიტური მამოძრავებელი ძალის მოქმედების შედეგად მანქანის გრძივი ღერძის მიმართულებით წარმოიქმნება ნაკადი. ღუზის განივ წრედში ამ ნაკადის მოქმედებით წარმოიშობა განივი წრედის ე.მ.ძ. E_q . მუსების განივი წყვილი ш_1 და ш_2 შეკრულია მოკლედ, რის გამოც E_q -ის გავლენით მანქანის განივ წრედში წარმოიქმნება დიდი დენი I_q , რომელიც ღუზის საღებებში გადინებისას აღძრავს განივ მაგნიტურ ნაკადს Φ_q . ღუზის გრძივ წრედში აღიძვრება გრძივი

წრედის ე.მ.დ. E_d , რომელიც მოიხსნება გრძივი წრედის მუსე-ბიდან α_3 და α_4 დატვირთვაზე. გაძლიერების ეფექტი მდგომარეობს მასში, რომ განივი ნაკადი Φ_q გაცილებით დიდია, ვიდრე მისი გამომწვევი საწყისი გრძივი ნაკადი Φ_d . სქემიდან ჩანს, რომ ღუზის მაგნიტური მამოძრავებელი ძალა გრძივ წრედში, რომელიც იქმნება დატვირთვის დენით, მოქმედებს მართვის მაგნიტური მ.ძ. I_y და I_{y_1} საწინააღმდეგოდ და იწვევს მანქანის განმაგნიტებას. ამიტომ განივევლიან ელექტრომანქანურ გაძლიერებლებში, ძირითად პოლუსებზე, მართვის გრაგნილების გარდა, გათვალისწინებულია საკომპენსაციო გრაგნილი მსხვილი მავთულისაგან, რომელიც ჩართულია დატვირთვის წრედში მიმდევრობით, ისეთნაირად, რომ კომპენსაცია გაუწიოს დატვირთვის დენის განმაგნიტებელ მოქმედებას.

ნახ.4.36 წარმოდგენილია ამპილდინის პრინციპული სქემა. სქემაზე OY_1 , OY_2 , OK , OD აღნიშნულია შესაბამისად მართვის, საკომპენსაციო და დამატებითი პოლუსების გრაგნილები. დამატებითი პოლუსები განლაგებულია გრძივ ღერძზე და განკუთვნილია გრძივი მუსების (რომელთა გავლითაც მიედინება დატვირთვის დენი) კომუტაციის პირობების გასაუმჯობესებლად. დამატებითი პოლუსების გრაგნილი ჩართულია საკომპენსაციო გრაგნილთან მიმდევრობით.



ნახ.4.36. ამპილდინის პრინციპული სქემა

ამპილდინი წარმოადგენს ორსაფეხურიან გამაძლიერებელს. გაძლიერების პირველი საფეხური არის მართვის წრედი – ღუზის მოკლედ ჩართული წრედი. გაძლიერების მეორე საფეხური – ღუზის მოკლედ ჩართული წრედი – დატვირთვის წრედი.

დენის გაძლიერების პირველი საფეხურის კოეფიციენტი

$$K_1 = \frac{I_q}{I_y} = 20 \div 50; \quad (4.42)$$

გაძლიერების მეორე საფეხურის კოეფიციენტი

$$K_2 = \frac{I_d}{I_q} = 20 \div 50; \quad (4.43)$$

დენის მიხედვით გაძლიერების საერთო კოეფიციენტი

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{I_q}{I_y} \cdot \frac{I_d}{I_q} = \frac{I_d}{I_y} = 400 \div 2500. \quad (4.44)$$

გაძლიერების კოეფიციენტი იზრდება აგზნების დენის I_y სიდიდის შემცირებით, ღუზის I_d დენთან შედარებით.

სიმძლავრის გაძლიერების საერთო კოეფიციენტი

$$K_p = K_{p1} \cdot K_{p2} = \frac{P_q}{P_y} \cdot \frac{P_d}{P_q} = \frac{P_d}{P_y}, \quad (4.45)$$

სადაც $P_y = I_y \cdot U$ არის სიმძლავრე მართვის წრედში;

$P_q = I_q \cdot E_q$ – სიმძლავრე განივი მუსების წრედში;

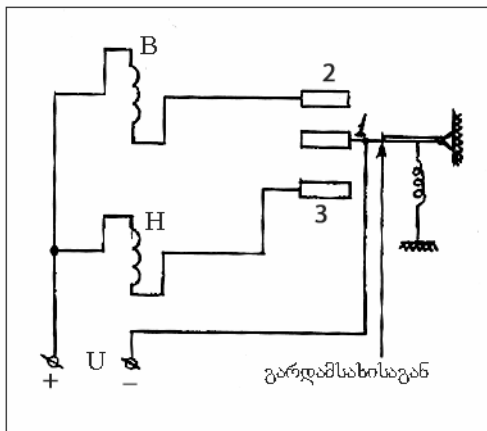
$P_d = I_d \cdot E_d$ – სიმძლავრე გრძივი მუსების წრედში.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ მაგნიტური და ნახევარგამტარული გამაძლიერებლები, დიდი საიმედოობის გამო, ბოლო დროს, ზღუდავენ ელექტრომანქანური გამაძლიერებლების გამოყენებას ავტომატიზებული ელექტროამძრავების სისტემებში. მაგრამ, ავტომატიზებული ელექტროამძრავის მძლავრ სისტემებში და იქ, სადაც საჭიროა რევერსირება და გადატვირთვის დიდი უნარიანობა, ელექტრომანქანური გამაძლიერებლების უპირატესობა უდავოა.

წარმოება უშვებს ელექტრომანქანურ გამაძლიერებლებს 100 კვტ-მდე სიმძლავრით.

§7. ელექტრული კონტაქტები და რელე, როგორც გამაძლიერებელი

ელექტრული კონტაქტები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გამაძლიერებელი (ნახ.4.37). მოძრავი კონტაქტის გადასადგილებლად საჭიროა მცირე ძალვა. კონტაქტები ჩართავენ ელექტროძრავს, რომელსაც შეუძლია განავითაროს მნიშვნელოვანი ძალვა.



ნახ.4.37. ელექტრული კონტაქტები, როგორც გამაძლიერებელი

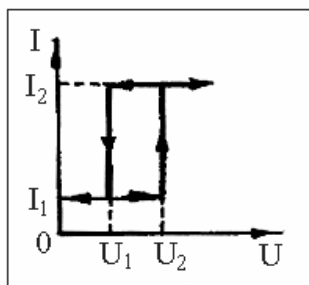
როდესაც მოძრავი კონტაქტი იმყოფება ნეიტრალურ მდგომარეობაში, B და H კონტაქტორების კოჭები გაუდენურებულია და ძრავა გამორთულია. თუ მოძრავი კონტაქტი – 1, გადაამწოდისაგან მიღებული იმპულსის მოქმედებით შეუერთდება კონტაქტს – 2, კოჭა B (წინ) მიიღებს კვებას და თავისი კონტაქტებით ჩართავს ელექტროძრავს, რომელიც გადაადგილებს მარეგულირებელ ორგანოს. 1-3 კონტაქტების შეკვრის შემთხვევაში ჩაირთვება H (უკან) კონტაქტორის კოჭას წრედი; ელექტროძრავა ჩაირთვება უკუსვლაზე და მარეგულირებელი ორგანო გადაადგილდება საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ელექტრომაგნიტური რელე წარმოადგენს უმარტივეს გამაძლიერებელს. რელეს ამოქმედებისათვის საჭიროა მცირე სიდიდის დენი (ან ძაბვა), ხოლო რელეს კონტაქტები ჩართავენ გაცილებით დიდი სიდიდის დენს. მაგალითად, რელე MKY-48 კოჭათი 220 ვ ცვლად დენზე საჭიროებს ამოქმედებისათვის მუშა დენს სიდიდით 0,012 ამპ. იმავე ძაბვაზე კონ-

ტაქტების მიერ შეკრული დენის სიდიდე აღწევს 5 ამპ. მაშასადამე, გაძლიერების კოეფიციენტი

$$K = \frac{5}{0.012} \approx 416.$$

ნახაზზე 4.38 ნაჩვენებია ელექტრომაგნიტური რელეს მახასიათებელი. რელეს განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს მისი მახასიათებლის წვევტადობა. მართლაც, თუ ძაბვა რელეს კოჭაზე იზრდება ნულიდან გარკვეულ სიდიდემდე წრედში, რომელშიც რელეს კონტაქტებია ჩართული, დენის სიდიდე არ შეიცვლება. როდესაც ძაბვა კოჭაზე მიაღწევს რელეს ამოქმედებისათვის საჭირო სიდიდეს, რელეს გულარი შეიზიდება და შეკრავს კონტაქტებს. ამ დროს კონტაქტების წრედში დენი მკვეთრად გაიზრდება. მაშასადამე, როდესაც $U=U_2$ შესრულდება ნახტომი და გამოსასვლელი სიდიდე შეიცვლება I_1 -დან I_2 -მდე. შესასვლელი U სიდიდის შემდგომი ზრდა, გამოსასვლელი I სიდიდის ცვლილებას არ გამოიწვევს. შესასვლელი ზემოქმედების შემცირებისას U_1 მნიშვნელობამდე, გამოსასვლელი სიდიდე რჩება შეუცვლელი. როდესაც U გაუტოლდება U_1 , კვლავ სრულდება ნახტომი – გამოსასვლელი სიდიდე კვლავ ეცემა I_1 -მდე და შემდეგში U -ს შემცირების მიუხედავად არ შეიცვლება.



ნახ.4.38. რელეს, როგორც გამაძლიერებლის მახასიათებელი

§8. არაელექტრული მოქმედების გამაძლიერებლები

ავტომატური რეგულირების არაელექტრულ სისტემებში გამოყენებულია მექანიკური, ჰიდრაულიკური და პნევმატური გამაძლიერებლები. სამშენებლო წარმოებაში კი ძირითადად პნევმატური და ჰიდრაულიკური გამაძლიერებლები გამოიყენება, შესაბამისად პნევმო და ჰიდროამძრავებთან.

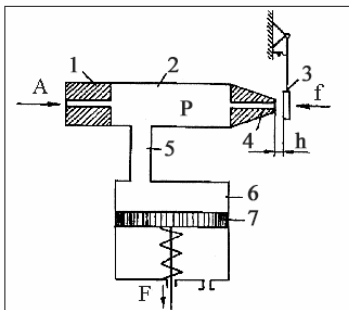
1. პნევმატური გამაძლიერებლები

პნევმატური გამაძლიერებელი წარმოადგენს მექანიზმს, რომელშიაც ენერგიის საკმაოდ მძლავრი ნაკადის (გათვალისწინებული მარეგულირებელი ორგანოს მოქმედებაში მოსაყვანად) მართვა წარმოებს მართვის ელემენტში მიწოდებული ენერგიის მცირე ნაკადით.

ენერგიის წყაროდ, რეგულატორების მოქმედებაში მოსაყვანად გამოიყენება კუმშული ჰაერი, წნევით $0,2-1$ კგ/სმ² ($1,96 \cdot 10^4 - 9,8 \cdot 10^4$ მპ).

პნევმატური გამაძლიერებლების ძირითად ელემენტს წარმოადგენს “საქშენ-საფარი” მოწყობილობა, რომლის მუშაობის სქემა ნაჩვენებია 4.39 ნახაზზე. სქემაზე 1 – არის მუდმივი კვეთის დროსელი (დროსელი ანუ ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც მილსადენის სისტემაში ჩართვის შემთხვევაში ცვლის მილსადენის ჰაერის გამტარ კვეთს და შესაბამისად, – ხარჯსა და წნევას. ჩვეულებრივად დროსელი წარმოადგენს მცირე სიგრძის მილაკს მცირე დიამეტრით – $0,2$ მმ-მდე); 2 – კამერა, რომელშიც მიეწოდება კუმშული ჰაერი P_1 წნევით. კუმშული ჰაერის წნევა კამერაში P არის საკომანდო; 5 – მილაკის საშუალებით საკომანდო წნევა მიეწოდება შემსრულებელი მექანიზმის კამერაში – 6. კამერას – 2 აქვს კიდევ ერთი ხვრეტი – საქშენი 4, საიდანაც შეკუმშული ჰაერი გაედინება ატმოსფეროში; 3 – არის საფარი (სწორკუთხა ფორმის ფოლადის ფირფიტა), რომელსაც შეუძლია მიუახლოვდეს ან დაშორდეს საქშენს – 4. საქშენის გამტარი კვეთი რამდენიმეჯერ აღემატება დროსელის კვეთს. მაგალითად, თუ დროსელის დიამეტრი ტოლია $0,2$ მმ-ის, მაშინ საქშენის დიამეტრი მიიღება $0,5$ მმ. ცხადია, რომ საქშენი – 4 მუდმივი კვეთის შემთხვევაში ჰაერის ხარჯის სიდიდე დამოკიდებულია საფარი –

3 მდებარეობაზე. რაც უფრო ახლოსაა განლაგებული საფარი საქშენთან, მით უფრო ნაკლები იქნება ჰაერის ხარჯი “საქშენ-საფარის” გავლით. ამრიგად, საქშენისა და საფარის ერთობლიობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ცვლადი კვეთის დროსელი. მაშასადამე, ცვლადი დროსელის საშუალებით შეიძლება ვარეგულიროთ წნევის სიდიდე 2 – კამერაში. თუ საფარი მოღიანად დაფარავს საქშენს, მაშინ საკომანდო წნევა P გაუტოლდება მკვებავი წნევის P_1 სიდიდეს. რაც მეტად მოცილდება საფარი საქშენს, მით უფრო ნაკლები იქნება საკომანდო წნევა P და ბოლოს, შესაძლებელია იგი ატმოსფერულ წნევას გაუტოლდეს.



ნახ.4.39. დროსელის გარდამქმნელი

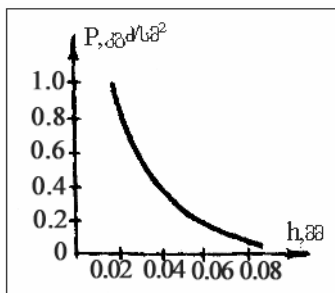
რადგან საფარის გადასაადგილებლად საჭირო ძალვის სიდიდე f , მნიშვნელოვნად ნაკლებია დგუშის ჭოკზე (7) განვითარებულ F ძალვის სიდიდეზე, განხილული მოწყობილობა წარმოადგენს გამაძლიერებელს.

ნახაზზე 4.40 წარმოდგენილია გრაფიკული დამოკიდებულება საკომანდო P წნევისა და საფარის h მდებარეობას შორის. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, საფარის გადაადგილება 0,05 მმ იწვევს საკომანდო წნევის შეცვლას 80%-ით. მაშასადამე, პარამეტრის უმნიშვნელო ცვლილება იწვევს საფარის ისეთ გადაადგილებებს, რომელთა დროსაც საქშენი ან დახურულია, ან ღიაა, ე.ი. ჰაერის წნევა შემსრულებელ მექანიზმზე უტოლდება მკვებავ P_1 წნევას, ან ეცემა ატმოსფერულ წნევამდე. შუალედი მნიშვნელობების მიუღებლად, ცხადია, რომ ასეთი რეგულატორი თავისი მოქმედებით წარმოადგენს ორპოზიციურს.

“საქშენ-საფარი” გარდამქმნელის მახასიათებლის გასაუმჯობესებლად გამოიყენება გარდამქმნელი ძალოვანი უკუ-

კავშირით, რომლის მოქმედება აგებულია გაზომვის კომპენსაციურ პრინციპზე.

საფარის კონსტრუქციად გამოიყენება, აგრეთვე, მადროსელირებელი ბურთულა, ნემსი ან მკვეთარა.



ნახ.4.40. გრაფიკული დამოკიდებულება საკომანდო წნევისა და საფარის მდებარეობას შორის

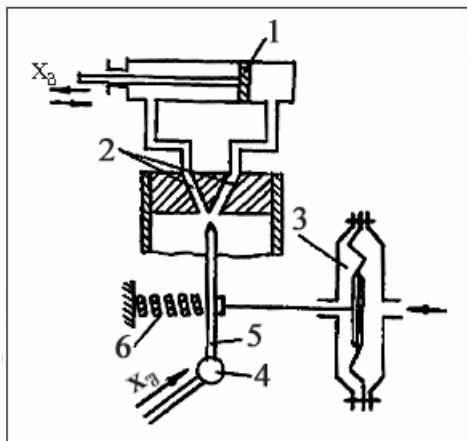
2. ჰიდრავლიკური გამაძლიერებლები

ჰიდრავლიკური გამაძლიერებელი წარმოადგენს მოწყობილობას, მართვის ჰიდრავლიკურ წრედში სიმძლავრის გასაძლიერებლად, მუშა სითხის დახმარებით, რომელიც მიეწოდება გარეშე წყაროდან, წნევის ქვეშ. მუშა სითხის (ტრანსფორმატორული ზეთი) წნევა $P_0 = 6 \div 8 \text{ კგ/სმ}^2 (5.9 \div 7.8 \text{ ბარი})$.

ჰიდრავლიკური გამაძლიერებლები იყოფიან ჭავლურ, მკვეთარა და დროსელურად.

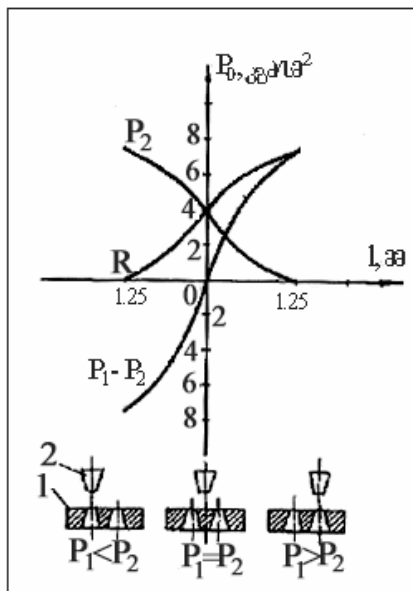
ჭავლური გამაძლიერებლის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ.4.41): ჭავლური მილაკის (5) სატუჩედან (სატუჩეს დიამეტრი უდრის $1,8 \div 2 \text{ მმ-ს.}$) გამოდენილი სითხის ჭავლის სიჩქარითი დაწნევა ჭავლის საშუალო მდგომარეობიდან გადახრის შედეგად იწვევს წნევის ცვალებადობას გამაძლიერებლის საქშენებში (2), რის შედეგადაც ძალოვან ცილინდრში იქმნება წნევათა სხვაობა P_1-P_2 და დგუში იწყებს გადაადგილებას. როდესაც ჭავლური მილაკი განლაგებულია საშუალო მდგომარეობაში, მიმღები საქშენების ღერძებიდან თანაბარ მანძილზე ($1,25 \text{ მმ-ზე}$), მაშინ ცილინდრში დგუშის ორივე მხარეს სითხის წნევა თანაბარია, $P_1=P_2$. ამ შემთხვევაში $P_1-P_2=0$ და დგუში (1) იქნება გაჩერებული. დგუშის გადაადგილების მიმართულება დამოკიდებულია ჭავლური მილაკის საქშენის გადახრის მიმართულებაზე. ამასთან, სითხე მეორე საქშენიდან ბრუნდება უკანვე გამაძლიერებლის კორპუსში. ამრიგად, ჭავლური გამაძლიერ-

რებლის მუშაობა ემყარება სითხის ჭავლის კინეტიკური ენერგიის წნევის პოტენციალურ ენერგიად გარდაქმნას.



ნახ.4.41. ჭავლური ჰიდრავლიკური გამაძლიერებლის მოქმედების სქემა. 1 – აღმასრულებელი მექანიზმის დგუში; 2 – მიმღები საქშენები; 3 – მგრძნობიარე ელემენტი, რომელიც გადასცემს ძალვას ჭავლურ მილაკს; 4 – პოჭოჭიკი; 5 – ჭავლური მილაკი; 6 – ზამბარა, რომელიც აგრეთვე გადასცემს ძალვას ჭავლურ მილაკს

ნახ.4.42 ნაჩვენებია თითოეულ საქშენში P_1 და P_2 წნევების სიდიდეების ცვალებადობის გრაფიკი, ჭავლური მილაკის გადაადგილებისას ერთი განაპირა მდებარეობიდან მეორეში; გარდა ამისა, წნევათა სხვაობის $P_1 - P_2$ დამოკიდებულება ჭავლური მილაკის მდებარეობაზე.

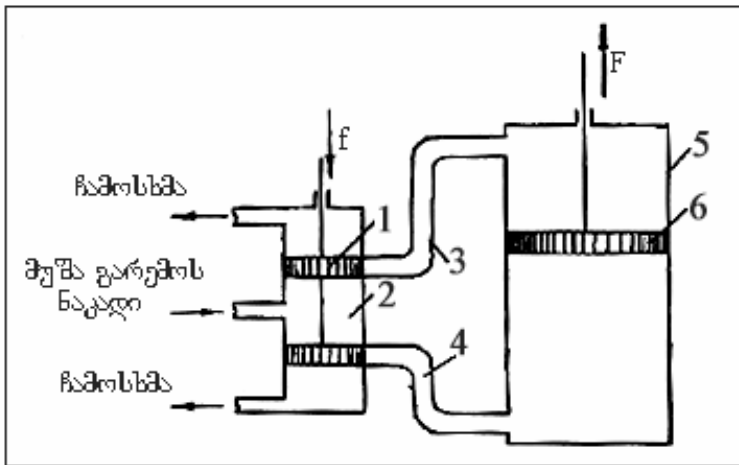


ნახ.4.42. წნევის ცვალებადობის გრაფიკი ჭავლური მილაკის გადაადგილებისას

ჭავჭავური გამაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი აღწევს რამდენიმე ათეულ ათასს. ეს აიხსნება იმ გარემოებით, რომ ჭავჭავური მილაკის საქშენის გადაადგილებას, ერთი განაპირა მდებარეობიდან მეორეში სჭირდება ძალვათა სხვაობა – რამდენიმე ათეული გრამი; აღმასრულებელი მექანიზმის დგუშზე განვითარებული ძალვა კი იცვლება ასეული კილოგრამებით.

წარმოება სერიულად უშვებს ერთკასკადიან და ორკასკადიან ჭავჭავურ გამაძლიერებლებს.

მკვეთარიან გამაძლიერებელში (ნახ.4.43) ამოვისებული ელემენტის სუსტი იმპულსები გადაადგილებენ დგუშს (1) და დიდი წნევის ქვეშ (2÷6 კგ/სმ²) (3 და 4) მილსადენებით მიმართავენ მინერალურ ზეთს აღმასრულებელი ძრავას ცილინდრში (5), რომლის დგუშიც (6) შესაბამისად გადაადგილდება. ვინაიდან აღმასრულებელი ძრავას დგუშის ჭოკზე განვითარებული F ძალვა მნიშვნელოვნად აღემატება მკვეთარას გადაადგილებისათვის აუცილებელ f ძალვას, განხილული მოწყობილობა წარმოადგენს გამაძლიერებელს.



ნახ.4.43. მკვეთარიან პიზრავლიკური გამაძლიერებლის მოქმედების სქემა

დროსელური პიზრავლიკური გამაძლიერებლის სქემა ანალოგიურია ზემოთ აღწერილი “საქშენი-საფარი” გარდამქმნელისა.

აღმასრულებელი მექანიზმები

§1. აღმასრულებელი მექანიზმების კლასიფიკაცია და მოქმედების პრინციპი

მართვისა და რეგულირების აღმასრულებელი მექანიზმების დანიშნულებაა მოახდინონ ზემოქმედება მუშა მანქანებსა და ტექნოლოგიური პროცესის მსვლელობაზე. ისინი წარმოადგენენ მარეგულირებელი სისტემის ბოლო ელემენტებს, რომლებიც უშუალოდ ობიექტზე ახდენენ მარეგულირებელ ზემოქმედებას. აღმასრულებელი მექანიზმების მოქმედებაში მოსაყვანად გამოიყენება მექანიკური, ჰიდრაულიკური, პნევმატური ან ელექტრული ენერგიების გარეშე წყაროები. ამიტომ, აღმასრულებელი მექანიზმები პირობითად იყოფა სამ ჯგუფად – ელექტრულ, პნევმატურ და ჰიდრაულიკურად. ორი უკანასკნელი ტიპი ხშირად გამოიყენება მშენებლობაში. ისინი ხასიათდებიან კონსტრუქციის სიმარტივით, მნიშვნელოვანი გამოსასვლელი მომენტებით, საიმედოობით და მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილების სიჩქარის ცვალებადობის შესაძლებლობით. ავტომატური რეგულირების სისტემებში გამოყენებული აღმასრულებელი მექანიზმები ხშირად იწოდებიან სერვომექანიზმებად (ინგლისური სიტყვიდან *serve* — სამსახურის გაწევა, აღსრულება).

აღმასრულებელ მექანიზმში, ისე, როგორც ავტომატიკის სხვა მექანიზმებში არჩევენ შესასვლელ და გამოსასვლელ სიდიდეებს. შესასვლელი, ე.ი. ავტომატური წრედის წინამდებარე ელემენტებიდან მიღებული ზემოქმედება, შეიძლება იყოს მექანიკური, პნევმატური, ჰიდრაულიკური ან ელექტრული.

აღმასრულებელი მექანიზმის გამოსასვლელი, ე.ი. ზემოქმედება, რომელსაც აღმასრულებელი მექანიზმი ახდენს სარეგულირებელ ობიექტზე ან წრედზე, აგრეთვე, შეიძლება იყოს მექანიკური, პნევმოჰიდრაულიკური ან ელექტრული.

მოძრაობის სიჩქარის მიხედვით აღმასრულებელი მექანიზმები იყოფიან: მოძრაობის მუდმივი სიჩქარითა და გადამწოდიდან მიღებული სიგნალის სიდიდის პროპორციული

ცვლადი სიჩქარით. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნებიან ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმები, ხოლო მეორე ჯგუფს – ჰიდრავლიკური და პნევმატური სერვოდრავები.

ელექტრული მოქმედების აღმასრულებელი მექანიზმები გვხვდება ორი ძირითადი ტიპის: ელექტრომაგნიტური სოლენოიდური ამძრავით (სოლენოიდური სერვოამძრავები) და ელექტროძრავიანი ამძრავით (ელექტრომანქანური სერვოდრავები). სერვოდრავები არიან ნარჩარი და რელეური მოქმედების. მართვის, რეგულირებისა და კონტროლის სქემებში ფართოდ გამოიყენება ელექტრული აღმასრულებელი მოწყობილობები ელექტროძრავიანი ამძრავით, რომლებიც თავის მხრივ იყოფიან აღმასრულებელ მოწყობილობებად, ელექტროძრავების კონტაქტური და უკონტაქტო მართვით.

ელექტრული კონტაქტური აღმასრულებელი მოწყობილობების ძრავების ჩართვა წარმოებს რელესა და კონტაქტორების კონტაქტების დახმარებით.

ელექტრული კონტაქტური აღმასრულებელი მოწყობილობები იყოფიან ერთბრუნიან, მრავალბრუნიან და მუდმივად მბრუნვად. ერთბრუნიან აღმასრულებელ მექანიზმებში გამოსასვლელი ლილვის მობრუნების მუშა კუთხე არ აღემატება 360° . ეს მექანიზმები გამოიყენება საფარის, ონკანისა და სხვა მარეგულირებელი ორგანოების მოძრაობაში მოსაყვანად. მრავალბრუნიან ელექტრულ აღმასრულებელ მექანიზმებში გამოსასვლელი ლილვის ბრუნვათა რიცხვი შეადგენს 10-160. ეს მოწყობილობები გამოიყენება ვენტილების, საკვალთების და სხვა ჩამკეტი მარეგულირებელი ორგანოების სამართავად. მუდმივად მბრუნავი ელექტრული კონტაქტური აღმასრულებელი მექანიზმები კი – იმ შემთხვევაში, როდესაც აღმასრულებელი ორგანოს მოძრაობა განუსაზღვრავია.

ელექტრული უკონტაქტო აღმასრულებელი მოწყობილობების მართვა წარმოებს ხელსაწყოებით ელექტრული კონტაქტების შერთვის გარეშე. აღმასრულებელი მექანიზმების ძირითადი კვანძები და ელექტროძრავები იგივეა, რაც კონტაქტურ აღმასრულებელ მოწყობილობებში.

აღმასრულებელი მოწყობილობის შერჩევა წარმოებს შემდეგი გარემოებების გათვალისწინებით: გამოსაყენებელი დამხმარე ენერგიის სახე; საჭირო გამოსასვლელი სიგნალის ხასიათი და სიდიდე; დასაშვები ინერციულობა; სასურველი

გაბარიტები და წონა; მუშა მახასიათებლების დამოკიდებულება გარეშე გავლენისაგან; სიმძლავრის გაძლიერების კოეფიციენტი; საიმედოობა.

აღმასრულებელი მექანიზმის სიმძლავრე ცვალებადობს რამდენიმე ფაქტორიდან ათეულ კილოვატამდე.

§2. ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმები

1. ავტომატურ მოწყობილობათა ელექტრული ძრავები

ავტომატურ მოწყობილობათა ელექტრული ძრავები მზადდება 0,01-0,1 ვტ-დან 500-600 ვატამდე სიმძლავრით, ბრუნვის სიჩქარით წუთში, ბრუნვის ნაწილიდან 100000 ბრ/წთ-ში და სიხშირით 50-დან 2000 ჰერცამდე.

ავტომატიკის სისტემებში ელექტროძრავები მუშაობენ, როგორც აღმასრულებელ, ასევე დამხმარე ორგანოებად.

ავტომატურ მოწყობილობათა ელექტროძრავები მოქმედების პრინციპის მიხედვით იყოფიან სამ ჯგუფად: 1) ასინქრონული, 2) სინქრონული და 3) კოლექტორული.

ასინქრონული და სინქრონული ძრავები წარმოადგენენ ცვლადი დენის ძრავებს; კოლექტორული ძრავები – მუდმივი დენის, ცვლადი დენის და უნივერსალურ ძრავებს (შეუძლიათ მუშაობა როგორც მუდმივ, ასევე ცვლად დენზე).

ასინქრონული ძრავები გამოიყენება ამძრავებში, სადაც საჭიროა სიჩქარის რეგულირება და, აგრეთვე, დასაშვებია სიჩქარის რხევაც.

სინქრონული ძრავები გამოიყენება იქ, სადაც აუცილებელია ბრუნვის სიჩქარის მუდმივად შენარჩუნება.

მუდმივი დენის კოლექტორული ძრავები შეიძლება გამოიყენონ იმ შემთხვევებში, როდესაც საჭიროა სიჩქარის რეგულირება და, აგრეთვე, იმ დროსაც, როცა აუცილებელია სიჩქარის მუდმივობა. ცვლადი დენის კოლექტორული ძრავების გამოყენება კი შესაძლებელია, როდესაც ქსელის სიხშირე $f=50$ ჰერცია და საჭიროა განვავითაროთ 3000 ბრ/წთ მეტი ბრუნვის სიჩქარე. როგორც ცნობილია, ცვლადი დენის ასინქრონული და სინქრონული ძრავები $f=50$ სიხშირის დროს 3000 ბრ/წთ მეტ ბრუნვის სიჩქარეს ვერ ავითარებენ.

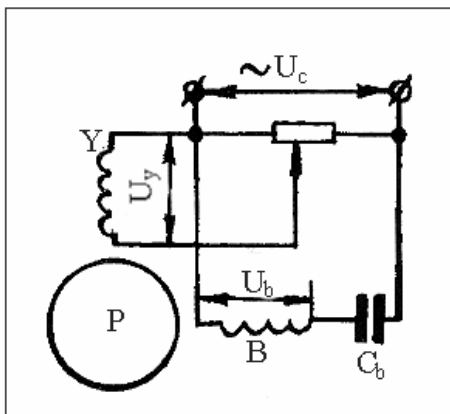
ავტომატურ მოწყობილობათა ასინქრონული ძრავები. ასინქრონული ძრავები მოკლედ ჩართული როტორით, გამოყენებული როგორც აღმასრულებელი მექანიზმები, გვხვდება ოთხი სახის:

- 1) ჩვეულებრივი მოკლედ ჩართული როტორით;
- 2) ღრუ არამაგნიტური როტორით;
- 3) ღრუ ფერომაგნიტური როტორით;
- 4) მასიური ფერომაგნიტური როტორით.

ასინქრონული აღმასრულებელი ძრავები ჩვეულებრივად ორფაზიანია და სტატორზე გააჩნიათ ორი გრაგნილი – აგზნებისა და მართვის, რომლებიც გადაადგილებული არიან ფაზის მიხედვით 90° ელექტრული გრადუსით. აგზნების გრაგნილი იკვებება ცვლადი დენის ქსელიდან, ხოლო მართვის გრაგნილი – ძაბვის გამაძლიერებლიდან.

აღმასრულებელი ძრავას მართვა შეიძლება განხორციელდეს სამი წესით: 1) ამპლიტუდური მართვით, როდესაც იცვლება მართვის ძაბვის სიდიდე; 2) ფაზური მართვით, როდესაც ძაბვის მუდმივი მნიშვნელობის დროს იცვლება მართვის ძაბვის ფაზა; 3) ამპლიტუდურ-ფაზური მართვით, როდესაც ერთდროულად იცვლება მართვის ძაბვის ფაზა და სიდიდე აგზნების ძაბვასთან შეფარდებით.

ნახაზზე 5.1 ნაჩვენებია ღრუ როტორიანი ორფაზა ასინქრონული ინდუქციური ძრავას წრედში ჩართვის სქემა.



ნახ.5.1. ღრუ როტორიანი ორფაზა ასინქრონული ძრავას წრედში ჩართვის სქემა. $\sim U_c$ - ქსელის მუდმივ ამპლიტუდინი ძაბვა; U_y - სამართი ძაბვა; U_b - აგზნების ძაბვა; P - როტორი; Y - სამართი გრაგნილი; B - აგზნების გრაგნილი; C_b - აგზნების გრაგნილთან მიმდევრობით ჩართული კონდენსატორი, რომელიც უზრუნველყოფს ფაზის 90° ელექტრული გრადუსით გადაადგილებას აგზნებისა და მართვის გრაგნილების ძაბვებს შორის

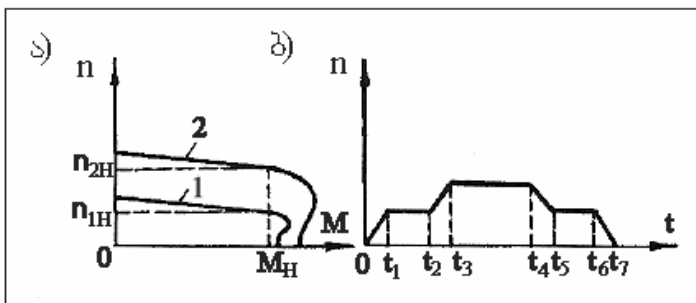
ასინქრონული ძრავას სინქრონული სიჩქარე ანუ ველის ბრუნვის სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ ბრ/წთ}, \quad (5.1)$$

სადაც f არის მკვებავი დენის სიხშირე;

p – გრაგნილის პოლუსების წყვილთა რიცხვი.

ნახ.5.2 მოცემულია ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებელი და სიჩქარის ცვლილების დიაგრამა. მრუდი – 1 შეესაბამება მცირე სიჩქარეს, ხოლო მრუდი – 2 დიდ სიჩქარეს.



ნახ.5.2. ორსიჩქარიანი ასინქრონული ელექტროძრავის მუშაობის მახასიათებელი: ა) მექანიკური; ბ) სიჩქარის ცვლილების დიაგრამა

დიაგრამაზე t_1-t_2 და t_5-t_6 უბნებზე ძრავას ბრუნვათა რიცხვი მცირეა, ხოლო t_3-t_4 უბანზე – დიდი. აღნიშნული უბნები შეესაბამება ძრავას დამყარებულ რეჟიმზე მუშაობას. $0-t_1$; t_2-t_3 ; t_4-t_5 და t_6-t_7 უბნებზე სიჩქარე იცვლება და ეს ძრავას გარდამავალ რეჟიმებზე მუშაობაა.

ინდუქციური ძრავები გამოიყენებიან 50-დან 1000 ჰერცამდე (50, 330, 400, 500, 800, 1000ჰ) სიხშირის ცვლადი დენის სისტემებში. ამასთან დაკავშირებით აღნიშნული ძრავების ბრუნვის სინქრონული სიჩქარე ცვალებადობს 1500-დან 3000 ბრ/წთ.

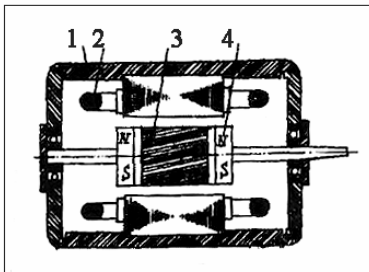
ავტომატურ მოწყობილობათა სინქრონული ძრავები. ნორმალური კონსტრუქციის სინქრონული ძრავა ჩვეულებრივ შედგება სტატორისაგან, რომელშიც მოთავსებულია სამფაზა ან ერთფაზა ცვლადი დენის გრაგნილი და როტორისაგან, მუდმივი დენით მკვებავი აგზნების გრაგნილით.

სინქრონული ძრავას გასაშვებად აუცილებელია როტორისათვის სტატორის მაგნიტური ნაკადის სიჩქარის ტოლი ბრუნვის სიჩქარის მინიჭება. ამ მიზნით გამოიყენება ასინქრონული ძრავა, რომლის პოლუსების წყვილის რიცხვი ერთით ნაკლებია, ვიდრე სინქრონული ძრავასი. სრული სიჩქარის მიღწევისას სინქრონული ძრავა აღივზნება, სინქრონიზირდება და ჩაერთვება ქსელში, რის შემდეგაც დამხმარე ძრავა გამოირთვება.

სინქრონული ძრავას გაშვება შესაძლებელია, აგრეთვე, განხორციელდეს ასინქრონულად. სინქრონული ძრავას ძირითად თვისებას წარმოადგენს ბრუნვის სიჩქარის მუდმივი სიდიდე.

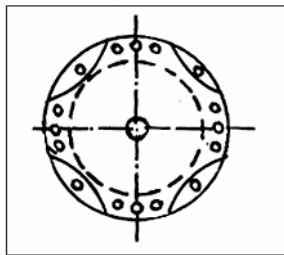
ავტომატიკის სისტემებში ფართოდაა გამოყენებული სინქრონული ძრავები მუდმივი მაგნიტებით, სინქრონული რეაქტიული ძრავები და სინქრონული ჰისტერეზისული ძრავები.

ნახაზზე 5.3 წარმოდგენილია სინქრონული ძრავა მუდმივი მაგნიტებით. სტატორი შედგება კორპუსისაგან – 1 და გრაგნილისაგან 2. როტორი – 3 აღჭურვილია მუდმივი მაგნიტებით – 4 და მოკლედ ჩართული გრაგნილით, რომლის დანიშნულებაც ძრავას გაშვება. როდესაც როტორის სიჩქარე მიაღწევს სინქრონულ სიჩქარეს, ძრავაში ასინქრონული მომენტის ნაცვლად მოქმედებს მასინქრონიზებული მომენტი, ე.ი. წარმოიშობა ურთიერთქმედება მბრუნავ მაგნიტურ ველსა და როტორის მუდმივი მაგნიტების პოლუსებს შორის. სინქრონულ ძრავას მუდმივი მაგნიტებით არ გააჩნია მცოცავი კონტაქტები და მუშაობისათვის არ საჭიროებს კვების ორ წყაროს, მუდმივ და ცვლად დენს. აღნიშნული ძრავების გამოშვება ხდება როგორც სამფაზა, ასევე ერთფაზა ანუ კონდენსატორული შესრულებით.



ნახ.5.3. სინქრო-
ნული ძრავა მუდ-
მივი მაგნიტებით
(ტრილი)

სინქრონული რეაქტიული ძრავას სტატორი ანალოგიურია ასინქრონული ძრავას სტატორისა, ხოლო როტორი მოკლედ ჩართული ასინქრონული ძრავას როტორისაგან განსხვავდება როტორის ცილინდრულ ზედაპირზე ამონაჭერების (დრმულების) არსებობით, რომელთა დანიშნულებაა როტორში მკვეთრად გამოსახული პოლუსების წარმოქმნა (ნახ.5.4).



ნახ.5.4. სინქრონული რეაქტიული ძრავის როტორის კონსტრუქციული სქემა

სინქრონული რეაქტიული ძრავები მზადდება სამფაზა და კონდენსატორული შესრულებით.

ჰისტერეზისული ძრავები თავისი მოწყობილობით არ განსხვავდებიან მასიური როტორიანი ასინქრონული ძრავებისაგან. მხოლოდ როტორი ჰისტერეზისული ძრავისა მზადდება მასალისაგან, რომელიც ხასიათდება მნიშვნელოვანი ნარჩენი მაგნიტიზმით. მბრუნავი მომენტი აღნიშნულ ძრავებში იქმნება, როგორც მბრუნავი მაგნიტური ველის მოქმედებით როტორის გრიგალურ დენებთან, ასევე როტორის ფოლადის გადამაგნიტებით აღძრული მომენტით.

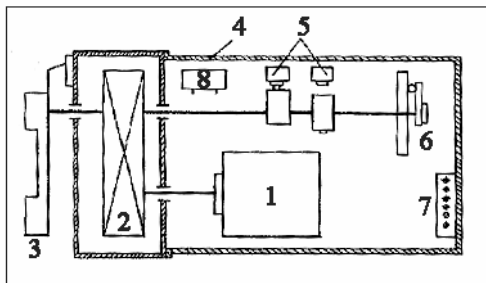
2. ელექტრომაგნიტური აღმასრულებელი მექანიზმები

ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმები გამოიყენება სხვადასხვა მარეგულირებელი ორგანოს – მკვეთარა, სარქველი, დროსეღური საფარი, საკვადთი, ონკანი, რეოსტატი და სხვ. – გადასაადგილებლად. ისინი მუშაობენ კომპლექტში ელექტრულ და ელექტრონულ რეგულატორებთან.

განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

აღმასრულებელი მექანიზმი ИМ-2/120 გამოიყენება მარეგულირებელი ორგანოების გადასაადგილებლად ავტომატური რეგულირების სისტემებში და, აგრეთვე, ხელით დისტანციური მართვის სქემებში.

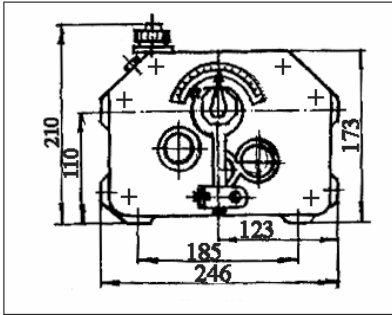
აღმასრულებელი მექანიზმი ИМ-2/120 (ნახ.5.5) შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან: ორფაზიანი რევერსიული ელექტროძრავასაგან (1), რომელიც დაკავშირებულია მცირე და დიდ რედუქტორებთან (2), რომელთა გადაცემის ფარდობა შეადგენს 1:5429. გამოსასვლელ ლილვზე დამაგრებულია მრუდმხარა (3), აღმასრულებელ ორგანოსთან შესაერთებლად. კორპუსის (4) შიგნით განლაგებულია ბოლო გამომრთველები (5), უკუკავშირის რეოქორდა (6), საკლემე ხუნდი (7) და კონდენსატორი (8). სხვადასხვა გრაგნილის წრედში კონდენსატორის გადართვით იცვლება ელექტროძრავას ბრუნვის მიმართულება. გამოსასვლელი ლილვის მობრუნების მუშა კუთხე შეიძლება დავაყენოთ ნებისმიერი 120⁰-ის ფარგლებში. ნომინალური მომენტი გამოსასვლელ ლილვზე შეადგენს 2 კგძმ (19,6 ნ.მ.). 120⁰-ზე მრუდმხარას მოძრაობის დრო – 40 წამს; სიმძლავრე 26 ვატს, წონა 22 კგ-ს.



ნახ.5.5. ИМ-2/120
ტიპის ერთბრუნიანი
აღმასრულებელი
მექანიზმის სქემა

ნახ.5.6 ნაჩვენებია აღნიშნული მექანიზმის საერთო ხედი.

წარმოება უშვებს, აგრეთვე, აღმასრულებელ მექანიზმებს ორფაზა რევერსიული ასინქრონული ძრავებით – ИМТ-6/120, 12/120 და 25/120. მექანიზმების აღნიშვნაში ИМ (მუხრუჭის გარეშე) და ИМТ (მუხრუჭით) პირველი ციფრი აღნიშნავს ლილვზე მტრეხი მომენტის სიდიდეს კგძმ., მეორე – სვლის ხანგრძლივობას ერთი ზღვრული მდებარეობიდან მეორეში, წამებში.



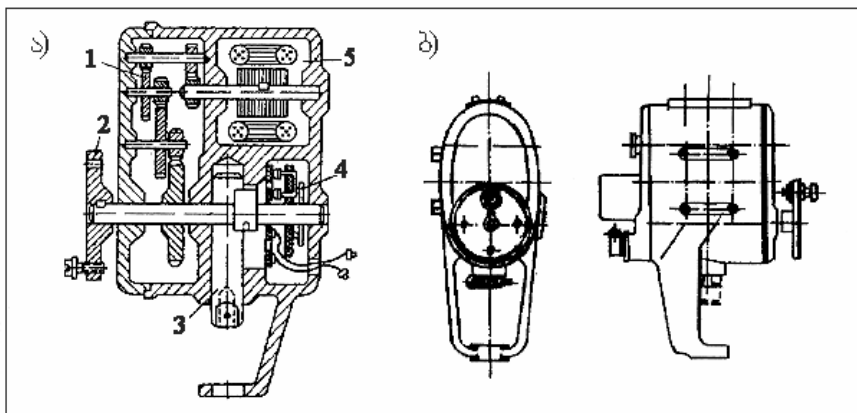
ნახ.5.6. ИМ-2/120 ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმის საერთო ხედი გაბარიტული ზომებით

მექანიზმი ИМ-2/2,5 გათვალისწინებულია ორპოზიციანი რეგულირებისათვის ლილვის მობრუნებით 180° -ზე.

ავტომატიკის მოწყობილობებში ფართო გამოყენებას პოულობენ ДР და ПР ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმები.

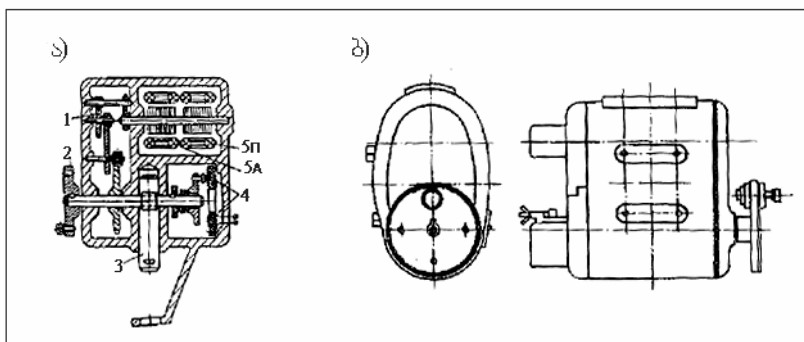
ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმები ДР-М და ДР-ИМ გათვალისწინებულია მარეგულირებელი ორგანოს გადასაადგილებლად ორპოზიციანი რეგულირების სისტემაში და, აგრეთვე, ხელით დისტანციური მართვისათვის.

ДР ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმის კონსტრუქცია და საერთო ხედი ნაჩვენებია ნახაზზე 5.7.ა.ბ. მექანიზმი შედგება ერთფაზა ასინქრონული ელექტროძრავასაგან (5) და კბილანარედუქტორისაგან (1). რედუქტორის გამოსასვლელ ლილვს შეუძლია უზრუნველყოს მარეგულირებელი ორგანოს მობრუნება 180° -ით, ხოლო ჭოკის (3) საშუალებით ერთდროულად განახორციელოს მეორე მარეგულირებელი ორგანოს უკუმოქცევა-გადატანითი მოძრაობა. ამომრთველის (4) საშუალებით შეიძლება განხორციელდეს ორპოზიციანი რეგულირება. ძრავა ბრუნავს ყოველთვის ერთი მიმართვლებით, ხოლო მარეგულირებელი ორგანოს მდებარეობის ცვალებადობა ხორციელდება მისი ბერკეტების შეწევრებით აღმასრულებელი მექანიზმის დისკოსთან.



ნახ.5.7. ოროპოზიციანი აღმასრულებელი მექანიზმი DP: ა) კონსტრუქცია ჭრილში; ბ) საერთო ხედი. 1-რედუქტორი; 2-გამოსასვლელი ლილვი საყელურით; 3-ჭოკი; 4-გამომრთველი; 5-ელექტროძრავა

აღმასრულებელი მექანიზმი ძრავით PP (პროპორციული რეგულირება) კონსტრუქციულად უახლოვდება DP ტიპის მექანიზმს (ნახ.5.8). პროპორციული რეგულირების მიღწევა ხდება ერთ ლილვზე ორი ელექტროძრავას დაყენებით, რომელთაგან ერთი აბრუნებს ლილვს ერთი მიმართულებით, ხოლო მეორე საწინააღმდეგო მიმართულებით. ნახაზზე 4 არის რეოსტატი, რომელიც გამოყენებულია უკუკავშირისათვის; 5П – მარცხენა ძრავა; 5А – მარჯვენა ძრავა; 1 – რედუქტორი; 2 – საყელური, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება რედუქტორის გამოსასვლელი ლილვით მარეგულირებელი ორგანოს მობრუნება; 3 – არის ჭოკი.

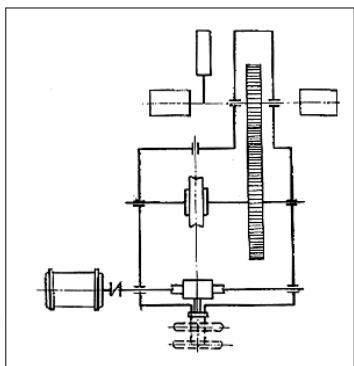


ნახ.5.8. პროპორციული აღმასრულებელი მექანიზმი II: ა) კონსტრუქცია ჭრილში; ბ) საერთო ხედი

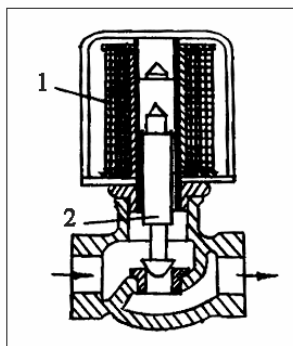
ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმი MЭK-25K, აგრეთვე, გათვალისწინებულია მარეგულირებელი ორგანოს გადასაადგილებლად. მექანიზმში გამოყენებულია ორფაზა ასინქრონული ელექტროძრავა ღრუ როტორით. ელექტროძრავს აქვს ორი გრაგნილი: აგზნების და მართვის. ელექტროძრავადან ბრუნვა შემაერთებული ქუროს საშუალებით გადაეცემა ხუთსაფეხურიან რედუქტორს.

რედუქტორის გამოსასვლელ ლილვს შეუძლია შემობრუნდეს 360° -ით.

წარმოება უშვებს, აგრეთვე, ელექტრომექანიკურ სერვოდრავებს ავტომატური, დისტანციური და ხელით მართვისათვის. ისინი შედგებიან სამფაზა ასინქრონული ძრავასა და ერთი ან ორი რედუქტორისაგან. რედუქტორის ლილვი ბერკეტის საშუალებით შეერთებულია მარეგულირებელ ორგანოსთან. აღნიშნული სერვოდრავების სამართავად გამოიყენება დისტანციური მართვის სვეტები (KДV), რომლებშიც დამონტაჟებულია საგზაო და ბოლო გამომრთველები და, აგრეთვე, რეოსტატული გადამწოდი, რომელიც აჩვენებს მარეგულირებელი ორგანოს გაღების ხარისხს. დისტანციური მართვის სვეტის კინემატიკური სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 5.9.



ნახ.5.9. დისტანციური მართვის სვეტის (KДV) კინემატიკური სქემა

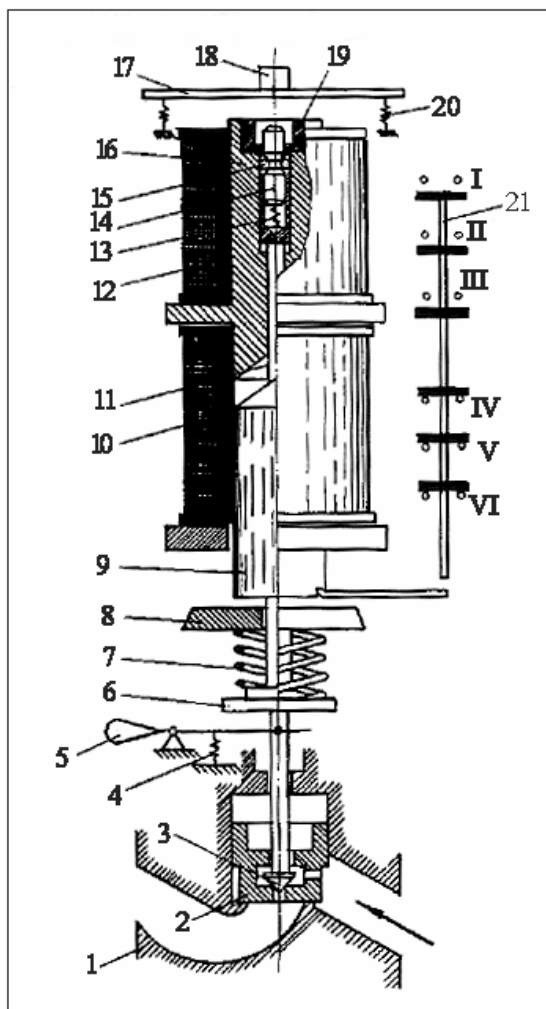


ნახ.5.10. ელექტრომაგნიტური ვენტილი

არსებობს ელექტრომაგნიტური აღმასრულებელი მექანიზმების დიდი მრავალსახეობა. ნახაზზე 5.10 წარმოდგენილია უმარტივესი ელექტრომაგნიტური ვენტილი. კოჭას (1) აგზნების შემთხვევაში, ღუზა (2) შეიზიდება კოჭაში და გაიხსნება სითხის ან აირის მისასვლელი. დენის გამორთვის შემთხვევაში ვენტილი იხურება. აღნიშნული ტიპის ვენტის კოჭას მიერ მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენს 15-25 ვატს.

წარმოება უშვებს უფრო რთული მოწყობილობის ელექტრომაგნიტურ ვენტილებს. სამშენებლო ინდუსტრიის საწარმოებში თბოტენიანობითი დამუშავების პროცესების ავტომატიზაციის სისტემებში ფართოდ არის გავრცელებული CBB და CBMP ტიპის ელექტრომაგნიტური ვენტილები. ვენტილები გათვალისწინებულია 150° ტემპერატურისა და 16 კგძ/სმ^2 წნევის ორთქლჰაერისა და წყლის გარემოს პირობებში სამუშაოდ.

CBB ტიპის ვენტის სქემა ნაჩვენებია 5.11 ნახაზზე. ვენტის ელექტრომაგნიტური ამძრავი მუშაობს მუდმივ დენზე ძაბვით 220 ვ. საწვეი ელექტრომაგნიტის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით 600 ვატს, ხოლო სასხლეტის ელექტრომაგნიტისა – 300 ვატს. ცვლადი დენით კვების შემთხვევაში ვენტილი მუშაობს სელენურ გამმართველთან ერთად. წვეის კოჭას წინაღობა უდრის 94,4 ომს, ხოლო სასხლეტის კოჭასი – 189 ომს.



ნახ.5.11. CBB ტიპის ვენტილის კინემატიკური სქემა

ელექტრომაგნიტური ვენტილი შედგება თვით ვენტილისა და ელექტრომაგნიტური ამძრავისაგან. ვენტილს ეკუთვნის შემდეგი ნაწილები: კორპუსი ბუდით – 1, ძირითადი მკვეთარა – 2, განმტვირთავი მკვეთარა – 3 ვენტილის ჭოკით, უკუმოქცევის ზამბარა – 4 ხელით მართვისათვის, სახელური – 5, ფუძე – 8, რომელზეც ემაგრება ელექტრომაგნიტი.

ელექტრომაგნიტური ამძრავი შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან: თევში – 6 უკუმოქცევის ზამბარის – 7 მისაბრჯენად, ღუზა – 9, წვეის კოჭა – 10, ღუზაზე დამაგრებული ჭოკი – 11, სასხლეტის ელექტრომაგნიტის გულარი – 16, ზამბარა – 13, თითი – 14, ბურთულები – 15, საყრდენი რგოლი – 19, ხელით დახურვის დილაკი – 18, სასხლეტის ელექტრომაგნიტის ღუზა – 17, სასხლეტის უკუმოქცევის ზამბარები – 20, სასხლეტის კოჭა – 12, ბლოკ-კონტაქტების სისტემა – 21, სვლის ბოლოს კოჭებში დენის გამოსართავად.

სარეგულირებელი გარემო, მაგალითად ორთქლი, ვენტილში მიემართება ისრით ნაჩვენები მიმართულებით. ვენტილის ძირითადი ნახერეტი (მისი დახურულ მდგომარეობაში ყოფნის დროს) იხურება ძირითადი მკვეთარით (2). დახურულ მდგომარეობაში მკვეთარაში (2) არსებული პატარა ნახერეტი იხურება განმტვირთავი მკვეთარით (3). განმტვირთავი მკვეთარა ხელს უწყობს ვენტილის გასაღებად საჭირო ძალვის შემცირებას და, მაშასადამე, იძლევა წვეის ელექტრომაგნიტის სიმძლავრის შემცირების საშუალებას (ელექტრომაგნიტის საწყისი წვეის ძალვაა 10 კვ, (ანუ 98 ნ). დახურულ მდგომარეობაში ვენტილზე მოქმედებს თვით სარეგულირებელი გარემოს წნევა და უკუმოქცევის ზამბარა (7).

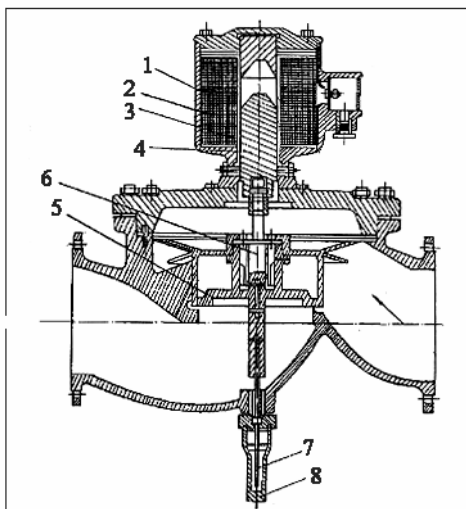
ვენტილი მუშაობს შემდეგნაირად. ვენტილის გასაღებად საჭიროა შევრთოდ გამწვევი ელექტრომაგნიტის (10) კოჭას წრედი. გამწვევი კოჭას წრედის შერთვისას, ძირითადი ელექტრომაგნიტის ღუზა (9) იწყებს ზევით მოძრაობას. ერთდროულად ღუზასთან ზევით გადაადგილდებიან ჭოკი (11) და მასთან დაკავშირებული ზამბარა (13), თითი (14) და ბურთულები (15). ზამბარის (13) მოქმედებით თითი ცდილობს ბურთულების გვერდზე გამოგდებას. როდესაც ბურთულები მივლენ საყრდენი რგოლის (19) გაფართოებულ ნაწილამდე, ისინი ნახევრად გამოვლენ თავიანთი ბუდიდან და მექანიზმი დაიკავეს ღია ვენტილის მდგომარეობას, ვინაიდან ღუზა, ჭოკი და მკვეთარა იმყოფებიან ზედა მდგომარეობაში, გვერდზე გამოგდებული ბურთულების საშუალებით. ამ დროს ამომრთველის IV, V და VI კონტაქტები განირთვებიან, ხოლო I, II და III კონტაქტები კი შეერთდებიან. კონტაქტის – IV განრთვის შემდეგ გამწვევი ელექტრომაგნიტის კოჭას წრედი გაწყდება. ვენტილის გაღებისას, ღუზასთან ერთად

ზევით გადაადგილდება განმტვირთავი მკვეთარა (3), რის გამოც იღება ნახვრეტი ძირითად მკვეთარაში (2). განმტვირთავი მკვეთარას გაღებისას ძირითადი მკვეთარას თავზე წარმოიქმნება გაიშვიათება, რის გამოც მცირდება სარეგულირებელი გარემოს (ორთქლის) წნევა ძირითად მკვეთარაზე. მაშასადამე, ვენტილის გაღება წარმოებს მკვეთარას თავზე გაიშვიათებისა და გამწევი ელექტრომაგნიტის ერთდროული მოქმედებით.

ვენტილის დასახურავად საჭიროა შევრთოდ სასხლეტის კოჭას (12) წრედი. ამ დროს სასხლეტის ელექტრომაგნიტის ღუზა (17) მიიზიდება გულართან (16), დააწევა თითს (14) და დასწევს მას დაბლა. როდესაც თითის ყელი მიუახლოვდება ბურთულების განლაგების დონეს, ბურთულები სიმძიმის ძალის მოქმედებით შეგორდებიან თითის ყელში. ჭოკი (11), ღუზა და მკვეთარა დაეშვებიან დაბლა. ჭოკი განმტვირთავი მკვეთარას მოქმედებით აიძულებს ძირითად მკვეთარას დაეშვას დაბლა და დაიკავოს ქვედა ზღვრული მდგომარეობა, ითიშება გადამრთველის კონტაქტი, რომლის გავლითაც სასხლეტის ელექტრომაგნიტის კოჭას მიეწოდება მკვებავი დენი.

CBMII ტიპის (ნახ.5.12) უჩოხალო ელექტრომაგნიტური ვენტილი შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან: ძირითადი მკვეთარა (5), რომელიც ჩამოკიდებულია რეზინის მემბრანაზე; ელექტრომაგნიტი (1), რომლის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით 150 ვატს; განმტვირთავი მკვეთარა (6); კოჭა (2); ღუზა (4); თითბერის ვაზნა (3); საავარიო ხრახნი (7) და ხუფი (8).

გაუდენურებული ელექტრომაგნიტის (1) შემთხვევაში განმტვირთავი მკვეთარა (6) გადახურავს განმტვირთავი უნაგირას ნახვრეტს, ხოლო ძირითადი მკვეთარა ხურავს მთავარ გასასვლელს. მკვეთარებზე მოქმედი ჭარბი წნევა მათ მიაბრუნებს უნაგირებზე და უზრუნველყოფს საკეტის ჰერმეტიულობას.



ნახ.5.12. CBMII
ტიპის ვენტილის
კინემატიკური სქემა

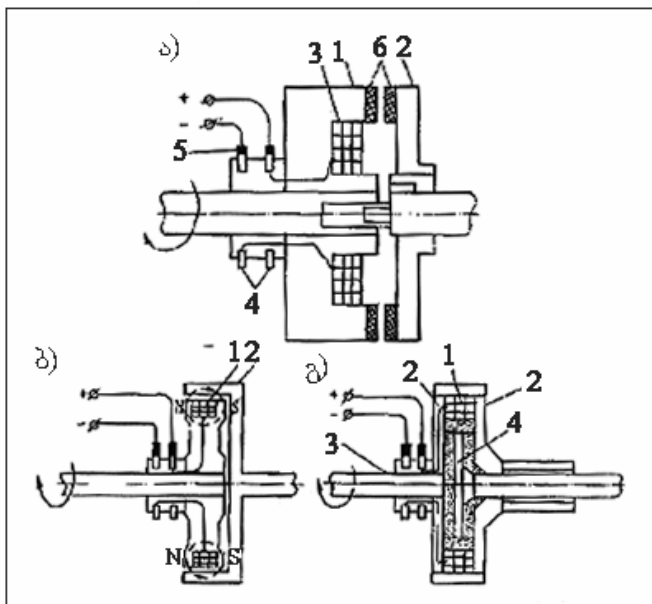
კოჭაზე (2) ძაბვის მიწოდების შემდეგ, ღუზა (4) შეიზიდება ელექტრომაგნიტის შიგნით და ზევით გადაადგილებს მასთან დაკავშირებულ განმტვირთავ მკვეთარას. განმტვირთავ უნაგირში ნახვრეტი იხსნება და მკვეთარას ქვეშა ზონაში წნევა უტოლდება მკვეთარას ზედა ზონის წნევას. ელექტრომაგნიტის გამორთვის შემთხვევაში ორივე მკვეთარა დაეშვება დაბლა და გადახურავენ გასასვლელს. ელექტროენერგიის მიწოდების შეწყვეტის შემთხვევაში ვენტილის მართვა წარმოებს ხელით საავარიო ხრახნის (7) დახმარებით, რომელიც დაფარულია ხუფით (8).

3. ელექტრომაგნიტური ქუროები

ელექტრომაგნიტური ქუროები, როგორც აღმასრულებელი მექანიზმები, გათვალისწინებულია მგრეხი მომენტის ავტომატურად გადასაცემად ერთი ლილვიდან (წამყვანი, შესასვლელი) მეორე ლილვზე (ამყოლი, გამოსასვლელი). ისინი იყოფიან ფრიქციულ, სრიალის და ბლანტი შემავსებლიან (ფეროფხვნილიან) ქუროებად.

ფრიქციულ ქუროებში მგრეხი მომენტის გადაცემა წარმოებს ხახუნის ძალებით, სრიალის ქუროებში – მაგნიტური და ელექტრული ველების საშუალებით, ხოლო ფეროფხვნილიან ქუროებში – მექანიკური ხახუნითა და ნაწილობრივ მაგნიტური კავშირით.

ფრიქციული ელექტრომაგნიტური ქურო (ნახ.5.13,ა) შედგება წამყვანი (1) და ამყოლი (2) ნახევარქუროებისაგან. წამყვან ნახევარქუროზე განლაგებულია აგზნების გრაგნილი (3), რომელთანაც მეკვბავი ძაბვის მიწოდება წარმოებს კონტაქტური რგოლებისა (4) და მუსების (5) საშუალებით. აგზნების გრაგნილი იკვებება მუდმივი დენით.



ნახ.5.13. ელექტრომაგნიტური ქუროების სქემები: ა) ფრიქციული; ბ) სრიალის; გ) ფეროფხვნილიანი

სიმძლავის გადაცემა წამყვანი ლილვიდან ამოვლ ლილვზე ხორციელდება ფრიქციული დისკოებით (6), რომლებიც მუშა მდგომარეობაში მჭიდროდ ებჯინებიან ერთმანეთს. ფრიქციული დისკოებისათვის გამოიყენება დიდი ხახუნის კოეფიციენტის მქონე ცვეთამედევი მასალები: ფოლადი, თუჯი და სპეციალური მასალები.

ფრიქციული ელექტრომაგნიტური ქურო მზადდება რევერსიული და არარევერსიული. რევერსიული ქურო შეიცავს ორ ელექტრომაგნიტს საერთო ღუზით. ერთი ელექტრომაგნიტის ჩართვის შემთხვევაში ამოვლი ლილვი ბრუნავს ერთი

მიმართულებით, მეორე ელექტრომაგნიტის ჩართვისას – მეორე მიმართულებით.

აღნიშნული ქუროების ნაკლია მუსებისა და ფრიკციული დისკოების ცვეთა, დინამიური დატვირთვები ქუროების ამოქმედების დროს და, აგრეთვე, ამჟოლი ლილვის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების სიძნელე წამყვანი ლილვის მუდმივი სიჩქარით ბრუნვისას.

ეს ნაკლოვანებები ნაწილობრივ გამოსწორებულია სრიალის ელექტრომაგნიტურ ქუროებში (ნახ.5.13ბ). ქურო შედგება წამყვან ლილვზე ხისტად დამაგრებული ნახევარქუროსაგან აგზნების გრაგნილით (1). ამ ნახევარ ქუროს უწოდებენ ინდუქტორს. კვების მიწოდებისას აგზნების გრაგნილში (აგზნებისათვის გამოიყენება მუდმივი დენი), და წამყვანი ნახევარქუროს (მას ხშირად ღუზას უწოდებენ) ბრუნვის შემთხვევაში წარმოიქმნება მბრუნავი მაგნიტური ველი, რომელიც აინდუქციებს ამჟოლ ნახევარქუროში (2) გრიგალურ დენებს. ეს დენები ურთიერთქმედებენ მბრუნავ მაგნიტურ ველთან და წარმოშობენ ელექტრომაგნიტურ ძალას, რომელიც თავის მხრივ წარმოქმნის მბრუნავ მომენტს და ამჟოლი ნახევარქურო (ღუზა) იწყებს ბრუნვას ასინქრონული სიჩქარით. ამჟოლ ნახევარქუროზე მოდებული მბრუნავი მომენტისა და ნახევარქუროს სიჩქარის მდოვრე რეგულირება შესაძლებელია აგზნების გრაგნილში დენის ძალისა და ქუროს ღუზის წრედში ჩართული წინააღმდეგობის რეგულირების გზით (როგორც საკონტაქტო რგოლებიანი ასინქრონული ძრავას როტორის წრედისა). ვინაიდან ამჟოლი ლილვი სრიალებს წამყვან ლილვთან შეფარდებით, ამიტომ ქუროს უწოდებენ სრიალის ელექტრომაგნიტურ ქუროს ან ასინქრონულ ქუროს.

ასინქრონულ ძრავაში მბრუნავი მაგნიტური ველი წარმოიქმნება ქსელიდან მიწოდებული ცვლადი სამფაზა დენით; სრიალის ელექტრომაგნიტურ ქუროში, მაგნიტური ნაკადის აგზნება ხდება მუდმივი დენით, როგორც სინქრონულ ძრავაში. ამასთან ქუროს მბრუნავი ელექტრომაგნიტური მომენტი დამოკიდებულია ქუროს წამყვანი და ამჟოლი ნაწილების სიჩქარეთა სხვაობაზე, ე.ი. სრიალზე, როგორც ასინქრონულ ძრავაში.

ამრიგად, სრიალის ელექტრომაგნიტურ ქუროში, როგორც აღმასრულებელ ელექტრულ მანქანაში შეხამებულია, როგორც ასინქრონული, ასევე სინქრონული ძრავების თვისებები.

სრიალის ელექტრომაგნიტურ ქუროს გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობანი ხისტ (მაგალითად რედუქტორით) შეერთებასთან შედარებით. გრუნტის სიმაგრის მკვეთრად შეცვლის შემთხვევაში (ჩამოიანი ექსკავატორით გრუნტის დამუშავების დროს) ადგილი აქვს რედუქტორის კბილანების ურთიერთდარტყმას, რაც იწვევს კბილანების დაზიანებას. ძრავასა და მექანიზმის სრიალის ელექტრომაგნიტური ქუროთი შეერთებისას კი ქუროს წამყვანი ლილვი ასრიალდება ამყოლ ლილვთან შედარებით ისე, რომ მექანიკურ დარტყმებს ადგილი არ ექნება.

ელექტრომაგნიტური ქურო ბლანტი შემავსებლით (ნახ.5.13გ) შედგება აგზნების გრაგნილისა (1), მაგნიტგამტარის (2), წამყვანი ლილვისა (3) და ამყოლი ლილვისაგან დისკოთი (4).

ამყოლი ლილვის დისკოსა და წამყვანი ლილვის მაგნიტგამტარის კორპუსს შორის არსებობს მუდმივი ღრეჩო, რომელიც შევსებულია მშრალი ან ზეთში ან სხვა საიზოლაციო შესაზეთ ნივთიერებაში შეტივტივებული ფერომაგნიტური ფხვნილით დაახლოებით 5:1 წონით თანაფარდობაში. ფერომაგნიტურ ფხვნილად გამოიყენება კარბოლინის ან ელექტროლიტური რკინა.

როდესაც აგზნების გრაგნილში დენი არ გადის, წამყვანი ლილვიდან ამყოლ ლილვზე გადაცემული მომენტის სიდიდე უმნიშვნელოა, რადგან იგი განისაზღვრება მხოლოდ ფხვნილის ნაწილაკებს შორის არსებული მექანიკური სიბლანტით. ელექტრომაგნიტის აგზნებისას რკინის ნაწილაკები დამაგნიტდებიან და წარმოიშვებიან ნაწილაკებსა და ელექტრომაგნიტის ზედაპირებს შორის ურთიერთშეჭიდულობის ძალები. დენის ზრდასთან ერთად ფერომაგნიტური მასა თანდათანობით მყარდება, იზრდება ხახუნის ძალა და ქუროს მიერ გადაცემული მომენტის სიდიდე.

ამრიგად, ფხვნილის ნაწილაკები მაგნიტურ ველში წარმოქმნიან მოქნილ კავშირს წამყვან და ამყოლ ლილვებს შორის. აგზნების გრაგნილში დენის სიდიდის რეგულირებით შესაძლებელია გადასაცემა სიმძლავრის რეგულირება.

§3. პნევმატური ამძრავი. პნევმატური აღმასრულებელი მექანიზმები

პნევმატურ ამძრავებში ენერგიის წყაროს წარმოადგენს შეკუმშული ჰაერი, რომლის წნევა ჩვეულებრივად ტოლია 6-7 კგ/სმ² (5,9-6,85 ბარი).

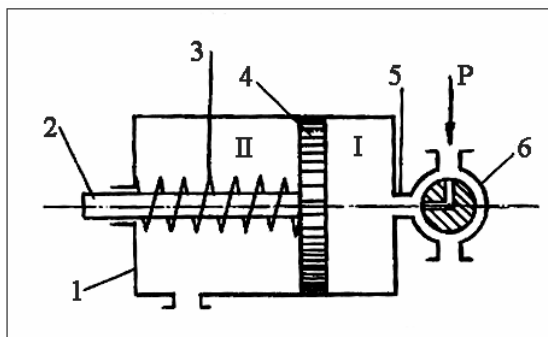
პნევმატური სქემები მნიშვნელოვნად მარტივია ელექტრულზე. ისინი გამოიყენება ფეოქებადსაფრთხო და ხანძარსაფრთხო სათავესებში. პნევმოსქემები არ საჭიროებენ უკუ მილსადენებს, რაც წარმოადგენს მათ უპირატესობას ჰიდრავლიკურ სქემებთან შედარებით. პნევმომძრავების საშუალებით კომანდების გადაცემა შეიძლება განხორციელდეს 500 მეტრამდე მანძილზე.

პნევმატური სქემების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მაღალი წნევის კუმშული ჰაერის გამოყენების შეუძლებლობა. ეს აიხსნება ორი გარემოებით: 1) დიდი წნევის დროს დიდად იზრდება ჰაერის გაპარვა და 2) ჰაერის მკვეთრი გაფართოების შედეგად მნიშვნელოვნად ეცემა მისი ტემპერატურა, რაც იწვევს ჰაერში არსებული ტენიის გადაქცევას ყინულად და მექანიზმის მუშაობის აშლილობას.

მოქმედების პრინციპის მიხედვით პნევმომძრავები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: დგუშიანი და მემბრანული (დიაფრაგმიანი).

დგუშიანი პნევმომძრავები შეიძლება იყოს ერთმხრივი და ორმხრივი ქმედების. ერთმხრივი ქმედების ამძრავები გამოიყენება იმ შემთხვევებში, როდესაც დგუშის უკუმოძრაობა სრულდება დაუტვირთავად (უქმი სვლით). დგუშიანი პნევმომძრავის კონსტრუქციაში შედის ცილინდრი, ჭოკი დგუშით და სამჭიდროებელი მოწყობილობების სისტემა. პნევმომძრავს გააჩნია მართვის აპარატები: გამანაწილებელი და სარედუქციო სარქველები, ჰაერის ხარჯის რეგულატორები და სხვ.

ნახაზზე 5.14 წარმოდგენილია ერთმხრივი ქმედების პნევმატური დგუშიანი ამძრავის სქემა უკუმოქცევი ზამბარით. ამძრავი შედგება ცილინდრის (1), ჭოკის (2) დგუშით (4), უკუმოქცევი ზამბარის (3), სამჭიდროებელი მოწყობილობების, სახურავისა და მილყელისაგან (5). ჭოკის გარე ბოლო (2) უერთდება აღმასრულებელ რგოლს, რომელიც ნახაზზე ნაჩვენებია არ არის.



ნახ.5.14. უკუმოქცევი ზამბარიანი ერთმხრივი ქმედების პნევმატური დგუშიანი ამძრავის სქემა

პნევმოამძრავი მუშაობს შემდეგნაირად: მიღყელის (5) ნახვრეტით შეკუმშული ჰაერი მიეწოდება ცილინდრის (I) სიდრუეში; ჰაერი აწევა დგუშს (4), რომელიც მარცხნივ გადაადგილების დროს ასრულებს საჭირო მუშაობას და ერთდროულად კუმშავს ზამბარას (3). ცილინდრის (II) სიდრუე უნდა იყოს თავისუფალი მიმოსვლით დაკავშირებული ატმოსფეროსთან; წინააღმდეგ შემთხვევაში დგუშის მარცხნივ მოძრაობის დროს აქ შეიძლება წარმოიშვას ჰაერის უკუწნევა, ხოლო მარჯვნივ მოძრაობის დროს – ვაკუუმი. უკუმოძრაობის განსახორციელებლად საჭიროა გამანაწილებელი ონკანის (6) საშუალებით შეწყდეს შეკუმშული ჰაერის შეღწევა ცილინდრის (I) სიდრუეში და ეს სიდრუე დაუკავშირდეს ატმოსფეროს. საწყის მდგომარეობაში დგუში და მასთან დაკავშირებული აღმასრულებელი მექანიზმის ელემენტები ბრუნდებიან შეკუმშული ზამბარის მოქმედებით.

როდესაც წნევა არ არსებობს, ჭოკზე მოქმედი ამძრავის ძალა გამოითვლება გამოსახულებით

$$F = (P_{\text{აბ}} - P_{\text{ატ}})S - F_{\text{ზ}} - F_{\text{ხ}}, \quad (5.2)$$

სადაც

$P_{\text{აბ}}$ – არის აბსოლუტური წნევა ცილინდრის (I) სიდრუეში;

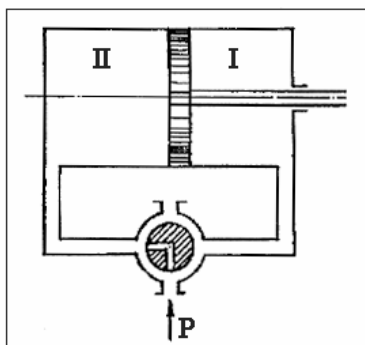
$P_{\text{ატ}}$ – ატმოსფერული წნევა;

$F_{\text{ზ}}$ – უკუმოქცევი ზამბარის ძალვა;

$F_{\text{ხ}}$ – ხახუნის ძალა სამჭიდროებელ მოწყობილობებში და წინააღმდეგობის სხვა სახეები;

S – დგუშის ფართი.

ნახაზზე 5.15 მოყვანილია ორმხრივი ქმედების პნევმატური ამძრავის სქემა. ჰაერის მიწოდება შეიძლება ცილინდრის ორივე სიდრუეში.



ნახ.5.15. ორმხრივი ქმედების პნევმატური დგუშიანი ამძრავის სქემა

სქემა მუშაობს შემდეგნაირად. შეკუმშული ჰაერი გამანაწილებელი სარქველის ნახაზზე ნაჩვენებ მდგომარეობაში ყოფნის შემთხვევაში მიეწოდება II სიდრუეში, რის შედეგადაც დგუში გადაადგილდება მარჯვნივ. ჰაერი I სიდრუედან გამანაწილებელი სარქველის გავლით გაედინება ატმოსფეროში. თუ გამანაწილებელ სარქველს მოვაბრუნებთ 90° , მაშინ შეკუმშული ჰაერი მოხვდება ცილინდრის I სიდრუეში და დგუში შეასრულებს უკუმოქცევ მოძრაობას. ჰაერი II სიდრუიდან სარქველის გავლით გაედინება ატმოსფეროში.

ცილინდრის II სიდრუის შეკუმშული ჰაერით ავსების შემთხვევაში ამძრავის ჭოკზე მოქმედი ძალა ჭოკის უძრავად ყოფნის დროს

$$F = (P_{აბ.II} - P_{აბ.I})S + (P_{აბ.I} - P_{აგ})S_{ჭ} - F_{ბ}, \quad (5.3)$$

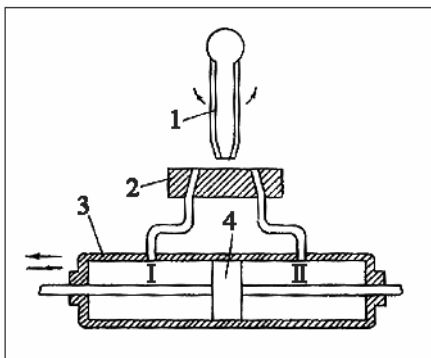
სადაც

$P_{აბ.I}$ და $P_{აბ.II}$ - აბსოლუტური წნევაა შესაბამისად I და II სიდრუეში;

$S_{ჭ}$ - ჭოკის კვეთის ფართი.

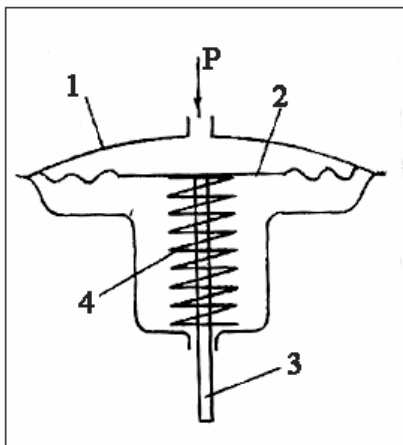
ნახ.5.16 წარმოდგენილია პნევმოამძრავის სქემა ჭავლური გამანაწილებელი მოწყობილობით, რომელიც შედგება ჭავლური მილაკისაგან (1), რომლიდანაც წნევის ქვეშ განუწყვეტლივ გამოედინება ჰაერი, მიმღები ბლოკისაგან (2) და მუშა ცილინდრისაგან (3) მოძრავი დგუშით (4). როდესაც ჭავლური მილაკი (1) განლაგებულია სიმეტრიულად მიმღები

ბლოკის არხების მიმართ, წნევა ცილინდრში დგუშის ორივე მხარეს თანაბარია და დგუში უძრავია. თუ ჭავლურ მილაკს ნულოვანი მდგომარეობიდან გადავხრით, წნევა ცილინდრის I და II სიღრუებში გახდება სხვადასხვა და დგუში გადაიხრება მცირე წნევის მხარეს. ასე მაგალითად, თუ გადავხრით მილაკს მარცხნივ, დგუში ცილინდრში გადაადგილდება მარჯვნივ და პირიქით.



ნახ.5.16. ჭავლური
მილაკიანი
პნევმოამძრავის სქემა

მცირე სვლით მოძრაობების გადასაცემად პნევმატურ სისტემებში იყენებენ მემბრანულ პნევმოამძრავებს (ნახ.5.17). ამ პნევმოამძრავების დიამეტრი შეადგენს 125-500 მმ-ს, ჭოკის სვლა 6-დან 100 მმ-მდე. როგორც დგუშიანი ასევე დიაფრაგმიანი (მემბრანული) ამძრავები იყოფიან ერთმხრივი ქმედებისა და ორმხრივი ქმედების პნევმოამძრავებად.



ნახ.5.17. ერთმხრივი
ქმედების მემბრანული
პნევმოამძრავის სქემა

დღეშიანი პნევმოამძრავებისაგან განსხვავებით დიაფრაგმიან ამძრავებში ჰაერის წნევის მოქმედებით წარმოებს მემბრანის დეფორმაცია. შეკუმშული ჰაერი მიეწოდება სიღრუეში კორპუსის სახურავსა (5) და მემბრანას (6) შორის, რომელზედაც მიმაგრებულია ჭოკი (7). მემბრანა გაიზნიქება წნევისაგან და ჭოკს გადაადგილებს წნევის პროპორციული სიდიდით. ჭოკი თავის მხრივ დაკავშირებულია სამართავი ობიექტის მარეგულირებელ ორგანოსთან. მემბრანის უკუმოქცევა საწყის მდგომარეობაში და უკუწნევის შექმნა ხორციელდება ზამბარით (8).

მემბრანის მიერ ჭოკზე გადაცემული ძალვა განისაზღვრება P წნევით, რომელიც მოქმედებს მემბრანაზე და მისი აქტიური ფართით $F_{აქ}$ (სმ^2) ეს ძალვა ტოლი იქნება

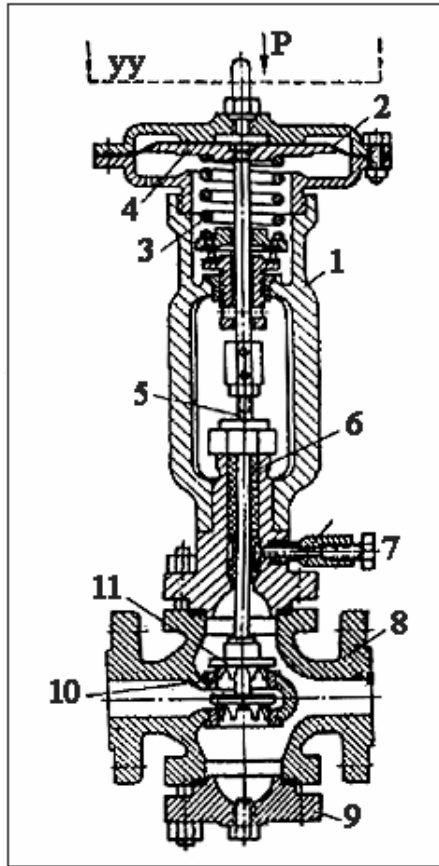
$$P = p \cdot F_{აქ} \quad (5.4)$$

მემბრანული ამძრავის მაგალითს წარმოადგენს მემბრანული პნევმოამძრავი МПП-16, რომლის ჭოკის სვლა შეადგენს 30 მმ, მემბრანის აქტიური ფართი $F_{აქ} = 105 \text{ სმ}^2$. მინიმალური წნევა, რომელზედაც მემბრანა არ რეაგირებს, წარმოადგენს $0,05 \text{ კგ/სმ}^2$. დიაფრაგმის მასალად, ჩვეულებრივად, გამოყენებულია გარეზინული ქსოვილი. გამოიყენება, აგრეთვე, მაღალხარისხოვანი ზამბარული ფოლადი.

პნევმატური მემბრანული აღმასრულებელი მექანიზმები მზადდება ორი სახის: პირდაპირსვლიანი და მერხვეი. პირდაპირსვლიანებში გამოსასვლელი რგოლი (ჭოკი) ასრულებს უკუმოქცევადატანით მოძრაობას, ხოლო მერხვე მექანიზმებში გამოსასვლელი რგოლი (ბერკეტი) კი რხევით მოძრაობას.

მემბრანული აღმასრულებელი მექანიზმი ჭოკის უკუმოქცევადატანითი მოძრაობით გამოიყენება მარეგულირებელი დროსელური სარქველების მართვისათვის. კონსტრუქციულად მემბრანული აღმასრულებელი მოწყობილობა და სარქველი გაერთიანებულია და იწოდება “მარეგულირებელ სარქველად”. არსებობს სამი ძირითადი ტიპი: МИМ – ორპოზიციანი და პროპორციული რეგულირებისათვის; РКУТ – პროპორციული რეგულირებისათვის; ПРК – მცირე ხარჯებისათვის.

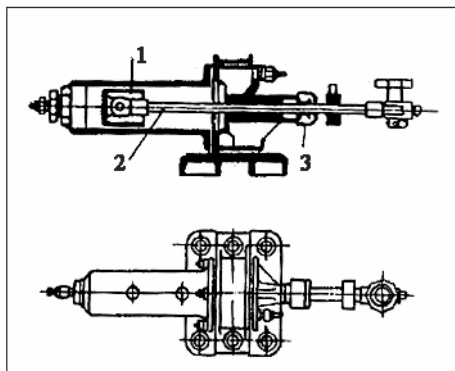
მაგალითის სახით ნახაზზე 5.18 მოყვანილია МИМ ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმი.



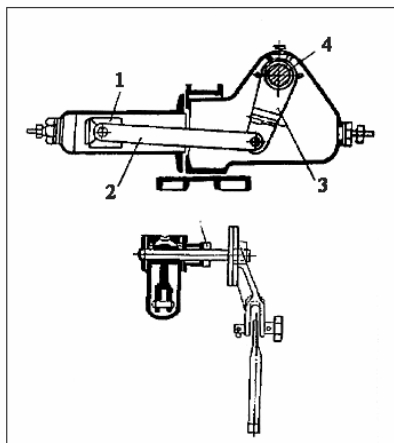
ნახ.5.18. МИМ ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმის მარეგულირებელი სარქველის სქემა. 1 – ბუგელი; 2 – მემბრანა; 3 – ზამბარა; 4 – საყრდენი დისკო; 5 – ჭოკი; 6 – ჩობალი; 7 – საზეთი მოწყობილობა; 8 – კორპუსი; 9 – სახურავი; 10 – უნაგირი; 11 – მკვეთარა; YY - სამართავი მოწყობილობა

მემბრანული მერხევი (ბერკეტული) აღმასრულებელი მექანიზმები გათვალისწინებულია ძირითადად საბრუნო საფარების რეგულირებისათვის.

დგუშიანი აღმასრულებელი მექანიზმები (ნახ.5.19, ნახ.5.20) გამოიყენება მარეგულირებელი დროსელური სარქველებისა და საფარების მართვისათვის.



ნახ.5.19. დგუშიანი აღმასრულებელი მექანიზმი. 1 – დგუში; 2 – ჭოკი; 3 – საჩობალო შემკვრივება



ნახ.5.20. დგუშიანი მრუდმხარა აღმასრულებელი მექანიზმი. 1 – დგუში; 2 – ჭოკი; 3 – მრუდმხარა მექანიზმი; 4 – ლილვი; 5 – საჩობალო შემკვრივება

§4. ჰიდრაავლიკური ამძრავი

ჰიდრაავლიკური აღმასრულებელი მექანიზმები

ავტომატურ სისტემებში ჰიდრაავლიკური ამძრავის ფართო გამოყენება აიხსნება მისი უპირატესობებით სხვა სახის ამძრავთან შედარებით. ჰიდრაავლიკური ამძრავის უპირატესობებია:

- 1) მექანიზმების მცირე ზომების დროს დიდი ძალებისა და სიმძლავრეების განხორციელების სიადვილე;
- 2) მცირე ხვედრითი წონა განვითარებული სიმძლავრის ერთეულზე;
- 3) სიჩქარის უსაფეხურო რეგულირების მიღების სიადვილე;

- 4) მდოვრე მოძრაობების მიღების შესაძლებლობა;
- 5) სწორხაზოვანი მოძრაობების განხორციელების სიადვილე;
- 6) ჰიდრავლიკური მექანიზმების მუშაობის ავტომატიზაციის სიმარტივე;
- 7) ჰიდრავლიკური მექანიზმების ავტომატური შეზეთვა მუშა სითხით;
- 8) სწრაფმოქმედება;
- 9) სითხის ნაკადის ენერგიის უკუმოქცევადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობების მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის შესაძლებლობა შუალედი, კინემატიკური კავშირის (რედუქტორის) გარეშე.

ჰიდრავლიკური ძრავების ნაკლოვანებებია:

- 1) სიჩქარის მომატებისას მილსადენებში მუშა სითხის ხახუნზე კარგების გაზრდა; ეს განსაზღვრავს მილსადენებში ნაკადის დასაშვები სიჩქარეების მნიშვნელობებს 8-15 მ/წმ-ში, ხოლო ტუმბოებისა და ჰიდრავლიკური ძრავების ბრუნვათა რიცხვს – 3500 ბრ/წმ-ში;
- 2) ჰიდროსისტემის მუშაობის დამოკიდებულება მუშა სითხის ტემპერატურისა და სიბლანტის ცვალებადობაზე;
- 3) სითხის კუმშვადობა, რაც შესაძნელებს ჰიდროსისტემაში მუშა სითხის დიდი მოცულობების დროს;
- 4) მუშა სითხის შიგა და გარე გაღინება (გაჟონვა);
- 5) ჰიდროსისტემებში გამოყენებული მინერალური ზეთების ცეცხლსაფრთხეობა;
- 6) ჰიდროგადაცემის წრედების სირთულე და მილგაყვანილობის ნაკლები მოქნილობა.

ჰიდროამძრავი შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისაგან: ტუმბოს, ჰიდროძრავას, გადაცემის სისტემის, მართვის მოწყობილობებისა და დამხმარე მოწყობილობებისაგან.

ჰიდროამძრავის ტუმბო მოქმედებაში მოდის ჩვეულებრივ ელექტროძრავისაგან. ტუმბო ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნის მუშა სითხის პოტენციალურ და კინეტიკურ ენერგიებად.

ჰიდროამძრავებში მუშა გარემოს წარმოადგენენ სითხეები – მინერალური ზეთი, სპირტისა და გლიცერინის ნარევი, წყალი.

ჰიდრავლიკური ტუმბო მუშა სითხეს ჭირხნის ჰიდროძრავაში; იგი სითხის პოტენციალურ და კინეტიკურ

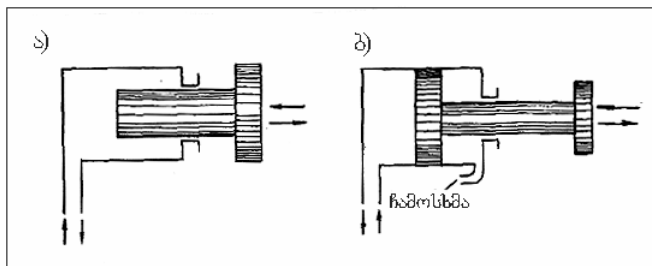
ენერგიას გარდაქმნის მექანიკურ ენერგიად, რომელსაც მოქმედებაში მოჰყავს მუშა მექანიზმები.

ჰიდროამძრავები იყოფიან კინეტიკურ ანუ ტურბინის და სტატიკურ ანუ მოცულობით ამძრავებად. უფრო მეტად გავრცელებულია სტატიკური ჰიდროამძრავები, რომლებშიც გამოყენებულია ტუმბოს მიერ დაჭირხნული სითხის წნევის ენერგია.

გადაცემის სისტემა წარმოადგენს მოწყობილობას (მილსადენების) მუშა სითხის ტრანსპორტირებისათვის და მოწყობილობას ჰიდროსისტემის მუშაობის მართვისათვის (სარქველები, მკვეთარები, ონკანები, აკუმულატორები, საფარები). ისინი გათვალისწინებულია ზეთის ნაკადის მისაწოდებლად ჰიდროსისტემის სხვადასხვა მექანიზმებში, მათი მოქმედების მიმდევრობის მართვისათვის და ზეთის სარინებად რეზერვუარში.

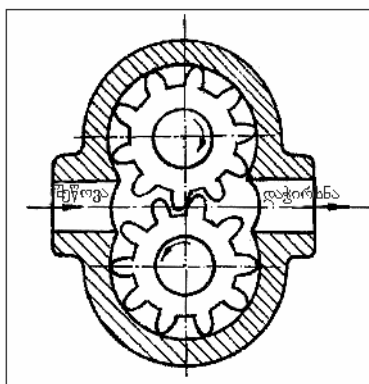
დამხმარე მოწყობილობა შედგება რეზერვუარისა და ფილტრებისაგან. რეზერვუარი განკუთვნილია ჰიდროსისტემის კვებისათვის მუშა სითხით.

სწორხაზოვანი გადატანითი მოძრაობების მისაღებად ფართოდ გამოიყენება არაროტაციული დგუშები და ყვინთები. ყვინთას (ნახ.5.21,ა) სიგრძე აღემატება მისი სვლის სიდიდეს. დგუშს (ნახ.5.21,ბ) აქვს მცირე სიგრძე. იგი მოძრაობს ცილინდრში, რომლის მუშა ზედაპირი დამუშავებულია. დგუშები იყოფიან მარტივი ქმედებისა და ორმაგი ქმედების დგუშებად. თუ დგუში განიცდის სითხის წნევის მოქმედებას ერთი მხრიდან, იწოდება მარტივი ქმედების დგუშად, ხოლო თუ მუშა სითხის წნევის მოქმედებით დგუში გადაადგილდება შენაცვლებით ორივე მიმართულებით – ორმაგი ქმედების დგუშად. ყვინთა და მარტივი ქმედების დგუშები სითხის წნევის მოქმედებით მოძრაობენ ერთი მიმართულებით, ხოლო საწყის მდგომარეობაში ბრუნდებიან საკუთარი წონის, ზამბარის ან ელექტრომაგნიტის წევის ძალვის გავლენით.



ნახ.5.21. ჰიდრავლიკური ამძრავი: ა) ფენი; ბ) დგუში

ჰიდრავლიკურ სისტემებში ფართოდ გამოყენებულ ტუმბოებს შეუძლიათ იმუშაონ, როგორც ჰიდროძრავებმა. კბილანური ტუმბოები და ჰიდროძრავები შედგებიან ორი კბილანისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან იმყოფებიან გარე მოდებაში. კბილანები ბრუნავენ შემჭიდროებულ კორპუსში. ღრეჩოები კბილანების კბილებსა და კორპუსის კედლებს შორის ძალიან მცირეა (ნახ.5.22). კბილანებიდან ერთ-ერთი, რომელიც დამაგრებულია ამძრავ ლიდვზე, წარმოადგენს წამყვანს, ხოლო მეორე ამყოლს. კბილანების მოდებაში შესვლის ადგილთან მიერთებულია საჭირსნი მილსადენი, ხოლო მოდებიდან გამოსვლის ადგილთან შემწოვი. კბილების შევრილები მოდებაში შესვლისას კბილების ღრმულებიდან გამოდევნიან ზეთს და ქმნიან დაჭირხვნის წნევას. კბილების მოდებიდან გამოსვლისას წარმოიქმნება გაიშვიათება და ადგილი აქვს სითხის შეწოვას.



ნახ.5.22. კბილანური ტუმბოს სქემა

მარეგულირებელი მოწყობილობები ადგენენ საჭირო წნევას, ნაკადის სიჩქარეს, მექანიზმების გადაადგილების სიდიდეს, სიჩქარესა და აჩქარებას. ჰიდროამძრავის მექანიზმების მართვა შესაძლებელია უშუალოდ ან დამხმარე (სერვო) მოწყობილობების საშუალებით.

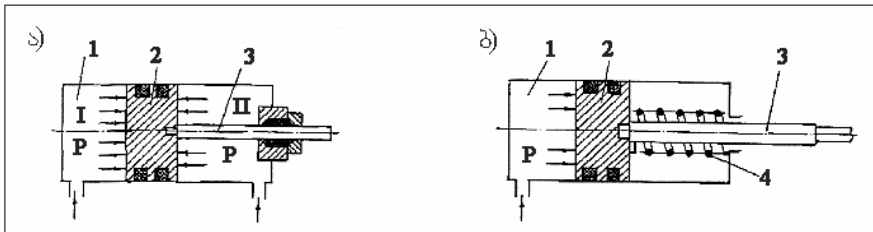
ჰიდრავლიკური სისტემა შედგება სამი ძირითადი წრედისაგან:

1) ძალური, რომელშიაც შედის ტუმბო;
2) გამანაწილებელი, რომელიც გათვალისწინებულია ჰიდრავლიკური მექანიზმის მოქმედების სიჩქარისა და მიმართულების განსასაზღვრად;

3) მუშა, გათვალისწინებული მუშა სითხის ენერგიის გარდასაქმნელად მოქმედი აგრეგატების მექანიკურ ენერგიად (ძალური ცილინდრები).

ძალურ ცილინდრებში ჰიდრავლიკური პოტენციალური ენერგია გარდაიქმნება დეგუშის გადაადგილების მექანიკურ ენერგიად. მაშასადამე, ძალური ცილინდრი წარმოადგენს ძრავს სწორხაზოვანი ან კუთხური უკუმოქცევადატანითი მოძრაობით.

ძალური ცილინდრები, დეგუშების ანალოგიურად, იყოფიან, ერთმხრივი, ძალური მოქმედებისა და ორმხრივი ძალური მოქმედების ცილინდრებად (ნახ.5.23). დეგუში (2) ჭოკით (3) ცილინდრში (1) მუშა სითხის წნევის მოქმედებით, შენაცვლებით გადაადგილდება ორივე მიმართულებით. ცილინდრის I და II სიდრუეებში წნევის ქვეშ სითხის მიწოდების რეგულირება წარმოებს მკვეთარა მოწყობილობით.



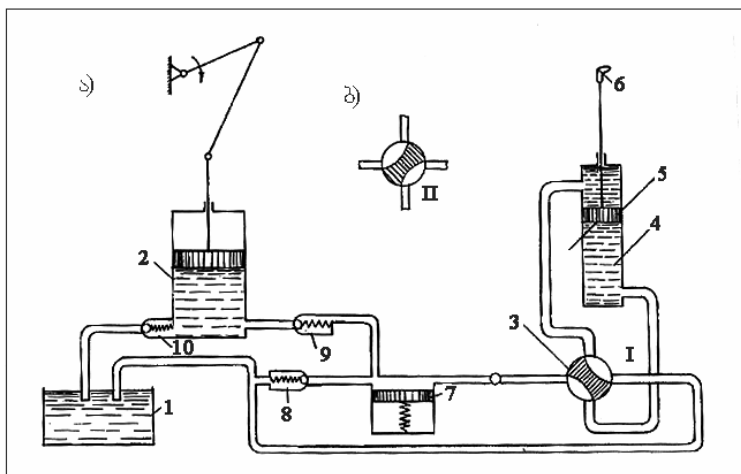
ნახ.5.23. ჰიდრავლიკური ცილინდრები: ა) ორმხრივი ქმედების; ბ) ერთმხრივი ქმედების

ერთმხრივი ქმედების ძალურ ცილინდრებში დეგუში (2) და ჭოკი (3) ცილინდრში (1) მუშა სითხის წნევის მო-

ქმედებით გადაადგილდება ერთ მხარეს, ხოლო საწინააღმდეგო მხარეს – ზამბარის (4) ძალვით.

ნახაზზე 5.24 მოცემულია ჰიდროსისტემის სქემა უკუმოქცევადატანითი მოძრაობისათვის. მუშა სითხე ავზიდან (1) ტუმბოთი (2) შემშვები სარქველით (10) რევერსული მკვეთარას (3) საშუალებით მიეწოდება ძალური ცილინდრის (4) ქვედა სიდრუეში ან ზედა სიდრუეში. ამ დროს დგუში (5) და მასთან დაკავშირებული ბერკეტი ასრულებს მოძრაობას. მკვეთარას (3) I მდგომარეობაში ყოფნის დროს სითხე წნევის ქვეშ მიეწოდება ცილინდრის ზედა სიდრუეში, ხოლო ქვედა სიდრუიდან სითხე გამოიდევენება და მკვეთარას გავლით მიემართება ავზში (1). დგუმის გადასადგილებლად საწინააღმდეგო მხარეს, საჭიროა მკვეთარა (3) გადავიყვანოთ II მდგომარეობაში, ე.ი. მოვაბრუნოთ 90° -ით (ნახ.5.24ბ). მუშა სითხის ნაკადის მიმართულება შეიცვლება. იგი ამ შემთხვევაში მიეწოდება ქვედა სიდრუეში, ხოლო ზედა სიდრუედან სითხე გამანაწილებლის გავლით დაბრუნდება ავზში.

ნახაზზე სარქველი (8) წარმოადგენს დამცველს. თუ ჰიდროსისტემაში წნევა გადააჭარბებს დადგენილ მნიშვნელობას, სარქველი იხსნება და სითხის ნაწილს გაატარებს ავზში დასაბრუნებლად. სარქველი (9) არის შექცეული. სისტემაში წნევის პულსაციის მოგლუვებისათვის გამოყენებულია აკუმულატორი (7).



ნახ.5.24. ჰიდროსისტემის სქემა უკუმოქცევ-გადატანითი მოძრაობისათვის

როგორც ზევით იყო აღნიშნული, ჰიდროსისტემა საშუალებას იძლევა ვარეგულიროთ ძალური ცილინდრის დგუშის გადაადგილების სიჩქარე. დგუშის გადაადგილების სიჩქარის რეგულირება გამოისახება ფორმულით:

$$V = \frac{Q}{F} \text{ სმ/წთ}, \quad (5.5)$$

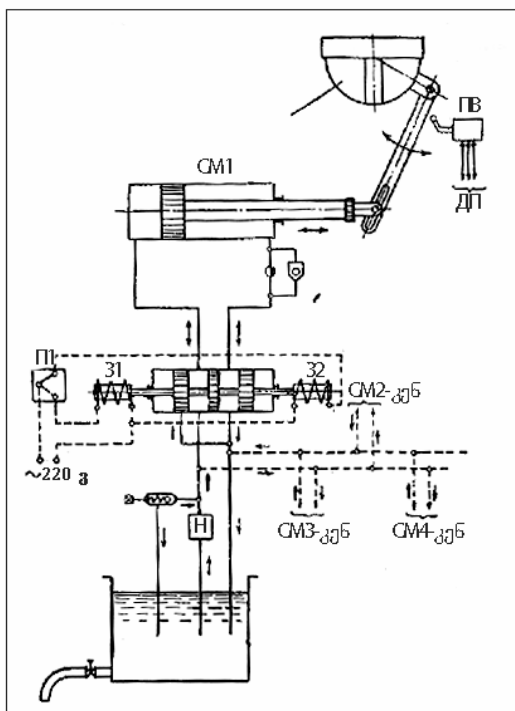
სადაც Q არის სითხის ხარჯი, სმ³/წთ;

F – დგუშის ეფექტური ფართი, სმ².

ვინაიდან დგუშის ეფექტური ფართი წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, ამიტომ დგუშის მოძრაობის სიჩქარის რეგულირება ხორციელდება ხარჯის შეცვლით. აქედან გამომდინარეობს სიჩქარის რეგულირების ორი წესი – მოცულობითი და დროსეულური.

ჰიდროამძრავში მოცულობითი რეგულირებით მარეგულირებელ მოწყობილობად გამოყენებულია ცვლადი მწარმოებლურობის მქონე ტუმბო. ამ შემთხვევაში შესასვლელ სიგნალს წარმოადგენს ტუმბოს მწარმოებლურობა. ჰიდროამძრავის მ.ქ.კ. ტოლია 0,5-0,7.

დროსეულური რეგულირების დროს შესასვლელ სიგნალს წარმოადგენს დროსელის (ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა) გახსნის სიდიდე ან მკვეთარა წყვილის გადაადგილების სიდიდე (ნახ.5.25), ხოლო გამოსასვლელ სიგნალს დგუშის გადაადგილება ჰიდროცილინდრში. დროსეულური რეგულირება გამოიყენება ტუმბოს მუდმივი მწარმოებლურობის დროს. ჰიდროამძრავების (დროსეულური რეგულირებით) მ.ქ.კ. შეადგენს 0,25-0,30.



ნახ.5.25. ჰიდროამბრაჟი ორმხრივი ქმედების ძალური ცილინდრით. CM1, CM2, CM3, CM4 - სერვოდრავები; 31, 32 - ელექტრომაგნიტები მკვეთარას სამართავად; П1 - გადამრთველი ელექტრომაგნიტების დისტანციურად ჩასართავად; H - ტუმბო; ПВ - საგზაო ამომრთველი; ДП - სადისპეტჩერო პუნქტი.

ჰიდრავლიკური აღმსრულებელი მექანიზმები მზადდება ორი ტიპის: МГК – ჰიდრავლიკური მრუდმხარა მექანიზმები (მოსაბრუნებელი ლილვით) და МГП – ჰიდრავლიკური პირდაპირსვლიანი მექანიზმები (ჭოკის გადატანითი მოძრაობით).

დგუშიანი აღმასრულებელი მექანიზმის მოქმედების პრინციპი (ნახ.5.19) ემყარება ჭოკის გადაადგილებას, რომელიც გამოწვეულია მუშა სითხის წნევით დგუშის გადაადგილებით.

ორმხრივი ძალური მოქმედების ჰიდრავლიკურ აღმასრულებელ მექანიზმებში დგუშის მოძრაობა იწვება მაშინ, როდესაც მუშა სითხის დაწნევის ძალა აღმასრულებელი მექანიზმის მუშა სიღრუეში აღემატება ჯამურ ძალას – ჭოკზე მოქმედი საანგარიშო ძალა, ხახუნის ძალა და უკუ-

წნევა სიდრუეში, საიდანაც მუშა სითხე გამოედინება ჩამოსასხმელად. ამ დროს

$$P \cdot S > R + F_b + P_{\gamma} \cdot S', \quad (5.6)$$

სადაც P არის მუშა სითხის წნევა აღმასრულებელი მექანიზმის მუშა სიდრუეში;

S და S' – დგუშის ტორსების ეფექტური ფართი;

R – საანგარიშო ძალვა ჭოკზე;

P_{γ} – მუშა სითხის უკუწნევა ჩამოსხმის მხრიდან.

აღმასრულებელ მექანიზმებში, რომლებშიც ჭოკი დგუშის მხოლოდ ცალ მხარესაა S და S' ფართები განსხვავდებიან ჭოკის განივკვეთის ფართის სიდიდით.

ჰიდრავლიკურ მრუდმხარა აღმასრულებელ მექანიზმში დგუშის გადაადგილებით ბარბაცას და მრუდმხარას საშუალებით შემობრუნდება გამოსასვლელი ლილვი. მარეგულირებელი ორგანო ლილვთან შეიძლება შეერთებული იყოს უშუალოდ ან წამყვანი ბერკეტის საშუალებით. მუშა სითხე წნევის ქვეშ მიეწოდება რეგულატორიდან მილყელებით (ნახ.5.20).

МГК ტიპის მექანიზმის გამოსასვლელი ლილვის მობრუნების კუთხე შეადგენს 90° ; МПТ ტიპის მექანიზმის ჭოკის სრული მუშა სვლის სიდიდე L დამოკიდებულია დგუშის დიამეტრზე D და ტოლია:

$D=60; 80$ და 100 მმ

$D=100, 160$ და 250 მმ;

$D=120$ და 160 მმ

$D=400, 630$ და 1000 მმ.

ჰიდრავლიკური და პნევმატური წრედების გამანაწილებელი და მარეგულირებელი აპარატურის პირობითი გრაფიკული აღნიშვნები მოცემულია სათანადო სახელმწიფო სტანდარტში.

ელექტროამძრავების ავტომატური მართვისა და დაცვის აპარატურა მშენებლობაში

§1. ზოგადი ცნობები

ამწე-სატრანსპორტო და სხვა სამშენებლო მანქანების ელექტროამძრავებში ამჟამად ფართოდ გამოიყენება, როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი დენის ძრავები. განსაკუთრებით ფართოდ ინერგება ელექტროამძრავების სისტემები ცვლად დენზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ დიდი ეკონომიკური ეფექტის მიღებას და მისაღებ გაშვებისა და სარეგულირებელ მახასიათებლებს.

სამშენებლო მანქანების აპარატურის დიდი დატვირთვების ქვეშ ხანგრძლივი დროით მუშაობა განაპირობებს გადასვლას მართვის კონტაქტორულ-რელეური აპარატურიდან უკონტაქტო ლოგიკურ ელემენტებზე, რითაც იზრდება მართვის სქემების მუშაობის საიმედოობა, თუმცა მთელ რიგ შემთხვევებში რთულდება სქემები.

ამჟამად ტარდება მნიშვნელოვანი კვლევითი სამუშაოები ამწე მექანიზმებისა და უწყვეტი ტრანსპორტის მექანიზმების ასინქრონული ძრავების სამართავად ტირისტორული გარდამქმნელების გამოყენებისათვის. ძრავას მართვა წარმოებს სტატორთან მიყვანილი ძაბვის ცვალებადობის შესაძლებლობით როტორის წრედში დენის რეგულირების იმპულსურ წესთან. ძრავას სიჩქარის რეგულირება ხდება როტორის წრედში იმპულსების მოქმედების ხანგრძლივობის ცვალებადობით. ძრავას მუშაობის რეჟიმის შერჩევა ხორციელდება ძრავას სტატორისა და როტორის წრედებში ტირისტორების მართვის ლოგიკური სქემით.

სრულდება ცდები ელექტროამძრავების უნიფიცირებული სისტემების შესაქმნელად სტატიკური გარდამქმნელებით.

სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ავტომატიზებული ელექტროამძრავის თანამედროვე სისტემებში გამოთვლელი მოწყობილობები, რომლებიც იძლევიან რთული ტექნოლოგიური პროცესებისა და ცალკეული დანადგარების ავტომატიზაციის საშუალებას. ავტომატიზაციის განვითარება გა-

მომთვლელი ტექნიკის ბაზაზე იძლევა მართვის კიბერნეტიკული მეთოდების გამოყენების საშუალებას.

მნიშვნელოვანი გავრცელება ჰპოვეს პროგრამული მართვის კორდინატულმა სისტემებმა პერფორმანტების, პერფორუქების ან კომპუტატორების გამოყენებით.

სწრაფი ტემპით ვითარდება ტელემექანიზაცია და რადიომართვა.

ამრიგად, თანამედროვე ავტომატიზებულ ამძრავს გააჩნია ავტომატური მართვა, რომელიც ხორციელდება: კონტაქტორულ-რელეური აპარატურის, ელექტრომანქანური ავტომატიკისა და მაგნიტური გამაძლიერებლების, იონურელექტრონული აპარატურის, ნახევარგამტარებისა და მაგნიტური გამაძლიერებლების საშუალებით განხორციელებული უკონტაქტო სქემების, ტირისტორული და სტატიკური გარდამქმნელების, პროგრამული მართვის კორდინატული სისტემების, ტელე და რადიო მართვის დახმარებით.

თანამედროვე ამწე-სატრანსპორტო და სამშენებლო მანქანებისათვის ფართოდ გამოიყენება რელეურკონტაქტორული მართვა.

§2. ელექტროამძრავების ავტომატური მართვის აპარატების დანიშნულება და კლასიფიკაცია

მართვისა და დაცვის აპარატები ასრულებენ შემდეგ ფუნქციებს:

1) ელექტრული ენერგიის მომხმარებლების ელექტრომიმღებების და ელექტრული წრედების ჩართვა და გამორთვა;

2) ელექტრომიმღებების და ელექტრული წრედების ელექტრული დაცვა გადატვირთვისა და მოკლე შერთვისაგან; ელექტროძრავას დაცვა ძაბვის დაწევისა და თვითგაშვებისაგან;

3) ელექტროძრავების ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება;

4) ელექტროძრავების ელექტრული დამუხრუჭება;

5) ელექტროძრავების რევერსირება.

მართვის აპარატი შეიძლება ასორციელებდეს ზემოთ აღნიშნული ფუნქციებიდან ერთს ან რამდენიმეს. ელექტროძრავების ანალოგიურად მართვის აპარატები მუშაობის რეჟიმის მიხედვით იყოფიან:

- 1) ხანგრძლივი მუშაობის რეჟიმისათვის;
- 2) უწყვეტი მუშაობის რეჟიმისათვის;
- 3) ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმისათვის;
- 4) განმეორებითი-ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმისათვის.

ხანგრძლივი მუშაობის რეჟიმის დროს აპარატი იმყოფება დატვირთვის ქვეშ 8 საათზე ნაკლები დროის განმავლობაში. უწყვეტი მუშაობის რეჟიმის შემთხვევაში – 8 საათზე მეტი დროის განმავლობაში. ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმის აპარატების ჩართვა წარმოებს ხანმოკლე პერიოდით, ხოლო გამორთვის დრო (პაუზა) საკმარისია აპარატის მთლიანად გაცივებისათვის. განმეორებითი – ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმის დროს, აპარატების ჩართვის პერიოდების რეგულარულად მონაცვლეობა წარმოებს გამორთვის პერიოდებით.

კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით მართვის აპარატები იყოფიან ღია, დახურულ, დაცულ, მტვერშეუღწევ და სხვ.

ავტომატურ რელეურ კონტაქტორული მართვის სქემებში გამოყენებული აპარატები იყოფიან სამ ძირითად ჯგუფად:

- 1) კონტაქტორები; 2) რელეები; 3) კომანდოაპარატები.

კონტაქტორები განკუთვნილია ელექტრული მანქანების მთავარ ძალურ წრედებში ხშირი ჩართვებისა და გამორთვებისათვის. მათ შეუძლიათ მოქმედება ავტომატურად მართვადი წრედის ელექტრული სიდიდეების (მაგალითად, დენის ან ძაბვის) ცვალებადობისაგან ან სხვა აპარატების ზემოქმედებისაგან დამოკიდებულებით.

რელე არის მოწყობილობა, რომელიც ნახტომისებურად ცვლის გამოსასვლელ სიგნალს შესასვლელი სიგნალის მოქმედებით, ე.ი. ახორციელებს მართვის “კი-არა” ტიპის დისკრეტულ ფუნქციას. რელე თვითონ არ აწარმოებს ჩართვასა და გამორთვას. იგი მოქმედებს პირველი ჯგუფის აპარატების (კონტაქტორების) მართვის წრედზე.

კომანდოაპარატები საშუალებას იძლევიან ზემოქმედება მოვახდინოთ კონტაქტორებისა და რელეების მართვის წრედზე.

მართვის აპარატების აღმასრულებელ ორგანოებს წარმოადგენენ კონტაქტები. კონტაქტების მახასიათებლებს კი კონტაქტის გაშლა და კონტაქტის ჩაქცევა. კონტაქტის გაშლა ეწოდება კონტაქტების მოძრავ და უძრავ ზედაპირებს შორის

უმოკლეს მანძილს განრთულ მდგომარეობაში. კონტაქტის ჩაქცევა ეწოდება მანძილს, რომელზედაც გადაადგილდება უძრავი და მოძრავი კონტაქტების შეხების ადგილი საკონტაქტო ზამბარების შეკუმშვის დროს.

§3. საკომანდო აპარატები. მართვის ღილაკები

საკომანდო აპარატები გამოიყენება 500 ვ-მდე ძაბვის მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებში. საკომანდო აპარატებს მიეკუთვნებიან: მართვის ღილაკები, უნივერსალური გადამრთველები, კომანდოკონტროლერები (კომანდოაპარატები მოქმედებაში მოჰყავთ ხელის ან ფეხის ამძრავით) და საგზაო და ბოლო ამომრთველები (საკომანდო აპარატის ასამოქმედებლად გამოყენებულია მუშა მანქანა). კომანდოკონტროლერისათვის გამოიყენება აგრეთვე ელექტროამძრავი.

კომანდოაპარატები პოულობენ ფართო გამოყენებას ელექტრული მანქანებისა და აპარატების დისტანციური მართვისათვის და ელექტროამძრავის ავტომატიზაციის სქემებში.

ჩამრთველი და გადამრთველი კონტაქტების მოწყობილობისა და მოქმედებისაგან დამოკიდებულებით კომანდო აპარატები იყოფიან ორ ტიპად:

ა) კომანდოაპარატები კნოპური მართვით (გამოიყენება ხელითა და დისტანციური მართვის დროს);

ბ) მბრუნავი კომანდოაპარატები (გამოიყენება დისტანციური და ავტომატური მართვის დროს).

მართვის ღილაკები განკუთვნილია სხვადასხვა ელექტრომოწყობილობის (კონტაქტორების, მაგნიტური გამშვებების, რელესა და სხვ.) დისტანციური ჩართვისათვის და გამორთვისათვის. ღილაკები გამოიყენება მუდმივი დენის წრედებში ძაბვით 440 ვ-მდე და ცვლადი დენის წრედებში – 660 ვ-მდე.

მართვის ღილაკები შედგებიან ერთი ან რამდენიმე კნოპური ელემენტისაგან. კნოპურ ელემენტში შედიან საკონტაქტო მოწყობილობა და შტიფტი (ღილაკი), რომელიც მექანიკურად არის დაკავშირებული საკონტაქტო მოწყობილობასთან.

დილაკებს მოხერხებული სარგებლობის მიზნით უკეთდებათ სხვადასხვაფრად შეღებილი წარწერები “წინ”, “უკან”, “ამუშავება”, “სდექ” და სხვა (დილაკი “სდექ” ჩვეულებრივად იღებება წითლად, ხოლო “ამუშავება” მწვანედ).

KY ტიპის კნოპური ელემენტი შედგება ერთი შემრთველი და ერთი განმრთველი კონტაქტისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან ელექტრულად არ არიან დაკავშირებული.

შემრთველი ეწოდება ელექტრულ კონტაქტს, რომელიც სამართი კოჭას წრედში ძაბვის ან მექანიკური ზემოქმედების არარსებობისას რჩება გათიშული; განმრთველი ეწოდება ელექტრულ კონტაქტს, რომელიც სამართი კოჭას წრედში ძაბვის ან მექანიკური ზემოქმედების არარსებობის შემთხვევაში იმყოფება შეკრულ მდგომარეობაში.

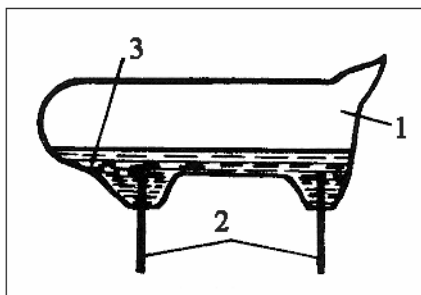
დილაკზე “სდექ” თითის დაჭერისას დილაკის მოძრაობა გადაეცემა ღეროს, რომელიც მოძრავი კონტაქტის საშუალებით თიშავს წრედს. დილაკის გათავისუფლებისას ზამბარა მას აბრუნებს საწყის მდგომარეობაში. დილაკზე “ამუშავება” დაჭერისას კი, მოძრავი კონტაქტი შერთავს ელექტრული წრედის კონტაქტებს.

მართვის დილაკების შერჩევისათვის საჭიროა განისაზღვროს აუცილებელი შესრულება დაცვის წესის მიხედვით (ღია, დაცული, მტვერშეუღწევი, ფეთქებადუსაფრთხო) და შემდეგ შტიფტების რიცხვის მიხედვით (ერთ, ორ, სამ-შტიფტიანი); კონტაქტების შერჩევა საჭიროა განხორციელდეს დატვირთვის ხანგრძლივი დენის დასაშვები სიდიდის მიხედვით (რომელიც არ აღემატება 15 ამპ), დასაშვები დენის სიდიდის მიხედვით (რომელიც არ აღემატება 15 ამპ.), დასაშვები დენის სიდიდის მიხედვით, რომელიც წყდება ინდუქციურ წრედში (20 ამპ-მდე), დასაშვები ჩართვის დენის სიდიდის მიხედვით (არა უმეტესი 60 ამპ.).

§4. ვერცხლისწყლის კონტაქტები

ვერცხლისწყლის კონტაქტები წარმოადგენენ მინის მილაკს, რომელშიც ჩარჩილულია ორი, ან ოთხი ლითონის კონტაქტი და ჩასხმულია მცირე რაოდენობით ვერცხლისწყალი; მილაკი დარჩილულია ორივე მხრიდან (ნახ.6.1).

ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში ვერცხლისწყალი (3) შერთავს ელექტრულ წრედს, რომელშიც ჩართული არიან ღითონის ელექტროდები – კონტაქტები (2). თუ მილაკს (1) დაეხრით, ვერცხლისწყალი გადაისხმება მილაკის ერთ მხარეს და მისი დონე აღარ შეეხება მეორე ელექტროდს. ამ შემთხვევაში ელექტროწრედი იქნება განრთული. ვერცხლისწყლის კონტაქტები მცირე სიმძლავრის კონტაქტებია. ისინი გამოიყენება მართვის, სიგნალიზაციის წრედებში და, აგრეთვე, აპარატურაში. ვერცხლისწყლის კონტაქტი მიემართება ტექნოლოგიური მექანიზმის შესაბამის მუშა ორგანოს ისეთნაირად, რომ ნორმალურ მდგომარეობაში ვერცხლისწყალი ახდენდეს ელექტრული წრედის შერთვას (ან განრთვას). მუშაობის პროცესში მუშა ორგანოს გადახრა საწყისი მდგომარეობიდან იწვევს, აგრეთვე, ვერცხლისწყლიანი მილაკის გადახრას და ვერცხლისწყალი განრთავს მართვის ან სიგნალიზაციის წრედს.



ნახ.6.1. ვერცხლის-
წყლის კონტაქტი

ვერცხლისწყლის კონტაქტები დაყენებულია ავტომატურ სასწორზე, ავტომატურ დოზატორზე, დონის სიგნალიზატორებზე, ტივტივა რელეზე და სხვა მოწყობილობებზე.

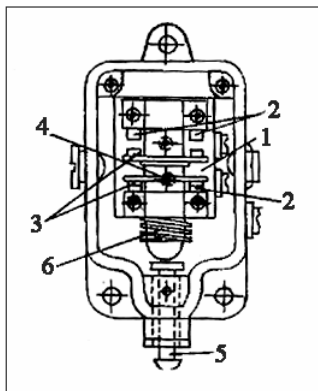
§5. საგზაო (ბოლო) ამომრთველები

საგზაო ამომრთველები განკუთვნილია მანქანებისა და მექანიზმების გამოსართავად. მათი ამოქმედება ხდება მანქანებისა და მექანიზმების მოძრავი ნაწილებით. ამომრთველები გამოყენებულია, როგორც კომანდოაპარატები მოძ-

რავი მექანიზმების ავტომატური მართვის დროს და, აგრეთვე, სხვადასხვა მანქანის სვლის ავარიული შეზღუდვის მიზნით.

ნახაზზე 6.2 წარმოდგენილია მყისი მოქმედების ბოლო ამომრთველი, რომლის ღია კონტაქტის შერთვის დრო და დახურული კონტაქტის განრთვის დრო არ აღემატება 0,1 წამს.

ბოლო ამომრთველებს გააჩნიათ საკლემე ხუნდები (1), რომლებზედაც დამაგრებულია უძრავი კონტაქტები (2). მოძრავი კონტაქტები (3), განლაგებულია პლასტმასის სპეციალურ ლილვაკზე (4). ამომრთველის კონტაქტები გადაადგილდება მბიძგავთან (5) დაკავშირებული ლილვაკის მდებარეობის შეცვლასთან ერთად. კონტაქტების უკან დაბრუნება საწყის მდგომარეობაში ხორციელდება ზამბარით (6).



ნახ.6.2. ბოლო
ამომრთველი

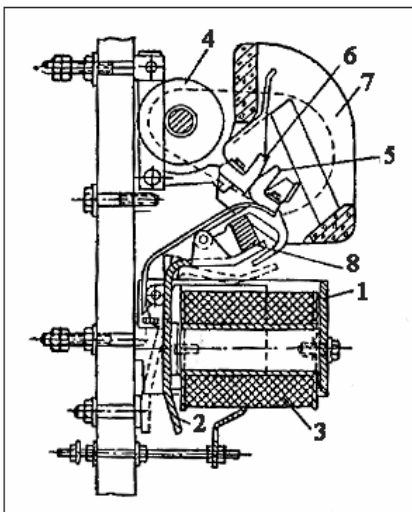
§6. კონტაქტორები

კონტაქტორი ეწოდება დისტანციური მოქმედების ელექტრომაგნიტურ აპარატს, რომელიც განკუთვნილია ელექტრული ძალური წრედის ხშირი ჩართვისა და გამორთვისათვის, დატვირთვის ქვეშ (ძაბვით 1000 ვ-მდე და დენის ძალით 600ა-მდე). კონტაქტორი შეიძლება იყოს რვეერსიული და არარვეერსიული.

კონტაქტორები ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში სხვადასხვა მანქანისა და მექანიზმის: კონვეიერების, ბეტონ-შემრევი კვანძების, კოშკური ამწეების და სხვ. ამძრავების დისტანციური მართვისათვის, ელექტროძრავების ნულოვანი დაცვის მიზნით (მკვებავ ქსელში ძაბვის გაქრობის შემ-

თხევებაში გამორთავს ძრავს, ხოლო განმეორებით ძაბვის მიწოდებისას თვითონ არ ჩაირთვება).

ნახ.6.3 გამოსახულია მუდმივი დენის კონტაქტორი შემართველი კონტაქტებით. 1 არის უძრავი კონტაქტი; 2 – მოძრავი კონტაქტი; 3 – კონტაქტის ზამბარა; 4 – მოძრავი კონტაქტის სუპორტი; 5 – უღელი; 6 – შემზიდი კოჭა; 7 – ღუზა; 8 – რკალჩამქრობი კამერა. კოჭაში დენის გავლის დროს უღელთან მიიზიდება ღუზა. ღუზასთან დაკავშირებული მოძრავი კონტაქტი კი მიეზიდება უძრავ კონტაქტს. თუ კოჭაში დენი არ გადის, მაშინ კონტაქტები საკუთარი წონის გავლენით განირთვებიან. ზამბარა უზრუნველყოფს კონტაქტების ურთიერთდაწოლის საჭირო სიდიდეს.

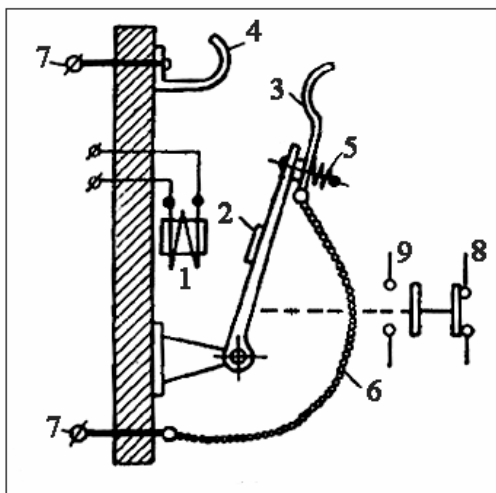


ნახ.6.3. მუდმივი დენის კონტაქტორი

რკალჩამქრობი მოწყობილობის დანიშნულებაა მაგნიტური ველის შექმნა, რომლის გავლენითაც კონტაქტების განრთვისას წარმოქმნილი რკალი გრძელდება, წყდება და სწრაფად ქრება.

ნახ. 6.4 წარმოდგენილია ცვლადი დენის სამპოლუსიანი კონტაქტორი. მართვის იმპულსის მოქმედებით დენი მიეწოდება ელექტრომაგნიტის კოჭაში (1), რომელიც მიიზიდავს ღუზას (2) და მასთან სახსრულად დაკავშირებულ მოძრავ მუშა კონტაქტს (3). ეს უკანასკნელი მიეზიდება უძრავ მუშა კონტაქტს (4) ძალით, რომლის სიდიდის რეგულირება ხორ-

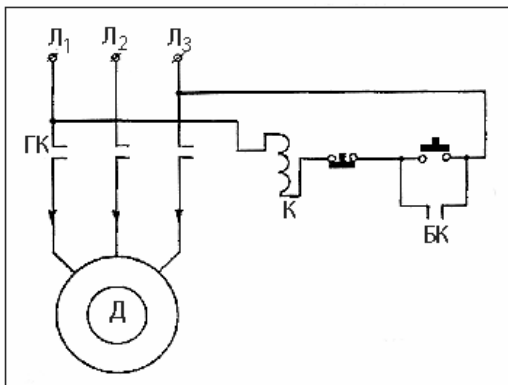
ციელდება ზამბარის (5) საშუალებით. მუშა კონტაქტები შეერთებული არიან მოქნილი სადენით (6) და გამომყვანი მომჭერებით (7) ელექტროამძრავის ძალურ წრედთან. ნახაზზე აღნიშნულია ნორმალურად დახურული (8) და ნორმალურად ღია (9) დამხმარე კონტაქტები, რომელთა დანიშნულებაა სხვა წრედების (სიგნალიზაციის, ბლოკირების) ჩართვა ან გამორთვა.



ნახ.6.4. ცვლადი
დენის
კონტაქტორის
სქემა

ნახაზზე 6.5 ნაჩვენებია კონტაქტორის ჩართვის ელექტრული სქემა. ნახაზზე მოძრავი და უძრავი კონტაქტები აღნიშნულია $ГК$; ბლოკკონტაქტი - $БК$; შემზიდი კოჭა - K ; ფაზები - $Л_1, Л_2, Л_3$ კონტაქტორის ჩართვის შემდეგ შეიძლება ღილაკის “ამუშავება”-მოშვება. წრედი არ გაწყდება, რადგან დენი გადის ჩაკეტილ წრედში: ფაზა $Л_1$ - შემზიდი კოჭა K - ღილაკი “სდექ” - ბლოკკონტაქტი $БК$ (რომელიც ეხლა შერთულია) და ფაზა $Л_3$. ღილაკზე “სდექ” დაჭერის შემთხვევაში მართვის წრედი განირთვება და ღუზას ღილვი საკუთარი წონის გავლენით გაწვევტს ძალურ წრედს. ძაბვის შემცირებისას გარკვეულ სიდიდეზე მეტად კონტაქტორი ავტომატურად გამოირთვება, რადგან კონტაქტორის მოძრავი ნაწილების წონა აღემატება შემცირებული ძაბვის დროს, მაგნიტური სისტემის მოძრავ და უძრავ ნაწილებს შორის ურთიერთქმედების ძალას. თუ ძაბვის არსებობის შემთხვევაში ღილაკს “ამუშავება” არ დავაჭერთ,

კონტაქტორი არ ამოქმედდება, ვინაიდან შემზიდი კოჭას წრედი განრთულია. ამით ხორციელდება ელექტროძრავას ნულოვანი დაცვის უზრუნველყოფა.



ნახ.6.5. კონტაქტორის ჩართვის ელექტრული სქემა

კონტაქტორები მზადდება მუდმივი დენის წრედებში (КП ტიპის) და ცვლადი დენის წრედებში (КТ ტიპის) სამუშაოდ.

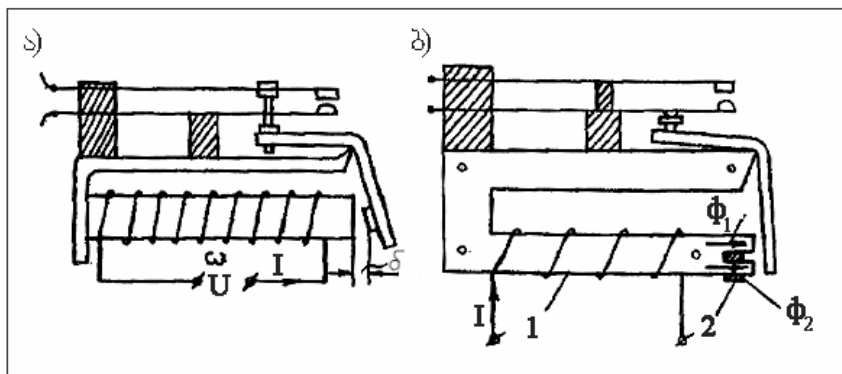
§7. ელექტრომაგნიტური რელე

ელექტრომაგნიტური რელე წარმოადგენს ავტომატიკისა და ტელემექანიკის ერთ-ერთ ყველაზე მეტად გავრცელებულ ელემენტს. ავტომატური და ტელემექანიკური მართვის დანადგარებში გამოიყენება ათეული და ასეული ელექტრომაგნიტური რელე.

ელექტრომაგნიტურ რელეში წვეის ძალვა იქმნება მაგნიტური ველის ენერგიით, რომელიც წარმოიქმნება ელექტრული დენის გავლით კოჭაში. ცნობილია ელექტრომაგნიტური რელეს სამი სახესხვაობა: მუდმივი დენის ნეიტრალური, ცვლადი დენის ნეიტრალური და პოლარიზებული რელეები.

მუდმივი ან ცვლადი დენის ნეიტრალური რელე (ნახ.6.6) ეწოდება ისეთ რელეს, რომლის ღუზაზე კოჭას მაგნიტური ნაკადის მიერ განვითარებული წვეის ძალვა არ არის დამოკიდებული კოჭაში გამავალი დენის მიმართულებაზე. ცვლადი დენის ნეიტრალურ რელეში მოქმედებს მფეთქავი მაგნიტური ნაკადი, რომელიც იწვევს კარგვებს ჰისტერეზისზე და გრივალურ დენებზე, რაც შესაბამისად ამცირებს ღუზის წვეის ძალვას. გარდა ამისა, დენის ცვლილების

ერთი პერიოდის განმავლობაში წვევის ძალა ორჯერ უტოლდება ნულს, რაც იწვევს ღუზის ვიბრაციას. ვიბრაცია იწვევს ხმაურს, აჩქარებს ცვეთას და ართულებს კონტაქტების მუშაობას. ვიბრაციის შემცირების მიზნით იყენებენ მოკლედშერთულ ხვეულიან რელეს (სპეციალური ტიპის რელე) ან რელეს წრედში რთავენ 6-8 მიკროფარადის ტევადობის კონდენსატორს. ამ შემთხვევებში წვევის ძალა არ მცირდება ნულამდე.



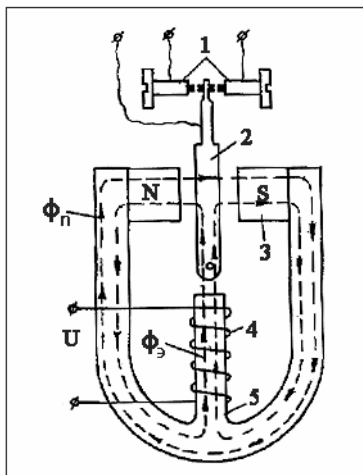
ნახ.6.6. ელექტრომაგნიტური რელე: ა) მუდმივი დენის ნეიტრალური; ბ) ცვლადი დენის ნეიტრალური

კარგეების შემცირების მიზნით პისტერეზისზე და გრიგალურ დენებზე რელეს გულარი მზადდება ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან სისქით 0,3-0,5 მმ.

ნეიტრალური ელექტრომაგნიტური რელესაგან განსხვავებით პოლარიზებულ რელეს გააჩნია მუდმივი მაგნიტი. პოლარიზებული რელე შედგება ფოლადის გულარისაგან (5) დამამაგნიტებელი კოჭათი (4), ფოლადის მოძრავი ღუზისაგან (2), რომელსაც გააჩნია კონტაქტები მარცხნივ და მარჯვნივ, ორი უძრავი კონტაქტისაგან (1) და მუდმივი მაგნიტისაგან (3) (ნახ.6.7). მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ნაკადი ნახაზზე აღნიშნულია Φ_{Π} , ხოლო ელექტრომაგნიტური კოჭათი აღძრული მუშა ნაკადი Φ_{Σ} . ეს უკანასკნელი ფოლადის მოძრავ ღუზაში გავლის შემდეგ იყოფა ორ ნაკადად $\frac{\Phi_{\Sigma}}{2}$, რომელთაგან ერთი

მიმართულებით ემთხვევა, ხოლო მეორე საპირისპიროა მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ნაკადისა.

როდესაც კოჭაში (4) ძაბვა არ არსებობს, ნეიტრალურ (ვერტიკალურ) მდგომარეობაში მყოფ ღუზაზე (2) მაცხნიდან და მარჯვნიდან მოქმედებს მუდმივი მაგნიტის ორი ერთნაირი მიზიდვის ძალა. ამ შემთხვევაში ცხადია, რომ $\Phi_3=0$



ნახ.6.7. პოლარიზებული რელეს კონსტრუქციის პრინციპული სქემა

თუ რელეს გრაგნილში აღვძრავთ ძაბვას, მაშინ ნახაზზე ნაჩვენებ შემთხვევაში მაგნიტის მარჯვენა ღეროში ნაკადები $\frac{\phi_3}{2}$ და Φ_H დაჯამდებიან, რადგან ისინი მიმართულებით ერთ-

მანეთს თანხედებიან, ე.ი. $\phi' = \frac{\phi_3}{2} + \phi_H$. მარცხენა ღეროში მაგნიტური ნაკადები ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების არიან, ამიტომ $\phi'' = \frac{\phi_3}{2} - \phi_H$ საერთო ნაკადი მარჯვენა ღეროში

აღემატება მაგნიტურ ნაკადს მარცხენა ღეროში ($\Phi' > \Phi''$), რის გამოც რელეს ღუზა მიიზიდება მარჯვნივ და შეკრავს მარჯვენა კონტაქტს. თუ შევცვლით მართვის სიგნალის პოლარობას, რელეს ღუზა გადაადგილდება მარცხნივ და შეკრავს მარცხენა კონტაქტს.

ნეიტრალურ რელესთან შედარებით პოლარიზებული რელე მეტად მგრძნობიარეა. მისი ამოქმედებისათვის საჭირო სიმძლავრე შეადგენს $0,5 \times 10^{-3}$ ვატიდან 0,5 ვატამდე. ხასიათდება მეტი გადატვირთვის უნარით და ამოქმედების მცირე

დროით - 10^{-3} - წმ-დან $1,5 \cdot 10^{-2}$ წმ-მდე. ძირითად ნაკლს წარმოადგენს მართვადი (გამოსასვლელი) წრედების მცირე რიცხვი (არა უმეტეს ორისა).

ელექტრომაგნიტური რელეს ძირითადი პარამეტრებია:

1) ამოქმედების დენი $I_{აგ}$ - მინიმალური დენი კოჭაში, რომლის დროსაც კონტაქტები საწყის მდგომარეობიდან გადადიან მუშა მდგომარეობაში; 2) მუშა დენი $I_{ა}$ - დენი, რომელიც უზრუნველყოფს რელეს კონტაქტების საიმედო მუშაობას ($I_{ა}$ ყოველთვის აღემატება $I_{აგ}$); 3) მოშვების დენი $I_{აოშ}$ - დენი, რომლის დროსაც რელეს კონტაქტები მუშა მდგომარეობიდან გადადიან საწყის მდგომარეობაში; 4) მარაგის კოეფიციენტები ამოქმედებისა $K_{აგ} = \frac{I_{ა}}{I_{აგ}}$ და მოშვების

მიხედვით $K_{აოშ} = \frac{I_{ა}}{I_{აოშ}}$; 5) გაძლიერების კოეფიციენტი

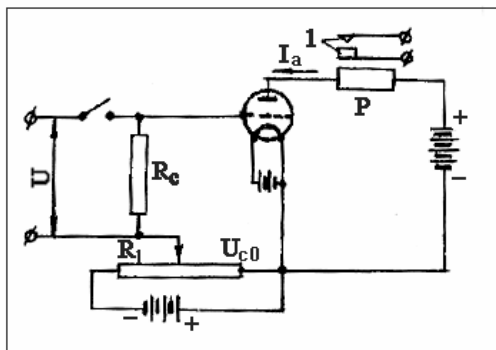
$K_{ა} = \frac{P_{კონტ}}{P_{ა}}$, რომელიც გვიჩვენებს მართვადი სიმძლავრე (კონ-

ტაქტებზე) $P_{კონტ}$ რამდენჯერ აღემატება კოჭას მმართველ სიმძლავრეს $P_{აგ}$; 6) ამოქმედების დრო $t_{აგ}$ - დრო, რომელიც საჭიროა კონტაქტების შერთვისათვის კოჭაზე კვების მიწოდების შემდეგ; 7) მოშვების დრო $t_{აოშ}$ - დრო, რომელიც საჭიროა კონტაქტების სრული განთავისათვის კოჭაზე კვების მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ.

§8. ელექტრონული რელე

ელექტრონულ-კონტაქტური რელე შედგება გამაძლიერებელი ელექტრონული ნათურისა და ელექტრომაგნიტური რელესაგან (ნახ.6.8). ელექტრომაგნიტური რელეს დამამაგნიტებელი გრაგნილი ჩართულია ნათურის ანოდურ წრედში. გაპარვის მუდმივი წინააღმდეგობის R_c გავლით ნათურის ბადეზე მიეწოდება საწყისი უარყოფითი ძაბვა - ბადური წანაცვლება U_{∞} (წინააღმდეგობით R_1). R_1 წინააღმდეგობა საშუალებას იძლევა შევირჩიოთ U_{∞} ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც გარეშე ზემოქმედების არარსებობის შემთხვევაში ($U_{სიგნ}=0$) რელეს გრაგნილში გამავალი ანოდური დენი

I_a იყოს ნაკლები ელექტრომაგნიტური რელეს ამოქმედების დენზე $I_{აგ}$. ამ დროს რელეს აღმასრულებელი წრედის კონტაქტები შეკრულია, როდესაც $U_{სიგნ} = U$ და ბაღეზე მიეწოდება დადებითი პოტენციალი, ანოდური დენი გაიზრდება და აღემატება $I_a > I_{აგ}$ (წანაცვლების უარყოფითი ბაღური ძაბვა აბსოლუტური სიდიდით მცირდება). ამ შემთხვევაში რელე ამოქმედდება, მისი კონტაქტები შეიკვრება. როდესაც სიგნალი შეწყდება, I_a გახდება ნაკლები $I_{აგ}$ და აღმასრულებელი წრედის კონტაქტები განირთვება. ელექტრონული რელე ძალზე მგრძნობიარეა (ამოქმედების სიმძლავრე შეადგენს 10^{-12} - 10^{-8} ვატს), ხარჯავს უმნიშვნელო ენერგიას და გააჩნია დიდი წინააღმდეგობა. მის ნაკლს შეადგენს მგრძნობიარობა რყევისადმი, დარტყმებისადმი, ელექტრონული ნათურის სამსახურის შედარებით მცირე ვადა (რამდენიმე ათასი საათი). ელექტრონულ რელეს შეუძლია მუშაობა ცვლად დენზეც.



ნახ.6.8. ელექტრონული რელე: 1 - კონტაქტები; P - რელე; R_c - გაპარვის მუდმივი წინააღმდეგობა; U_{c0} - ბაღური გადადგილება; R_l - ბაღური გადადგილების წინააღმდეგობა

§9. დროის რელე

ტექნოლოგიური პროცესების დროში ავტომატური რეგულირებისა და მექანიზმების ჩართვისათვის მოცემულ ინტერვალებში გამოიყენება დროის რელე.

დროის რელეში შეიძლება გამოიყოს სამი დამახასიათებელი ნაწილი: მიმღები - რომელიც უზრუნველყოფს რელეს

ამოქმედებას მმართველი სიგნალის მიღების შედეგად, შემ-
ნელებელი – რომელიც უზრუნველყოფს დროის მოცემულ
დაყოვნებას, და აღმასრულებელი – უზრუნველყოფს ზემო-
ქმედებას აღმასრულებელ მოწყობილობაზე. კონსტრუქციუ-
ლად ეს ნაწილები ხშირად გაერთიანებულია.

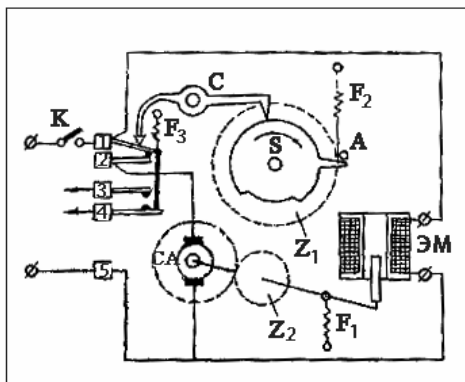
დაყოვნება დროის რელეში შეიძლება განხორციელდეს
ელექტრული, მაგნიტური, მექანიკური, ელექტრომექანიკური,
ჰიდრაულიკური და პნევმატიკური წესებით.

პრაქტიკაში ფართოდ არის გავრცელებული ელექტრო-
მექანიკური (ძრავიანი), ჰიდრაულიკური, პნევმატიკური და
ელექტრონული დროის რელეები.

ნახაზზე 6.9 ნაჩვენებია დროის ძრავიანი რელეს პრინციპი-
ალური სქემა. K გასაღების შერთვისას სინქრონული ძრავა
CD რელექტორით იწყებს ბრუნვას. ერთდროულად აღიგზნება
ელექტრომაგნიტი ΘM და მოდებაში მოჰყავს კბილანა თვლე-
ბი Z_1 და Z_2 . ერთ ღერძზე Z_1 კბილანათვალთან დამაგრებუ-
ლია მუშტები (ერთ-ერთი მათგანი ნაჩვენებია ნახაზზე). ძრავა
აბრუნებს მუშტებს ისრით ნაჩვენები მიმართულებით, ჭიმავს
რა ერთდროულად F_2 ზამბარას. როდესაც S მუშტას ამონაჭ-
ერის საფეხური მიაღდება C ბერკეტის საფეხურს, ბერკეტი F_3
ზამბარის მოქმედებით შემობრუნდება და CD ძრავას წრედში
განრთავს 1-2 კონტაქტებს და შერთავს რელეს გამოსა-
სვლელი წრედის 3-4 კონტაქტებს. Z_1 კბილანათვლის ღერძზე
დამაგრებული სხვა მუშტები უნდა იქნან რეგულირებული
დროის დამოუკიდებელ დაყოვნებებზე და ისინი შესაბამისად
შერთავენ ან განრთავენ გარე წრედების კონტაქტებს.

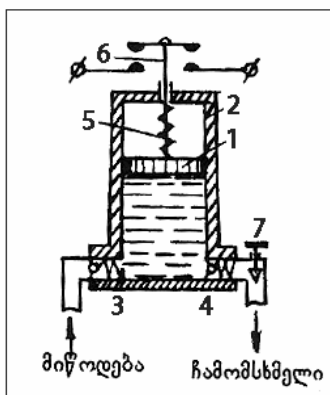
1-2 კონტაქტების განრთვისას CD ძრავა ჩერდება. K
გასაღების განრთვის შემთხვევაში ΘM ელექტრომაგნიტი
ათავისუფლებს ღუზას და F_1 ზამბარას ურთიერთმოძვებიდან
გამოჰყავს Z_1 და Z_2 კბილანა თვლები. მუშტები F_2 ზამბარის
მოქმედებით უკან შემობრუნდებიან A საბრჯენამდე და კონ-
ტაქტები უბრუნდებიან საწყის მდგომარეობას. დროის რელე
მზად აღმოჩნდება ხელმეორედ ჩართვისათვის.

დროის ძრავიანი რელეები იძლევიან დროის დაყოვნების
შესაძლებლობას 24 საათამდე.



ნახ.6.9. დროის ძრავი-
ანი რელეს პრინციპული
სქემა

ნახაზზე 6.10 წარმოდგენილია დროის პიდრავლიკური რელე. რელეს ძირითადი ნაწილებია: დგუში 1, ცილინდრი 2, შესასვლელი სარქველი 3, გამოსასვლელი სარქველი 4, ზამბარა 5, ჭოკი კონტაქტებით 6 და დროსელი 7. მუშა გარემოა სამანქანო ზეთი.



ნახ.6.10. დროის
პიდრავლიკური
რელე

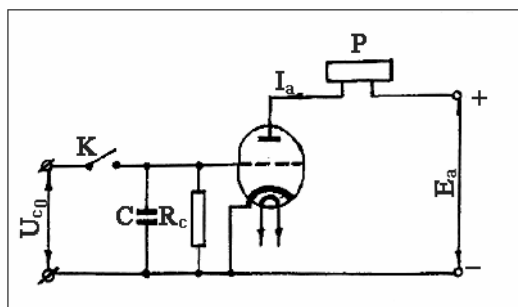
დროის დაყოვნების სიდიდე განისაზღვრება დგუშის მუშა სვლის ხანგრძლივობით.

ანალოგიურ პრინციპზეა დამყარებული პნევმატიკური რელეს მუშაობა, რომლის მუშა გარემოს წარმოადგენს ჰაერი.

დროის ელექტრონული რელეს მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: ელექტრონული ნათურის ბადის წრედში ირთვება კონდენსატორი, რომლის ტევადობა C და R_c წინააღმდეგობის სიდიდე განსაზღვრავს კონდენსატორის დამუხტვისა და განმუხტვისათვის საჭირო დროის ხანგრძლივო-

ბას (ნახ.6.11). აღნიშნული რელე მუშაობს კონდენსატორის განმუხტვის ხარჯზე. როდესაც K გასაღები შეკრულია, ნათურის ბადეზე მიეწოდება წანაცვლების უარყოფითი ძაბვა U_{∞} და ნათურა ჩაკეტილია. C კონდენსატორი ამ დროს დამუხტულია. თუ K გასაღებს განვრთავთ, კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას R_c წინააღმდეგობის გავლით. ნათურის ბადის უარყოფითი პოტენციალი შემცირდება, ხოლო ანოდური დენი I_a გაიზრდება, სანამ იგი არ მიაღწევს I_{a0} დენის სიდიდეს და რელე ამოქმედდება.

რელეს დაყოვნების დროის რეგულირება წარმოებს R_c წინააღმდეგობის ცვლილების გზით. ელექტრონული რელეს საშუალებით შეიძლება განვახორციელოთ დროის დაყოვნება მილისეკუნდიდან 180 სეკ-მდე.



ნახ.6.11. დროის ელექტრონული რელე

ელექტროამძრავის ავტომატიზაციის დროს ფართოდ გამოიყენება დროის ელექტრომაგნიტური რელე PЭ-500, დროის დაყოვნებით 5 სეკ-მდე. რელე შედგება კოჭასა, უძრავი მაგნიტგამტარისა, ღუზის, სარეგულირებელი ხრახნის, ბლოკ-კონტაქტებიანი ტრავერსისა და დამჭიმავი ზამბარისაგან.

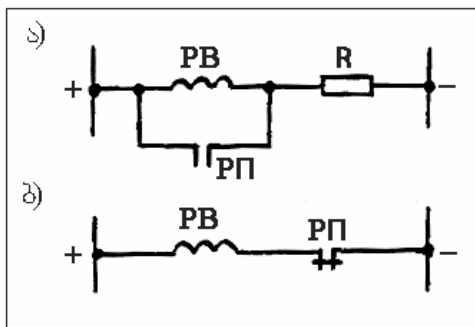
შევნიშნავთ, რომ PЭ-500 ტიპის რელე გათვალისწინებულია მუდმივი დენისათვის. ცვლადი დენის ძრავების მართვის წრედებში რელეს ჩართვა ხდება გამმართველებთან ერთად.

დროის დაყოვნება PЭ-511, PЭ-513 და PЭ-515 ტიპის დროის რელეებში შეიძლება განხორციელდეს ორი გზით: 1) კოჭას დამოკლებით; 2) რელეს კოჭას გამორთვით.

პირველ შემთხვევაში რელეს PB ჩართვისას ღუზა მიიზიდება ძალიან სწრაფად. გამორთვის შემთხვევაში (რელე შეიძლება გამორთოს კოჭას წრედის გაწყვეტით ან მისი და-

მოკლებით) იქმნება დროის დაყოვნება. დროის დაყოვნება კოჭას წრედის დამოკლებისას აიხსნება შემდეგნაირად: თუ მოვახდენთ რელეს კოჭას დაშენტვას რომელიმე შუალედი რელეს PI კონტაქტების პარალელურად ჩართვით (ნახ.6.12,ა), რელეს კოჭათი და PI კონტაქტებით, წარმოქმნილ კონტურში თვითინდუქციის გავლენით წარმოებს დენის შეკავება გარკვეული დროით. დროის ამავე პერიოდში მაგნიტური ნაკადი და ღუზის გულართან მიზიდვის ძალა მიიღევა თანდათანობით. კოჭას წრედში გათვალისწინებული R წინააღმდეგობის დანიშნულებაა მოკლე ჩართვისაგან დაცვა იმ შემთხვევაში, როდესაც წრედში სხვა მომხმარებელი არ არის ჩართული.

მეორე შემთხვევაში (ნახ.6.12,ბ) რელეს გულარზე ჩამოეცმევა სპილენძის ან ალუმინის ვაზნა, რომელიც ქმნის მეორად კონტურს. რელეს ჩართვისა და გამორთვის დროს ვაზნაში წარმოიქმნება ე.მ.ძ. და აღიძვრება დენი, რომელიც ლენცის წესის თანახმად იწვევს ისეთი მიმართულების მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც რეზულტატური მაგნიტური ნაკადის ცვლილებას დააყოვნებს.



ნახ.6.12. დროის ელექტრომაგნიტურ რელეებში დროის დაყოვნების მიღების სქემები: ა) კოჭას დამოკლებით; ბ) რელეს კოჭას გამორთვით

§10. ფოტოელექტრონული რელე

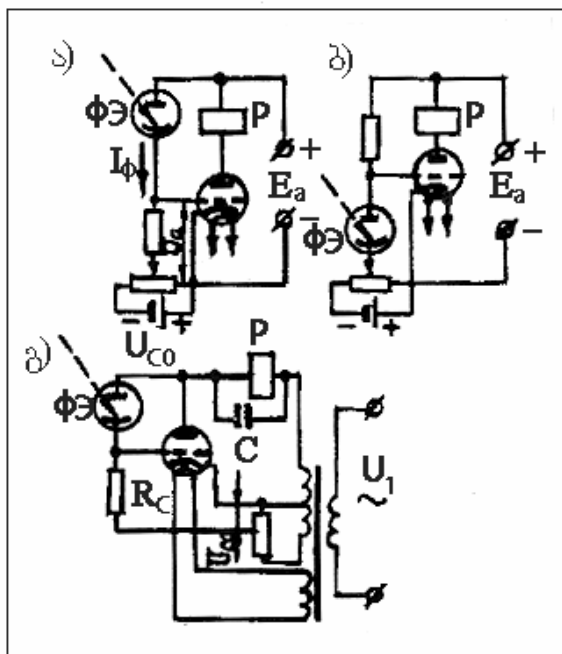
ფოტორელე განკუთვნილია ელექტრული წრედის ჩასართავად ან გამოსართავად სინათლის მოქმედებით.

ფოტორელე შედგება ელექტრონული ნათურის, მგრძნობიარე გადამწოდისა* (ფოტოელემენტი, ფოტოწინაღობა, ფო-

* გადამწოდებისა და გამზომი სქემების შესახებ იხილეთ მე-2 და მე-3 თავები.

ტოდიოდი) და ელექტრომაგნიტური რელესაგან, რომელიც წარმოადგენს აღმასრულებელ ორგანოს*.

ფოტორელე იყოფა პირდაპირი მოქმედებისა და უკუმოქმედების რელეებად. პირდაპირი მოქმედების ფოტორელეში (ნახ.6.13,ა) განათებული ფოტოელემენტის შემთხვევაში, მისი წინააღმდეგობა მცირდება, ელექტრონული ნათურის ბადის პოტენციალი იზრდება, ანოდურ წრედში გადის დენი, რომელიც იწვევს რელეს ამოქმედებას, რის შედეგადაც მისი კონტაქტი შეიკვრება. უკუმოქმედების ფოტორელეში (ნახ.6.13,ბ), პირიქით, დაბნელებული ფოტოელემენტის შემთხვევაში, რელეს კონტაქტი შეკრულია, ხოლო ფოტოელემენტის განათებისას კი განთოვლია.



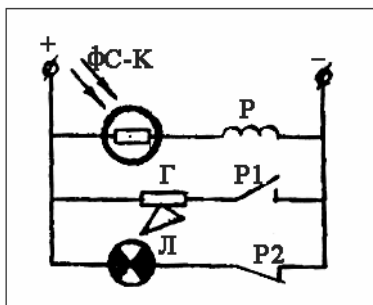
ნახ.6.13. ფოტორელე-
ქტრონული რელეები:
ა) პირდაპირი მოქ-
მედების ფოტორელე;
ბ) უკუმოქმედების ფო-
ტორელე; გ) ცვლადი
დენის ფოტორელე

ფოტორელეს მოყვანილი სქემები მოითხოვენ მუდმივი ძაბვის წყაროებს. ცვლადი ძაბვის წყაროების შემთხვევაში გამოიყენება ცვლადი დენის გამმართველები.

* ფოტოწინააღმდეგობის გამოყენების შემთხვევაში ფოტორელე ელექტრონულ ნათურას არ საჭიროებს.

არსებობენ ფოტორელეები, რომლებიც მუშაობენ ცვლად დენზე. ცვლადი დენის ფოტორელეს სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 6.13,გ. ანოდი, ბადე, გამამდიერებელი ნათურის ვარვარი და ფოტოელემენტი იკვებებიან ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილებიდან. ნათურას შეუძლია დენის გატარება მხოლოდ იმ ნახევარპერიოდის განმავლობაში, როდესაც ძაბვა ნათურის ანოდზე დადებითია. ამ დროს საწყისი გადაადგილების ძაბვა უარყოფითია, ხოლო ბადის პოტენციალი დამოკიდებულია ფოტოელემენტის განათებულობაზე. მისი საკმარისად განათებულობის შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური რელეს გრაგნილის გავლით ანოდურ წრედში გაივლის გამართული დენი. რელე ამოქმედდება და შეკრავს კონტაქტებს. რელეს ვიბრაციის თავიდან აცილების მიზნით წარმოებს დენის ცვლადი შემადგენლის დაშენება კონდენსატორთან. აღსანიშნავია, რომ ცვლადი დენის ფოტორელე ორჯერ და მეტჯერ ნაკლებად მგრძნობიარეა მუდმივი დენის ფოტორელესთან შედარებით. მიუხედავად ამისა, პრაქტიკაში ფართოდაა გამოყენებული ცვლადი დენის მოხერხებულობის გამო.

ნახაზზე 6.14 წარმოდგენილია მუდმივ დენზე მომუშავე ფოტორელეს ელექტრული სქემა. ფოტოწინააღმდეგობა $\Phi C-K$ სინათლის ნაკადის მოქმედებით მისი წინააღმდეგობა მცირდება დაახლოებით 100-ჯერ. იზრდება დენის ძალა იმ სიდიდემდე, რომელიც საკმარისია რელეს ასამოქმედებლად. რელე ჩართავს თავისი კონტაქტებით ავტომატიკის მოწყობილობას. სქემაზე რელეს ამოქმედების შედეგად P_1 კონტაქტით ჩაირთვება საყვირი - Γ და ერთდროულად რელეს მეორე კონტაქტით - P_2 გამოირთვება სასიგნალო ნათურა - Π .



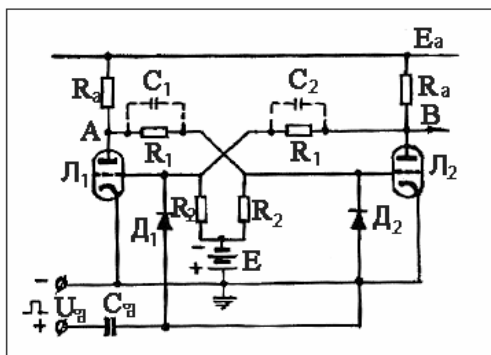
ნახ.6.14. მუდმივ
დენზე მომუშავე
ფოტორელეს
ელექტრული სქემა

§11. ტრიგერი, როგორც უკონტაქტო ელექტრონული რელე

ტრიგერი წარმოადგენს მუდმივი ძაბვის ორკასკადიან გამაძლიერებელს, რომლის გამოსასვლელი დამოკიდებულია შესასვლელზე, ე.ი. განხორციელებულია დადებითი უკუკავშირი. ტრიგერის სქემები სრულდება როგორც ნათურებზე, ასევე ნახევარგამტარულ ტრიოდებზე. ტრიგერები ფართოდაა გავრცელებული ავტომატურ და ელექტრონულ ციფრულ გამოთვლით მოწყობილობებში.

ტრიგერი ხასიათდება ორი მდგრადი მდგომარეობით. ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა სრულდება ნახტომით, გარედან გამშვები იმპულსის ზემოქმედებით. ტრიგერს უწოდებენ, აგრეთვე, სასხლეტ მოწყობილობასაც. ეს სახელწოდება მან მიიღო შესასვლელი იმპულსის მიმართ სწრაფი რეაქციის გამო.

ნახაზზე 6.15 მოცემულია ნათურული ტრიგერის სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს, იგი ორი რეოსტატული ნათურული გამაძლიერებლისაგან შედგება, რომელიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია დადებითი უკუკავშირით. ამ კავშირის ძაბვა Π_2 ნათურის ანოდიდან გადაეცემა Π_1 ნათურის ბადეს R_1 წინააღობის გავლით. ჩვეულებრივად Π_1 და Π_2 ნათურები ერთი ტიპისაა, ხოლო სქემა სიმეტრიული (სქემის ორივე ნახევარი შედგება ერთნაირი ელემენტებისაგან).



ნახ.6.15. ნათურული ტრიგერის სქემა

R_1 და R_2 წინააღობები აქტიური წინააღობებია. ისინი ქმნიან ძაბვის გამყოფს. R_1 წინააღობათა პარალელურად მიერთებული C_1 და C_2 კონდენსატორების დანიშნულებაა ტრიგერის ერთი

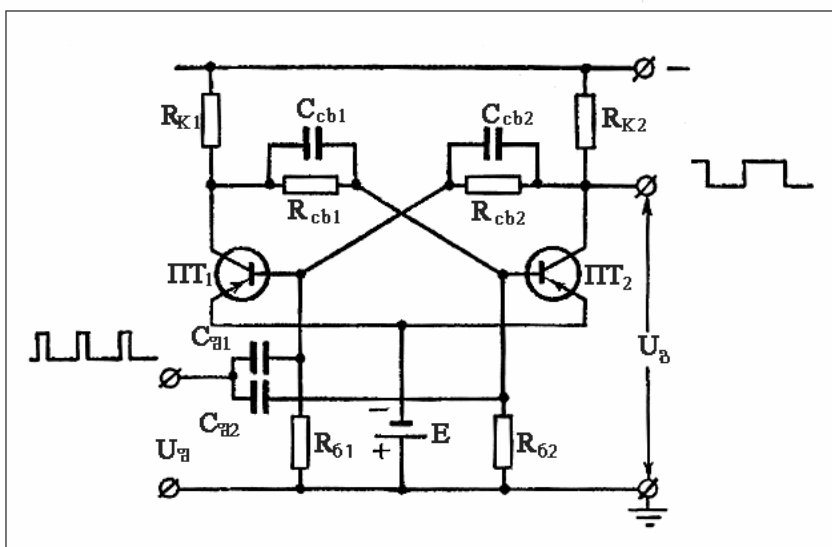
მდგრადი მდგომარეობიდან მეორეში გადართვის სისწრაფის გადიდება, აგრეთვე, გამოსასვლელი ვიწრო იმპულსების მიღება. D_1 და D_2 დიოდები ჩართული ბადეებთან, განშტოების წრედში, განკუთვნილია ნათურების ბადური წრედების ერთ-მანეთთან მოკლედ შერთვისაგან დასაცავად. E არის ძაბვის დამოუკიდებელი წყარო წანაცვლების ძაბვის მისაღებად. ეს უკანასკნელი აუცილებელია ტრიგერის მდგრადი მდგომარეობის შესანარჩუნებლად. უკუკავშირის წრედები უზრუნველყოფენ ტრიგერში დენის მორიგეობით გატარებას, ე.ი. დროის იმ ინტერვალში, როცა ერთი ნათურა ატარებს დენს (ღიაა), მეორე ჩაკეტილია (დენს არ ატარებს). ამრიგად, სქემის მდგრადი მდგომარეობის დროს ერთ-ერთი ტრიოდი ატარებს დენს, ხოლო მეორე ჩაკეტილია. ორივე ტრიოდი რომ ერთდროულად ატარებდეს დენს, მაშინ რაიმე მიზეზით ერთ-ერთი ტრიოდის ანოდური დენის უმნიშვნელოდ გაზრდა გამოიწვევდა მეორე ტრიოდის ბადეზე პოტენციალის შემცირებას. ეს თავის მხრივ შეამცირებდა უკანასკნელის ანოდურ დენს, რაც გამოიწვევდა პოტენციალის გაზრდას პირველი ტრიოდის ბადეზე, და კიდევ უფრო გაზრდიდა ანოდურ დენს. ამრიგად, პირველი ტრიოდის ანოდური დენი გაიზრდებოდა, ხოლო მეორე ტრიოდის ანოდური დენი კი შემცირდებოდა. აღნიშნულის შედეგად პირველი ტრიოდი მთლიანად გაიხსნებოდა, ხოლო მეორე ჩაკეტდებოდა.

ასეთ მდგომარეობაში ტრიგერი რჩება მორიგი გამშვები იმპულსის მოსვლამდე, რომელიც ადებს ჩაკეტილ ნათურას და კეტავს ღია ნათურას, რაც შეესაბამება ტრიგერის საწყისი მდგომარეობის აღდგენას. ამრიგად, ტრიგერის გადასაყვანად ერთი მდგრადი მდგომარეობიდან მეორეში, საჭიროა ჩაკეტილი ტრიოდის ბადის წრედში შევიყვანოთ მცირე დადებითი ძაბვა. ამ დროს სქემა ნახტომისებურად გადადის ახალ მდგრად მდგომარეობაში. სქემის დასაბრუნებლად საწყის მდგომარეობაში კი ღია ნათურის ბადის წრედში ხანმოკლედ უნდა მივაწოდოთ მცირე უარყოფითი ძაბვა.

ტრიგერის დანიშნულების მიხედვით შეიძლება გამოვიყენოთ მისი მართვის სხვადასხვა სქემა. ასე, მაგალითად, ტრიგერის მმართველი იმპულსები შეიძლება შევიყვანოთ თითოეული ნათურის ცალკეულ შესასვლელ წრედებში ან

საერთო წრედში დიოდების მეშვეობით ცალკეულ წრედებად მათი შემდგომი გაყოფით. შესაძლებელია ტრიგერის მართვა განვახორციელოთ ერთ-ერთ ბადეზე სხვადასხვა პოლარობის მმართველი იმპულსების მიწოდებით. იმპულსების პოლარობის შეცვლა გამოიწვევს ტრიგერის მდგომარეობის ცვლილებას.

ნახაზზე 6.16 მოცემულია ორ მდგრად მდგომარეობიანი ნახევრადგამტარული ტრიგერის სქემის ვარიანტი დამოუკიდებელი წანაცვლებითა და მმართველი იმპულსებისათვის საერთო საანგარიშო შესასვლელით. მოქმედების პრინციპის მიხედვით ეს სქემა ზემოთ განხილული სქემის ანალოგიურია.



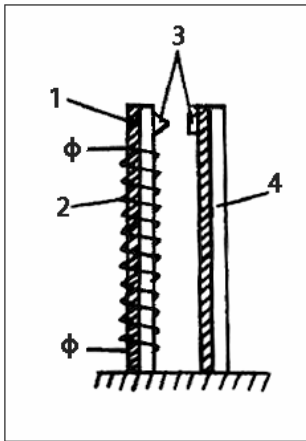
ნახ.6.16. ნახევრადგამტარული ტრიგერის სქემა

§12. არაელექტრული რელეები

არაელექტრულ რელეებს მიეკუთვნება თბური, წნევის, ღონის, სიჩქარის ცენტრიდანული რელე, დროის ქანქარა რელე, ბგერითი დაწნევის აკუსტიკური რელე. აღნიშნული რელეების ზოგიერთი სქემა განხილულია სახელმძღვანელოს შესაბამის განყოფილებებში.

მეტად გავრცელებული რელე, რომელშიც გამოყენებულია სხეულის თბური გაფართოება, იწოდება ბიმეტალურ რელედ.

ელექტროთერმული ბიმეტალური რელეს სქემა მოყვანილია ნახაზზე 6.17. ბიმეტალურ ფირფიტაზე (1) დახვეულია გრაგნილი (2), რომელსაც გააჩნია მნიშვნელოვანი ომური წინააღმდეგობა. გრაგნილში დენის გატარების შედეგად ფირფიტა ხურდება, იღუნება და შერთავს მუშა კონტაქტებს (3).



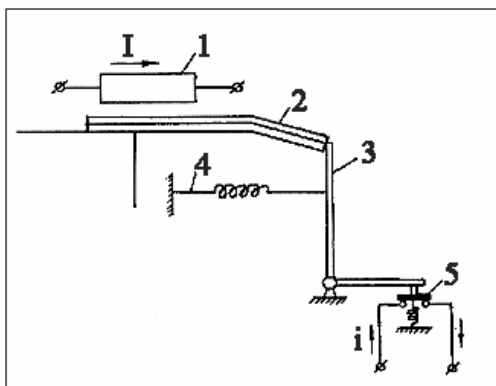
ნახ.6.17. ელექტროთერმული ბიმეტალური რელეს პრინციპული სქემა

რელე მზადდება ორგვარად. სარეგულირებელი ხრახნით (გარემოს ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით კონტაქტებს შორის ღრეხოს შესაცვლელად) და ტემპერატურული კომპენსაციით. კომპენსაცია მიღწეულია მეორე ბიმეტალური ფირფიტის (4) გამოყენებით, რომელიც დაყენებულია ისეთნაირად, რომ იგი იღუნება იმავე მხარეს, საითაც იღუნება მუშა ფირფიტა (1). რელეს ამოქმედების დენის სიდიდის ცვალებადობა შესაძლებელია გრაგნილის ომური წინააღმდეგობის შეცვლით.

რელეს კონტაქტების მუშაობის პირობების შესამსუბუქებლად ხშირად გამოიყენება კონსტრუქცია, რომელიც უზრუნველყოფს კონტაქტების ნახტომისებურად მუშაობას. აღნიშნული რელეს პრინციპული სქემა მოცემულია ნახაზზე 6.18.

რელე შედგება სახურებელი ელემენტისაგან (1), ბიმეტალური ფირფიტისაგან (2). სახურებელი ელემენტი ძრავას ძალურ წრედში ირთვება მიმდევრობით (სქემაზე დენი I). როდესაც დენის სიდიდე გადააჭარბებს ნომინალურ მნი-

შენელობას, ბიმეტალური ფირფიტა ხურდება, იღუნება და ფირფიტის ჩაუმაგრებელი ბოლო ათავისუფლებს ბერკეტს (3), რომელიც ზამბარის (4) მოქმედებით შემობრუნდება საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით და განრთავს კონტაქტს (5). კონტაქტი (5) ჩართულია კონტაქტორის კოჭას წრედში მიმდევრობით (სქემაზე დენი i); კონტაქტის განრთვის შედეგად წარმოებს კონტაქტორის გამორთვა, რომელიც თავის მხრივ გამორთავს ძრავს წრედიდან. რელეს ამოქმედების შემდეგ მისი დაბრუნება საწყის მდგომარეობაში ხორციელდება დაბრუნების ლილაკის მეშვეობით.



ნახ.6.18. თბური რელეს ჩართვის პრინციპული სქემა

ბიმეტალური რელე ფართოდ გამოიყენება დაცვის შემთხვევებში, კერძოდ, როგორც ავტომატური დაცვის მოწყობილობა ელექტროძრავების მართვის სქემებში. რელე იცავს ძრავას არასიმეტრიული მუშაობისაგან, ერთ-ერთი სადენის გაწყვეტის შემთხვევაში (მკვებავი ხაზის ერთი ფაზის გაწყვეტისას. ამ შემთხვევაში დაუზიანებელ ორ სადენში დენის სიდიდე აღემატება ნომინალურ მნიშვნელობას) და, აგრეთვე, გადატვირთვისაგან (როდესაც დენის სიდიდე აღემატება ნომინალურს 20-30%-ით, რელეს კონტაქტები განირთვებიან და წყდება ელექტროძრავის მართვის წრედი).

§13. მაგნიტური გამწვები

მაგნიტური გამწვები ეწოდება ელექტრულ აპარატს, რომელიც განკუთვნილია ელექტროძრავების გაწვებისათვის დენის წრედში ამუშავების წინააღობის შეუწყვანლად. ჩვეულებრივად მაგნიტური გამწვებები გამოიყენება მოკლედ ჩართული როტორიანი ელექტროძრავების სამართავად და ასამუშავებლად უშუალოდ ელექტროქსელიდან ძაბვით 500 ვოლტამდე. მათი გამოყენება შეიძლება, აგრეთვე, ფაზურ-როტორიანი ელექტროძრავების ჩასართავადაც.

მაგნიტური გამწვები ფართოდ არის გამოყენებული მშენებლობაში სხვადასხვა მანქანისა და მექანიზმის (კონვეიერები, ბეტონსარევი კვანძები, კომპური ამწეები და სხვ.) ამძრავების (ჩვეულებრივად ძრავას სიმძლავრით 75 კვტ-მდე. მეტი სიმძლავრის ელექტროძრავების შემთხვევაში გამოიყენება კონტაქტორი რელესთან კომბინაციაში) დისტანციური მართვისათვის.

მაგნიტური გამწვები შედგება კონტაქტორისაგან, რომლის მართვაც ხდება დისტანციურად მართვის ღილაკების საშუალებით.

მაგნიტური გამწვები ახორციელებს ელექტროძრავების მინიმალური დაცვის ფუნქციებს ძაბვის შემცირებისას ნომინალური ძაბვის 50-60%-მდე. ელექტროძრავების დაცვა გადატვირთვისაგან სრულდება მაგნიტური გამწვების სქემაში თბური რელეს შეყვანით.

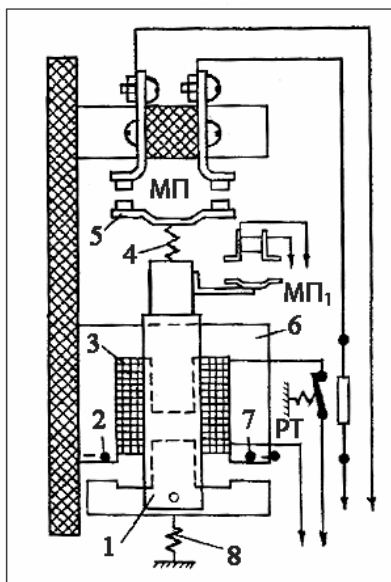
მაგნიტური გამწვებები მზადდება ორი სახის – რევერსიული და არარევერსიული. რევერსიული გამწვები შედგება ორი სამპოლუსიანი კონტაქტორისაგან დამოუკიდებელი ჩამრთველი კოჭებით. კონტაქტორები ერთმანეთში მექანიკურად ან ელექტრულად არიან ბლოკირებული, ორივე კონტაქტორის ერთდროულად ჩართვის თავიდან აცილების მიზნით.

მაგნიტური გამწვებები საიმედოდ მუშაობენ, როდესაც ქსელის ძაბვა შეადგენს ნომინალური მნიშვნელობის 85-105%-ს.

ცვლადი დენის მაგნიტური გამწვების კონსტრუქციული სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე 6.19. გამწვების საფუძველს წარმოადგენს ელექტრომაგნიტი და სამი წყვილი მთავარი კონტაქტი (ნახაზზე ნაჩვენებია მთავარი კონტაქტების მხოლოდ

ერთი წყვილი). კონტაქტების მართვა ხორციელდება ელექტრომაგნიტით.

გრაგნილში (3) დენის გაელის შედეგად, ღუზა (1) შეიზიდება კოჭას შიგნით და მაგნიტური გამშვების მთავარი კონტაქტების წყვილები შეერთდებიან ლითონის ხიდებით (5). ზამბარა (4) ახორციელებს საჭირო დაწოლას კონტაქტებს შორის. ღუზისა და კონტაქტების ძაბვების თავიდან აცილების მიზნით ელექტრომაგნიტის (6) გულარის პოლუსებზე ჩამოცმულია მოკლედ ჩართული ხვეულები 2 და 7. კოჭაში დენის მიწოდების შეწყვეტის შემთხვევაში ღუზა უბრუნდება საწყის მდგომარეობას ზამბარას (8) საშუალებით. მაგნიტური გამშვების კონტაქტები განირთვებიან.



ნახ.6.19. მაგნიტური გამშვების კონსტრუქციული სქემა

მაგნიტური გამშვები აღინიშნება ციფრებით. ასოები აღნიშნავენ სერიას, ხოლო სამი ციფრიდან პირველი გვიჩვენებს მაგნიტური გამშვების გაბარიტს; მეორე ციფრი – შესრულებას გარემოს ზემოქმედებისაგან დაცვის გათვალისწინებით (1 – ღია; 2 – დაცული; 3 – მტვერწყალშეუღწევი); მესამე ციფრი – შესრულებას დანიშნულებისა და თბური დაცვის გათვალისწინების მიხედვით (1 – არარევერსიული თბური რელეს გარეშე; 2 –

არარევერსიული რელესთან ერთად; 3 – რევერსიული ურელეოდ; 4 – რევერსიული რელესთან ერთად). მაგალითად, აღნიშვნა ПА-324 ნიშნავს: ПА სერიის მე-3 სიდიდის მაგნიტური გამშვები (17 კვტ. 380 ვ. ძაბვის დროს), შესრულების სახე დაცული, რევერსიული თბური დაცვით.

§14. ავტომატური დაცვის მოწყობილობა

ავტომატური დაცვის მოწყობილობის დანიშნულებაა ელექტროძრავებისა და მუშა მანქანების გამორთვა, როდესაც წარმოიშობა მათი დაზიანების საფრთხე.

ავარიულ რეჟიმებს მიეკუთვნება:

1. ფაზების მოკლე შერთვა;
2. ფაზის შერთვა კორპუსთან;
3. ტექნოლოგიური მოწყობილობის გადატვირთვით გამოწვეული დენის გაზრდა ქსელში;
4. ძაბვის მნიშვნელოვნად შემცირება.

ყველა ჩამოთვლილ შემთხვევაში დაცვის მოწყობილობამ უნდა უზრუნველყოს ძრავას გრაგნილების იზოლაციის და, აგრეთვე, ამძრავის ან მუშა მანქანის მექანიკური ნაწილის შესაძლო დაზიანებისაგან დაცვა. გარდა ამისა, ავტომატური დაცვის მოწყობილობა უნდა იყოს გაანგარიშებული დატვირთვის მაქსიმალური დენის ხანგრძლივ და პიკური დენის ხანმოკლე მოქმედებაზე, რომელიც წარმოიქმნება ქსელში ცალკეული მძლავრი ელექტროძრავების ჩართვის დროს.

არჩევენ მაქსიმალურ დაცვას, დაცვას გადატვირთვებისაგან და მინიმალური ძაბვის დაცვას (ანუ ნულოვან დაცვას).

მაქსიმალური დაცვა გულისხმობს ელექტროამძრავის დაცვას მოკლე შერთვის დენებისა და ხანმოკლე დიდი გადატვირთვებისაგან. ამ მიზნით გამოიყენება ავტომატური საჰაერო ამომრთველების ელექტრომაგნიტური გადასახსნელები, დნობადი მცველები, ელექტრომაგნიტური რელე და სხვ.

ნომინალური დენის სიდიდეზე 30-60%-ით მეტი მნიშვნელობის ხანგრძლივი დენების გადატვირთვისაგან ელექტროდანადგარების დაცვა ხორციელდება თბური რელეს ან მაქსიმალური დენის რელეს საშუალებით.

მინიმალური ძაბვის დაცვის აპარატურა განკუთვნილია ელექტროძრავების გამოსართავად ქსელში ძაბვის შეწყვეტის ან მნიშვნელოვნად შემცირებისას. ამ შემთხვევებში გამოირიცხულია, აგრეთვე, ძრავას თვითგაშვება. აღნიშნულ აპარატებს მიეკუთვნება: ძაბვის ელექტრომაგნიტური რელე, მაგნიტური გამშვები და კონტაქტორი.

დაცვის მოწყობილობის სწორად შესარჩევად აუცილებელია მათი ნომინალური მონაცემებისა და დამცავი მახასიათებლების ცოდნა.

დამცავი აპარატებისა და მოწყობილობების ნომინალურ მონაცემებს მიეკუთვნება: დენის სისტემა (მუდმივი, ცვლადი); უდიდესი ძაბვა; ნორმალური ექსპლოატაციის პირობებში და მოკლე შერთვების დროს დასაშვები უდიდესი დენი; მუშაობის რეჟიმი.

დამცავი მახასიათებლები განისაზღვრება დროის ხანგრძლივობით, რომლის განმავლობაშიც მოწყობილობა გამოერთავს სხვადასხვა სიდიდის გადატვირთვისა და მოკლე შერთვის დენებს. გრაფიკულად მახასიათებელი წარმოადგენს მრუდს, რომელიც მიიღება ჰორიზონტალურ ღერძზე გადატვირთვის ან მოკლე შერთვის დენის დნობადი მცველის ნომინალურ დენთან შედარებით ჯერადობის სიდიდის, ხოლო ვერტიკალურ ღერძზე – გამორთვის დროის მნიშვნელობის გადაზომვით.

ელექტროამძრავების და ალმასრულეხელი მოწყობილობების ავტომატური მართვა

§1. ელექტროამძრავების ავტომატური მართვის სახეები

ელექტროამძრავი წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ მოწყობილობას, რომელსაც მოძრაობაში მოჰყავს საწარმოო მექანიზმების მუშა ორგანოები. ელექტროამძრავი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: ელექტროძრავას, მართვის აპარატურის, დაცვის აპარატურისა და მექანიკური გადაცემისაგან.

ელექტროძრავა არის მბრუნავი მანქანა, რომელიც ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნის მექანიკურ ენერგიად.

მართვისა და დაცვის აპარატურა განკუთვნილია ელექტროძრავასა და მასთან დაკავშირებული საწარმოო მექანიზმის მუშაობის რეჟიმების მართვისათვის და, აგრეთვე, მათი დაცვისათვის სხვადასხვა აგარიებიდან.

მექანიკური გადაცემის დანიშნულებაა მექანიკური ენერგიის გადაცემა ელექტროძრავის ღილვიდან მექანიზმისათვის და, აგრეთვე, ერთდროულად ბრუნვის სიჩქარის შემცირება 750-3000 ბრ/წთ-დან (ელექტროძრავას სიჩქარე) 15-200 ბრ/წთ-მდე (საწარმოო მექანიზმის სიჩქარე).

ელექტროამძრავის მართვის ქვეშ იგულისხმება მისი გაშვების, დამუხრუჭების, რევერსირების, სიჩქარის რეგულირებისა და ტექნოლოგიური პროცესისათვის აუცილებელი მუშაობის რეჟიმის დაცვის პროცესი.

ელექტროამძრავების მართვა შეიძლება განხორციელდეს ხელით და ავტომატურად.

მართვას ხელური ეწოდება, როდესაც ოპერატორი მანქანას მართავს ჩამრახებით, კონტროლერებითა და რეოსტატებით, ე.ი. მართვის უმარტივესი აპარატებით.

მართვას ავტომატური ეწოდება, თუ იგი წარმოებს ადამიანის უშუალო ჩარევის გარეშე. ავტომატური მართვის დროს ოპერატორი თითო დააჭერს მხოლოდ ღილაკს, ე.ი. ახორციელებს საწყის იმპულსს, ხოლო შემდეგ კონტროლს

უწევს ამძრავის მუშაობის აუცილებელი რეჟიმის ავტომატურ შესრულებას.

თანამედროვე ავტომატიზებული ამძრავის ავტომატური მართვა შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი აპარატურის საშუალებით:

1) რელე-კონტაქტორული, რომლის დროსაც მართვა წარმოებს რელეთი და კონტაქტორით.

2) ელექტრომანქანური ავტომატიკით და მაგნიტური გამაძლიერებლებით. მართვის ეს სქემა საიმედოა მუშაობაში და ამსუბუქებს ელექტროამძრავის ექსპლუატაციის პირობებს.

3) იონურ-ელექტრონული აპარატურით, რომლის დროსაც სქემებში იყენებენ იონურ და ელექტრონულ ხელსაწყოებს, მათ შორის გამმართველებსა და გამაძლიერებლებს.

4) ნახევარგამტარებზე და მაგნიტურ გამაძლიერებლებზე განხორციელებული უკონტაქტო სქემებით. აღნიშნულ სქემებში არ არის მოძრავი ნაწილები. მაშასადამე, გამორიცხულია ვიბრაცია და სმაური.

უკანასკნელ ხანებში ავტომატურ მართვაში იყენებენ პროგრამულ მართვას, რომლის დროსაც ოპერატორის ჩარევა სამუშაო პროცესში სავსებით გამორიცხულია.

§2. ავტომატური მართვის ელექტრული სქემები

სამშენებლო პროცესების ავტომატური მართვისათვის გამოიყენება მრავალი სახის მანქანა და მოწყობილობა: სამუზა დენის ასინქრონული ძრავები, მუდმივი დენის ძრავები, კონტაქტორები, რელე, ჩართვისა და გადართვის აპარატები და სხვ. ცხადია, რომ ყველა მანქანა და მოწყობილობა შედგება ცალკეული ნაწილებისაგან, რომლებიც მონაწილეობენ სქემის მუშაობაში. მაგალითად, კონტაქტორში შედის მაგნიტური სისტემის კოჭა, მთავარი კონტაქტები, საბლოკირებელი კონტაქტები, რკალის ჩამქრობი სისტემა. ნაწილების უმრავლესობას აქვთ პირობითი აღნიშვნები (იხ. ცხრილები 1.3 და 1.4).

ავტომატური მართვის ელექტრომექანიკური სისტემა შედგება მანქანებისა და მოწყობილობებისაგან, რომელთა ნაწილებიც შეერთებულია ერთმანეთთან ელექტროსადენებით და

მექანიკური კავშირებით. მართვის ელექტრომექანიკურ სისტემას აქვს თავისი ელექტრული სქემა, რომელშიც ნაჩვენებია მანქანების, აპარატების და მათი ნაწილების პირობითი გამოსახულებები და მათ შორის ელექტრული შეერთებანი, მექანიკური კავშირების გარეშე. ელექტრული სქემა იყოფა მთავარი დენისა (ძალური) და მართვის წრედებად.

მთავარი დენის წრედებს მიეკუთვნება ძრავების, გენერატორების, ელექტრომაგნიტებისა და დამატებითი წინაღობების წრედები, აგრეთვე, კონტაქტორების მთავარი კონტაქტები და თბური რელეს სახურებელი ელემენტები.

მართვის წრედებს მიეკუთვნებიან დაცვისა და სიგნალიზაციის წრედები, კონტაქტორებისა და რელეს კოჭები, რელეს კონტაქტები, მართვის აპარატების კონტაქტები, კონტაქტორების ბლოკ-კონტაქტები და ა.შ.

ცნობილია ელექტრული სქემების შედგენის (დახაზვის) ორი წესი – სამონტაჟო და განფენილი (ელემენტური).

დახაზვის სამონტაჟო წესის მიხედვით ელექტრული მანქანები და აპარატები გამოისახება აწყობილ მდგომარეობაში, ე.ი. ყველა კონტაქტი წარმოდგენილია ერთ ადგილას, ისე როგორც ეს შეესაბამება მათ განლაგებას სინამდვილეში; სადენების შეერთებაც ნაჩვენებია ისე, როგორც უნდა შესრულდეს მონტაჟის დროს. სამონტაჟო სქემები გამოიყენება დანადგარის მონტაჟის სამუშაოების შესრულების დროს.

დახაზვის ელემენტური წესის მიხედვით სქემის შედგენისას მართვის აპარატებისა და ელექტრული მანქანების ნაწილები გამოისახება ცალ-ცალკე, სხვადასხვა ადგილას. ამ სქემის მიხედვით, მაგალითად, კონტაქტორი შეიძლება გამოისახოს ასე: კონტაქტორის კოჭა განლაგდება მართვის წრედში, სახაზო კონტაქტები – ძალურ წრედში (სხვა ადგილას), ხოლო ბლოკ-კონტაქტები – სიგნალიზაციის წრედში (მესამე ადგილას). განფენილი სქემებით სარგებლობენ მართვის სქემების შედგენისას. ისინი აიოლებენ სქემის წაკითხვას და სამუშაოების თანმიმდევრობის წარმოდგენას.

განვიხილოთ სქემების შედგენის ძირითადი წესები.

განფენილი სქემების შესადგენად არსებობს გარკვეული წესები:

1. აპარატები აღინიშნება ერთი ან ორი ასოთი. პირველი ასო შეესაბამება აპარატის დასახელებას, მეორე კი დანი-

შნულებას. თუ აპარატი აღნიშნულია ერთი ასოთი, მაშინ ის მხოლოდ აპარატის დანიშნულებას აღნიშნავს. მაგალითად, KY არის აჩქარების კონტაქტორი; B – კონტაქტორი “წინ”; H – კონტაქტორი “უკან”; П – კვების კონტაქტორი; PB – დროის რელე; PH – ნულოვანი რელე; 1PI, 2PI – პირველი და მეორე შუალედი რელე; PE – საბლოკირებელი რელე; PT – დენის რელე; PM – მაგნიტური გამშვები; KY – მართვის ღილაკი (კნოპი); YI – უნივერსალური გადამრთველი; KK – კომანდოკონტროლერი; PB – საგზაო ამომრთველი; KB – ბოლო ამომრთველი.

2. სქემის წაკითხვის მოხერხებულობის მიზნით, ერთი და იმავე აპარატის ელემენტები იხაზება სქემის სხვადასხვა უბანზე, მაგრამ ერთი აპარატის ყველა ელემენტი აღინიშნება ერთი ასოთი. მაგალითად, სახაზო კონტაქტორის კოჭა, მთავარი კონტაქტები და ბლოკ-კონტაქტები აღინიშნება ერთი ასოთი B “წინ”, H “უკან” ან П (სახაზო).

3. განფენილი სქემის ელემენტები შეძლებისდაგვარად იხაზება აპარატების თანმიმდევრობითი მოქმედების შესაბამისად.

4. ყველა აპარატის კონტაქტები სქემაზე გამოსახება “ნორმალურ” მდგომარეობაში, ე.ი. როდესაც კოჭაზე არ არის მოდებული ძაბვა და მექანიკური სასხლეტი თავისუფალია; ჩამრახები და ამომრთველები აღინიშნება განრთული კონტაქტებით, რეოსტატები კი შუა მდგომარეობაში მოთავსებული ცოციათი.

5. გრაფიკები, კოჭები და კონტაქტები, განლაგებულნი მთავარ და აგზნების წრეებში, უნდა გამოიხაზოს უფრო მსხვილი ხაზებით, ვიდრე მათი მართვის წრეებში მოთავსების შემთხვევაში.

6. სამონტაჟო სამუშაოების შესრულების დროს, ელექტრულ აპარატებთან სადენების სწორად მიერთების მიზნით, სახელმწიფო სტანდარტით დადგენილია ელექტრული წრეების ნიშანდების სისტემა. აღნიშნული სისტემა ვრცელდება მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტრული დანადგარების მართვის, კონტროლისა და დაცვის წრეებზე. ელექტრული წრეების ნიშანდება გულისხმობს მათთვის რიცხვთა თანმიმდევრობითი რიგის მიკუთვნებას. მაგალითად, მართვის წრეებისათვის რიცხვების 1-დან 50-მდე, სიგნალიზაციის

წრედებისათვის – 51-დან 80-მდე და ა.შ. ამასთან რიცხვები აღინიშნება არაბული ციფრებით, ხოლო ასოები რუსული ალფაბეტის დიდი ასოებით.

მუდმივი დენის წრედებში, წრედის დადებითი პოლარობის უბნების ნიშანდება სრულდება კენტი რიცხვებით, ხოლო უარყოფითი პოლარობის უბნები – ლუწი რიცხვებით.

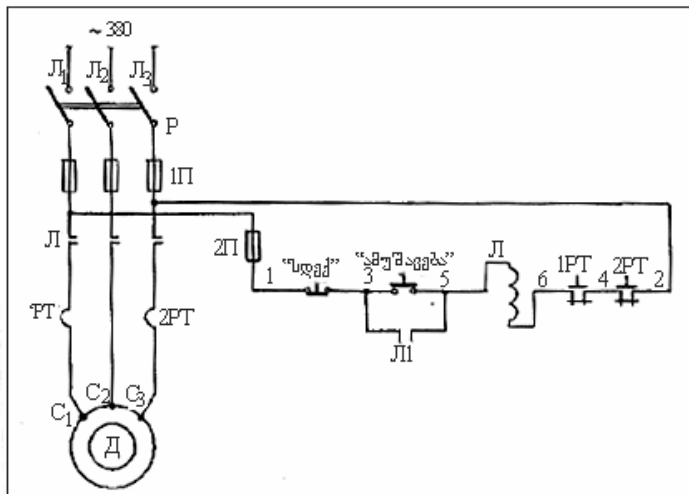
სამფაზა დენის წრედებში, წრედების უბნების ნიშანდება ხორციელდება მიმდევრობითი რიცხვებით.

ერთფაზიანი დენის წრედებში (ფაზა-ნული, ფაზა-ფაზა) უბნების ნიშანდება წარმოებს მუდმივი დენის წრედების ანალოგიურად. ამასთან კენტი (ან ლუწი) რიცხვები შეიძლება მიეკუთვნოს ნებისმიერი ფაზის წრედის უბანს ან ნულს.

§3. ცვლადი დენის ელექტროძრავების მართვა

1. მოკლედართული როტორიანი ასინქრონული სამფაზა ელექტროძრავას ავტომატური მართვა

განვიხილოთ ნახაზზე 7.1 მოყვანილი მართვის სქემა. იგი შედგება ძალური (მთავარი) და მართვის წრედებისაგან. თავდაპირველად განვიხილოთ ძალური (მთავარი) წრედები, ხოლო შემდეგ მართვის წრედები.



ნახ.7.1. ასინქრონული მოკლედართული ძრავას მართვის სქემა არარევერსიული მაგნიტური გამშვების საშუალებით

ძალური წრედები. ელექტროძრავას (Π) სტატორთან სამფაზა დენი მიდის სამპოლუსა ჩამრახის (P) ჩართვით. ჩამრახი საშუალებას იძლევა გამოირთოს ელექტროძრავა მაგნიტური გამშვების შეკეთების ან მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში. ძალურ წრედში დადგმულია, აგრეთვე, დნობადი მცველები 1Π , რომლებიც წრედებს იცავენ მოკლე შერთვისაგან. ელექტროძრავას სტატორის გრავანილის ჩართვა და გამორთვა წარმოებს სამპოლუსა სახაზო კონტაქტორის (Π) მთავარი კონტაქტებით. მოძრავი კონტაქტები განლაგებულია ძრავას მხრიდან, ხოლო უძრავი (ყოველთვის ძაბვის ქვეშ მყოფი) – ქსელის მხრიდან. თბური რელეები $1PT$ და $2PT$ ჩართულია ორ ფაზაში, ვინაიდან მნიშვნელოვანი სიდიდის დენი მოსალოდნელია ორ სადენში მაინც. მაშასადამე, თბური რელეები ძრავს იცავენ ხანგრძლივი გადატვირთვისაგან და ორ ფაზაზე მუშაობისაგან. სქემაში თბურ რელესთან ერთად დნობადი მცველების გამოყენება აიხსნება იმით, რომ მაგნიტური გამშვებების ძალური კონტაქტები არ არის განკუთვნილი მოკლედ ჩართული დენის გამოსათიშად. ძალურ წრედში ჩართულია რელეს სახურებელი ელემენტები.

მართვის წრედები. მართვის წრედის კვება წარმოებს ჩამრახისა და მთავარი წრედის მცველების საშუალებით. გარდა ამისა, მართვის წრედი დაცულია თავისი ერთი დნობადი მცველით 2Π მოკლე შერთვებისაგან. მართვის წრედი იკვებება იმავე სიდიდის ძაბვით, როგორც ძალური წრედი. მართვის წრედშია ღილაკები: “სდექ” და “ამუშავება”. სახაზო კონტაქტორის (Π) კოჭა ბლოკ-კონტაქტით ($\Pi 1$) თავისი მთავარი კონტაქტების (Π) საშუალებით ძალურ წრედში ახორციელებს ელექტროძრავის (Π) ჩართვას და გამორთვას. მართვის წრედში ჩართულია თბური რელეების $1PT$ და $2PT$ განრთვის კონტაქტები, რომელთა სახურებელი ელემენტებიც ჩართულია მთავარ წრედში.

სქემა მუშაობს შემდეგნაირად: ძრავას ასამუშავებლად, ჩამრახის (P) ჩართვის შემდეგ საჭიროა ღილაკის “ამუშავების” დაჭერით ჩაირთოს (Π) კონტაქტორის კოჭას წრედი. დენი მიედინება შემდეგი წრედით: ფაზა Π_1 – მცველი 2Π – ღილაკი “სდექ” – ღილაკი “ამუშავება” – კონტაქტორის (Π) კოჭა – თბური რელეების $1PT$ და $2PT$ განრთვის კონტაქტები – ფაზა Π_3 . იმის გამო, რომ კონტაქტორის კოჭას გავლით მიედინება დენი, კოჭას გულარი დამაგნიტებულია, ღუზა

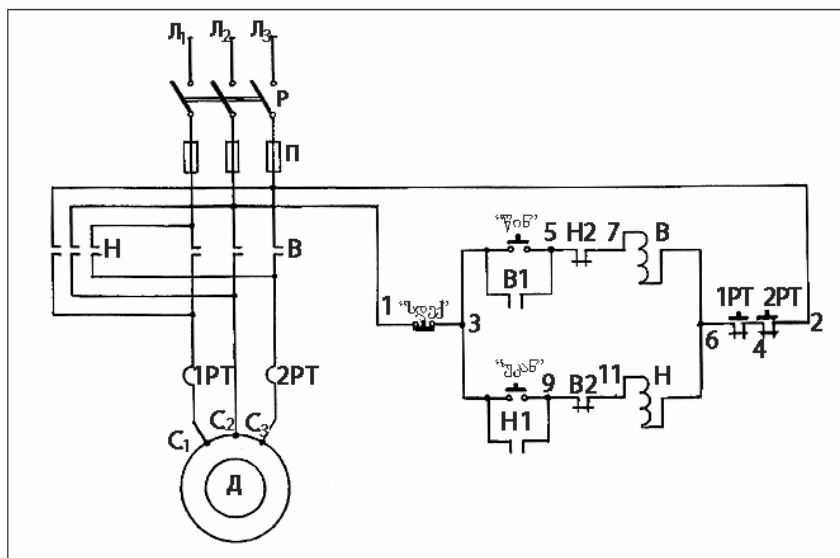
შეიზიდება და ჩაირთვება მთავარი კონტაქტები. სტატორის გრაგნილის გამოძვანები C_1 , C_2 , C_3 უერთდებიან მკვებავ ფაზებს Π_1 , Π_2 , Π_3 და ამრიგად, ძრავა ჩაირთვება. ერთდროულად, მთავარ კონტაქტებთან ერთად ჩაირთვებიან ბლოკ-კონტაქტებიც $\Pi 1$. ახლა უკვე საჭირო აღარ არის ღილაკის “ამუშავება” გაჩერება დაჭერილ მდგომარეობაში. ზამბარის მოქმედების შედეგად ღილაკი ბრუნდება საწყის მდგომარეობაში. ელექტროძრავას გამოსართავად საჭიროა ღილაკის “სდექ” დაჭერა. ამ დროს კონტაქტორის (Π) კოჭას კვება წყდება და მთავარი კონტაქტები საკუთარი წონის გავლენით ან ზამბარის მოქმედებით განირთვებიან და გამორთავენ სტატორის გრაგნილს ქსელიდან.

განხილული სქემა ახორციელებს ნულოვან დაცვასაც. როდესაც ქსელის ძაბვა დაეცემა ნომინალური სიდიდის 35-40%-მდე, კონტაქტორი გამოირთვება და გამორთავს ელექტროძრავს ქსელიდან. ძაბვის აღდგენის შემდეგ ელექტროძრავას თვითგაშვება გამოირიცხებულია, რადგან ღილაკი “ამუშავება” აშვებულია, ხოლო ბლოკ-კონტაქტი $\Pi 1$ განრთულია. ჩვეულებრივად, მაგნიტური გამშვებები მზადდება 75-100 კვტ. სიმძლავრის ელექტროძრავების ასამუშავებლად. ასინქრონული ძრავებისათვის ძაბვით 500 ვ-მდე, ჩვეულებრივად გამოიყენება KT სერიის ცვლადი დენის სამპოლუსიანი კონტაქტორები ცვლადი დენის კოჭათი.

ელექტროძრავას მუშაობისათვის ორი მიმართულებით – წინ და უკან გამოიყენება რევერსიული მაგნიტური გამშვები ან ორკონტაქტორიანი სქემა.

ნახ.7.2 წარმოდგენილია ასინქრონული მოკლედ ჩართული ძრავას მართვის სქემა რევერსირების შესაძლებლობით.

აღნიშნული სქემა დისტანციური მართვის საშუალებას იძლევა, ვინაიდან მართვის ღილაკები “წინ”, “უკან” და “სდექ” შეიძლება მოთავსდეს გარკვეულ მანძილზე ძრავადან. ეს სქემა საშუალებას იძლევა ავამოძრაოთ ძრავა, შეეცვალოთ ბრუნვის მიმართულება, გავაჩეროთ იგი. გარდა ამისა, სქემა იცავს დანადგარს მოკლედ ჩართვის, გადატვირთვის, ძაბვის ვარდნისა (ნულოვანი დაცვა) და თვითამუშავებისაგან. სქემაში გამოყენებულია ორი კონტაქტორი: კონტაქტორი “წინ” და კონტაქტორი “უკან”. კონტაქტორის კოჭა და მისი სამი მთავარი კონტაქტი აღნიშნულია შესაბამისად B და H ასოებით, ხოლო ბლოკ-კონტაქტები კი ასოებით B1, B2 და H1, H2.



ნახ.7.2. ასინქრონული მოკლედ ჩართული ძრავას მართვის სქემა რევერსირების შესაძლებლობით

კონტაქტორების B და H მთავარი კონტაქტები ძალურ წრედში ჩართული არიან ისეთნაირად, რომ, როდესაც შეიკვრება B კონტაქტები (H კონტაქტები ამ დროს გამორთულია) სტატორის გრაგნილზე ხდება ქსელის სამი ფაზის მიწოდება გარკვეული რიგით, ხოლო, როდესაც H კონტაქტები შეიკვრება, სამი ფაზიდან ორი იცვლის ადგილს, რის გამოც, ძრავას სტატორის მაგნიტური ველი იწყებს ბრუნვას საწინააღმდეგო მიმართულებით და ძრავაც რევერსიულად მუშაობს.

მართლაც, B კონტაქტების ჩართვის დროს ქსელის L_1 ფაზა უერთდება სტატორის გრაგნილს C_1 , ფაზა L_2 - C_2 , ფაზა L_3 - C_3 . თუ შეიკვრება H კონტაქტები, მაშინ ფაზა L_1 შეუერთდება C_3 გრაგნილს, ფაზა L_2 - C_2 (არ იცვლება), ფაზა L_3 - C_1 . მაშასადამე, ფაზები L_1 და L_3 იცვლიან ადგილებს.

ნახ.7.2. მოცემულ სქემაში გამოყენებულია ორი სახის ბლოკირება – მექანიკური და ელექტრული. მექანიკური ბლოკირება მდგომარეობს შემდეგში. ღილაკზე “წინ” დაჭერის შემთხვევაში ერთდროულად განირთვება კონტაქტი H კოჭას წრედში და, პირიქით, თუ დავაჭერთ ღილაკს “უკან”,

განიტოვება B კოჭას კონტაქტი. გარდა ამისა, ერთი კოჭას ღუზის შეზიდვა გამორიცხავს ერთდროულად ღუზის შეზიდვის შესაძლებლობას მეორე კოჭაში. სქემის ელექტრული ბლოკირების მიზნით კოჭას “წინ” წრედში გათვალისწინებულია კონტაქტორის “უკან” გამომრთველი კონტაქტი და, პირიქით, კოჭას “უკან” წრედში – კონტაქტორის “წინ” გამომრთველი კონტაქტი. მაგალითად, დავუშვათ დავაჭირეთ თითო ღილაკს “უკან”. ამ შემთხვევაში დენი გაივლის კონტაქტორის კოჭაში “უკან”; კონტაქტორი შეკრავს თავის შემრთველ კონტაქტებს და განრთავს თავის გამომრთველ კონტაქტს H_2 B კოჭას წრედში. ამრიგად, სანამ ჩართულია H კონტაქტორის კოჭა, B კონტაქტორის კოჭას წრედი იქნება განრთული და B კოჭას ჩართვა ერთდროულად H კოჭასთან ერთად შეუძლებელია. მექანიკური და ელექტრული ბლოკირება ძრავას იცავს ორ ფაზაში (ჩვენი სქემის შემთხვევაში J_1 და J_3) მოკლე ჩართვისაგან.

სქემის მიხედვით მუშაობა მიმდინარეობს შემდეგნაირად: ძრავას ჩასართავად “წინ” მიმართულებით ვაჭერთ თითო ღილაკს “წინ”, რის შედეგად დენი მიდის ფაზიდან - J_2 წრედში: 1-3-5-7-6-4-2 ფაზა J_3 ; B კოჭა შეკრავს თავის მთავარ კონტაქტებს B და ძრავა იწყებს მუშაობას “წინ” მიმართულებით. ბრუნვის მიმართულების შესაცვლელად ჩავრთავთ ღილაკს “სდექ”, ხოლო შემდეგ ღილაკს “უკან”. ამ დროს დენი გაივლის წრედში: ფაზა J_2 -1-3-9-11-6-4-2-ფაზა J_3 . ამ შემთხვევაში უკვე დენი გადის კოჭაში H, რომელიც შეკრავს თავის კონტაქტებს და ძრავა იწყებს ბრუნვას “უკან” მიმართულებით. მაშასადამე, ძრავა რევერსირდება.

2. სამფაზა დენის ელექტროძრავას უკონტაქტო მართვა

ნახაზზე 7.3 მოცემულია სამფაზა დენის ასინქრონული ძრავას უკონტაქტო მართვის სქემა ორი მაგნიტური გამაძლიერებლის MY_1 და MY_2 საშუალებით. სქემა იძლევა ძრავას გაშვების, ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების, დამუხრუჭებისა და რევერსირების საშუალებას ძალური წრედის კონტაქტების განრთვის გარეშე. ამასთან, ერთ-ერთი მაგნიტური გამაძლიერებელი განკუთვნილია ელექტროძრავას გაშვებისათვის და მართვისათვის “წინ” მიმართულებით,

თითოეული მაგნიტური გამაძლიერებელი შეიცავს შემადგენილების ორ გრაგნილს OY_1 , OC_1 და OY_2 , OC_2 . მართვის გრაგნილები OY_1 და OY_2 იკვებებიან მუდმივი დენის დამოუკიდებელი წყაროდან მართვის პოტენციომეტრის $ΠΥ$ გავლით; გრაგნილები OC_1 და OC_2 კი – ასინქრონული ძრავას ლილვზე ჩამაგრებული ტისოგენერატორიდან - $ТГ$ გრაგნილები OC_1 და OC_2 წარმოადგენენ უკუკავშირის გრაგნილებს ძრავას სინქარის მიხედვით.

263

ვაადგილებთ, მაგალითად ქვევით, მაშინ OY_1 გრაგნილში გაივლის მართვის დენი, რომელიც გამოიწვევს MY_1 გამაძლიერებლის მაგნიტური წრედის გაჯერებას, რაც თავის მხრივ შეამცირებს MY_1 მთავარი გრაგნილების ინდუქციურ წინააღმდეგობას, სტატორის მომჭერებზე დაბვა გაიზრდება და ძრავა დაიწყებს ბრუნვას წინ. ძრავას ბრუნვათა რიცხვის თანდათანობით ზრდასთან ერთად, თანდათან მოიმატებს, აგრეთვე, დაბვა ტახოგენერატორზე TF ; ეს უკანასკნელი გამოიწვევს დენის გაზრდას OC_1 მართვის გრაგნილში. OY_1 და OC_1 გრაგნილების დამამაგნიტებელ ძალებს აქვთ შემხვედრი მიმართულება, რის გამოც ელექტროძრავას სიჩქარე გაიზრდება, ვიდრე ტახოგენერატორის დენით გაპირობებული მაგნიტმამოძრავებელი ძალა არ გააწონასწორებს მართვის OY_1 გრაგნილის მაგნიტმამოძრავებელ ძალას. ამ წონასწორობას შეესაბამება ძრავას გარკვეული სიჩქარე. რაც მეტი იქნება პოტენციომეტრიდან OY_1 და OY_2 მართვის გრაგნილებზე მოწოდებული ძაბვის სიდიდე, მით მეტი იქნება ძრავას დამყარებული სიჩქარე.

აღვნიშნავთ, რომ OC_1 და OC_2 გრაგნილები (იკვებებიან ტახოგენერატორით) ახორციელებენ უარყოფით უკუკავშირს. მათ გარეშე დანადგარის მუშაობა იქნებოდა არამდგრადი, ძრავას მახასიათებელი არახისტი.

განხილული სქემა უზრუნველყოფს დამყარებული სიჩქარის შენარჩუნებას. მართლაც, დავუშვათ, რომ როტორის ლილვზე დატვირთვის გაზრდის შედეგად ძრავას სიჩქარე რამდენადმე შემცირდა (დაეცა). ეს გამოიწვევს ტახოგენერატორის ძაბვის შემცირებას და, მაშასადამე, დენისასაც, OC_1 ან OC_2 უკუკავშირის გრაგნილში, OY_1 და OC_1 გრაგნილების შემაჯამებელი დამამაგნიტებელი ძალა გაიზრდება; გაიზრდება გამაძლიერებლის შემაგნიტების დენი, რის გამოც შემცირდება მისი წინააღმდეგობა. ძაბვის ვარდნა მაგნიტურ გამაძლიერებელზე შემცირდება. ეს გამოიწვევს ძრავას სტატორზე მოწოდებული ძაბვის გაზრდას და, მაშასადამე, ძრავას სიჩქარის ამაღლებას საწყის მნიშვნელობამდე.

ამრიგად, პოტენციომეტრის ძვრისა მდებარეობა, რომელიც შეესაბამება მართვის სიგნალს, განსაზღვრავს ძრავას სიჩქარეს; სიჩქარე რჩება თითქმის უცვლელი ლილვზე დატ-

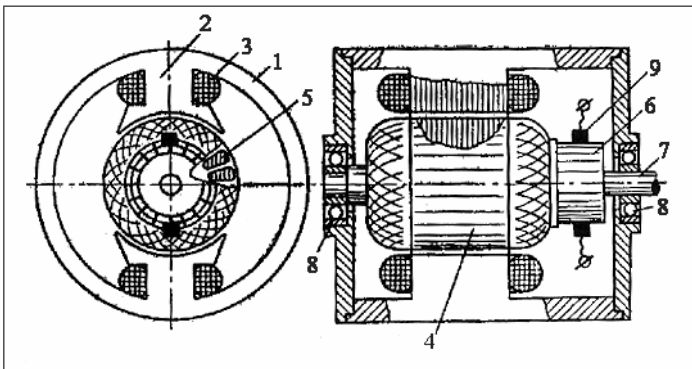
ვითვის ცვალებადობისდა მიუხედავად, ე.ი. აღნიშნული სქემა უზრუნველყოფს დამყარებული სიჩქარის შენარჩუნებას.

ძრავას რევერსირებისა ან დამუხრუჭებისათვის, საჭიროა პოტენციომეტრის ძვრია გადავაადგილოთ წინამდგომარეობის საწინააღმდეგო მიმართულებით (ნულოვანი მდგომარეობიდან), მაგალითად, სქემის მიხედვით ზევით. ამ შემთხვევაში პოტენციომეტრიდან მოხსნილი ძაბვა მიეწოდება უკვე მეორე გამაძლიერებლის MY_2 მართვის გრაგნილს OY_2 ; მისი ინდუქციური წინააღმდეგობა შემცირდება, ხოლო ძრავას სტატორის მომჭერებზე ძაბვა გაიზრდება.

ძრავა განავითარებს სიჩქარეს, მხოლოდ უკვე საწინააღმდეგო მიმართულებით. ეს აიხსნება იმით, რომ ძაბვა ძრავას სტატორზე მიეწოდება მაგნიტური გამაძლიერებლით MY_2 , რომელშიც ფაზები Π_1 და Π_2 ურთიერთშენაცვლებულია. სხვა მხრივ MY_2 მაგნიტური გამაძლიერებლით მართვა ხორციელდება MY_1 მაგნიტური გამაძლიერებლის ანალოგიურად.

§4. მუდმივი დენის ელექტროძრავების მართვა

ნახაზზე 7.4 მოცემულია მუდმივი დენის ძრავას კონსტრუქცია. მუდმივი დენის ელექტროძრავა შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან: მაგნიტური სისტემა – 1-2, აგზნების გრაგნილით – 3, ღუზა – 4 კოლექტორით – 6, მუხები – 9 და კორპუსი საკისრებით – 8, რომლებშიც ბრუნავს ღუზას ლილვი – 7.



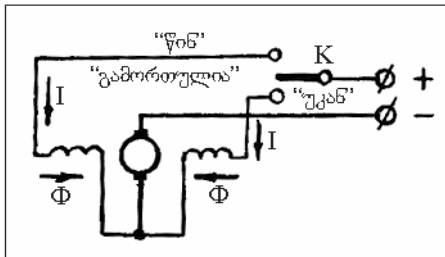
ნახ.7.4. მუდმივი დენის ძრავას კონსტრუქციული სქემა

მუდმივი დენის ძრავა კარგად ბრუნავს ორივე მიმართულებით. ძრავას ბრუნვის მიმართულების შესაცვლელად საკმარისია შეცვალოთ დენის მიმართულება ღუზაში და უცვლელი დავტოვოთ დენის მიმართულება სტატორში.

მუდმივი დენის ძრავების გაშვების ავტომატური მართვის სხვადასხვა სქემიდან (ბრუნვის ე.მ.ძ., დენის ან დროის ფუნქციაში) ქვემოთ განხილულია მუდმივი დენის რევერსიული ელექტროძრავას გაშვების სქემა თანამიმდევრული აგზნებით და მუდმივი დენის ელექტროძრავას გაშვების სქემა პარალელური აგზნებით.

1. რევერსიული ძრავა თანამიმდევრული აგზნებით

ძრავას გააჩნია აგზნების ორი გრაგნილი (იხ. ნახაზი 7.5), რომლებიც მუშაობენ გადამრთველის K მდებარეობისაგან დამოკიდებულებით. გადამრთველს გააჩნია სამი მდგომარეობა: “წინ”, “გამორთულია”, “უკან”. აგზნების ნაკადის წარმოქმნა ხორციელდება ღუზას დენით, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს ნახაზზე ისრებით ნაჩვენები ერთი ან მეორე მიმართულება. აღნიშნული სქემის ღირსება მდგომარეობს მის სიმარტივეში და საიმედოებაში, რადგან გაშვების დროს ძრავა ანვითარებს მნიშვნელოვან ამუშავების მომენტს. სქემის ნაკლს წარმოადგენს ძრავას ნარნარი რევერსირების შეუძლებლობა.



ნახ.7.5. რევერსიული ელექტროძრავას ჩართვის სქემა თანამიმდევრული აგზნებით

2. ელექტროძრავა პარალელური აგზნებით

ცნობილია, რომ ამუშავების დენი მუდმივი დენის ძრავაში გაცილებით მეტია, ვიდრე ანალოგიური სიმძლავრის ცვლადი დენის ძრავაში. ამიტომ, მუდმივი დენის ძრავას გაშვებისათვის ღუზას წრედში, უმეტეს შემთხვევაში, აუცილებელია წინააღმდეგობის ჩართვა, რომელიც ამცირებს ამუშავების დენის სიდიდეს. ღუზის სიჩქარის ზრდასთან ერთად იზრდება უკუ ე.მ.ძ., რის გამოც დენის მნიშვნელობა კლებულობს და

ამუშავების მომენტის გარკვეული ფიქსირებული სიდიდის შესანარჩუნებლად საჭიროა ამუშავების პროცესში ნაწილობრივ გამოვრთოთ ამუშავების წინააღმდეგობა, რადგან, როგორც ცნობილია

$$M = K_M \Phi, \quad (7.1)$$

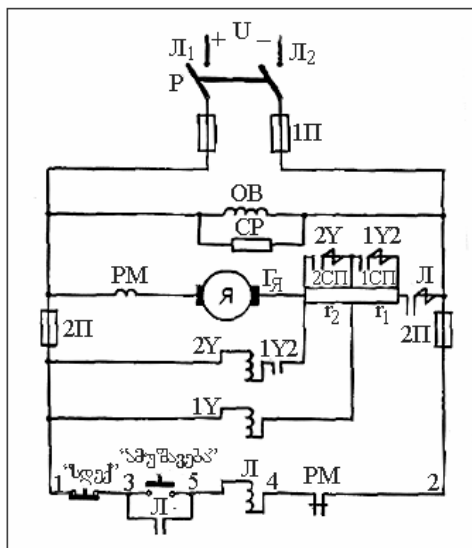
ე.ი. მუდმივი დენის ძრავას მიერ განვითარებული ამუშავების მომენტი პირდაპირპროპორციულია დენისა და ნაკადის ნამრავლისა. მოყვანილ ფორმულაში K_M არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ღუზის კონსტრუქციასა და სქემაზე;

Φ – აგზნების ნაკადი;

I – ღუზის დენი.

ამრიგად, ამუშავების პერიოდის დამთავრების შემდეგ საჭიროა ამუშავების წინააღმდეგობა მთლიანად გამოირთოს.

ნახაზზე 7.6 წარმოდგენილია მუდმივი დენის ძრავას გაშვების სქემა, პარალელური აგზნებით. სქემაში გამოყენებულია სამი კონტაქტორი: სახაზო კონტაქტორი Π , რომელიც განკუთვნილია ძრავას ღუზას ჩასართავად ქსელში. აჩქარების კონტაქტორები $1Y$ და $2Y$, რომელთა დანიშნულებაა ძრავას გაშვების პროცესში გამორთონ ასამუშავებელი წინაღობა საფეხურებით, პირველად პირველი საფეხური $1C\Pi$ და შემდეგ მეორე $2C\Pi$.



ნახ.7.6. მუდმივი დენის ელექტროძრავას გაშვების სქემა პარალელური აგზნებით

ძრავას დასაცავად გადატვირთვისაგან გამოყენებულია მაქსიმალური დენის რელე PM. იგი ამოქმედდება, თუ უეცრად მოხდება გადატვირთვა. ამ შემთხვევაში რელეს განმრთველი კონტაქტები, რომლებიც ჩართულია II კონტაქტორის კოჭაში, გამორთავს ძრავას. III და 2PI მცველები იცავენ წრედს მოკლედ ჩართვებისაგან. OB არის აგზნების გრაგნილი; CP წარმოადგენს განმუხტვის წინააღმდეგობას. სქემის გამორთვისას ქსელიდან თვითინდუქციის შედეგად OB აგზნების გრაგნილის მომჭერებზე წარმოიქმნება გადამეტება. ამ დროს განვითარებული მაგნიტური ველის ენერგიის შთანთქმისათვის არის გამიზნული წრედში ჩართული CP განმუხტვის წინააღმდეგობა.

ამუშავების პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად. P ჩამრახის ჩართვის შემდეგ დენი გადის მხოლოდ OB აგზნების გრაგნილში, ვინაიდან დანარჩენი წრედი განრთულია. ძრავას ელექტრომაგნიტურ პოლუსებში წარმოიქმნება მაგნიტური ნაკადი. შემდეგ ხდება ღილაკის “ამუშავება” დაჭერა; დენი გადის II კონტაქტორის კოჭაში, კონტაქტორი ჩართავს თავის მთავარ კონტაქტს ძრავას ღუზას წრედში. ამით ძრავას ღუზას გრაგნილი აღმოჩნდება მიმდევრობით ჩართული ასამუშავებელი წინააღმდეგობების ორივე ICI და 2CI საფეხურთან, რის გამოც ასამუშავებელი დენი გადის ყველა ასამუშავებელ წინააღმდეგობაში და დენის სიდიდე მცირდება. კონტაქტის II ჩართვის შემდეგ დენი გაივლის, აგრეთვე, IY კონტაქტორის გავლით წრედში: ფაზა Π_1 – კონტაქტორი IY – წინააღმდეგობა ICI – ფაზა Π_2 .

თუ აღვნიშნავთ ღუზას დენის სიდიდეს ამუშავების დროს I_1 , ძაბვა IY კონტაქტორის მომჭერებზე იქნება

$$U'_{1Y} = U - I_1 r_1, \quad (7.2)$$

სადაც U არის ძაბვა ქსელში;

r_1 – პირველი საფეხურის ICI წინააღმდეგობა.

ვინაიდან კონტაქტორი IY რეგულირებულია ამოქმედების U''_{1Y} ძაბვაზე, რომელიც აღემატება U'_{1Y} ამიტომ ძრავას გაშვების მომენტში კონტაქტორი IY არ ამოქმედდება. დავუშვათ,

რომ U_{1Y}'' ძაბვას შეესაბამება დენი I_2 , რომლის სიდიდეც ნაკლებია I_1 -ზე, მაშინ $1Y$ კონტაქტორის ამოქმედების ძაბვა იქნება ტოლი

$$U_{1Y}'' = U - I_2 r_1. \quad (7.3)$$

ღუზას სიჩქარის ზრდასთან ერთად გაიზრდება, აგრეთვე, უკუ ე.მ.ძ. მართლაც

$$E = K_e \phi \omega. \quad (7.4)$$

აქ K_e – არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ღუზას სქემის კონსტრუქციაზე;

Φ – აგზნების გრაგნილის მაგნიტური ნაკადი;

ω – ღუზას ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.

უკუ ე.მ.ძ. გაზრდა გამოიწვევს ღუზას დენის ძალის შემცირებას

$$I_{\text{ღ}} = \frac{U - E}{r_{\text{ღ}} + r_1 + r_2}, \quad (7.5)$$

სადაც $r_{\text{ღ}}$ არის ღუზას გრაგნილის წინააღმდეგობა.

თუ გავითვალისწინებთ ღუზას დენის ძალის მნიშვნელობას (7.1) ფორმულაში, მივიღებთ

$$M = \frac{U - K_e \phi \cdot \omega}{r_{\text{ღ}} + r_1 + r_2} K_M \cdot \phi. \quad (7.6)$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ მოცემული ძაბვის დროს მომენტი მაქსიმალურია, როდესაც $\omega = 0$ ე.ი. ძრავას ამუშავებისას.

ასამუშავებელი მომენტი პროპორციულია ქსელის ძაბვისა.

$$M_{\text{ასამ}} = U \frac{K_m \cdot \phi}{r_{\text{ღ}} + r_1 + r_2} \quad (7.7)$$

ძრავას ბრუნვის სიჩქარის ზრდასთან ერთად მომენტის მნიშვნელობა მცირდება და უქმი სვლის დროს $M=0$ უქმი სვლის შესაბამისი კუთხური სიჩქარე

$$\omega_{\text{უ.ს}} = U \frac{1}{K_e \phi}, \quad (7.8)$$

ე.ი. უქმი სვლის სიჩქარეც, აგრეთვე, პროპორციულია ქსელის ძაბვისა.

ამრიგად, ღუზას მოძღვრებზე ძაბვის ცვალებადობით შეიძლება ვმართოთ ძრავას ბრუნვის სიჩქარე.

როდესაც ღუზას დენი შემცირდება I_2 -მდე, ძაბვა კონტაქტორის კოჭაზე გაუტოლდება U''_{1Y} ანუ $1Y$ კონტაქტორის ამოქმედების ძაბვის სიდიდეს. კონტაქტორი ამოქმედდება და ჩართავს თავის შემრთველ $1Y2$ კონტაქტს, რომელიც დააშენტებს ასამუშავებელი წინააღმდეგობის $1CII$ პირველ საფეხურს. ამ დროს ღუზას დენი კვლავ გაიზრდება I_1 სიდიდემდე. ერთდროულად $2Y$ კონტაქტორის კოჭას წრედში შეირთვება $1Y$ კონტაქტორის $1Y1$ ბლოკკონტაქტი, მაგრამ ღუზას მოცემული სიჩქარის დროს $2Y$ კონტაქტორი ჯერ კიდევ არ ჩაირთვება, რადგან იგი რეგულირებულია ამოქმედების ძაბვაზე, რომელიც აღემატება I_1 დენის ძალის შესაბამის ძაბვას I_2 დენის ძალის შესატყვისი ამოქმედების ძაბვით, ე.ი.

$$U''_{2Y} = U - I_2 r_2, \quad (7.9)$$

სადაც U''_{2Y} - $2Y$ კონტაქტორის ამოქმედების ძაბვა;

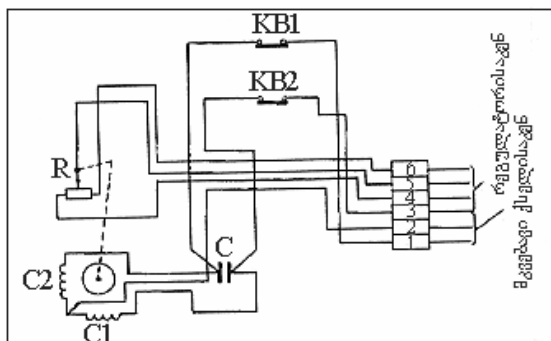
r_2 - მეორე საფეხურის - $2CII$ წინააღმდეგობა.

როდესაც დენი შემცირდება I_2 სიდიდემდე, $2Y$ კონტაქტორი ამოქმედდება და დააშენტებს ასამუშავებელი წინააღმდეგობის მეორე საფეხურს. ამ შემთხვევაში ყველა ასამუშავებელი წინააღმდეგობა იქნება გამორთული და ძრავა იწყებს მუშაობას ბუნებრივ მახასიათებელზე. ამით ძრავას გაშვების პროცესი მთავრდება.

§5. ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმების მართვა

ნახაზზე 7.7 მოცემულია $ИМ-2/120$ ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმის ელექტრული სქემა (აღმასრულებელი მექანიზმის აღწერა და საერთო ხედი იხილეთ გვ. 55). სქემაზე $C1$ და $C2$ ძრავას გრაგნილებია; C არის კონდენსატორი; მართვის მოწყობილობის რელეს კონტაქტების საშუალებით ძრავას ერთ-ერთი $C1$ ან $C2$ გრაგნილი ჩაირთვება ცვლადი დენის ქსელში, ხოლო მეორე გრაგნილი ამ დროს ირთვება C კონდენსატორის მეშვეობით; $KB1$ და $KB2$ ბოლო გამომრთველებია, რომელთა საშუალებითაც შეიძლება შეიზღუდოს აღმასრულებელი მექანიზმის გამოსასვლელი ლილვის სვლა 120° -ის

საზღვრებში. უკუკავშირი მდებარეობის მიხედვით ხორციელდება რეოსტატით - R, რომლის ძვრია დაკავშირებული მექანიზმის გამოსასვლელ ლილვთან.



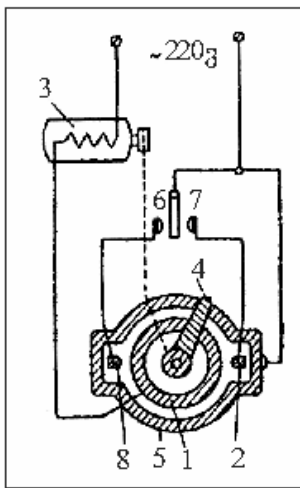
ნახ.7.7. IM-2/120 – ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმის ჩართვის სქემა

რეოსტატიდან მოხსნილი ძაბვის სიდიდე დამოკიდებულია მარეგულირებელი ორგანოს მდებარეობაზე. ძრავას ბრუნვის მიმართულება განისაზღვრება მართვის მოწყობილობიდან მიღებული სიგნალის ნიშნით.

შედარებით მნიშვნელოვანი სიმძლავრის მქონე აღმასრულებელ მექანიზმებში გამოყენებულია სამფაზა ასინქრონული ძრავები.

ნახაზზე 7.8 წარმოდგენილია ДР ტიპის აღმასრულებელი მექანიზმის ჩართვის სქემა. მექანიზმის კონსტრუქცია და საერთო ხედი ნაჩვენებია ნახაზზე 5.7 ა.ბ. როდესაც რეგულირებადი სიდიდის მნიშვნელობა იმყოფება მოცემულ საზღვრებში, მმართველი ხელსაწყო (მაგალითად, ЭКТ ტიპის ტემპერატურის რელეს) 6 და 7 კონტაქტები განრთულია. როდესაც ძვრია (4) შერთავს შინაგან საკონტაქტო რგოლს (1), რომელთანაც მიერთებულია სტატორის გრაგნილი და გარე საკონტაქტო რგოლი (5), ძრავა და ძვრია ბრუნავენ ერთი მიმართულებით. მიაღწევს რა ბოლო გამომრთველს (2), ძვრია (4) ამოვარდება გარე რგოლიდან და განრთავს წრედს. ძრავა (3) ჩერდება. რეგულირებადი პარამეტრის შეცვლა იწვევს კონტაქტის (7) შერთვას. ძრავა ჩაირთვება, ძვრია მობრუნდება და კვლავ შედის კონტაქტში გარე რგოლთან, მაგრამ უკვე ქვედა ნახევრიდან. მარეგულირებელი ორგანო გადაადგილდება, ვიდრე ძვრია (4) არ მივა მეორე ბოლო გამომრთველთან (8), ამ შემთხვევაში

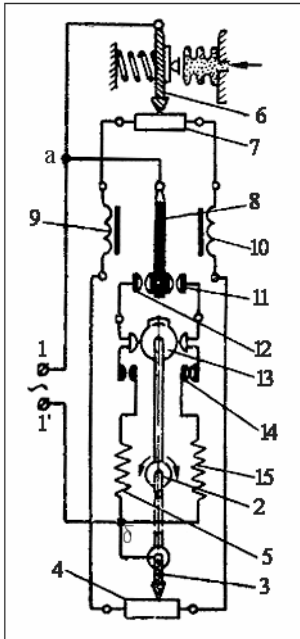
ძრავას ჩართვა მოხდება მხოლოდ კონტაქტის (6) შერთვისას, ე.ი. როდესაც პარამეტრი მიაღწევს თავის ქვედა ზღვარს. ამრიგად, გამოსასვლელი ღილვი ასრულებს ნახევარ ბრუნს და ჩერდება, ხოლო მარეგულირებელი ორგანო იკავებს განაპირა მდებარეობებს.



ნახ.7.8. DP ტიპის ავტო-
სრულებელი მექანიზმის
ჩართვის სქემა

ნახაზზე 7.9 მოყვანილია პროპორციული აღმასრულებელი მექანიზმის - PP ჩართვის სქემა. სქემაში PP ძრავას გარდა გამოყენებულია ბალანსური რელე - БР-2 (კოჭა 9 და 10 და გულარი 8 კონტაქტებით 11 და 12), და მმართველი ხელსაწყო, რომელიც გადააადგილებს რეოქორდაზე (7) ძვრიას (6), რეგულირებადი პარამეტრის შეცვლის პროპორციულად.

პროპორციული რეგულირება ხორციელდება შემდეგნაირად. საწყის მდგომარეობაში ვენტილი შუალედ მდებარეობაშია. ძვრია (3) იმყოფება რეოსტატის (4) შუაში, ხოლო მმართველ ხელსაწვოს მომართავენ რეგულირებადი პარამეტრის მოცემულ მნიშვნელობაზე. ამ დროს ძვრია (6) იმყოფება რეოქორდის (7) შუაში. დენი კლემიდან (1) მიემართება ძვრისაკენ (6) და ორდება. ვინაიდან მარცხენა წრედის წინააღმდეგობა ტოლია მარჯვენა წრედის წინააღმდეგობისა, დენის ძალა 9 და 10 კოჭებში ერთნაირია. გულარი (8) იმყოფება ნეიტრალურ მდებარეობაში, კონტაქტები 11 და 12 განრთულია, ძრავა (2) გაჩერებულია.



ნახ.7.9. პროპორციული აღმას-
რულებელი მექანიზმის ჩართვის
სქემა

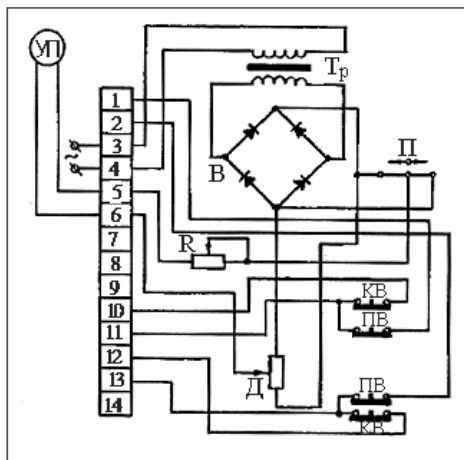
რეგულირებადი პარამეტრის შეცვლისას ძვრია (6) გადაადგილდება რეოქორდაზე (7) (დავუშვათ მარჯვნივ). დენის ძალა კოჭაში 10 გაიზრდება, ხოლო კოჭაში 9 შემცირდება. რელეს გულარი შეიროვება მარჯვენა კონტაქტზე (11) და დენი a კვანძიდან კონტაქტის 11 გავლით მიეწოდება სტატორის კოჭას (15) (მარჯვენა ძრავა 5A იხ. ნახაზი 5.8). ძრავას ბრუნვით შეიცვლება მარეგულირებელი ორგანოს მდგომარეობა და ერთდროულად გადაადგილდება უკუკავშირის რეოსტატის ძვრია (3) მარცხნივ. როდესაც რეოსტატის (4) მარჯვენა ნაწილის წინაღობა გაიზრდება იმდენად, რომ კომპენსირებას გაუწევს რეოქორდის (7) მარჯვენა ნაწილის წინაღობის შემცირებას, დენი კოჭებში 9 და 10 კვლავ გათანაბრდება, რელეს გულარი (8) გათიშავს კონტაქტს (11) და დაიკავებს ნეიტრალურ მდებარეობას. ძრავა გაჩერდება, მაგრამ გამოსასვლელი ლილვი უკვე იქნება შემობრუნებული გარკვეული კუთხით და მარეგულირებელი ორგანო დაიკავებს ახალ მდგომარეობას, რომელიც შეესაბამება რეგულირებადი სიდიდის პროპორციულ შეცვლას. რეგულირებადი სიდიდის გადახრისას მეორე მხარეს (ხვეწ შემთხვევაში,

მარცხნივ) ძვრია (6) გადაადგილდება რეოქორდაზე (7) მარცხნივ, რელეს კოჭა (9) მიიზიდავს გულარს (8) და შერთავს კონტაქტს (12).

ღენი გაივლის მარცხენა ძრავაში 5A (იხ. ნახაზი 5.8) და ლილვი დაიწყებს ბრუნვას საწინააღმდეგო მიმართულებით, ვიდრე უკუკავშირის რეოსტატი კვლავ არ აღადგენს წონასწორობას.

ლილვის შემობრუნებისას შუალედი მდგომარეობიდან მოცემული კუთხით (0° -დან 180° -მდე რეგულირებისაგან დამოკიდებულებით) ბოლო გამომრთველი (13) განრთავს მარცხენა ან მარჯვენა კონტაქტს (14) და ძრავა ჩერდება.

ნახაზზე 7.10 ნაჩვენებია KDU-1/Π-K ტიპის დისტანციური მართვის სვეტის ელექტრული სქემა (კინემატიკური სქემა იხ. ნახაზი 5.9).



ნახ.7.10. KDU-1/Π-K ტიპის დისტანციური მართვის სვეტის ელექტრული სქემა

ბოლო გამომრთველები KB განკუთვნილია გამოსასვლელი ლილვის ზღვრული მდებარეობების შესაზღუდავად დისტანციური მართვის დროს, ხოლო საგზაო გამომრთველები ΠB ასრულებენ იმავე დანიშნულებას ავტომატური რეგულირებისას. მდგომარეობის მაჩვენებელი პოტენციომეტრიული გადამწოდი (Д) განკუთვნილია სერვომრავას გამოსასვლელი ლილვის მდებარეობის სიგნალიზაციისათვის. სიგნალიზაცია ხორციელდება УΠ მოწყობილობით, რომელიც მიერთებულია მართვის სვეტის მომჭერებზე (5 და 6). ხელსაწყო წარმო-

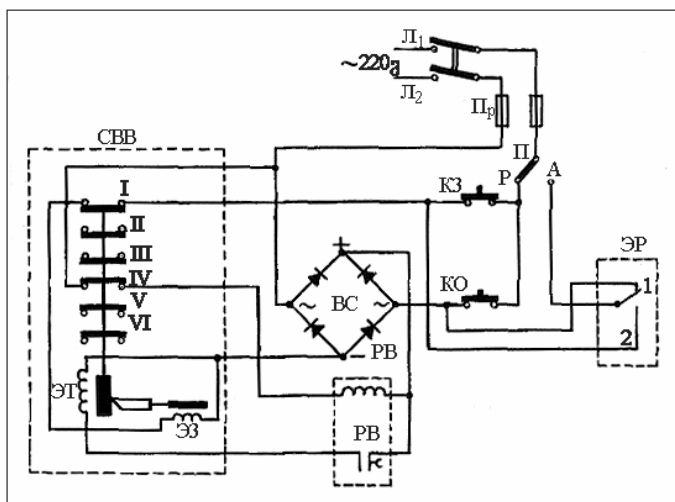
ადგენს ვოლტმეტრს, რომლის სკალაც დაგრადუირებულია მობრუნების სრული კუთხის პროცენტებში.

შესაკრავის (II) დანიშნულებაა YII ხელსაწყო მდებარეობის მაჩვენებლის კვანძის კვების პოლარობის შეთანხმება პოტენციომეტრის ძვრის (II) გადაადგილების მიმართულებასთან.

ტრანსფორმატორი $Tp\ 220/2$ ვ-ზე და სელენური გამმართველი (B) განკუთვნილია პოტენციომეტრული გადამწოდის კვებისათვის 2ვ სიდიდის მუდმივი ძაბვით. ცვლადი წინააღმდეგობა (R) ემსახურება მდებარეობის მაჩვენებლის მართვას.

§6. ელექტრომაგნიტური ვენტილების ავტომატური მართვა

ნახაზზე 7.11 მოყვანილია სოლენოიდური ვენტილის CBB მართვის ელექტრული სქემა, რომელიც იძლევა, როგორც ხელით, ასევე ავტომატურად მართვის შესაძლებლობას. ხელით მართვის დროს II გადამრთველის კონტაქტის დაყენება ხდება P მომჭერზე, ავტომატური მართვის დროს – A მომჭერზე.



ნახ.7.11. სოლენოიდური ვენტილის CBB მართვის ელექტრული სქემა

სქემა მუშაობს შემდეგნაირად. ხელით მართვის დროს ვენტილის გასაღებად საჭიროა დავაჭიროთ ლილაკს KO; ამ დროს წარმოიქმნება წრედი: ფაზა Π_1 -II-KO – გამმართველი BC – დროის რელეს PB კოჭა-განმართველი კონტაქტი IV-ფაზა Π_2 . რელე PB შერთავს თავის კონტაქტს (დროის დაყოვნება რელეს გააჩნია მხოლოდ კონტაქტის განრთვისას). ამით ქსელს მიუერთდება გამწვევი ელექტრომაგნიტის - ΞT კოჭა. ელექტრომაგნიტის ღუზა აიწვევა ზევით და ვენტილი გაიღება; ერთდროულად შეირთვებიან I, II, III კონტაქტები და განირთვებიან IV, V, VI კონტაქტები (ამ კონტაქტებიდან სქემაში გამოყენებულია მხოლოდ I და IV კონტაქტები). კონტაქტის IV განრთვისას რელეს - PB კოჭას კვება წყდება, მაგრამ ΞT -ს გამწვევი კოჭა ჯერ კიდევ არ არის გამორთული, რადგან ის იკვებება რელეს იმ კონტაქტით, რომლის გამორთვაც წარმოებს დროის გარკვეული დაყოვნებით. როდესაც ვენტილი დადგება სასხლეტზე, რელეს კონტაქტი გამოირთვება და გამწვევი ელექტრომაგნიტის ΞT კოჭას დენის მიწოდება შეუწყდება.

ვენტილის დასაკეტად საჭიროა დავაჭიროთ ლილაკს K3. ამ დროს წარმოიქმნება წრედი: ფაზა Π_1 -II-K3-I – სასხლეტის ელექტრომაგნიტის კოჭა – $\Xi 3$ -BC - ფაზა Π_2 . დენის გავლის შედეგად სასხლეტის ელექტრომაგნიტის ღუზა მიიზიდება თავის გულართან; სასხლეტი ათავისუფლებს გამწვევი ელექტრომაგნიტის ღუზას და ვენტილი იკეტება.

ავტომატური მართვის დროს II გადამრთველის კონტაქტი უნდა დავაყენოთ A მოძკერზე. ვენტილის გაღება ან დაკეტვა წარმოებს ΞP რელეს (ელექტრონული რეგულატორი) კონტაქტებით. კონტაქტის 1 შერთვისას ვენტილი იღება, კონტაქტის 2 შერთვისას კი იკეტება.

ელექტროენერგიის მიწოდების შეწყვეტის შემთხვევაში ვენტილის მართვა შეიძლება ხელით. ვენტილის გასაღებად გამოიყენება სახელური (5), ხოლო მის დასაკეტად საჭიროა დავაჭიროთ ლილაკს (18) (იხ. ნახაზი 5.11). ხელით მართვის დროს ვენტილის ნაწილების მექანიკური ურთიერთქმედება იგივეა, რაც ელექტრული მართვის დროს.

ავტომატური რეგულირების სისტემები და მათი ძირითადი ელემენტები

§1. ძირითადი ცნებები და განსაზღვრებები

თანამედროვე ტექნიკაში ავტომატურ რეგულირებას უკავია ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი. ძნელია დავასახელოთ ტექნიკის დარგი, სადაც ამა თუ იმ ფორმით არ იყოს გამოყენებული ავტომატური რეგულირება.

თითოეული სამრეწველო დანადგარის მუშაობის რეჟიმი ხასიათდება ფიზიკური სიდიდეების ერთობლიობით, რომლებიც განსაზღვრავენ დანადგარის მუშაობას. აუცილებელი რეჟიმის უზრუნველსაყოფად საჭიროა, რომ ზოგიერთი სიდიდე ინარჩუნებდეს მუდმივ მნიშვნელობას ან იცვლებოდეს გარკვეული კანონით. მაგალითად, ელექტროძრავას მუშაობის რეჟიმი ხასიათდება მის ლილვზე განვითარებული მბრუნავი მომენტის სიდიდით და როტორის ბრუნვის სიჩქარით; საქვაბე მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმი – ორთქლის წნევითა და ტემპერატურით; ელექტროსადგურის – ცვლადი დენის ძაბვითა და სიხშირით; რკინა-ბეტონის ქარხნის გაორთქლის კამერის – კამერაში ტემპერატურით, მოცემულ ტემპერატურაზე ნაკეთობის დაყოვნების დროით და ტენიანობით. საწარმოო პროცესის განსახორციელებლად საჭიროა, რომ საწარმოო პროცესის მახასიათებელი სიდიდეები აკმაყოფილებდნენ გარკვეულ პირობებს.

სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს ტექნოლოგიური პროცესის პირობებს, ეწოდება პარამეტრი. მუშა პარამეტრი ეწოდება სიდიდეს, რომელიც მიიღება დანადგარის ან მოწყობილობის კონსტრუირებისა და ტექნოლოგიური გაანგარიშების დროს და რომელიც შენარჩუნებული უნდა იქნეს მუდმივად ან იცვლებოდეს გარკვეული კანონით.

სიდიდეს, რომელიც აუცილებელია შენარჩუნდეს მუდმივად, ან იცვლებოდეს მოცემული პროგრამით, ეწოდება რეგულირებადი სიდიდე.

ტექნოლოგიურ მოწყობილობას, რომელშიაც მიმდინარეობს რეგულირებადი პროცესი, ეწოდება რეგულირებადი ობიექტი.

ორგანოს, რომლის საშუალებითაც ვახდენთ ზემოქმედებას რეგულირებად ობიექტზე, ეწოდება მარეგულირებელი ორგანო.

რეგულირებადი სიდიდის და მისი დამყარებული მნიშვნელობის ტოლობის შენარჩუნების ოპერაციას ეწოდება რეგულირება.

რეგულირებას, რომლის დროსაც მარეგულირებელ ორგანოზე ზემოქმედება ხორციელდება ადამიანის მიერ, ეწოდება ხელით რეგულირება.

რეგულირებას, რომლის დროსაც მარეგულირებელ ორგანოზე ზემოქმედება ხორციელდება ხელსაწყოთი, ადამიანის ჩაურევლად, ეწოდება ავტომატური რეგულირება.

ხელით რეგულირების სქემა წარმოადგენს გახსნილ სისტემას*;

პროგრამული რეგულირება ეწოდება ისეთ რეგულირებას, რომლის დროსაც სისტემა ინარჩუნებს მოცემული კანონის მიხედვით ცვალებადი რეგულირებადი სიდიდის მნიშვნელობას.

პროგრამის მიცემა ხორციელდება ხელით ან ავტომატურად საპროგრამო მოწყობილობის (მმართველი, დამკვირვებელი) საშუალებით.

რეგულირების სისტემის “შესასვლელად” ითვლება ის სიდიდე, რომელიც ახორციელებს მარეგულირებელ ზემოქმედებას. სისტემის “გამოსასვლელი” ეწოდება სიდიდეს, რომლის რეგულირებაც არის საჭირო.

გახსნილ სისტემაში, სისტემის შესასვლელზე მარეგულირებელი ზემოქმედება არ არის დაკავშირებული სისტემის მუშაობის შედეგზე, რომელიც მიიღება ამ სისტემის გამოსასვლელზე.

შეკრულ სისტემაში შესასვლელი ზემოქმედება უშუალოდ არის დამოკიდებული გამოსასვლელი სიდიდის მნიშვნელობაზე.

უშუალო კავშირს სისტემის გამოსასვლელიდან მის შესასვლელთან ეწოდება უკუკავშირი. ხელით რეგულირების დროს უკუკავშირს ახორციელებს ადამიანი; ავტომატური რეგულირების დროს კი ხელსაწყო.

ავტომატურ მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია რეგულირების ამოცანის შესასრულებლად, ადამიანის უშუალო მონაწილეობის გარეშე, ეწოდება ავტომატური რეგულატორი.

* სინამდვილეში ეს სისტემაც შეკრულია. შეკვრას ახორციელებს ადამიანი.

ავტომატური რეგულატორის შემადგენლობაში შედის: გადამწოდი, რომელიც განსაზღვრავს რეგულირებადი სიდიდის მნიშვნელობას; შედარების ელემენტი, რომელიც რეგულირებადი სიდიდის გაზომილ და მოცემულ მნიშვნელობებს ადარებს ერთმანეთს; გამაძლიერებელი; აღმასრულებელი მოწყობილობა და მარეგულირებელი ორგანო, რომელიც ახდენს ზემოქმედებას რეგულირებად ობიექტზე.

ავტომატური რეგულირების სისტემები (CAP) წარმოადგენენ ელემენტების ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთს შორის დაკავშირებული არიან განსაზღვრული სახით და ასრულებენ განსაზღვრულ ფუნქციას. ამ სისტემის თვისებები, მთლიანობაში, დამოკიდებულია ელემენტების თვისებებზე და მათი შეერთების წესზე.

ავტომატური რეგულირების სისტემა განიხილება, როგორც შეკრული დინამიური სისტემა, რომელიც შედგება რეგულირების ობიექტისაგან და ავტომატური რეგულატორის მოწყობილობათა კომპლექსისაგან.

ასხვავებენ ავტომატური რეგულირების ერთკონტურიან და მრავალკონტურიან სისტემებს.

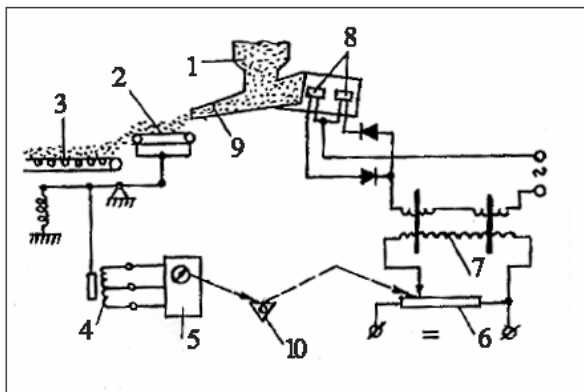
ავტომატური რეგულირების ერთკონტურიანი სისტემა ეწოდება ისეთ სისტემას, რომელსაც გააჩნია ზემოქმედების ერთი შეკრული წრედი. იგი შედგება ერთი რეგულირებადი ობიექტისაგან და ერთი მარტივი ავტომატური რეგულატორისაგან და განკუთვნილია ერთი რეგულირებადი პარამეტრის უცვლელად შესანარჩუნებლად.

ავტომატური რეგულირების მრავალკონტურიანი სისტემა ეწოდება ისეთ სისტემას, რომელსაც გააჩნია ერთზე მეტი ზემოქმედების შეკრული წრედი. სისტემა შედგება ერთი რეგულირებადი ობიექტისაგან და ერთი ან რამდენიმე ავტომატური რეგულატორისაგან.

ავტომატური რეგულირების სისტემებისა, მათი ძირითადი ელემენტების ზემოთ მოყვანილი ცნებებისა და განსაზღვრებების უკეთ გაგების მიზნით განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითები.

ნახ.8.1 ნაჩვენებია ფხვიერი მასალის დოზატორი ხელით მართვით. ნახაზზე 1 არის ბუნკერი; 2 – წონითი ტრანსპორტერი; 3 – შემკრები ტრანსპორტერი; 4 – ინდუქციური გადამწოდი; 5 – გამზომი ხელსაწყო; 6 – მართვის რეოსტატი; 7 – დროსელი შემავანიტებით; 8-

ვიბრატორის ელექტრომაგნიტები; 9 – ღარი; 10 – ოპერატორი.



ნახ.8.1. ფხვიერი მასალის დოზატორის სქემა ხელით მართვით

მასალის ხარჯი (G) განისაზღვრება პარამეტრებით: ნაწილაკების სიმსხვილით (ν), მასალის ტენიანობით (μ), ბუნკერში მასალის შრის სიმაღლით (H), მკვებავის ღარის ვიბრაციის ამპლიტუდით (A) და ა.შ. ე.ი.

$$G = f(\nu, \mu, H, A).$$

აღნიშნული პარამეტრების გადახრისას ნომინალური მნიშვნელობებიდან $\Delta\nu, \Delta\mu, \Delta H$ სიდიდებით, მასალის ხარჯი შეიცვლება ΔG სიდიდით, წონითი ტრანსპორტერი გადაიხრება საწყისი მდგომარეობიდან, ხოლო ინდუქციური გადამწოდის ყვინთა გადაადგილდება Δh სიდიდით. ამ დროს გამზომში ხელსაწყოთა ისარი გაჩერდება ახალ მდგომარეობაში a , რომელიც განსხვავდება a_H მდგომარეობიდან, რომელიც შეესაბამება მასალის მოცემულ ხარჯს G_H .

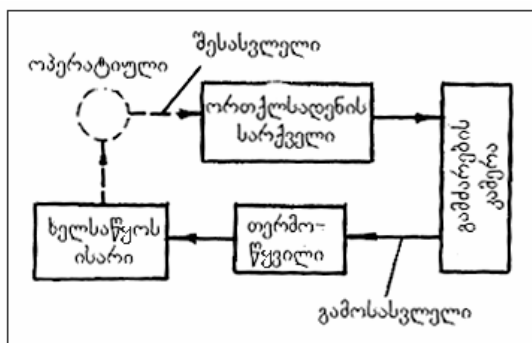
ოპერატორი გადაადგილებს რეოსტატის ძვრიას ΔS სიდიდით. ამით იგი შეცვლის დროსელის შემაგნიტების გრაგნილზე ძაბვას. ოპერატორი ცდილობს ისე შეარჩიოს ΔS სიდიდე, რომ ღარის რხევის ამპლიტუდის შეცვლით ΔA სიდიდით, მოახდინოს ν, μ ან H სიდიდეების შეცვლის შედეგად გამოწვეული ნივთიერების ხარჯის ცვლილებების ΔG კომპენსირება. თუ ასეთი კომპენსაცია იქნება მიღწეული, მაშინ ნივთიერების ხარჯი გახდება ტოლი მოცემული სიდიდისა და ხელსაწყოთა ისარი გაჩერდება a_H დანაყოფზე.

განხილულ მაგალითში მკვებავი, რომლის მწარმოებლურობასაც არეგულირებს ოპერატორი, წარმოადგენს რეგულირების ობიექტს, ხოლო მკვებავის მწარმოებლურობა (ფხვიერი მასალის ხარჯი G), რომლის მუდმივად შენარჩუნებას ცდილობს ოპერატორი – რეგულირებად სიდიდეს. მკვებავის ღარი ასრულებს მარეგულირებელი ორგანოს როლს, ვიბრატორი – აღმასრვლებელი მექანიზმის დანიშნულებას, ხოლო ორივე ერთად წარმოადგენენ აღმასრულებელ ელემენტს, რომელიც უშუალოდ ახდენს ზემოქმედებას მართვად საწარმოო პროცესზე.

რეგულირების განხილული სისტემა წარმოადგენს ხელით რეგულირების სისტემას.

რეგულირების სისტემის “შესასვლელია” მარეგულირებელი ორგანო (მკვებავის ღარი), “გამოსასვლელია” საკონტროლო-გამზომი ხელსაწყო, ხოლო ადამიანი ამყარებს სისტემის გამოსასვლელსა და შესასვლელს შორის კავშირს.

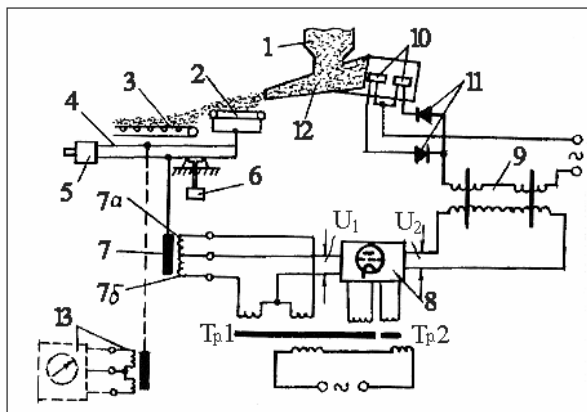
ნახ.8.2 წარმოდგენილია გასაორთქლ კამერაში ტემპერატურის ხელით რეგულირების ფუნქციონალური სქემა. დავუშვათ ტემპერატურის გასაზომად კამერაში დაყენებულია თერმოწყვილი. სქემაში ჩართულია მილივოლტმეტრი, რომლის სკალაც გრადუირებულია უშუალოდ გრადუსებში. ნაკეთობის თბოტენიანობითი დამუშავების გრაფიკის თანახმად, ტემპერატურა კამერაში შენარჩუნებული უნდა იყოს მუდმივად, ხუთი საათის განმავლობაში. ოპერატორი, რომელიც თვალყურს ადევნებს მილივოლტმეტრის ისარს, არეგულირებს კამერაში ცხელი ორთქლის მიწოდებას. კამერაში ტემპერატურის შემცირებისას ნომინალურთან შედარებით, ოპერატორი ადებს ორთქლსაშვებ სარქველს, კამერაში შედის ცხელი ორთქლი და მასში ტემპერატურა იზრდება. თუ კამერაში ტემპერატურა გადააჭარბებს დადგენილ სიდიდეს, ოპერატორი გადააკეტავს ორთქლსადენის სარქველს; კამერაში ორთქლის მიწოდება შეწყდება და ტემპერატურა დაიწევს.



ნახ.8.2. გასაორთქლ კამერაში ტემპერატურის ხელით რეგულირების ფუნქციონალური სქემა

განხილულ მაგალითში მარეგულირებელ ორგანოზე ზემოქმედებას ახდენს ოპერატორი (ადამიანი) და, მაშასადამე, საქმე გვაქვს ხელით რეგულირებასთან.

ნახ.8.3 მოცემულია ფხვიერი მასალის ავტომატური დოზატორის პრინციპული სქემა. სქემაზე 1 არის ბუნკერი; 2,3 – წონითი და შემკრები ტრანსპორტერები; 4 – მხრეული; 5 – საწონი; 6 – კვადრანტული ტვირთი; 7 – ინდუქციური გადამწოდი 7a და 7b კოჭათი; 8 – ელექტრონული გამაძლიერებელი; 9 – დროსელი შემაგნიტებით; 10 – ელექტრომაგნიტები; 11 – გამმართველი; 12 – ღარი; 13 – საკონტროლო-საზომი ხელსაწყო.



ნახ.8.3. ფხვიერი მასალის ავტომატური დოზატორის პრინციპული სქემა

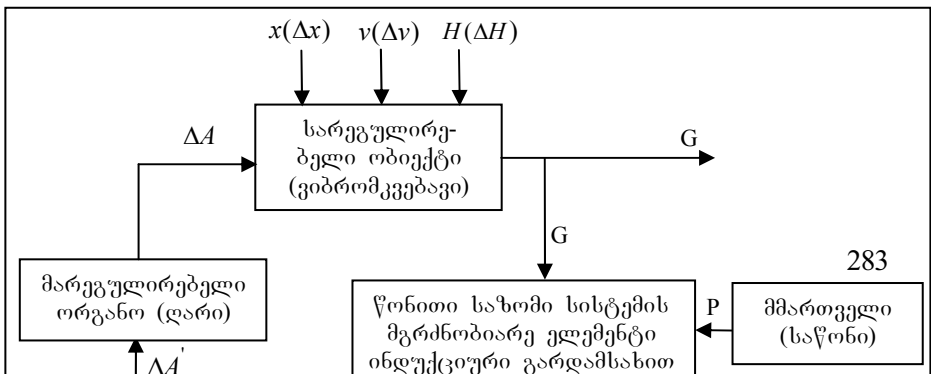
აღვნიშნავთ, რომ გამაძლიერებელი არ წარმოადგენს ავტომატური რეგულირების სისტემის აუცილებელ ელემენტს. პრინციპულად აუცილებელ ელემენტს არ წარმოადგენს,

აგრეთვე, საკონტროლო-საზომი ხელსაწყოც. ხელით რეგულირების სისტემაში საკონტროლო-საზომი ხელსაწყო აწარმოებს სარეგულირებელი პარამეტრის მნიშვნელობის რეგისტრირებას მოცემულ მომენტში, ხოლო სხვაობა სიდიდის ამ მნიშვნელობასა და მოცემულ მნიშვნელობას შორის (სარეგულირებელი სიდიდის გადახრას მოცემულობიდან) გამოითვლება ოპერატორის მიერ. ავტომატური რეგულირების სისტემაში ამ სხვაობის მიღება ხორციელდება მმართველი მოწყობილობის საშუალებით. ნახ. 8.3 წარმოდგენილი სქემის შემთხვევაში მმართველი მოწყობილობის როლს ასრულებს საწონი (5). მხრეულაზე საწონის მდებარეობისდა მიხედვით წონითი სისტემა წონასწორობაში იქნება ტრანსპორტერის წონის (G) სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს. დაბვა U_1 , ტოლი იქნება ნულის მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ინდუქციური გადამწოდის ყვინთას უჭირავს 7a და 7b კოჭებს შორის შუალედი მდებარეობა, ე.ი. როდესაც წონითი სისტემა იმყოფება წონასწორობაში. წონითი სისტემის გადახრისას წონასწორობის მდგომარეობიდან აღიძვრება სარეგულირებელი სიდიდის მოცემული მნიშვნელობიდან გადახრის პროპორციული დაბვა (U_1).

დაბვა U_1 საკმარისი არ არის დროსელის მუშა გრაგნილების ინდუქციური წინააღმდეგობის შესაცვლელად, ამიტომ ავტომატური რეგულირების სისტემაში გათვალისწინებულია გამაძლიერებელი (8) U_1 დაბვის გარდასაქმნელად U_2 დაბვად.

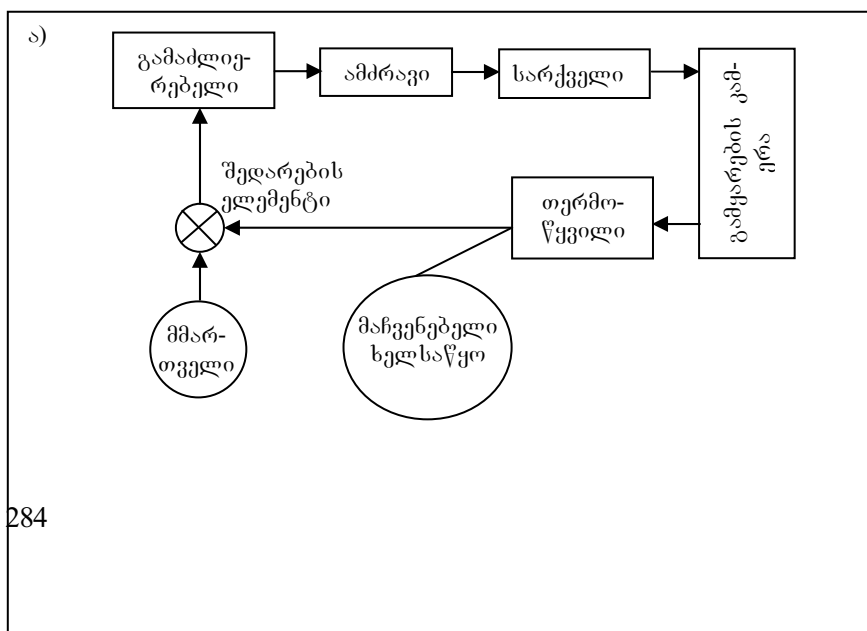
გამაძლიერებლისა და მმართველი მოწყობილობის როლს ხელით რეგულირების სისტემაში ასრულებს ოპერატორი, რომელიც გადააადგილებს რეოსტატის ძვრიას (ნახ.8.1) ხელსაწყოს ჩვენებების მოცემული სიდიდიდან გადახრისაგან დამოკიდებულებით.

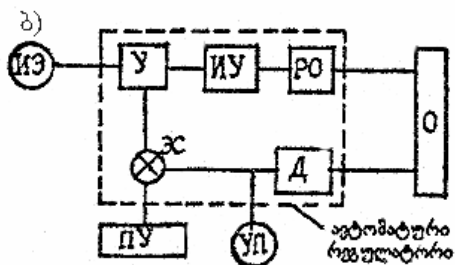
ნახ.8.4 მოცემულია ავტომატური დოზატორის ფუნქციონალური სქემა.



ნახ.8.4. ავტომატური დოზიტორის ფუნქციონალური სქემა

ნახ.8.5 ნაჩვენებია გასაორთქლ კამერაში ტემპერატურის ავტომატური რეგულირების სქემა. ხელით რეგულირების სქემისაგან (ნახ.8.2) განსხვავებით ავტომატური რეგულირების სქემა შეიცავს დამატებით სამ რგოლს – გამაძლიერებელს, პროგრამის მომწოდებელს (მმართველი, დამკვირვებელი) და შედარების ელემენტს. ავტომატური რეგულირების სისტემა იმუშავებს ტემპერატურის არასასურველი გადახრის ლიკვიდაციისათვის. მამოძრავებელ სიგნალს წარმოადგენს სარეგულირებელი სიდიდის მოცემულ მნიშვნელობასა და მის ფაქტიურ მნიშვნელობას შორის წარმოქმნილი შეუთავსებლობა.





ნახ.8.5. გასართქლ კამერაში ტემპერატურის ავტომატური რეგულირების სქემა: ა) ავტომატური რეგულირების სქემა გამაძლიერებლით, შედარების ელემენტითა და მმართველით; ბ) ფუნქციონალური სქემა

ნახაზზე 8.5,ბ აღნიშნულია: ИУ - აღმასრულებელი მოწყობილობა (ამძრავი); ИЭ - ენერგიის წყარო; Y - გამაძლიერებელი; РО - მარეგულირებელი ორგანო; О - სარეგულირებელი ობიექტი; Д - მგრძნობიარე ელემენტი-გადამწოდი; УП - მაჩვენებელი ხელსაწყო; ПУ - საპროგრამო მოწყობილობა (მმართველი); ⊗C - შედარების ელემენტი.

§2. ავტომატური რეგულირების სისტემების კლასიფიკაცია

ავტომატური რეგულირების სისტემების კლასიფიკაციას საფუძვლად უდევს სხვადასხვა ნიშან-თვისება.

რეგულირების მიზნისაგან და მმართველი ზემოქმედების ხასიათისაგან დამოკიდებულებით ავტომატური რეგულირების სისტემები იყოფიან ოთხ ჯგუფად: 1) ავტომატური მასტაბილიზებელი სისტემები; 2) პროგრამული ავტომატური რეგულირების სისტემები; 3) მოთვალთვალე სისტემები; 4) ექსტრემალური (ოპტიმალური) რეგულირების სისტემები.

ავტომატური მასტაბილიზებელი სისტემა წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია სარეგულირებელი სიდიდის მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად, ექსპლოატაციისათვის დასაშვებ საკმაოდ ვიწრო საზღვრებში. მაგალითად: ბეტონის ქარხნის მკვებავ ბუნკერებში შემავსებლისა და ცე-

მენტის დონის შენარჩუნება მუდმივად; მინის ქარხნების სააბაზანო ღუმელებში მინის მასის დონის შენარჩუნება მოცემულ მნიშვნელობაზე მინის სახარშავი ღუმელის მუშაობის რეჟიმის ნებისმიერად შეცვლის მიუხედავად; წყლის ავზიდან ხარჯის ცვალებადობის მიუხედავად წყლის დონის მოცემულ დონეზე შენარჩუნება გარკვეული სიზუსტით და სხვ.

პროგრამული ავტომატური რეგულირების სისტემა ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც გათვალისწინებულია სარეგულირებელი სიდიდის მოცემული სიზუსტით ავტომატურად შესაცვლელად დროში ან სხვა პარამეტრისაგან დამოკიდებულებით წინასწარ დადგენილი პროგრამით. უმეტეს შემთხვევაში შემაგალი სიგნელი X , ანუ პროგრამა დროის ფუნქციაა – $X=f(t)$. კერძო შემთხვევაში, როდესაც პროგრამა მუდმივია $X=const$, ავტომატური რეგულირების სისტემა მასტაბილიზირებელი გახდება. პროგრამული რეგულირების სისტემის მაგალითს წარმოადგენს რკინა-ბეტონის ნაკეთობათა თბოტენიანობითი დამუშავების რეჟიმი გასაორთქლ კამერაში. ცნობილია, რომ ტემპერატურა კამერაში იზრდება თანდათანობით განსაზღვრული გრაფიკით; შემდეგ წარმოებს მისი მუდმივად შენარჩუნება რამდენიმე საათის განმავლობაში, და, დასასრულ, გაორთქლის რეჟიმის დამთავრებისათვის ხდება ტემპერატურის თანდათანობითი შემცირება. განხილულ შემთხვევაში რეგულირების ობიექტს წარმოადგენს გამკვრივების კამერა, ხოლო მართვის სისტემის ამოცანას სარეგულირებელი სიდიდის (ტემპერატურის) შეცვლა ტექნოლოგიის შესაბამისად (წინასწარ დადგენილი პროგრამით).

მოთვალთვალე სისტემა ეწოდება მოწყობილობას, რომლის მოქმედების პროგრამა წინასწარ ცნობილი არ არის და იგი ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია რომელიმე სხვა პარამეტრთან, რომელიც შესაძლებელია ნებისმიერი იყოს.

მოთვალთვალე სისტემის მაგალითია ავტომატური პოტენციომეტრი. სარეგულირებელ სიდიდეს წარმოადგენს მაჩვენებელი ისრის მდებარეობა სკალაზე (შეესაბამება გაზომილი ტემპერატურის სიდიდეს), ხოლო მმართველ ზემოქმედებას – ტემპერატურა გაზომილი თერმოწყვილისა და პოტენციომეტრის კომპლექტით. ცხადია, რომ ტემპერატურა გაზომილი პირომეტრული კომპლექტით წინასწარ არ არის ცნობილი და

განისაზღვრება სარეგულირებელ ობიექტში პროცესის მსვლელობით.

მოთვალთვალე სისტემის მაგალითს წარმოადგენს, აგრეთვე, ჰიდრომონიტორის საშუალებით ქანის დამუშავება და მისი ტრანსპორტირება. მემონიტორე კონკრეტული სამუშაო ადგილის ხასიათისაგან დამოკიდებულებით მიმართავს წყლის ჭავლს, რომლის მოქმედების პროგრამა წინასწარ ცნობილი არ არის. ამ შემთხვევაში სარეგულირებელ ობიექტს წარმოადგენს მონიტორი, ხოლო მმართველ ზემოქმედებას – ქანის დამუშავება.

მოთვალთვალე სისტემები, გამოყენებული დეტალების დასამუშავებლად მოდელების ან ნიმუშების მიხედვით ლითონ-საჭრელ ჩარხებზე, იწოდებიან მაკოპირებელ სისტემებად. მაკოპირებელ სისტემაში წინასწარ დაგეგმილი მმართველი ზემოქმედება (წამყვანი სიგნალი) წარმოდგენილია კოდის სახით.

ექსტრემალური (ოპტიმალური) რეგულირების სისტემა ეწოდება ავტომატურ სისტემას, რომელშიც რეგულატორი ინარჩუნებს ცვალებადი გარემომცველი პირობებისათვის სარეგულირებელი სიდიდის ექსტრემალურ მნიშვნელობას – მინიმუმს ან მაქსიმუმს. ექსტრემალური სისტემა ოპტიმალური სისტემის კერძო სახეობაა.

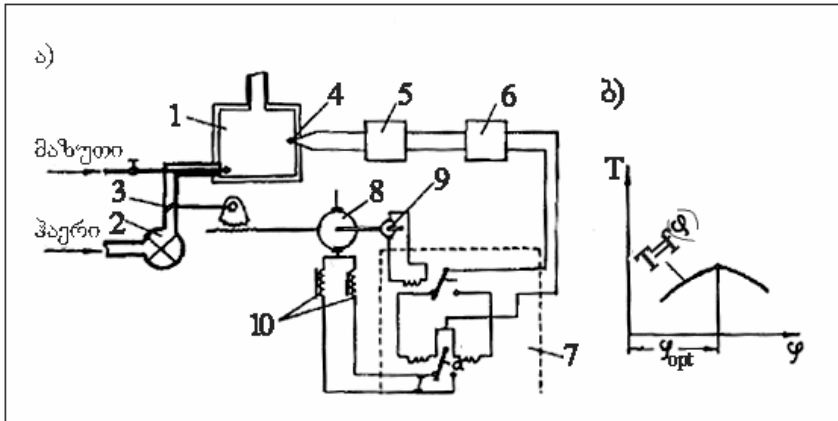
თუ სარეგულირებელი პარამეტრი - y შემაგალი სიგნალის x -ის ფუნქციაა - $y=f(x)$ და ეს ფუნქცია ექსტრემალური ხასიათისაა, მაშინ სარეგულირებელი პარამეტრის მიერ ექსტრემალური მნიშვნელობის მიღწევისას რეგულატორი არ მოქმედებს და $\frac{dy}{dx} = 0$; სხვა შემთხვევებში $\frac{dy}{dx} \neq 0$ და რეგულა-

ტორი მოქმედებაში შედის; როდესაც $\frac{dy}{dx} > 0$ მარეგულირებელი ორგანო ერთი მიმართულებით მოქმედებს, ხოლო,

როდესაც $\frac{dy}{dx} < 0$ – მეორე მიმართულებით.

ექსტრემალური რეგულირების მაგალითი მოცემულია ნახაზზე 8.6, ა. სათბობის (ჩვენ შემთხვევაში მაზუთის) ყოველ ხარჯს შეესაბამება ჰაერის ხარჯის განსაზღვრული მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ტემპერატურა ღუმელში იქნება მაქსიმალური. თუ შემცირდება ღუმელში მიწოდე-

ბული ჰაერის რაოდენობა ოპტიმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით, მაშინ მაზუთის დაუწვავი ნაწილის საკვამლე მილში გადინების გამო ღუმელში ტემპერატურა დაიწვეს. ჰაერის ხარჯის გაზრდაც იწვევს ტემპერატურის დაქვეითებას, ვინაიდან ჭარბ ჰაერს სითბოს მეტი რაოდენობა მიაქვს საკვამლე მილში. ექსტრემალური რეგულირების სისტემა ახდენს ჰაერის რაოდენობის რეგულირებას – ფარსაკეტის (3) დაყენების კუთხის φ -ის ცვალებადობით ისეთნაირად, რომ საწვავის მოცემული მიწოდების დროს ტემპერატურა ღუმელში იყოს მაქსიმალური. ნახაზზე 8.6,ა აღნიშნულია: 1 – ღუმელი; 2 – ვენტილატორი ჰაერის მისაწოდებლად; 3 – ფარსაკეტი; 4 – თერმოწყვილი; 5 – გამაძლიერებელი; 6 – მაღიფერენცირებელი ბლოკი; 7 – ლოგიკური ელემენტი; 8 – ფარსაკეტის ძრავა. a, b, I, II – კონტაქტები; A, B – ორპოზიციანი პოლარიზებული რელე; 9 – ტაქოგენერატორი; 10 – აგზნების გრაგნილები. სქემა მუშაობს შემდეგნაირად. თერმოწყვილის ძაბვა მიეწოდება გამაძლიერებელს, ხოლო უკანასკნელიდან გამომავალი სიგნალი მაღიფერენცირებელი ბლოკის გავლით ლოგიკურ ელემენტს, რომელიც აწარმოებს ფარსაკეტის ძრავას რევერსირებას, და შესაბამისად ძრავა (8) მუშაობს ფარსაკეტის გაღებაზე (თუ a და I კონტაქტებია შეკრული), და ფარსაკეტის დაკეტვაზე (როდესაც a და II კონტაქტებია შეკრული). ნახაზზე ნაჩვენებ მდგომარეობაში ძრავა (8) მუშაობს ფარსაკეტის გაღებაზე. მაშასადამე, ტემპერატურა ღუმელში მატულობს. როდესაც φ გადააჭარბებს თავის ოპტიმალურ მნიშვნელობას, ფარსაკეტის ძრავა ფარსაკეტის დაკეტვის მიმართულებით იწყებს ბრუნვას (a კონტაქტი მარჯვნივ მიიზიდება და ჩაიკეტება II კონტაქტი) და ა.შ. საჭირო გადართევებს პროცესის მიმდინარეობის მიხედვით არჩევს ლოგიკური ელემენტი (7).



ნახ.8.6. ღუმელში ტემპერატურის ექსტრემალური რეგულირება: ა) სქემა; ბ) ღუმელის ტემპერატურის გრაფიკი ფარსაკეტის დაყენების კუთხისგან დამოკიდებულებით

ნახაზზე 8.6ბ წარმოდგენილია ღუმელის ტემპერატურის T -ს გრაფიკი ფარსაკეტის დაყენების კუთხის ϕ -საგან დამოკიდებულებით, საწვავის ხარჯის გარკვეული მნიშვნელობისათვის.

ანალოგიური ექსტრემალური მახასიათებელი გააჩნია, აგრეთვე, ბეტონმრევს (ბეტონმრევ კვანძს). ცნობილია, რომ ბეტონის ნარევის დამზადების ხანგრძლივობა დამოკიდებულია მის შემადგენლობაზე. საწყის პერიოდში ნარევი მეტად არაერთგვაროვანია; გარკვეული დროის შემდეგ ნარევი თანდათანობით აღწევს ოპტიმალურ მნიშვნელობას. აღნიშნული პროცესის გაგრძელება იწვევს ბეტონის ნარევის განშრევებას ფრაქციებად. ამრიგად, რეჟიმის მართვის ამოცანაა არევის შეწყვეტა დროის იმ მომენტში, რომელიც შეესაბამება ნარევის ოპტიმალურ კონსისტენციას.

გაცილებით რთულ ობიექტს წარმოადგენს ექსტრემალური მახასიათებლით რკინაბეტონის ნაკეთობათა დამამზადებელი ქარხანა. ექსტრემუმის მაჩვენებელს წარმოადგენს ქარხნის მწარმოებლურობა პროდუქციის მინიმალური თვითღირებულებისა და მისი ოპტიმალური ხარისხის დროს.

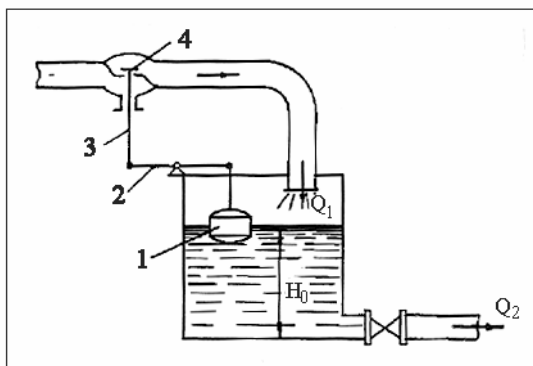
ამ ობიექტების რეგულირებისათვის, რომლებიც მუშაობენ ძალიან ცვალებად გარემომცველ პირობებში, გამოიყენება თვითაწყობადი სისტემები, რომლებსაც ტექნიკური კიბერნეტიკის სისტემები ეწოდებათ. ამ სისტემებს შეუძლიათ დიდი

ქარხნების, მსხვილი სამშენებლო ობიექტთა, სატრანსპორტო სისტემათა და სხვა საწარმოთა ავტომატური მართვა. თვითაწყობადი სისტემის უმარტივესი მაგალითია მართვის ექსტრემალური სისტემა, რომელიც განვიხილეთ.

§3. პირდაპირი და არაპირდაპირი რეგულირება

რეგულატორსა და მარეგულირებელ ორგანოს შორის კავშირისაგან დამოკიდებულებით ასხვავებენ პირდაპირ და არაპირდაპირ რეგულირებას. განვიხილოთ მაგალითები.

ნახ.8.7 მოყვანილია პირდაპირი ქმედების ავტომატური დონის ტივტივა რეგულატორი. ნახაზზე Q_1 -ით აღნიშნულია სითხის მოღინება, Q_2 -ით სითხის მოხმარება; H_0 არის სითხის დონე ჭურჭელში. ტივტივა უშუალოდ მოქმედებს მარეგულირებელ ორგანოზე – დროსელურ საფარზე და ამოძრავებს მას. ეს შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როდესაც მგრძნობიარე ელემენტის სიმძლავრე აღემატება აღმასრულებელი მექანიზმის ასამოქმედებელ სიმძლავრეს, ე.ი. პირდაპირი რეგულირება განისაზღვრება გადამწოდის გამოსავალი სიმძლავრით. მარეგულირებელი ორგანოს რეაქცია რეგულატორზე ამცირებს მის მგრძნობიარობას, რაც აუარესებს რეგულირების ხარისხს.

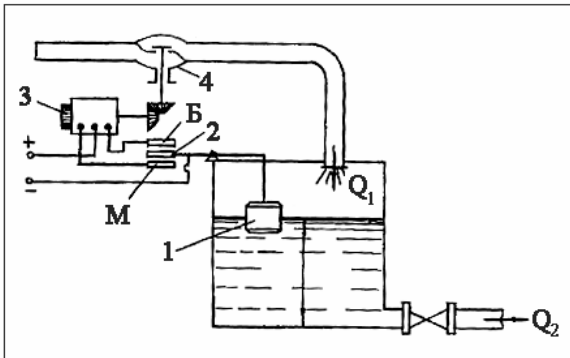


ნახ.8.7. პირდაპირი ქმედების ავტომატური დონის ტივტივა რეგულატორის სქემა

განხილული სქემის შემთხვევაში მარეგულირებელი ორგანო გადაადგილდება სარეგულირებელი ობიექტის ენერგიის ხარჯზე, კერძოდ, სითხის დონის ცვლილების ხარჯზე. ამასთან დონის აწევისას ტივტივა გადაადგილდება ამომგდები

ძალის მოქმედებით, ხოლო ღონის დაწევისას ტივტივას წონის გავლენით. ცხადია, რომ ტივტივას სიდიდე ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ მის მიერ განვითარებული ძალვა აღემატებოდეს სარქველის (დროსელური საფარის) გადაადგილების ძალვას.

ნახ.8.8 ნაჩვენებია არაპირდაპირი ქმედების ავტომატური ღონის ტივტივა რეგულატორი. არაპირდაპირი რეგულირების დროს რეგულატორი აღმასრულებელ მექანიზმზე მოქმედებს სპეციალური გამაძლიერებლის საშუალებით, რომელიც იკვებება დამხმარე ენერგიის წყაროდან. ჩვენ შემთხვევაში ტივტივა ბერკეტული სისტემით დაკავშირებულია მოძრავ ელექტრულ კონტაქტთან (2), რომელიც შეიძლება შეკრული იქნას უძრავ კონტაქტებთან B და M. ამისგან დამოკიდებულებით ელექტროძრავი (3) ბრუნავს ერთი ან მეორე მიმართულებით. ჭია რედუქტორის, ბერკეტებისა და მჭიმების სისტემის საშუალებით ელექტროძრავი აძებს ან კეტავს დროსელურ საფარს (4).



ნახ.8.8. არაპირდაპირი ქმედების ავტომატური ღონის ტივტივა რეგულატორის სქემა

აღწერილი სქემის შემთხვევაში მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილება წარმოებს ელექტრული აღმასრულებელი მექანიზმით, რომელიც იყენებს გარეშე წყაროს ენერგიას.

§4. სტატიკური და ასტატიკური რეგულირება

ავტომატური რეგულირების დროს მიღებული შედეგებისაგან დამოკიდებულებით ასხვავებენ ავტომატური რეგულირების ორ სახეს: სტატიკურ ანუ პროპორციულ რეგულირებას და ასტატიკურ ანუ ინტეგრალურ რეგულირებას (პროპორციულ რეგულირებას ეწოდება, აგრეთვე, Π – რეგულირება, ხოლო ინტეგრალურს – I რეგულირება).

სტატიკური რეგულირება ეწოდება ისეთ რეგულირებას, რომლის დროსაც სარეგულირებელი სიდიდე რეგულირების ობიექტზე სხვადასხვა გარე ზემოქმედების (მაგალითად დატვირთვა) დროს გარდამავალი პროცესის დამთავრებისას დებულობს ზემოქმედების სიდიდისაგან დამოკიდებულ სხვადასხვა მნიშვნელობას; ამასთან, სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა საშუალო (პროგრამულ) მნიშვნელობიდან არ უნდა გამოდიოდეს რეგულირების ზონის საზღვრებიდან.

დაუზრუნდეთ ავზში წყლის დონის ავტომატური რეგულირების მაგალითს (იხ.ნახ.8.7). წყლის ხარჯის (Q_2) გაზრდის დროს წყლის დონე ავზში დაეცემა, ტივტივა დაიწვეს და დროსელური საფარის გადაადგილება გამოიწვევს ავზში სითხის მოდინების (Q_1) გაზრდას. წყლის დონის ახალი გარკვეული მნიშვნელობის დროს ავზში დამყარდება წონასწორობა, რომლის დროსაც სითხის მოდინება გაუტოლდება მის მოხმარებას ($Q_1=Q_2$). რაც მეტი იქნება წყლის მოხმარება, უფრო მეტად იქნება გაღებული სარქველი წონასწორობის მდგომარეობაში და, მაშასადამე, ტივტივაც და წყლის ახალი დონეც დაბლა იქნება განლაგებული. ცხადია, რომ უდიდესი მოხმარება, რომელიც შეიძლება უზრუნველყოს სისტემამ, მიიღწევა დროსელური საფარის მთლიანად გახსნის შემთხვევაში; მოხმარება იქნება მაქსიმალური, ხოლო წყლის დონე ავზში – მინიმალური. თუ მოხმარება გაუტოლდება ნულს ($Q_2=0$), წყლის დონე იქნება მაქსიმალური, ხოლო სარქველი იქნება მთლიანად დაკეტილი ($Q_1=0$). ამრიგად, სარეგულირებელი წყლის დონე რეგულირების სტატიკურ სისტემაში შესაძლებელია მერყეობდეს $H_{\max}$ -დან $H_{\min}$ -მდე.

მარეგულირებელი ორგანოს მდებარეობის დამოკიდებულება სარეგულირებელი პარამეტრის მნიშვნელობისაგან, განხილული მაგალითის შემთხვევაში, მათემატიკურად შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებით

$$S = K_1 \cdot P, \quad (8.1)$$

სადაც S არის მარეგულირებელი ორგანოს (დროსელური საფარის) მდებარეობა; განისაზღვრება წრფივ ან კუთხურ ერთეულებში რაიმე საწყისი (ნულოვანი) მდებარეობიდან;

P – სარეგულირებელი პარამეტრის (წყლის დონე) მნიშვნელობა, რომლის ათვლაც წარმოებს რაიმე საწყისი (ნულოვანი) მნიშვნელობიდან;

K_1 – პროპორციულობის კოეფიციენტი.

სტატიკური რეგულირების დროს მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილების სიჩქარე, სარეგულირებელი პარამეტრის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია, ე.ი.

$$\frac{ds}{dt} = K_1 \frac{dp}{dt}; \quad (8.2)$$

აქ $\frac{ds}{dt}$ არის მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილების სიჩქარე;

$\frac{dp}{dt}$ – სარეგულირებელი პარამეტრის ცვლილების სიჩქარე.

ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი:

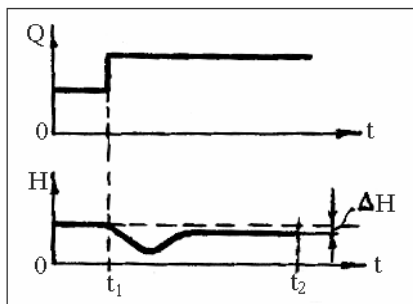
ა) სტატიკური რეგულირების დროს სისტემის წონასწორობა შესაძლებელია სარეგულირებელი სიდიდის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს;

ბ) სარეგულირებელი სიდიდის თითოეულ მნიშვნელობას შეესაბამება მარეგულირებელი ორგანოს გარკვეული მდებარეობა.

ნახაზებზე 8.9 და 8.10 მოცემულია სარეგულირებელი პარამეტრის ცვლილების გრაფიკი სტატიკური რეგულირების დროს და სტატიკური რეგულირების მახასიათებელი.

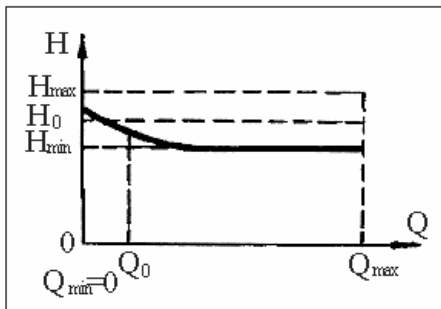
სარეგულირებელი პარამეტრის გადახრას მისი პროგრამული მნიშვნელობიდან ეწოდება სისტემის აბსოლუტური სტატიკური ცდომილება, ე.ი.

$$\Delta H = H - H_0. \quad (8.3)$$



ნახ.8.9.

სარეგულირებელი
პარამეტრის ცვლი-
ლების გრაფიკი
სტატიკური რეგული-



ნახ.8.10. სტატიკური
რეგულირების მახა-
სიათებელი

აბსოლუტური ცდომილების შეფარდებას პროგრამულ მნიშვნელობასთან ეწოდება ფარდობითი სტატიკური ცდომილება

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{H - H_0}{H_0}. \quad (8.4)$$

ზონის ფარდობით სიგანეს

$$\frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_0}$$

ეწოდება რეგულირების სისტემის უთანაბრობის კოეფიციენტი, ანუ სისტემის სტატიზმი

$$\delta = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_0} = \frac{\text{ცდომილება}}{\text{შეშვოთება}}. \quad (8.5)$$

აქ $H_{\max}$ და $H_{\min}$ შესაბამისად წყლის მაქსიმალური და მინიმალური დონეებია ავზში, რომელთაც შეესაბამებათ წყლის მოხმარების (Q_2 -ის) უმცირესი და უდიდესი მნიშვნელობები.

ნახ.8.9 ჩანს, რომ დატვირთვის ნახტომისებურად გადახრისას t_1 მომენტში საპროგრამო მნიშვნელობიდან, სარეგულირებელი პარამეტრი გარკვეული დროის გავლის შემდეგ t_2 მომენტში დებულობს ახალ წონასწორობის მდგომარეობას (როდესაც სითხის მოდინება უტოლდება მის მოხმარებას). ეს შესაძლებელია მარეგულირებელი ორგანოს ახალი მდე-

ბარეობის დროს, ე.ი. სარეგულირებელი პარამეტრის პროგრამულ მნიშვნელობასთან შედარებით განსხვავებული მნიშვნელობის შემთხვევაში (სარეგულირებელი პარამეტრის ახალი მნიშვნელობის დროს). ამ შემთხვევაში სარეგულირებელი პარამეტრი გადაიხრება ΔP სიდიდით (იხ. ნახ.8.7).

სტატიკური რეგულირების დადებითი თვისებაა რეგულირების სისწრაფე და მდგრადი ფუნქციონალური დამოკიდებულება მარეგულირებელ ორგანოსა და სარეგულირებელ პარამეტრს შორის, ხოლო უარყოფითი მხარეა სტატიკური ცდომილების არსებობა.

ასტატიკური რეგულირება ეწოდება ისეთ რეგულირებას, რომლის დროსაც რეგულირების ობიექტზე სხვადასხვა გარე შემაფოთებელი ზემოქმედების (მაგალითად დატვირთვა) დროს გარდამავალი პროცესის დამთავრებისას სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა პროგრამული მნიშვნელობიდან უტოლდება ნულს, ე.ი. აღსდგება სარეგულირებელი სიდიდის პროგრამული მნიშვნელობა.

ავზში წყლის დონის ავტომატური რეგულირების ასტატიკური სისტემის პრინციპიალური სქემა განმარტებულია არაპირდაპირი ქმედების ავტომატური დონის ტივტივა რეგულატორის (იხ. ნახ. 8.8) მაგალითზე. ავზში სითხის დონის ცვლილებისაგან დამოკიდებულებით ტივტივა გადაადგილებს მოძრავ ელექტრულ კონტაქტს, რომელიც გაუშვებს ელექტროძრავს შესაბამისად “წინ” და “უკან” მიმართულებით. ამრიგად, განხორციელდება დროსელური საფარის მდებარეობის მართვა. ძრავი გამოირთვება მაშინ, როდესაც წყლის დონე ავზში მიაღწევს პროგრამულ მნიშვნელობას.

მარეგულირებელი ორგანოს სიჩქარე ასტატიკური რეგულირების დროს პროპორციულია სარეგულირებელი პარამეტრის გადახრის სიდიდისა. მათემატიკურად აღნიშნული შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად

$$\frac{ds}{dt} = K_2 P, \quad (8.6)$$

სადაც $\frac{ds}{dt}$ არის მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილების სიჩქარე;

P – სარეგულირებელი პარამეტრის გადახრა პროგრამული მნიშვნელობიდან;

K_2 – პროპორციულობის კოეფიციენტი.

8.6 განტოლების ინტეგრირების შედეგად მივიღებთ დამოკიდებულებას მარეგულირებელი ორგანოს მდებარეობასა და სარეგულირებელი პარამეტრის ცვლილებას შორის

$$S = K_2 \int p dt + S_0. \quad (8.7)$$

აქ S_0 არის დროსეღური საფარის საწყისი მდებარეობა დროის $t=0$ მომენტში. (აღვნიშნავთ, რომ S განისაზღვრება ნებისმიერი საწყისი ნულოვანი მდებარეობიდან, ხოლო P სარეგულირებელი პარამეტრის პროგრამული მნიშვნელობიდან).

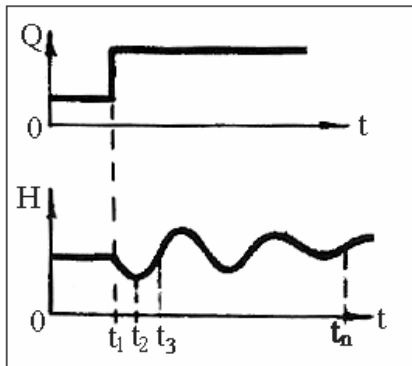
ასტატიკური სისტემის დამახასიათებელი თავისებურებებია:

ა) სისტემის წონასწორობა შესაძლებელია სარეგულირებელი სიდიდის მხოლოდ ერთი მნიშვნელობის დროს, რომელიც შეესაბამება მის პროგრამულ სიდიდეს;

ბ) მარეგულირებელ ორგანოს უნდა შეეძლოს დაიკავოს სხვადასხვა მდებარეობა, სარეგულირებელი სიდიდის ერთი და იგივე მნიშვნელობის დროს.

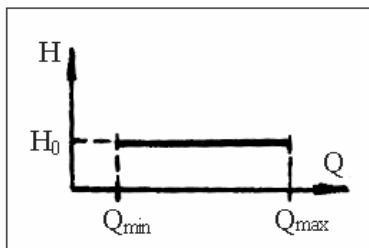
განვიხილოთ რეგულირების რეჟიმი გარდამავალი პროცესის დროს (ნახ.8.11). სითხის მოხმარების ნახტომისებურად გაზრდისას დროის t_1 მომენტში, წყლის დონე ავზში დაეცემა და ტივტივა დაეშვება ქვევით, რის შედეგადაც მოძრავი ელექტრული კონტაქტი შეიკვრება M კონტაქტთან. ელექტროძრავა იწყებს ბრუნვას და დროსეღური საფარი იხსნება. სითხის მოდინება გაიზრდება და გაუტოლდება სითხის მოხმარებას. დროის t_2 მომენტში დონის დაცემა შეწყდება, მაგრამ სითხის დონე ავზში არ იქნება პროგრამული მნიშვნელობის შესაბამისი (ნაკლები იქნება). ამიტომ კონტაქტები დარჩება შეკრული და ძრავა განაგრძობს ბრუნვას იგივე მიმართულებით. სითხის მოდინება იზრდება, ვიდრე წყლის დონე ავზში არ გაუტოლდება საწყის პროგრამულ მნიშვნელობას. დროის t_3 მომენტში მოძრავი კონტაქტი (2) იკავებს ნეიტრალურ მდებარეობას, კონტაქტები განირთვება და ელექტროძრავი გაჩერდება. მაგრამ რეგულირების პროცესი გრძელდება Δt დროის განმავლობაში, რაც გაპირობებულია ელექტროძრავისა და რედუქტორის ინერციით. ეს გამოიწვევს დროსეღური საფარის დამატებით გახსნას და წყლის დონის აწევას. წყლის დონე ავზში გაუტოლდება

პროგრამულს t_n დროის შემდეგ. ასტატიკური რეგულირების მახასიათებელი (ნახ.8.12) გვიჩვენებს, რომ სარეგულირებელი პარამეტრის სიდიდე (სითხის დონე ავზში) არ არის დამოკიდებული დატვირთვისაგან (სითხის მოხმარებისაგან).



ნახ.8.11. სარეგულირებელი პარამეტრის ცვლილების გრაფიკი ასტატიკური რეგულირების დროს

ასტატიკური რეგულირების დადებითი თვისებაა სარეგულირებელი პარამეტრის პროგრამული მნიშვნელობის შენარჩუნების უნარი (ასტატიკური რეგულირების სტატიკში თეორიულად ნულის ტოლია), ხოლო უარყოფითი – დიდი ინერციულობა გარდამავალ რეჟიმში.



ნახ.8.12. ასტატიკური რეგულირების მახასიათებელი

§5. იზოდრომული რეგულირება

იზოდრომული რეგულირება (პროპორციულ-ინტეგრალური რეგულირება, ანუ ПИ-რეგულირება) ხასიათდება სტატიკური და ასტატიკური რეგულირებისათვის დამახასიათებელი თვისებებით. მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილება დამოკიდებულია სარეგულირებელი პარამეტრის გადახრის

სიდიდეზე და სიჩქარეზე (გადახრის სიდიდის ინტეგრალზე დროის მიხედვით).

ანალიზურად ეს კავშირი შეიძლება წარმოვადგინოთ განტოლების სახით:

$$\frac{ds}{dt} = K_1 \frac{dp}{dt} + K_2 P. \quad (8.8)$$

მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილება განისაზღვრება გამოსახულებით

$$S = K_1 P + K_2 \int p dt + S_0. \quad (8.9)$$

იზოდრომული რეგულირება სორციელდება შემდეგნაირად. მარეგულირებელი ორგანო თავდაპირველად გადაადგილდება სარეგულირებელი პარამეტრის პროგრამული მნიშვნელობიდან გადახრის სიდიდისაგან დამოკიდებულებით (სტატიკური რეგულირება), ხოლო შემდეგ ასრულებს დამატებით გადაადგილებას სტატიკური ცდომილების აცილებისათვის (ასტატიკური რეგულირება).

იზოდრომული რეგულირება იძლევა გაცილებით უკეთეს შედეგებს, ვიდრე სტატიკური და ასტატიკური. პროცესი მიმდინარეობს სწრაფად, უმნიშვნელო რხევებით და სარეგულირებელი პარამეტრი გარდამავალი პროცესის დამთავრებისას დებულობს პროგრამულ მნიშვნელობას.

§6. სარეგულირებელი ობიექტების ძირითადი თვისებები

სარეგულირებელი ობიექტების ძირითად თვისებებს მიეკუთვნება: **1)** ობიექტის ტევადობა; **2)** თვითგათანაბრება; **3)** გაქანების დრო და ობიექტის გაქანების სიჩქარე; **4)** დაგვიანება.

ობიექტის ტევადობა. სარეგულირებელი ობიექტის ტევადობა ანუ სააკუმულაციო უნარი ეწოდება რეგულირების ობიექტში დაგროვილი ენერგიის ან ნივთიერების მარაგს (სითხის დონე, აირის წნევა, სითბოს რაოდენობა, გარემოს ტენიანობა, ხსნარების კონცენტრაცია და სხვ.). ზოგადი სახით ობიექტის ტევადობა განისაზღვრება ნივთიერების ან ენერგიის დაგროვების ხარისხით. ტევადობის სიდიდე დამოკიდებულია სარეგულირებელი ობიექტის ზომებზე. სარეგულირებელი ობიექტის მცირე ტევადობის შემთხვევაში სწრაფად იცვლება სარეგულირებელი პარამეტრი მუშა

გარემოს (სითხის დონე ან ტემპერატურა) მოდინებასა და მოხმარებას შორის ბალანსის დარღვევისას. ობიექტის დიდი ტევადობა ამცირებს სარეგულირებელი პარამეტრის შეცვლის სიჩქარეს. აქედან დასკვნა – დიდი ტევადობის მქონე ობიექტები გამოირჩევიან მეტი მდგრადობით, ე.ი. მათი რეგულირება გაადვილებულია. მაგალითად, რამდენადაც დიდია წყლის ავზის ტევადობა, იმდენად ნელა იცვლება წყლის დონე; რამდენადაც დიდია ორთქლის ქვაბის ტევადობა, იმდენად ნელა იცვლება ორთქლის წნევა, ქვაბში ორთქლის მოხმარების ცვალებადობის დროს.

ასხვავებენ ერთტევადიან და მრავალტევადიან ობიექტებს, ტევადობას მოდინებისა და მოხმარების მხარეზე. ერთტევადიანი ობიექტის მაგალითს წარმოადგენს ჭურჭელი, რომელშიც წარმოებს სითხის დონის რეგულირება. ორი ჭურჭელი შეერთებული მოკლე მილით, როდესაც მოდინება წარმოებს ერთ ჭურჭელში, ხოლო მოხმარება მეორე ჭურჭლიდან, წარმოადგენს ორტევადიან ობიექტს. მილის მოკლე უბანი, რომელშიც ხდება ხარჯის ან წნევის რეგულირება, შეიძლება განვიხილოთ, როგორც უტევადო ობიექტი. მოდინების მხარეზე ტევადობის მაგალითს წარმოადგენს თბოტენიანობითი დამუშავების რეჟიმის კამერებში სითბოს რაოდენობა, რომელსაც შეიცავს კამერაში შესული ორთქლი, ხოლო ტევადობა მოხმარების მხარეზე განისაზღვრება სითბოს რაოდენობით, რომელსაც შეიცავს გასაორთქლი რკინაბეტონის ნაკეთობა გახურების შემდეგ.

ობიექტის ტევადობა ხასიათდება ტევადობის კოეფიციენტით. ტევადობის კოეფიციენტი ეწოდება ენერგიის ან ნივთიერების იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა მიყვანილი იქნას ობიექტში ან არინებული იქნეს მისგან, რათა სარეგულირებელი სიდიდე შეიცვალოს ზომის ერთეულით. მაგალითად, ობიექტში ტემპერატურის რეგულირების დროს, ტევადობის კოეფიციენტი განისაზღვრება სითბოს იმ რაოდენობით კალორიებში, რომელიც საჭიროა ობიექტში ტემპერატურის შესაცვლელად 1°C -ით; ავზში სითხის დონის რეგულირებისას – სითხის რაოდენობით (მ^3 -ში), რომელიც აუცილებელია ავზში დონის

შესაცვლელად 1 მ-ით. უმეტეს შემთხვევებში ტევადობის კოეფიციენტი ცვლადი სიდიდეა.

ზოგადი სახით ტევადობის კოეფიციენტი შეიძლება გა-
მოითვალოს ფორმულით

$$K_e = \frac{C}{R}, \quad (8.10)$$

სადაც C არის ობიექტის ტევადობა;

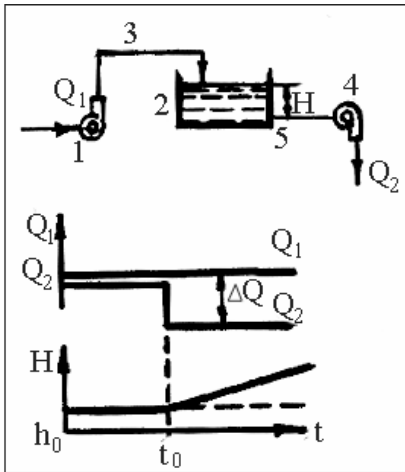
R – სარეგულირებელი სიდიდე.

ტევადობის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება ობიექტის მგრძნობიარობა შემაშფოთებელი ზემოქმედებისადმი.

რეგულირების პროცესის თვითგათანაბრება. რეგულირების პროცესის გათანაბრება გულისხმობს ოპერატორის ან რეგულატორის მოქმედების შედეგად მოდინებასა და მოხ-
მარებას შორის ბალანსის დამყარებას.

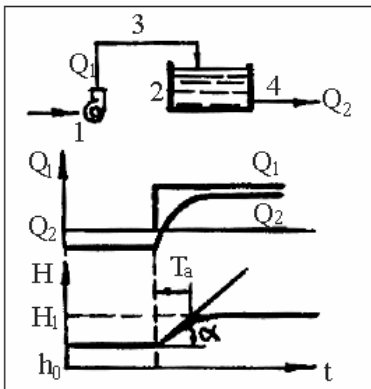
რეგულირების პროცესის თვითგათანაბრება ეწოდება სარეგულირებელი ობიექტის თვისებას, მოდინებასა და მოხ-
მარებას შორის წონასწორობის დარღვევის შემდეგ, დამოუ-
კიდებლად დაუბრუნდეს წონასწორობის მდგომარეობას ოპ-
ერატორის ან რეგულატორის მონაწილეობის გარეშე.

განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ სითხე იწვნეხება ტუმბოთი (1) ავზში (2) (ნახ.8.13). ავზიდან სითხე ამოიტუმბება ტუმბოთი (4) მილის (5) საშუალებით. მოდინებასა (Q_1) და მოხმარებას (Q_2) შორის წონასწორობის დარღვევისას სითხის დონე ავზში მაქსიმალურად აიწევს ან დაიწევს. ამ შემთხვევაში პროცესს არ გააჩნია თვითგათანაბრების თვისება.



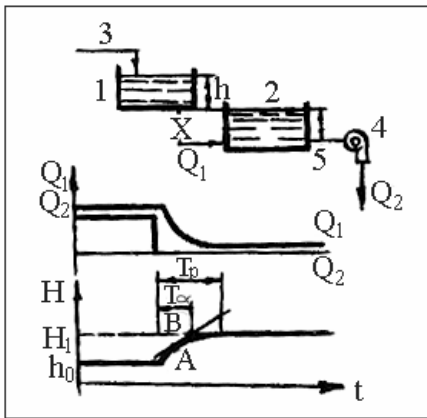
ნახ.8.13. ასტატიკური ობიექტის სქემა და დატვირთვის ცვლილების გრაფიკი

ნახ.8.14-ის შემთხვევაში ავზში სითხე მიეწოდება ტუმბოთი, ხოლო მოხმარება ხორციელდება თავისუფლად, ავზის ფსკერთან მიერთებული მილის (5) საშუალებით. მოდინებასა და მოხმარებას შორის წონასწორობის დარღვევის შემთხვევაში სითხის დონე ავზში შეიცვლება. თუ $Q_1 > Q_2$ დონე აიწევს. ჰიდროსტატიკური წნევის გაზრდის გამო გაიზრდება მოხმარება (Q_2) და გარკვეული დროის შემდეგ დამყარდება წონასწორობა ($Q_1 = Q_2$). ამასთან სითხის დონის ზრდას ადგილი აღარ ექნება. მოდინების შემცირების შემთხვევაში სითხის დონე დაიწევს, შემცირდება ჰიდროსტატიკური წნევა და კვლავ აღსდგება წონასწორობა ავზში სითხის დონის ახალი (ნაკლები) მნიშვნელობის დროს.



ნახ.8.14. სტატიკური ობიექტის სქემა და დატვირთვის ცვლილების გრაფიკი

თუ სითხე ავზში (2) მოედინება რეზერვუარიდან (1) (ნახ. 8.15), რომელშიაც სითხის დონე პრაქტიკულად უცვლელია, ხოლო ავზიდან ამოიტუმბება ტუმბოთი (4), მაშინ Q_1 და Q_2 შორის წონასწორობის დარღვევის შემთხვევაში სითხის დონე (H) შეიცვლება, რის გამოც შეიცვლება სითხის დონეთა სხვაობა (h) რეზერვუარსა და ავზს შორის. თუ მოხმარება – Q_2 გაიზრდება, h-იც გაიზრდება და შესაბამისად მოიმატებს მოდინებაც (Q_1). რამდენიმე ხნის შემდეგ დამყარდება წონასწორობის ახალი მდგომარეობა. მოდინების (Q_1) შემცირება გამოიწვევს h-ის შემცირებას; შესაბამისად შემცირდება მოხმარება (Q_2) და წონასწორობა აღდგება, დონის შემდგომი მატება შეწყდება. განხილულ მაგალითში რეგულირების პროცესს გააჩნია თვითგათანაბრების თვისება. ნახ.8.14-ის შემთხვევაში თვითგათანაბრებას ადგილი აქვს მოხმარების მხარეზე, ხოლო ნახ. 8.15-ის შემთხვევაში კი მოდინების მხარეზე.



ნახ.8.15. სარეგულირებო ობიექტის სქემა თვითგათანაბრებით მოდინების მხარეზე და დატვირთვის ცვლილების გრაფიკი

თვითგათანაბრება შეიძლება იყოს დადებითი და უარყოფითი. ობიექტები დადებითი თვითგათანაბრების თვისებით ხასიათდებიან იმით, რომ სარეგულირებელი სიდიდის ცვლილებისას დარღვეული წონასწორობა აღსდგება ოპერატორისა და რეგულატორის მონაწილეობის გარეშე (მდგრადი ობიექტები).

ობიექტები, რომლებიც თვითგათანაბრებით ხასიათდებიან და დარღვეული წონასწორობა მიისწრაფვის თვითმატებისაკენ, არამდგრადი ეწოდებათ.

ობიექტის თვითგათანაბრების უნარი ხასიათდება თვითგათანაბრების ხარისხით ან კოეფიციენტით:

$$\nu = \frac{d(q_1 - q_2)}{dx} = \frac{dq}{dx}, \quad (8.11)$$

სადაც q_1 არის სითბოს, სითხის, აირის და ა.შ. ფარდობითი მოდინება ობიექტში;

q_2 – სითბოს, სითხის, აირის და ა.შ. ფარდობითი მოხმარება ობიექტიდან;

q – დროის მოცემულ მომენტში ობიექტში მოდინებისა და მოხმარების ფარდობითი სხვაობა;

x – ობიექტში სარეგულირებელი სიდიდის ფარდობითი გადახრა.

თვითგათანაბრება განაპირობებს სარეგულირებელი ობიექტის მდგრადობას და აადვილებს რეგულირების პროცესს (რეგულატორის მუშაობას). რაც მეტია თვითგათანაბრების ხარისხი (ν), იმდენად მდგრადია რეგულირების პროცესი (სწრაფად აღსდგება ხანმოკლე შემაშფოთებელი ზემოქმედებით დარღვეული წონასწორობა).

ამრიგად, ავტომატური რეგულირების ობიექტები იყოფიან: მდგრად (ხასიათდებიან თვითგათანაბრების თვისებით), ე.წ. სტატიკურ ობიექტებად; ნეიტრალურ (თვითგათანაბრების თვისება არ გააჩნიათ), ე.წ. ასტატიკურ ობიექტებად და არამდგრად (ხასიათდებიან უარყოფითი თვითგათანაბრების თვისებით) ობიექტებად.

გაქანების დრო და ობიექტის გაქანების სიჩქარე. დრო, რომლის განმავლობაშიც სარეგულირებელი პარამეტრი შეიცვლება საწყისი მნიშვნელობიდან (h_0) ახალ მნიშვნელობამდე (H_1), იწოდება რეგულირების ობიექტის დროის მუდმივად (T_d). იგი ახასიათებს ობიექტის ინერციულობას და დამოკიდებულია ობიექტის ტევადობის კოეფიციენტზე.

ერთტევადიანი ობიექტის შემთხვევაში დრო (T_d) (ნახ.8.15) განისაზღვრება გაქანების მრუდზე აღებულ ნებისმიერ A წერტილში გავლებული მხების გადაკვეთით სარეგულირე-

ბელი პარამეტრის - H დამყარებული მნიშვნელობის შესაბამის საზოგადოებაში B წერტილში.

გაქანების დრო ($T_{\text{გაქ}}$) ეწოდება პერიოდს, რომლის განმავლობაშიც სარეგულირებელი პარამეტრი იცვლება ნულიდან თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე მყისიერი შემაშვოთებელი ზემოქმედების შედეგად. მიიღება, რომ ცვლილების სიჩქარე რჩება მუდმივი და დატვირთვა არ არსებობს.

რეგულირების ობიექტის დროის მუდმივა - T_a განსაზღვრავს ობიექტის გაქანების დროს, როდესაც თვითგათანაბრებას ადგილი არა აქვს.

განხილულ მაგალითში გაქანების დრო წარმოადგენს დროს, რომლის განმავლობაშიც ავზის ტევადობა აღწევს მინიმუმს ან მაქსიმუმს მოდინებასა და მოხმარებას შორის მაქსიმალური სხვაობის არსებობისას.

$$\text{განხილული მაგალითისათვის } T_{\text{გაქ}} = \frac{H_{\max} F}{Q_{\max}}, \quad (8.12)$$

სადაც $H_{\max}$ არის სითხის დონის შესაძლო უდიდესი მნიშვნელობა;

F – ავზის განივკვეთის ფართი;

$Q_{\max}$ – მოდინება ან მოხმარება ობიექტში წონასწორობის მაქსიმალურად დარღვევის დროს.

გაქანების დროის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება გაქანების სიჩქარე ან ობიექტის მგრძნობიარობა შემაშვოთებელი ზემოქმედებისადმი

$$\varepsilon = \frac{1}{T_{\text{გაქ}}}. \quad (8.13)$$

გაქანების სიჩქარე წარმოადგენს სარეგულირებელი პარამეტრის შეცვლის სიჩქარეს მაქსიმალური შემაშვოთებელი ზემოქმედებისას.

თვითგათანაბრების დრო მიახლოებით შეიძლება განსაზღვრული იქნეს ფორმულით

$$t = \frac{3T_{\text{გაქ}}}{\nu}, \quad (8.14)$$

სადაც ν ობიექტის თვითგათანაბრების კოეფიციენტი.

დაგვიანება. სარეგულირებელი სიდიდის შეცვლა ხორციელდება შემაშვოთებელი ზემოქმედების წარმოქმნის მო-

მენტიდან გარკვეული დროის შემდეგ, რომელსაც რეგულირების პროცესის დაგვიანების დრო ეწოდება.

ორტევადიან და მრავალტევადიან ობიექტებს გააჩნიათ გადამცემი და გარდამავალი დაგვიანებები, ხოლო ერთტევადიან ობიექტებს მხოლოდ გადამცემი დაგვიანება.

გადამცემი (სატრანსპორტო, დისტანციური ან სუფთა) დაგვიანება არის დრო, რომლის განმავლობაშიც სარეგულირებელი სიდიდე შემაშფოთებელი ზემოქმედების მიუხედავად არ იცვლება. გადამცემი დაგვიანება დამოკიდებულია ობიექტის დატვირთვაზე. რაც მეტია დატვირთვა, იმდენად ნაკლებია გადამცემი დაგვიანება, ვინაიდან მგრძნობიარე ელემენტი (გადამწოდი) შემაშფოთებელ ზემოქმედებაზე რეაგირებას მოახდენს ადრე. გადამცემი დაგვიანება დამოკიდებულია, აგრეთვე, ობიექტის ტევადობაზე. რაც მეტია ტევადობა, იმდენად მეტია გადამცემი დაგვიანების დრო. დიდი გადამცემი დაგვიანება ართულებს რეგულირების პროცესს.

გარდამავალი (ტევადური) დაგვიანება არის დრო, რომელიც დამოკიდებულია ობიექტის ტევადობებს შორის თბური, ჰიდრაულიკური და სხვა წინააღმდეგობებისაგან, ე.ი. გარდამავალი დაგვიანება პრაქტიკულად ხასიათდება იმ დროით, რომელიც საჭიროა ტევადობებს შორის წინააღმდეგობების დასაძლევად. გარდამავალი დაგვიანება უარყოფითად მოქმედებს რეგულირების ხარისხზე.

გადამცემი და გარდამავალი დაგვიანებების ჯამი იწოდება მთლიანი დაგვიანების დროდ:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2. \quad (8.15)$$

რაც მეტია მთლიანი დაგვიანების დრო, იმდენად ძნელი სარეგულირებელია პროცესი.

დაგვიანების თვისებით ხასიათდება არა მარტო სარეგულირებელი ობიექტი, არამედ თვითონ რეგულატორიც. რეგულატორის დაგვიანება მიეკუთვნება გარდამავალ დაგვიანებას.

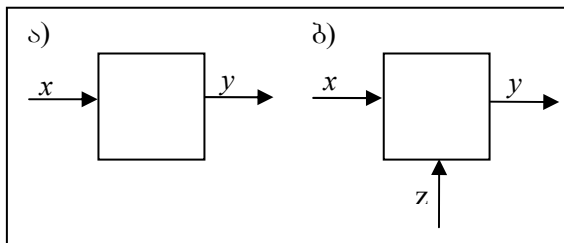
დიდი დაგვიანებით ხასიათდება ობიექტები, რომლებშიც წარმოებს ტემპერატურის რეგულირება, ხოლო მცირე დაგვიანებებით – ობიექტები, სადაც ხორციელდება სითხის მოხმარების რეგულირება.

ავტომატური რეგულირების თეორიის ელემენტები

§1. ავტომატური რეგულირების სისტემების (CAP) ფუნქციონალური სქემები. სისტემების რბო- ლების ცნება

ავტომატური სისტემა შესაძლოა წარმოდგენილი იქნას სამგვარად: სისტემის ფიზიკური, ანუ კონსტრუქციული, ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემის სახით. სქემა შედგება ცალკეული ელემენტებისაგან. ავტომატური მოწყობილობის ელემენტი ეწოდება მის შემადგენელ ნაწილს, რომელიც ასრულებს დამოუკიდებელ ფუნქციას. კონსტრუქციული სქემის მიხედვით დგება ფუნქციონალური სქემა, ხოლო ამ უკანასკნელის საფუძველზე ავტომატური მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა.

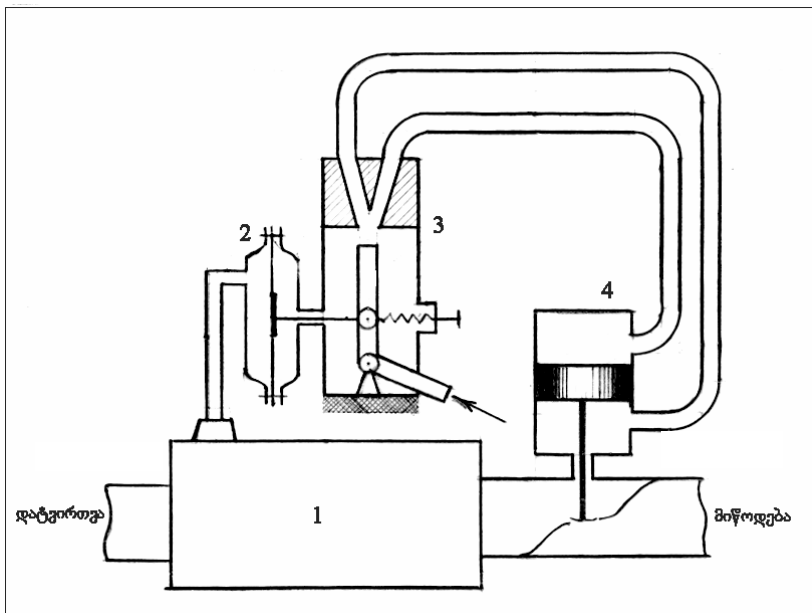
ავტომატიკის ძირითად ელემენტებს, რომლებიც გამოიყენება ავტომატური რეგულირების სისტემებში, წარმოადგენენ: გამზომი ელემენტი, მმართველი (დამკვირვებელი) ელემენტი, შემდარებელი ელემენტი, გამაძლიერებელი ელემენტი, შემსრულებელი (აღმასრულებელი) ელემენტი. 9.1 ნახაზზე ნაჩვენებია ავტომატური მოწყობილობის ელემენტის პირობითი გამოსახვა. შემავალი და გამომავალი სიდიდეები (სიგნალები) ნაჩვენებია ისრებით. ნახაზზე 9.1ბ მოცემულია ელემენტის პირობითი გამოსახვა, რომელსაც აქვს ორი შემავალი x , z და ერთი გამომავალი y სიდიდე.



ნახ.9.1. ავტომატური მოწყობილობების ელემენტების გამოსახვა:
ა) ერთი შემავალი და ერთი გამომავალი სიგნალით; ბ) ორი შემავალი და ერთი გამომავალი სიგნალით

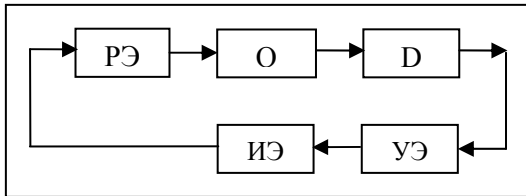
9.2 ნახაზზე წარმოდგენილია ობიექტში გაზის წნევის რეგულატორის კონსტრუქციული (პრინციპიალური) სქემა. სქემაზე 1 არის ობიექტი; 2 – მემბრანული მგრძნობიარე ელემენტი; 3 – ჭავლური მილაკი, გამაძლიერებელი; 4 – შემსრულებელი (აღმასრულებელი) მოწყობილობა, ძალური ცილინდრი; 5 – მარეგულირებელი სარქველი.

სქემა მუშაობს შემდეგნაირად, თუ დატვირთვის გაზრდის შედეგად ობიექტში (1) გაზის წნევა დაეცემა, წნევის შემცირება გადაეცემა მგრძნობიარე ელემენტის – გარდამსახის (2) მარცხენა ღრუში. მემბრანის წონასწორობა დაირღვევა, იგი გადმოიწევა მარცხნივ და ერთდროულად გადაადგილებს მარცხნივ ჭავლურ მილას (3). ამასთან, სერვომძრავის ქვედა ღრუში წნევა გაიზრდება, დეგუში აიწევს ზევით და მარეგულირებელი სარქველი გაიღება. ობიექტში (1) მიწოდებული გაზის რაოდენობა გაიზრდება და მასში წნევა აღდგება. დატვირთვის შემცირების შემთხვევაში პროცესი წარიმართება უკუ მიმართულებით.



ნახ.9.2. ობიექტში გაზის წნევის რეგულატორის კონსტრუქციული სქემა

9.3 ნახაზზე აგებულია ფუნქციონალური სქემა, 9.2 ნახაზზე მოცემული კონსტრუქციული (პრინციპიალური) სქემის მიხედვით. იგი სქემატურად გამოსახავს ავტომატურ მოწყობილობას, გამოსატავს ელემენტების შემადგენლობას და მათ დანიშნულებას, აგრეთვე, ელემენტებს შორის ურთიერთქმედებას. ამდენად, ფუნქციონალურ სქემას ხშირად ელემენტურ სქემასაც უწოდებენ. 9.3 ნახაზზე: O არის ობიექტი; D – გარდამსახი – მგრძნობიარე ელემენტი-მემბრანა; YЭ – მაძლიერებელი ელემენტი (ჰაერული მილაკი); ИЭ – აღმასრულებელი ელემენტი – ძალური ჰიდრავლიკური ცილინდრი; PЭ – მარეგულირებელი ელემენტი-სარქველი.

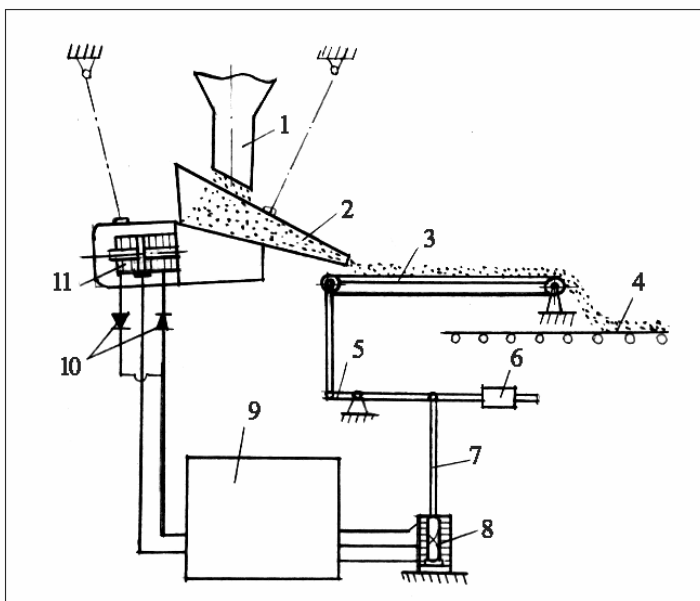


ნახ.9.3. არაპირდაპირი ქმედების რეგულატორის ფუნქციონალური სქემა

9.4 ნახაზზე მოცემულია უწყვეტი ქმედების ავტომატური წონითი დოზატორის კონსტრუქციული (პრინციპიალური) სქემა. ნახაზზე აღნიშნულია: 1 – ბუნკერი მასალისათვის, 2 – ვიბროლარი, 3 – წონითი ტრანსპორტერი, 4 – საკრები ტრანსპორტერის ღენტა, 5 – მხრეული, 6 – მაწონასწორებელი ტვირთი, 7 – საწვევი, 8 – ინდექციური გარდამსახი, 9 – ავტომატიკის ხელსაწყოების ბლოკი, 10 – გამმართველები, 11 – ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი.

სქემა მუშაობს შემდეგნაირად: მასალა (1) ბუნკერიდან მიეწოდება (2) ვიბროლარში, რომელიც იმყოფება ვიბრაციის ზემოქმედების ქვეშ. ღარი თანაბრად გამოყრის მასალას (3) წონით ტრანსპორტიორზე, რომელიც რეგულირებულია (6) ტვირთით განსაზღვრულ მწარმოებლურობაზე. წონითი ტრანსპორტიორიდან მასალა უწყვეტი ნაკადით მიეწოდება (4) საკრებ ტრანსპორტიორის ღენტზე და მიემართება შემრევი მანქანის დოლში. დოზირების სიზუსტე უზრუნველყოფილია წონითი მექანიზმის მხრეულის მდგომარეობასა და (11) ელექტრომაგნიტური ვიბრატორის კოჭებზე ძაბვას შორის

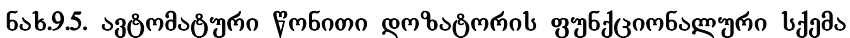
კავშირით, რომელიც რეგულირდება სისტემაში ჩართული (8) ინდუქციური გარდამსახით. თუ მასალის წონა, რომელიც იმყოფება მოცემულ მომენტში წონით ტრანსპორტიორზე, აღმოჩნდება მოცემულზე მეტი, მაშინ ბერკეტების სისტემა ამოქმედდება და (5) მხრეულის ბოლო, რომელზედაც დამაგრებულია (6) ტვირთი, აიწევა ზევით და თან წაიტაცებს (7) საწვეს, რომელიც დაკავშირებულია (8) ინდუქციური გარდამსახის გულართან. გარდამსახი მიაწოდებს იმპულსს (9) ავტომატიკის ხელსაწყოების ბლოკის მაძლიერებლებით და ძაბვა ელექტრომაგნიტური ვიბრატორის კოჭებზე შემცირდება. ძაბვის შემცირება იწვევს (2) ვიბროლარის რხევების ამპლიტუდის შემცირებას, რის შედეგადაც მასალა წონით ტრანსპორტიორზე მიეწოდება ნაკლები ინტენსივობით



ნახ.9.4. უწყვეტი ქმედების ავტომატური წონითი დოზატორის სქემა

და (5) მხრეული კვლავ დაიკავებს პორიზონტალურ მდგომარეობას. მასალის წონის შემცირებისას წონით ტრანსპორტიორზე ავტომატიკის სისტემის მოქმედება გამოიწვევს ვიბრატორის კოჭებზე ძაბვის გაზრდას, და მასალის ნაკადი გაიზრდება. ამგვარად, (8) გარდამსახი ვიბრატორის კოჭებზე ძაბვის ცვლი-

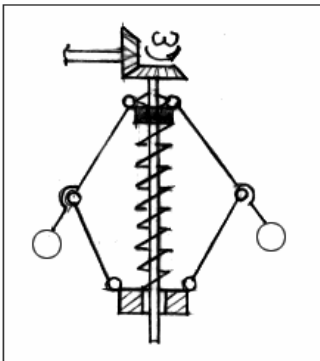
9.5 ნახაზზე წარმოდგენილია უწყვეტი ქმედების ავტომატური წონითი დოზატორის ფუნქციონალური სქემა, რომელიც შეესაბამება 9.4 ნახაზზე ნაჩვენებ კონსტრუქციულ (პრინციპიალურ) სქემას. სქემაზე O-თი აღნიშნულია მართვის ობიექტი – მკვებავი, რომელიც მასალას აწოდებს კონვეიერის ლენტზე და საკუთრივ ავტომატური რეგულატორი, რომელიც შედგება ლენტური კონვეიერისაგან. იგი ასრულებს მართვის სისტემის მგრძნობიარე ელემენტის როლს; მაძლიერებელ-გარდამქმნელისაგან (წონითი მექანიზმი და ინდუქციური გარდამსახი D), რომელიც კონვეიერის ლენტზე მასალის მასის ცვლილებას გარდაქმნის ელექტრულ სიგნალად; შემსრულებელი ელემენტისაგან ИЭ, რომელიც აყალიბებს მართვის კანონს და მარეგულირებელი ელემენტის РЭ საშუალებით მოქმედებს მკვებავის მიერ მასალის ხარჯზე.



ფუნქციონალური (ელემენტური) სქემის საფუძველზე აიგება ავტომატური მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა, რომელიც გამოსახავს ავტომატური მოწყობილობის დინამიკურ თვისებებს და განკუთვნილია ამ თვისებების გამოსაკვლევად (სტრუქტურული სქემის აგება გადმოცემული იქნება §6-ში).

ავტომატური მოწყობილობის სტრუქტურული სქემის უმარტივეს შემადგენელ ნაწილს, რომელიც გამოსატავს მის დინამიკურ თვისებებს, ეწოდება სტრუქტურული სქემის რგოლი. რეგულირების სტრუქტურული სქემის თითოეული რგოლი განიცდის თავის თავზე, სქემის სხვა რგოლების მხრიდან, ერთ ან რამდენიმე ზემოქმედებას ან გარე აზნებებს. თავის მხრივ თითოეული რგოლი, აგრეთვე, ახდენს ზემოქმედებას ერთ ან რამდენიმე რგოლზე. რგოლში წარმოებს მასზე მოქმედი ფიზიკური სიდიდის გარდაქმნა ზემოქმედების ფიზიკურ სიდიდეთ, რომლითაც მოცემული რგოლი მოქმედებს სხვა რგოლზე.

ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ზემოქმედებს რგოლზე და წარმოადგენს მისი მდგომარეობის შეცვლის მიზეზს, ეწოდება შესასვლელი სიდიდე. ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს რგოლის მდგომარეობის შეცვლას და წარმოადგენს რგოლზე ზემოქმედების შედეგს, ეწოდება გამოსასვლელი სიდიდე. 1784 წელს ჯემს უატის მიერ გამოგონილ ცენტრიდანულ რეგულატორის ლილვის ბრუნვის სიჩქარის შეცვლა (რგოლის გამოსასვლელი სიდიდე) იწვევს ქუროს განსაზღვრულ გადაადგილებას (რგოლის გამოსასვლელი სიდიდე) ნახ. 9.6.



ნახ.9.6. ცენტრიდანული მექანიზმი

რეგულირების სისტემის რგოლები ხასიათდებიან მოქმედების მიმართულების თვისებით, მაგრამ არა ყოველი რგოლი. ეს ნიშნავს, რომ კონტურის გასწვრივ მოქმედების გადაცემა რგოლის საშუალებით შეიძლება ხორციელდებოდეს ყოველთვის ერთიდიამავე მიმართულებით, ე.ი. მოქმედების მიმართულება არ შეიძლება შეიცვალოს საპირისპიროდ, ან შესაძლოა საწინააღმდეგო პროცესიც – შემავალი სიგნალის წარმოქმნა გამომავლის ზემოქმედებით. მაგალითად, ნახ. 9.6-ზე ლილვის ბრუნვის სიჩქარის შეცვლა იწვევს ქუროს გადაადგილების შეცვლას, მაგრამ ქუროს გადაადგილება რაიმე გარე ძალით არ იწვევს ლილვის ბრუნვის სიჩქარის შეცვლას.

მეორე მაგალითი – ორთქლის ქვაბი. საწვავის მიწოდების შეცვლა საცეცხლეში – ერთერთი მიზეზია ორთქლის წნევის შეცვლისა, მაგრამ ქვაბში ორთქლის წნევის შეცვლა არ იწვევს საწვავის მიწოდების შემცირებას ან გაზრდას.

ორმხრივი მიმართულებით მოქმედი რგოლის მაგალითია შუნტური ტიპის მუდმივი დენის ძრავა, რომელშიც შემავალი (შესასვლელი) სიდიდეა ღუზის მომჭერებზე მიყენებული ძაბვა, ხოლო გამომავალი (გამოსასვლელი) სიდიდე – ძრავას ბრუნვათა რიცხვი. თუ ძრავას გარეშე ენერგიის ხარჯზე დავაბრუნებთ, მაშინ იგი გენერატორულ რეჟიმში იმუშავებს, ე.ი. მის მომჭერებზე ძაბვა წარმოიქმნება. მაშასადამე, მუდმივი დენის ძრავაში სავსებით შესაძლებელია მოქმედების მიმართულების შეცვლა. ორმხრივი მიმართულებით მოქმედ რგოლში გამომავალი სიგნალი გავლენას ახდენს შემავალ სიგნალზე. განხილულ მაგალითში ძრავა ბრუნვის შედეგად წარმოქმნის საწინააღმდეგო ელექტრომამოძრავებელ ძალას, რომელიც ძრავაზე მიყენებული ძაბვის საწინააღმდეგოა.

§2. ავტომატური რეგულირების რბოლების სტატიკური მახასიათებლები

რეგულირების პროცესი შედგება ორი ნაწილისაგან: გარდამავალი პროცესისა (იხ. §3) და დამყარებული პროცესისაგან.

რგოლის წონასწორობის დამყარებული მდგომარეობა შეიძლება აღწერილი იქნეს განტოლებით

$$x_{გამ} = f(x_{შემ}), \quad (9.1)$$

სადაც

$x_{შემ}$ – რგოლის შესასვლელი პარამეტრია;

$x_{გამ}$ – რგოლის გამოსასვლელი პარამეტრი.

ამ განტოლებას ეწოდება რგოლის სტატიკური მახასიათებელი. სტატიკური მახასიათებელი ჩვეულებრივ, გამოისახება გრაფიკულად.

ავტომატური რეგულირების ყველა რგოლი მათი სტატიკური მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად:

1. წრფივი, რომელთა სტატიკური მახასიათებელი გამოიხატება სწორი ხაზით (ნახ.9.7), ხოლო სიდიდეთა შეფარდება გამოსასვლელზე და შესასვლელზე გამოისახება წრფივი ფუნქციით

$$y = a + kx, \quad (9.2)$$

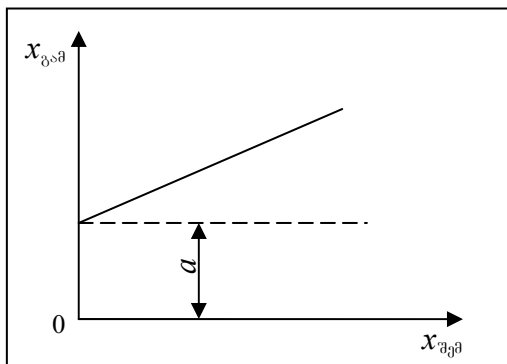
სადაც

a არის მუდმივი სიდიდე, რომლის განზომილებაა $x_{გამ}$;

k^* - მუდმივა განზომილებით $\frac{x_{გამ}}{x_{შემ}}$.

წრფივი რგოლები, რომელთა სტატიკური მახასიათებელი გამოისახება სწორი ხაზით, იწოდება სტატიკურად.

* k -ს უწოდებენ გადაცემის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტს. თუ შემავალ და გამომავალ სიდიდეებს ერთნაირი განზომილებები აქვთ, მაშინ k -ს უწოდებენ გაძლიერების კოეფიციენტს.

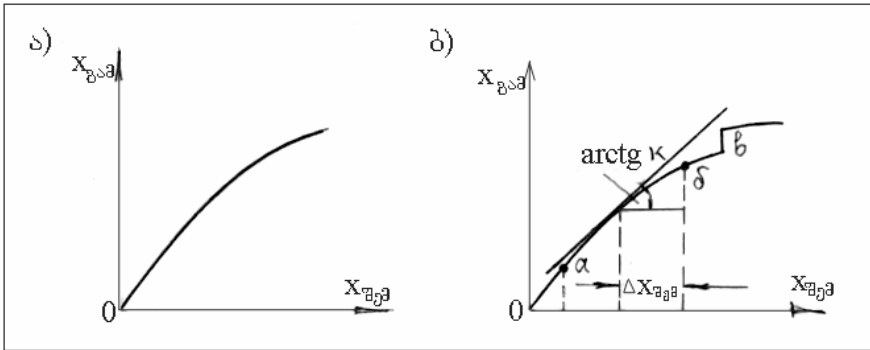


ნახ.9.7. წრფივი რგოლის სტატიკური მახასიათებელი

2. არაწრფივი, რომელთა სტატიკური მახასიათებელი გამოისახება მრუდით ან ტეხილი ხაზით (ნახ.9.8ა). არაწრფივი დამოკიდებულება გამოისახება ჩვეულებრივ მხოლოდ გრაფიკულად.

სისტემების ანალიზი, რომლებიც შეიცავენ არაწრფივ ელემენტებს, წარმოადგენს რთულ ამოცანას, ამიტომ მიისწრაფვიან არაწრფივი მახასიათებელი შეცვალონ მიახლოებითი ხაზით, გამომდინარე იქიდან, რომ ბევრ შემთხვევაში ელემენტი მუშაობს შესასვლელი სიგნალის მცირე ცვლილებების დროს, მისი საშუალო მნიშვნელობის $x_{ჟეო}$ მიმართ. ამ შემთხვევაში მიახლოებითი წრფივი დამოკიდებულება განისაზღვრება ($x_{ჟეო}$) მრუდის მიმართ მხებით*, გატარებული $x_{ჟეო}$ წერტილში (ნახ.9.8ბ). არაწრფივი მახასიათებლის შეცვლა წრფივით (a -ნ უბანზე) იწოდება გაწრფივებად. იგი შესაძლებელია იმ შემთხვევებში, როდესაც არაწრფივ მახასიათებელს არ გააჩნია თავისებურებები (წყვეტები, ნახტომები). მაგალითად, $x_{გამ}(x_{შემ})$ მახასიათებლის გაწრფივება x წერტილის მიდამოებში არ შეიძლება. გაწრფივების შეცდომა მით უფრო ნაკლებია, რაც შესასვლელი სიდიდის $x_{ჟეო}$ გადახრა ნაკლებია $x_{ჟეო}$ -გან, რომლის დროსაც შესრულდა გაწრფივება. შევნიშნავთ, რომ გაწრფივება შეიძლება განხორციელდეს ანალიზურად ან გრაფიკულად. იგი ერთერთი ყველაზე ეფექტური მეთოდია მოდელის გამარტივებისა.

* შეიძლება აგრეთვე გატარებულ იქნას არა მხები, არამედ მკვეთი.



ნახ.9.8. არაწრფივი რგოლის სტატიკური მახასიათებელი

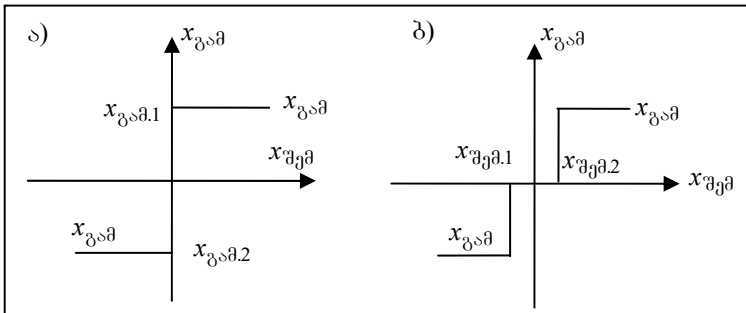
ანალიზურად გაწრფივების მიზნით არაწრფივი დიფერენციალური განტოლება უნდა წარმოვადგინოთ ტეილორის მწკრივის სახით

$$f(x) = f(a) + f'(a) \frac{x-a}{1!} + f''(a) \frac{(x-a)^2}{2!} + \dots$$

და მწკრივის მეორე და უფრო მეტი რიგის წევრები უზუღვე-ბელეყოთ. მიღებული განტოლება წრფივი იქნება. ასეთი წე-სით გაწრფივება დასაშვებია ფუნქციის გარკვეულ ზღვრებში, რის დადგენაც შესაძლებელია რუსი მათემატიკოსის ა.მ. ლი-აპუნოვის მიერ შემუშავებული დებულებებით, რომელთა შეს-ახებ აღნიშნულია მეათე თავის მეთერთმეტე პარაგრაფში – ავტომატური რეგულირების წრფივი სისტემების მდგრადობის გამოკვლევა. აქ მხოლოდ შევნიშნავთ, რომ ავტომატური სისტემის განტოლება წრფივია იმ შემთხვევაში, თუ წრფივია მასში შემავალი ტიპობრივი რგოლების სტატიკის განტოლე-ბანი; ამიტომ, სისტემის განტოლების გასაწრფივებლად საჭი-როა გავაწრფივოთ თითოეული რგოლის სტატიკის გან-ტოლება.

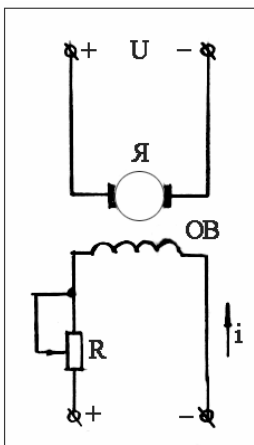
ყველაზე დამახასიათებელ არაწრფივ რგოლებს წარ-მოადგენენ რელეური რგოლები (ელექტრომაგნიტური რელე), რომელთა გამოსასვლელი სიდიდე იცვლება ნახტომისებუ-რად, შესასვლელი სიდიდის უწყვეტად ცვლილებისას (ნახ.9.9). რელეური რგოლები იყოფიან რგოლებად – არამ-გრძნობიარობის ზონის გარეშე (ორპოზიციური) და არამ-გრძნობიარობის ზონით (სამპოზიციური). რელეური რგოლის

არამგრძნობიარობის ზონის გარეშე გამოშვებულ სიდიდეს გააჩნია მხოლოდ ორი მნიშვნელობა $x_{გამ1}$ და $x_{გამ2}$, ხოლო რელეური რგოლის არამგრძნობიარობის ზონით გამოშვებულ სიდიდეს კი სამი მნიშვნელობა $x_{გამ1}$, $x_{გამ2}$ და 0.



ნახ.9.9. რელეური ელემენტების სტატიკური მახასიათებლები: ა) არამგრძნობიარობის ზონის გარეშე; ბ) არამგრძნობიარობის ზონით

არაწრფივი რგოლის მაგალითის სახით განვიხილოთ მუდმივი დენის გენერატორის (დამოუკიდებელი აგზნებით) სტატიკური მახასიათებელი (ნახ.9.10). ამ სქემაში შესასვლელ სიდიდეს წარმოადგენს აგზნების დენი i , რომელიც მიედინება OB ელექტრომაგნიტების გრაგნილში, ე.ი. $x_{შემ}=i$. გამოსასვლელ სიდიდეს გენერატორში წარმოადგენს ღუზის $\mathcal{R}$ მომჭერებზე ძაბვა U , ე.ი. $x_{გამ}=U$.



ნახ.9.10 მუდმივი დენის გენერატორის სქემა დამოუკიდებელი აგზნებით

თუ შევცვლით რეოსტატის წონალობას (R) აგზნების გრაგნილის წრედში, შეიცვლება აგზნების დენი (i), რომელიც შექმნის სხვადასხვა მაგნიტურ ნაკადს. ვინაიდან გენერატორის ღუზა ბრუნავს მუდმივი სიჩქარით, მაგნიტური ნაკადის შეცვლა გამოიწვევს ღუზაში ინდუქცირებული ე.მ.ძ-ის შესაბამის შეცვლას და, აგრეთვე, მისი პროპორციული ძაბვის (U) შეცვლას. ამგვარად, აგზნების დენის (i) თითოეულ მნიშვნელობას დამყარებულ მდგომარეობაში შეესაბამება გენერატორის მომჭერებზე ძაბვის განსაზღვრული მნიშვნელობა. აღნიშნული მახასიათებელი გრაფიკულად წარმოდგენილია 9.8 ნახაზზე. ასეთი ტიპის სტატიკური მახასიათებელი წარმოადგენს არაწრფივი რგოლის მახასიათებელს.

წრფივი რგოლის მაგალითის წარმოადგენს ზამბარა. როგორც ცნობილია, ძაღვების განტოლებას, რომლებიც ვითარდება ზამბარის მიერ არეში, რომლისთვისაც სამართლიანია ჰუკის კანონი, აქვს სახე:

$$f_{\text{ზამბ}} = c(y_0 - y), \quad (9.3)$$

სადაც

$f_{\text{ზამბ}}$ არის ძაღვის სიდიდე;

y_0 - ზამბარის სიგრძე დაუძაბავ მდგომარეობაში;

y - დეფორმირებული ზამბარის სიგრძე;

c - მუდმივი სიდიდე.

(9.3) განტოლება შეიძლება წარმოვადგინოთ სხვა სახით:

$$f_{\text{ზამბ}} = cy_0 - cy; cy = cy_0 - f_{\text{ზამბ}}; y = y_0 - \frac{1}{c} f_{\text{ზამბ}}. \quad (9.4)$$

თუ შევადარებთ 9.2 და 9.4 ფორმულებს, დავადგენთ, რომ $y = x_{\text{გაგ}}$ (გამოსასვლელი სიდიდე); $f_{\text{ზამბ}} = x_{\text{ჟგ}}$ (შესასვლელი სიდიდე); $y_0 = a$; $k = -\frac{1}{c}$. სტატიკური მახასიათებელი წარმოდგენილია 9.7 ნახაზზე.

რეგულირების რთულ ობიექტებში სტატიკური და დინამიკური თვისებების შესწავლა ხდება ექსპერიმენტულად გადაღებული მახასიათებლების მიხედვით.

სტატიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტალურად განსაზღვრის დროს რეგულირების გამოსაკვლევი სისტემა განიხილება რიგ დამყარებულ მდგომარეობაში შესასვლელი

სიდიდის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. გრაფიკზე წერტილების სახით გამოისახება გამოსასვლელი სიდიდის მნიშვნელობები შესასვლელის ფუნქციაში, რომლებიც იზომება ამ რეჟიმებში. ამგვარად, აგებული წერტილების შემაერთებელი ხაზი იქნება სტატისტიკური მახასიათებელი.

§3. ავტომატური რეგულირების რბოლების ბარ-დამავალი მახასიათებლები

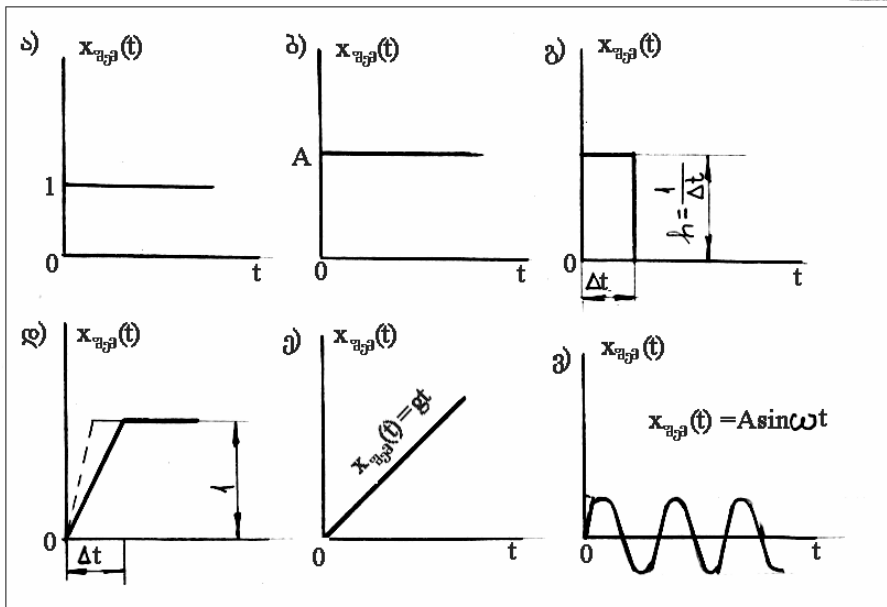
რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი წარმოადგენს მახასიათებელს, რომელიც განისაზღვრება დაუმყარებელ-გარდამავალ რეჟიმში.

გარდამავალი პროცესები შეიძლება წარმოიშვას:

- ა) ავტომატური რეგულირების სისტემის ჩართვის დროს;
- ბ) სისტემის კვლავაწყოებისას სარეგულირებელი სიდიდის ახალ მნიშვნელობაზე;
- გ) ნახტომის სახის შემაშვოთებელი ზემოქმედებისას (მაგალითად, ობიექტის დატვირთვის ნახტომისებური ცვლილება);
- დ) იმპულსის სახის შემაშვოთებელი ზემოქმედებისას (დარტყმითი ბიძგის ტიპის ზემოქმედებისას);
- ე) ნებისმიერი სახის შემაშვოთებელი ან ამგზნები ზემოქმედების წარმოქმნისას.

რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი ეწოდება რგოლის გამოსასვლელი სიდიდის ცვლილების დამოკიდებულებას დროისაგან დაუმყარებელ რეჟიმში, რომელიც აღიძვრება შესასვლელი სიდიდის მოქმედების შედეგად.

გამოსასვლელი სიდიდის ცვლილება დამოკიდებულია არა მხოლოდ რგოლის თვისებებზე, არამედ შესასვლელი სიდიდის სახესა და ზემოქმედების სიდიდეზე. პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება შემდეგი სახის ტიპური შესასვლელი ზემოქმედებები: ერთეული ნახტომი (ნახ.9.11ა) და საფეხურისებრივი (ნახ.9.11ბ), (ნახ.9.11გ) ან დატვირთვის მოდება, ძაბვის ჩართვა ან მოხსნა და სხვ.), ერთეული იმპულსი (ნახ.9.11დ), დამხმარე ფუნქცია (ნახ.9.11ე), ხაზოვანი ზემოქმედება (ნახ.9.11ვ), სინუსოიდის ტიპის პერიოდული ზემოქმედება (ნახ.9.11ვ).



ნახ.9.11. ტიპური ზემოქმედებები: ა) ერთეული ნახტომი; ბ) საფეხურისებრი ნახტომი; გ) ერთეული იმპულსი; დ) დამხმარე ფუნქცია; ე) ხაზოვანი ზემოქმედება; ე) სინუსოიდალური ზემოქმედება.

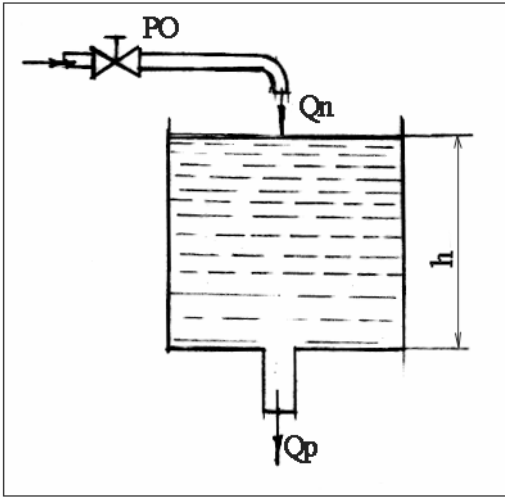
h - ერთეული იმპულსის ამპლიტუდა; $H = \frac{A}{\Delta t}$ - იმპულსური ზემო-

ქმედების უსასრულოდ დიდი ამპლიტუდა; Δt - უსასრულოდ მცირე ხანგრძლივობა; A - ამპლიტუდა; ω - წრიული სიხშირე

რგოლის დინამიკური თვისებების გამოსავლენად არ არის აუცილებელი მისი რეაქციის სახის განსაზღვრა შესაძლო შესასვლელი ზემოქმედებების მთელს ერთობლიობაზე. რგოლის ფიზიკური თავისებურებები, რომლებიც განსაზღვრავენ მისი დინამიკური პროცესების ხასიათს, რჩება უცვლელი და არის დამოკიდებული ზემოქმედების ტიპზე, თუმცა ისინი სხვადასხვაგვარად აისახება რეაქციის ხასიათში. ამიტომ, რგოლის თვისებების განსასაზღვრავად მისი გამოსასვლელი სიდიდის ცვლილება განიხილება შესასვლელი სიდიდის სრულიად განსაზღვრული ცვლილების დროს. ასეთ შესასვლელ სიდიდედ ხშირად გამოიყენება ერთჯერადი საფეხურისებრი ზემოქმედება.

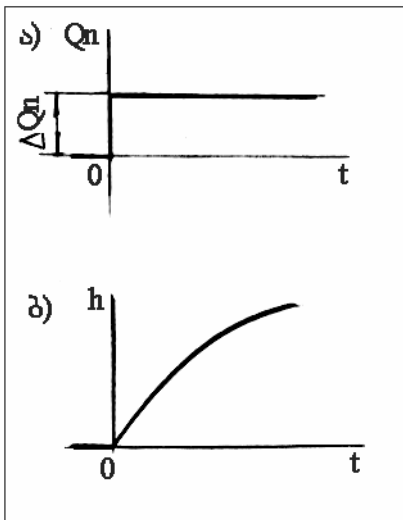
საფეხურისებრი ზემოქმედების დროს შესასვლელი სიდიდე ნახტომისებურად, მყისიერად იცვლის თავის მნიშვნელობას და შემდგომში მას ინარჩუნებს მუდმივად. გამოსასვლელის სიდიდის შეცვლას დროში გამოწვეულს შესასვლელი სიდიდის საფეხურისებრი ცვლილებით (დაუმყარებელი რეჟიმის დროს), ეწოდება გაქანების მრუდი ან დროითი მახასიათებელი. ზოგჯერ მას ობიექტის დინამიკურ მახასიათებელსაც უწოდებენ. გაქანების მრუდი იძლევა ნათელ წარმოდგენას ობიექტში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ხასიათის შესახებ.

მაგალითის სახით განვიხილოთ გაქანების მრუდის წარმოქმნა მარტივ სარეგულირებელ ობიექტში – ჭურჭელში, რომელშიც მილსადენით მიეწოდება წყალი (ნახ.9.12). მეორე მილით წყალი გამოედინება ჭურჭლიდან. ვივარაუდოთ, რომ მოცემული მოდინებისა (Q_n) და ხარჯის (Q_p) მნიშვნელობის დროს წყლის დონე (h) რჩება უცვლელი. ობიექტის მდგომარეობა წარმოადგენს დამყარებულს. შევქმნათ შესასვლელი სიდიდის (Q_n) საფეხურისებრი ცვლილება. ამისათვის მარეგულვებელი ორგანო (PO) მოვატრიალოთ და გაეზარდოს ნაკადი Q_n ; წონასწორობა მოდინებასა და ხარჯს შორის დაირღვევა და დამყარდება დაუმყარებელი პროცესი, რომელიც წარიმართება შემდეგნაირად. მოდინების გაზრდა გამოიწვევს წყლის დონის მატებას, რაც თავის მხრივ გაზრდის წყლის სვეტის წნევას. ეს უკანასკნელი გამოიწვევს ჭურჭლიდან მისი ხარჯის გაზრდას. ამასთან დაკავშირებით შეუსაბამობა მოდინებასა და ხარჯს შორის დაიწყებს შემცირებას და წყლის დონის მატების სიჩქარე შემცირებას. როდესაც წყლის ხარჯი Q_p გაუტოლდება მის მოდინებას Q_n , დონის მატების ზრდა შეწყდება. გარდამავალი პროცესი დამთავრდება და აღსდგება დამყარებული მდგომარეობა, ე.ი. ახალი წონასწორობის მდგომარეობა. თუ შევადარებთ ერთმანეთს წონასწორობის მდგომარეობას შემფოთებამდე და გარდამავალი პროცესის შემდეგ, დავინახავთ, რომ ახალი წონასწორობა დამყარდა მოდინებისა და ხარჯის გაზრდილი მნიშვნელობების დროს და სარეგულირებელი h სიდიდის გაზრდილი მნიშვნელობისას. როგორც ადრე იყო აღნიშნული, რეგულირების ამ პროცესს ეწოდება თვითგათანაბრება (იხ. თავი 8).



ნახ.9.12. ობიექტი
რეგულირებადი
დონით

ნახაზზე 9.13ა ნაჩვენებია შემაშფოთებელი შესასვლელი ზემოქმედება – მოდინების გაზრდა ΔQ_n , ეს არის საფეხურისებრი ზემოქმედება. სისტემის გამოსასვლელს წარმოადგენს სარეგულირებელი სიდიდე – წყლის დონე h ; ნახაზზე 9.13ბ წარმოდგენილია ობიექტის გაქანების მახასიათებელი თვითგათანაბრებით.



ნახ.9.13. ობიექტში
დაუმყარებელი
პროცესის
გრაფიკული

§4. ავტომატური რეგულირების რგოლების ტიპები და მათი მახასიათებლები

ავტომატური რეგულირების სისტემებს გააჩნიათ სხვადასხვა ფიზიკური ბუნება, სირთულე, მოწყობილობა და შედგებიან ერთმანეთთან ურთიერთდაკავშირებული რგოლების სიმრავლისაგან. ეს რგოლები შეიძლება კლასიფიცირებული იქნან მათ მიერ შესასრულებელი ფუნქციების ნიშნის (მაგალითად, სარეგულირებელი ობიექტი, მმართველი ელემენტი, შემსრულებელი ელემენტი და ა.შ.), კონსტრუქციული გაფორმების (მაგალითად, გენერატორი, ელექტრომანქანური გამაძლიერებელი, პოტენციომეტრი) და ა.შ. მიხედვით. მაგრამ ასეთი კლასიფიკაცია არარაციონალურია ავტომატური რეგულირების სისტემის დინამიკის შესასწავლად. ყველაზე მიზანშეწონილია რგოლების კლასიფიკაცია მათი დინამიკური თვისებების მიხედვით, ე.ი. გარდამავალი პროცესის სახის მიხედვით, რომოელიც აღიძვრება რგოლში მისი შესასვლელი სიდიდის შეცვლისას.

ფიზიკური ბუნებისა და მოწყობილობისაგან დამოუკიდებლად ასეთი რგოლების დინამიკური თვისებები აღიწერება განტოლებების შეზღუდული რიცხვით. ამიტომ, მათ მიიღეს ტიპური დინამიკური რგოლების სახელწოდება. უმეტეს შემთხვევებში ავტომატური რეგულირების სისტემები შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ტიპური დინამიკური რგოლებით, რომლებშიც გარდამავალი პროცესები აღიწერება ალგებრული ან დიფერენციალური განტოლებებით არა უმეტეს მეორე რიგისა.

განვიხილოთ ძირითადი ტიპური რგოლები, რომელთაც ფართო გავრცელება აქვს ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატური რეგულირების სისტემებში სამშენებლო ინდუსტრიის საწარმოებში. ამ რგოლების სახელწოდებებია: უინერციო (პროპორციული), აპერიოდული, რხევითი, მაღიფერენცირებელი, მაინტეგრირებელი და დავგიანებით მოქმედი რგოლი.

თეორიულად რგოლების რაოდენობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ გაცილებით მეტი, მაგრამ ისინი შეიძლება ან ვერ იქნან ფიზიკურად რეალიზებული, ან პრაქტიკულად

არ გამოიყენება აშკარად არადამაკმაყოფილებელი დინამიკური თვისებების შედეგად.

1. პროპორციული რგოლი. პროპორციულად (მაძლიერებლად, იდეალურად, უინერციოდ, ხისტი კავშირით) იწოდება რგოლი, რომელშიც სიდიდე გამოსასვლელზე პროპორციულია სიდიდისა შესასვლელზე. პრაქტიკულად მასში გარდამავალი პროცესი არ არსებობს – შემავალ სიგნალს მყისიერად მოჰყვება გამომავალი სიგნალის საბოლოო მნიშვნელობა; მას ინერციულობა არ გააჩნია. გამომავალი სიდიდე დამახინჯებისა და დაგვიანების გარეშე აღწარმოებს შემავალ სიდიდეს.

პროპორციული რგოლის დინამიკის განტოლებას აქვს სახე:

$$x_{გამ} = kx_{შემ} \quad (9.5)$$

სადაც

$x_{გამ}$ არის გამოსასვლელი სიდიდე;

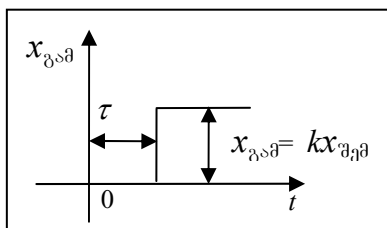
$x_{შემ}$ შესასვლელი სიდიდე;

k – გაძლიერების კოეფიციენტი, მუდმივი სიდიდე.

ამრიგად, პროპორციული რგოლის დინამიკის განტოლება არ არის დიფერენციალური განტოლება, იგი უმარტივესი ალგებრული დამოკიდებულებაა, რომელიც ემთხვევა სტატიკურ მახასიათებელს.

როდესაც გამოსასვლელი სიდიდე იდეალურად იმეორებს შესასვლელს, მაგრამ დროის მუდმივი მონაკვეთის τ ტოლი ჩამორჩენით (ნახ.9.14), მაშინ დინამიკის განტოლებას აქვს სახე

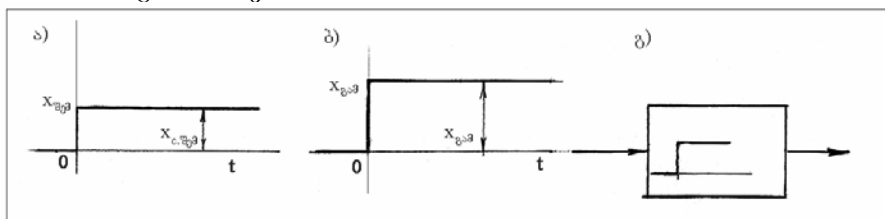
$$x_{გამ}(t) = kx_{შემ}(t - \tau). \quad (9.6)$$



ნახ.9.14. გარდამავალი მახასიათებელი დროში დაგვიანებით

პროპორციული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი და მისი პირობითი გამოსახვა მოცემულია 9.15 ნახაზზე. 9.15ა ნახაზზე ნაჩვენებია შესასვლელი საფეხურიისებრი ზემოქმედება; ნახაზზე 9.15ბ მოყვანილია გარდამავალი მახასიათე-

ბელი, ხოლო ნახაზზე 9.15გ – პროპორციული რგოლის პირობითი გამოსახვა.



ნახ.9.15. პროპორციული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი და მისი პირობითი გამოსახვა

პროპორციული რგოლის მაგალითებია: ელექტრონული გამაძლიერებელი, მოთავსებული რეგულირების ელექტრომექანიკურ სისტემაში; მექანიკური გადაადგილების გარდაქმნა ელექტრულ ძაბვად პოტენციომეტრის ან რეოსტატის დახმარებით; ბერკეტი; კბილანა გადაცემა; რედუქტორი, ტრანსფორმატორი და სხვ.

2. აპერიოდული რგოლი. აპერიოდულ რგოლს რამდენიმე დასახელება აქვს: ინერციული, ერთტევადობიანი, სტატიკური ან კიდევ რელაქსაციური (რელაქსაცია ნიშნავს პროცესის გამომწვევი პარამეტრის თვითშემცირებას, რომელსაც პროცესის მიმდინარეობა იწვევს*).

აპერიოდული ეწოდება რგოლს, რომელშიც შესასვლელში სიდიდის ნახტომისებურად შეცვლისას, სიდიდე გამოსასვლელში აპერიოდულად (ექსპონენტის** კანონით) მიისწრაფვის ახალი დამყარებული მნიშვნელობისაკენ.

პერიოდული პირველი რიგის რგოლის თვისებები აიწერება პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლებით

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შეგ}}, \quad (9.7)$$

სადაც

* მაგალითად, ძრავას აჩქარებას იწვევს ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი, მაგრამ ძრავას სიჩქარის გაზრდა ამ მომენტის შემცირებას მოახდენს.

** ექსპონენტი ეწოდება მაჩვენებლიან ფუნქციას.

k არის გაძლიერების კოეფიციენტი ($k = \frac{x_{გაგ}}{x_{გგ}}$);

dt – დროის დიფერენციალი;

T - პერიოდული რგოლის დროის მუდმივა, წ. გამოსახავს რგოლის ინერციულ თვისებებს.

9.7 განტოლების ამოხსნა იძლევა გარდამავალი პროცესის მათემატიკურ აღწერას:

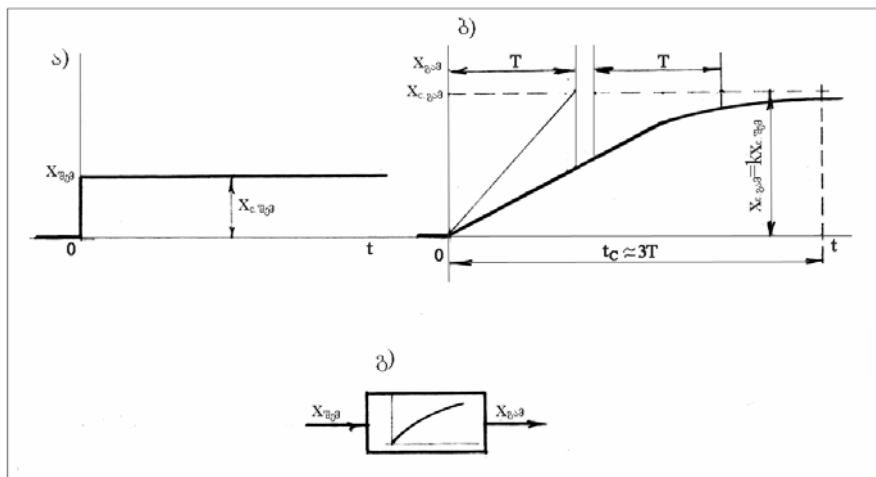
$$x_{გაგ} = kx_{გგ}(1 - e^{-\frac{t}{T}}). \quad (9.8)$$

T განისაზღვრება გარდამავალი მახასიათებლის გრაფიკზე, როგორც მხების პროექციის სიდიდე დამყარებული მნიშვნელობის ხაზზე $x_{გაგ} = x_{გგC}$ (ნახ.9.16ბ). ამასთან, მრუდის ყველა წერტილში იგი ერთნაირია. ვინაიდან მხებების ზუსტად გატარება ექსპერიმენტულად მიღებული $x_{გაგ}(t)$ მრუდისადმი ძნელია, ამიტომ, შეიძლება ავიღოთ მრუდის ორი-სამი წერტილი (ისე, როგორც ნახ.9.16ბ-ზე), ვიპოვოთ თითოეული მათგანისათვის T სიდიდე და შევარჩიოთ მისი რაღაც საშუალო მნიშვნელობა. ამას გარდა, ამ მნიშვნელობის დასაზუსტებლად უნდა გამოვიყენოთ (9.8) მრუდის შემდეგი თვისება: $t=T$ წერტილში ცვლად $x_{გაგ}$ -ს უნდა ჰქონდეს მნიშვნელობა $x_{გაგ}=0.63 kx_{გგ}$.

ამრიგად, გვაქვს რა ცდის მეშვეობით დადგენილი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი, ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ მისი დროის მუდმივა T და პირიქით, თუ ჩვენთვის ცნობილია რგოლის დროის მუდმივა T , 9.8 ფორმულით შეგვიძლია ავაგოთ მისი გარდამავალი მახასიათებელი. ნახ.9.16ბ-დან ჩანს, რომ რაც უფრო დიდია დროის T მუდმივა, მით უფრო დამრეცი იქნება მრუდი $x_{გაგ}(t)$, ე.ი. მით უფრო ხანგრძლივი იქნება გამომავალი $x_{გაგC}$ -ს დადგენის გარდამავალი პროცესი. ამიტომ ამბობენ, რომ აპერიოდული რგოლის დროის T მუდმივა ახასიათებს მის ინერციულობას. გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა იქნება $t_c \approx 3T$ (წ)

(9.8 ფორმულის თანახმად ჩვენი მრუდი $x_{გაგ}$ -ს ასიმპტოტურად უახლოვდება, ე.ი. $x_{გაგ} = x_{გგC}$ მხოლოდ როცა $t = \infty$, მაგრამ პრაქტიკულად უკვე $t=3T$ დროში მრუდი თითქმის ერ-

წყმის $x_{გამ} = x_{გამ}^{\circ}$ მრუდს). რგოლის პირობითი გამოსახულება ნახვენებია ნახ.9.16გ.



ნახ.9.16. აპერიოდული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი და მისი პირობითი გამოსახვა

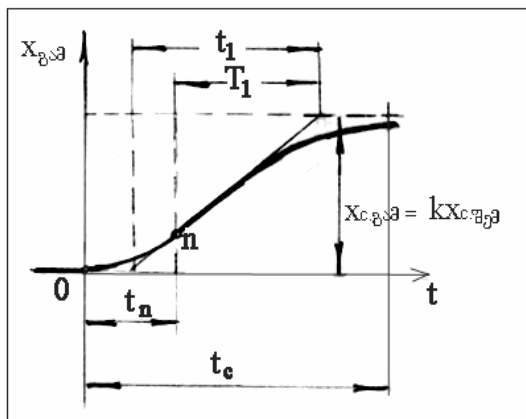
ამრიგად, აპერიოდული რგოლი ხასიათდება ორი რიცხვითი მონაცემით: 1) გაძლიერების k კოეფიციენტით, რომელიც განსაზღვრავს რგოლის სტატიკურ თვისებებს და 2) დროის მუდმივით T , რომელიც განსაზღვრავს რგოლის დინამიკურ თვისებებს.

დამყარებული მნიშვნელობის $t = \infty$ დროს 9.8 ფორმულიდან ვღებულობთ $x_{გამ} = kx_{შეგ}$, ე.ი. განტოლება არაფრით არ განსხვავდება შესაბამისი მნიშვნელობიდან პროპორციული რგოლისათვის და, მაშასადამე, გარდამავალი პროცესის დამთავრების შემდეგ აპერიოდული რგოლი არ განსხვავდება პროპორციული რგოლისაგან.

აპერიოდული მეორე რიგის რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი ნახვენებია ნახ.9.17-ზე. გავატაროთ მხები მოცემული მრუდისადმი გადაღუნვის Π წერტილში და აღვნიშნოთ დროის სამი მონაკვეთი t_n , t_1 , T_1 . აპერიოდული მეორე რგოლის დინამიკა აიწერება მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებით

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{გამ}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შეგ}} \quad (T_1 \geq 2T_2), \quad (9.9)$$

ამასთან T_1 იღება უშუალოდ $x_{\text{გამ}}(t)$ გარდამავალი მახასიათებლის გრაფიკიდან (ნახ.9.17), ხოლო სიდიდე T_2^2 განისაზღვრება სპეციალური გრაფიკით t_1 და T_1 -გან დამოკიდებულებით. როგორც ვხედავთ, მეორე რიგის აპერიოდული რგოლის დინამიკა განისაზღვრება დროის ორი მუდმივათი T_1 და T_2 (წმ.), ამასთან $T_1 \geq 2T_2$.



ნახ.9.17. მეორე რიგის აპერიოდული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი

აპერიოდულ რგოლებს შეიძლება მივაკუთვნოთ მაგნიტური გამაძლიერებელი, თბური ობიექტების უმეტესობა, თერმოწყვილები და წინაღობის თერმომეტრები, დამოუკიდებელ-აგზნებიანი მუდმივი დენის გენერატორი, ელექტრულ წრედში მიმდევრობით ჩართული აქტიური წინაღობა და კონდენსატორი C ტევადობით, ფაზურროტორიანი ასინქრონული ძრავა, ცივი წყლის ავზში ჩაგდებული რაიმე მასალის გაცხელებული ნაჭრის გაცივების პროცესი, მექანიკური მოწყობილობები, რომელთაც გააჩნიათ მასა და ხახუნის ძალები (უზამბაროდ) ან ზამბარა და ხახუნის ძალები (უმასოდ) და სხვ.

3. რხევითი რგოლი. რხევითი რგოლი ეწოდება რგოლს, რომელშიც სიდიდის ნახტომისებურად ცვლილებისას შესა-

სვლელში, სიდიდე გამოსასვლელში მიისწრაფვის ახალი დამყარებული მნიშვნელობისაკენ, ასრულებს რა მის მიმართ მიღევად რხევებს.

ამ რგოლის თვისებები აიწერება მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებით

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{გამ}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შეგ}} \quad T_1 < 2T_2. \quad (9.10)$$

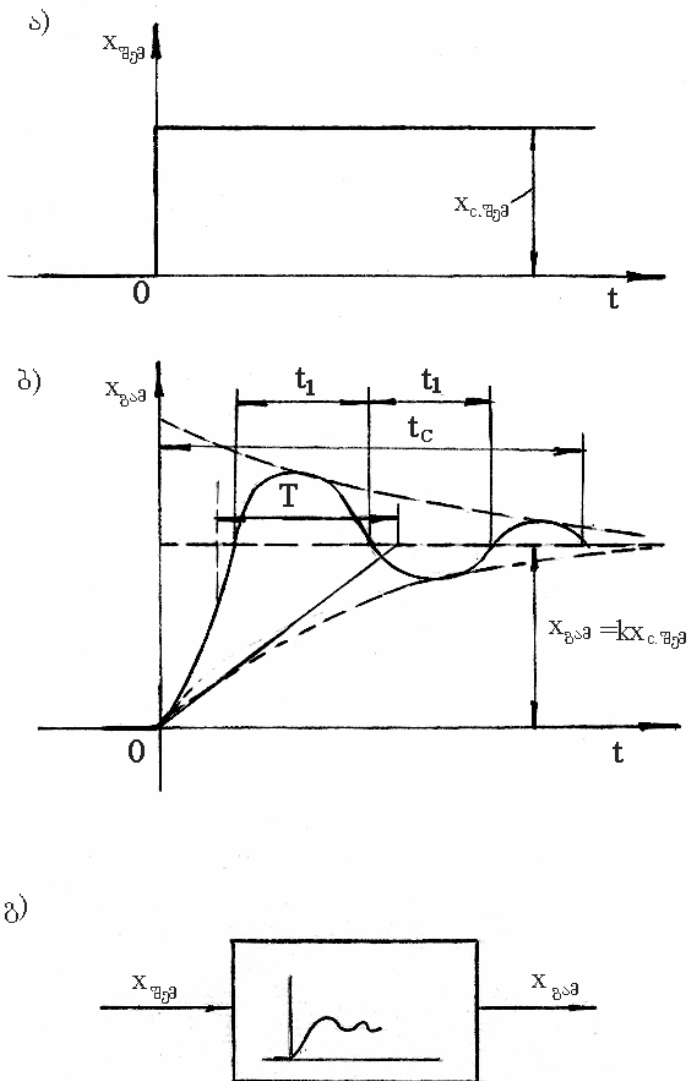
განტოლება იმავე სახისაა, რაც განტოლება 9.9, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ აქ დროის T_1 და T_2 მუდმივებს შორის თანაფარდობა სხვაგვარია, კერძოდ: $T_1 < 2T_2$. T_1 მუდმივა ახასიათებს რგოლის საკუთარი რხევების დემფირებას, ხოლო T_2 მუდმივა მათ გაქანებას. დემფირების არარსებობისას ($T_1=0$) რხევითი რგოლის დიფერენციალური განტოლება (9.10) ღებულობს სახეს

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{გამ}}}{dt^2} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შეგ}}$$

და გარდამავალი მახასიათებელი გამოისახება არამიღევადი რხევის სახით მუდმივი ამპლიტუდით, რომლებიც მიღევადი რხევებისაგან განსხვავებით იწოდებიან პერიოდულ რხევებად.

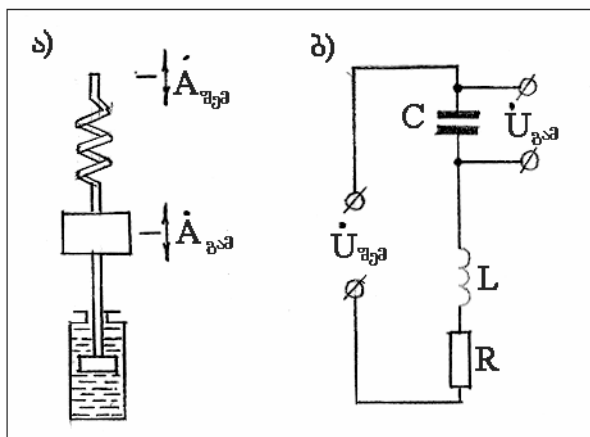
რხევების ამპლიტუდა მიიღევა ექსპონენტის მიხედვით (იხ. წვეტილი მრუდები ნახ.9.18ბ. გარდამავალი მახასიათებლის გრაფიკიდან $x_{\text{გამ}}(t)$ ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ამ ექსპონენტის დროის T მუდმივა (ეს შეიძლება შესრულდეს ზედა და ქვედა ექსპონენტების ორი-სამი წერტილის მიხედვით), გარდა ამისა, ვზომავთ იმავე გრაფიკზე რხევის ნახევარპერიოდს t_1 . ამ ორი სიდიდის შეფარდების T/t_1 მიხედვით სპეციალური გრაფიკის საფუძველზე ვპოულობთ T_1 სიდიდეს, რაც იძლევა რხევითი რგოლის დიფერენციალური განტოლების 9.10-ის სახით ჩაწერის შესაძლებლობას.

რხევითი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი და პირობითი გამოსახვა მოყვანილია 9.18 ნახაზზე.



ნახ.9.18. რხევითი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი:
 ა) შემაველი ზემოქმედება; ბ) გარდამავალი მახასიათებელი;
 გ) რგოლის პირობითი გამოსახვა

რხევით რგოლებს მიეკუთვნება მოწყობილობები, რომლებშიც გარდამავალი რეჟიმები მიმდინარეობენ ენერგიების გაცვლა-გამოცვლით ორ ენერგეტიკულ ტევადობას შორის. მაგალითად, ელექტრული წრედი, რომელიც შეიცავს ინდუქციურობას (L), ტევადობას (C) და აქტიურ წინაღობას (R), როდესაც ასეთ რგოლში შემავალი სიდიდე წრედის ბოლოებზე მიყენებული ძაბვაა, ხოლო გამოძავალი სიდიდე – ძაბვა კონდენსატორის (C) მომჭერებზე (ნახ.9.19ბ); მექანიკური მოწყობილობა, რომელსაც გააჩნია მასა, ზამბარა და ხახუნის ძალები (ნახ.9.19ა); დამოუკიდებელი აგზნების მუდმივი დენის ელექტრული ძრავა, რომელსაც შესწევს ღუზაში კინეტიკური ენერგიის და მაგნიტურ წრედში ელექტრომაგნიტური ენერგიის დაგროვების უნარი, რომლისთვისაც $U = x_{\text{გამ}}$ არის ღუზაზე მიყენებული მუდმივი სიდიდის ძაბვა, ხოლო $\omega = x_{\text{გამ}}$ – ძრავას კუთხური სიჩქარე (ღუზის ბრუნვის სიჩქარე); ტიპიკა დიფერენციალური მანომეტრი; ზიარტურტელი და სხვ.



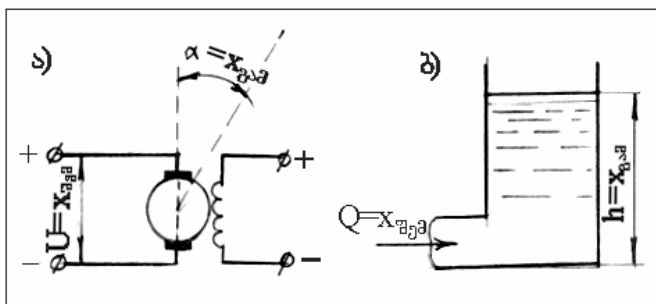
ნახ.9.19. რხევითი რგოლები: ა) მექანიკური; ბ) ელექტრული

$\dot{A}_{\text{გამ}} = A_{\text{გამ}} \cdot e^{j\omega t}$ - შემავალი რხევა; $\dot{A}_{\text{გამ}} = A_{\text{გამ}} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$ - გამოძავალი რხევა; $A_{\text{გამ}}$ - შემავალი რხევის ამპლიტუდა; $A_{\text{გამ}}$ - გამოძავალი რხევის ამპლიტუდა; ω - რხევის კუთხური სიხშირე; φ - ფაზური ძერა გამოძავალ და შემავალ რხევებს შორის; $j = \sqrt{-1}$ - წარმოსახვითი ერთეული

4. მაინტეგრებული რგოლი. მაინტეგრებელ რგოლს, აგრეთვე, უწოდებენ ასტატიკურს ან კიდევ – ნეიტრალურს. მაინტეგრებული ეწოდება ისეთ რგოლს, რომლის გამოშვადი სიდიდე შემავალის ინტეგრალია ან რომელშიც გამოსასვლელზე სიდიდის ცვლილების სიჩქარე პროპორციულია სიდიდისა შესასვლელზე.

ანსხვავებენ იდეალურ და რეალურ მაინტეგრებელ რგოლებს. იდეალური მაინტეგრებული რგოლის მაგალითია დამოუკიდებელი აგზნების მუდმივი დენის ძრავა, თუ შესასვლელ სიდიდედ ჩავთვლით ღუზის ძაბვას $U_{\text{გაგ}}$, ხოლო გამოსასვლელ სიდიდეთ – ღუზის მობრუნების კუთხეს α იმ პირობით, რომ დროის ელექტრომექანიკური და ელექტრომაგნიტური მუდმივები შედარებით მცირეა და შეიძლება მათი უგულებელყოფა (ნახ.9.20ა).

მეორე მაგალითია რეზერვუარი, რომელშიც მიეწოდება სითხე, თუ შესასვლელ სიდიდედ ჩავთვლით სითხის ნაკადს (Q), ხოლო გამოსასვლელ სიდიდედ – სითხის დონეს (h) რეზერვუარში იმ პირობით, რომ სითხის სიჩქარე მკვებავ მილსადენში მყისიერად აღწევს დამყარებულ მნიშვნელობას (ნახ.9.20ბ).



ნახ.9.20. მაინტეგრებული რგოლების მაგალითები

ძალიან ხშირად, პრაქტიკული ანგარიშებისათვის საკმარისი სიზუსტით, შეიძლება რეალური მაინტეგრებული რგოლების ნაცვლად გამოყენებული იქნას იდეალური.

რეალური მაინტეგრებული რგოლის მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ იქნას დამოუკიდებელი აგზნების მუდმივი დენის ძრავა დიდი მქნევარა მომენტით ღილეზე, რომლის გაელენის უგულებელყოფა დაუშვებელია. რაც შეეხება ღუზის წრედის ინდუქციურობას, შეიძლება უგულებელყოფილი იქნეს.

იდეალური მაინტეგრებელი რგოლის თვისებები აიწერება განტოლებით

$$\frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} = kx_{\text{შეშ}} \quad (9.11)$$

და

$$x_{\text{გამ}} = k \int_0^t x_{\text{შეშ}}(t) dt. \quad (9.12)$$

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, იდეალური მაინტეგრებელი რგოლის მაგალითია მუდმივი დენის ძრავა. ძრავას ბრუნვის სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებიდან

$$n = k \cdot U_{\text{მ}}, \quad (9.13)$$

სადაც k არის გადამცემი კოეფიციენტი.

ჩაესვით $n = \frac{d\alpha}{dt}$ (9.13) გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$\frac{d\alpha}{dt} = k \cdot U_{\text{მ}}, \quad (9.14)$$

სადაც α არის ძრავას ლილვის მობრუნების კუთხე. გავაინტეგრავთ ეს გამოსახულება

$$\alpha = k \int_0^t U_{\text{მ}} dt. \quad (9.15)$$

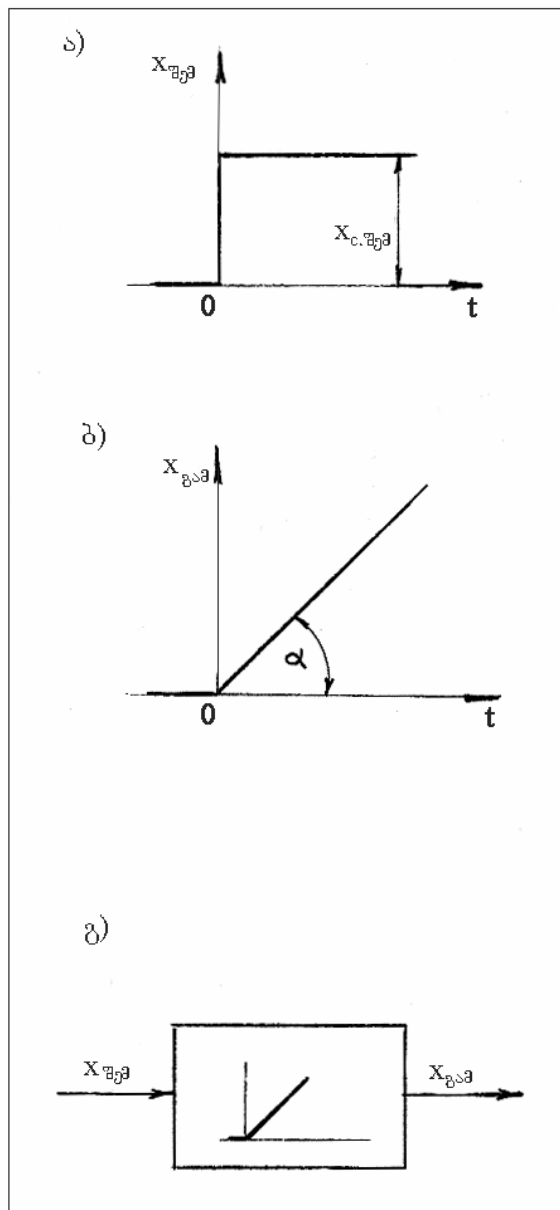
შევცვალოთ $U_{\text{მ}} = x_{\text{შეშ}}$ და $\alpha = x_{\text{გამ}}$ (ე.ი. $d\alpha = dx_{\text{გამ}}$) (9.14) და (9.15) გამოსახულებებში, მივიღებთ, რომ

$$\frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} = kx_{\text{შეშ}} \quad \text{და} \quad x_{\text{გამ}} = k \int_0^t x_{\text{შეშ}}(t) dt.$$

მაშასადამე, ასეთი რგოლი მაინტეგრებელია.

იდეალური მაინტეგრებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი 9.12-ის თანახმად იქნება დახრილი სწორი $x_{\text{გამ}}(t)$ (ნახ.9.21ბ). ვინაიდან ინტეგრალი გეომეტრიულად წარმოადგენს ფართობს $x_{\text{შეშ}}(t)$ მრუდის ქვეშ, ხოლო მოცემულ შემთხვევაში ($x_{\text{შეშ}} = \text{const} = x_{\text{cშეშ}}$), ეს ფართობი გაიზრდება t აფსცისის პროპორციულად:

$$x_{\text{გამ}} = kx_{\text{cშეშ}} \cdot t. \quad (9.16)$$



ნახ.9.21. იდეალური მაინტეგრებული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი: ა) შემაველი ზემოქმედება; ბ) გარდამავალი მახასიათებელი; გ) რგოლის პირობითი გამოსახვა

რეალური (ინერციული) მაინტეგრებელი რგოლის თვისებები აიწერება მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებით (დინამიკის განტოლება)

$$T \frac{d^2 x_{\text{გამ}}}{dt^2} + \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} = kx_{\text{შემ}}. \quad (9.17)$$

ასეთი რგოლის მაგალითია დამოუკიდებელი აგზნების მუდმივი დენის ძრავა ლილვზე დიდი მქნევარა მომენტი, რომლის განტოლებას ჩვეულებრივ აქვს სახე

$$T \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} = kU_{\text{გ}}. \quad (9.18)$$

რეალური მაინტეგრებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებლის განტოლება მიიღება (9.17) განტოლების გადაწყვეტით ($x_{\text{შემ}} = \text{const}$ და ნულოვანი საწყისი პირობების დროს) და აქვს სახე

$$x_{\text{გამ}} = x_{\text{cშემ}} [kt - kT(1 - e^{-\frac{t}{T}})]. \quad (9.19)$$

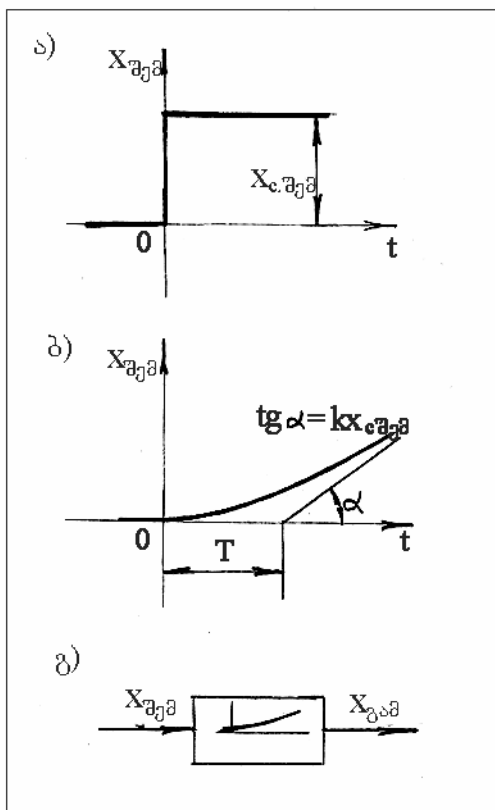
გრაფიკულად წარმოდგენილია 9.22 ნახაზზე.

მაინტეგრებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებლები და პირობითი გამოსახულებები ნაჩვენებია 9.21 და 9.22 ნახაზებზე.

მაინტეგრებელი რგოლის მაგალითებია: მცირე სიმძლავრის ელექტროძრავა, რეზერვუარი, რომელშიც მიეწოდება სითხე, ელექტრომრიცხველი, კონდენსატორი დამუხტული დენით, იდეალური ინდუქციურობა, ერთტევადობიანი სარეგულირებელი ობიექტი თვითგათანაბრების გარეშე, ჰიდრაულიკური სერვოძრავა, მექანიკური მოწყობილობა (შესასვლელი სიდიდე – სიჩქარე, გამოსასვლელი – გადაადგილება) და სხვ.

5. მაღიფერენცირებელი რგოლი. რგოლს, რომელშიც სიდიდე გამოსასვლელში პროპორციულია შესასვლელში სიდიდის ცვლილების სიჩქარისა, ეწოდება მაღიფერენცირებელი რგოლი.

ცნობილია იდეალური და რეალური (ინერციული, იზოდრომული) მაღიფერენცირებელი რგოლები.



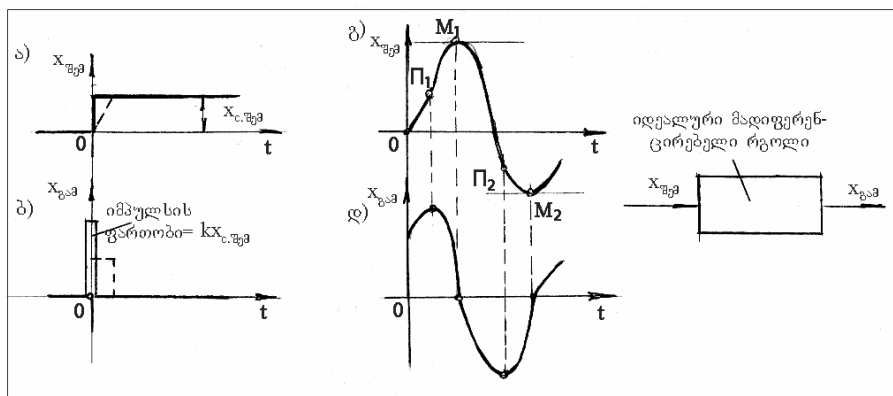
ნახ.9.22. რეალური მაინტეგრებული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი: ა) შემავალი ზემოქმედება; ბ) გარდამავალი მახასიათებელი; გ) რგოლის პირობითი გამოსახვა

იდეალური მაღიფერენცირებული რგოლი წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც გამოსასვლელზე იძლევა “სუფთა” (დამახინჯებების გარეშე) წარმოებულს დროის მიხედვით შესასვლელი სიდიდიდან, ე.ი. რგოლის დინამიკის განტოლებაა

$$x_{\text{გამ}} = k \frac{dx_{\text{შეშ}}}{dt}. \quad (9.20)$$

ავაგოთ იდეალური მაღიფერენცირებული რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი. ამისათვის შესასვლელზე მივაწოდოთ ნახტომისებურად მუდმივი მნიშვნელობა $x_{\text{შეშ}} = x_{\text{ც.შეშ}}$.

მხოლოდ $t=0$ წერტილში, წარმოებული $\frac{dx_{შეგ}}{dt}$ არ იქნება ნულის ტოლი. თუ ნახტომი მყისიერია, მაშინ წარმოებული $\frac{dx_{შეგ}}{dt}$ $t=0$ წერტილში იქნება უსასრულოება, და გარდამავალ მახასიათებელს ექნება მყისიერი იმპულსის სახე (მთლიანი ხაზები $x_{გამ}$ -ის გრაფიკზე, ნახ.9.23), ხოლო შემდეგ გახდება ნულის ტოლი, რადგან შემავალი სიდიდის ცვლილების სიჩქარე ყველა შემდგომ მომენტებში ტოლია ნულისა. ვინაიდან ბუნებაში ყოველთვის იქნება არა წმინდა მყისიერი ცვლილება (პუნქტირი $x_{შეგ}$ -ის გრაფიკზე), ამიტომაც იმპულსი გამოსასვლელში იქნება სასრული (პუნქტირი $x_{გამ}$ -ის გრაფიკზე), თუმცა ძალიან მოკლე ხნით.



ნახ.9.23. იდეალური მადიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი

იდეალური მადიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი არ არის ძალიან თვალსაჩინო. ამიტომ 9.23დ ნახაზზე ნაჩვენებია ამ რგოლის გამოსასვლელი სიდიდის $x_{გამ}(t)$ გრაფიკი, შემავალი სიდიდის $x_{შეგ}(t)$ ნებისმიერად

ცვლილების დროს (ნახ.9.23გ). $x_{გამ} = k \frac{dx_{შეგ}}{dt}$ გრაფიკი ადვილი

ასაგებია ნებისმიერი $x_{შეგ}$ -ის დროს, თუ გავიხსენებთ წარ-

მოებულის გეომეტრიულ აზრს - $x_{\text{გამ}}(t)$ მრუდის მიმართ მხე-
ბის დახრის კუთხის ტანგენსი. შედეგად $x_{\text{გამ}}(t)$ -ს ექნება
მაქსიმუმი და მინიმუმი მრუდის $x_{\text{გამ}}(t)$ გადაღუნვის Π_1 და Π_2
წერტილებში, რადგან იქ მრუდს $x_{\text{გამ}}(t)$ გააჩნია ყველაზე
დიდი დახრა (ნახ.9.23გ,დ). მრუდის $x_{\text{გამ}}(t)$ მაქსიმუმისა M_1 და
მინიმუმის M_2 წერტილებში $x_{\text{გამ}}=0$, რადგან $x_{\text{გამ}}(t)$ მხებები M_1
და M_2 წერტილებში პორიზონტალურია.

იდეალური მაღიფერენცირებელი რგოლის მაგალითია
ტაქოგენერატორი იმ შემთხვევაში, თუ შესასვლელ სიდიდედ
 $x_{\text{გამ}}$ მივიღებთ ლილვის მობრუნების კუთხეს. ტაქოგენერა-
ტორი იძლევა ძაბვას, რომელიც პროპორციულია ლილვის
ბრუნვის კუთხური სიჩქარისა

$$U = k \cdot \omega,$$

მაგრამ კუთხური სიჩქარე ω წარმოადგენს, როგორც ცნო-
ბილია, ლილვის მობრუნების φ კუთხის წარმოებულს
დროის მიხედვით. შედეგად ვღებულობთ:

$$U = k \cdot \frac{d\varphi}{dt}, \quad (9.21)$$

რაც ემთხვევა იდეალური მაღიფერენცირებელი რგოლის 9.20
განტოლებას.

უნდა შევნიშნოთ, რომ ყოველთვის არ არის შესაძლე-
ბელი იდეალური მაღიფერენცირებელი მოწყობილობის გაკე-
თება, რომელიც 9.20-ის თანახმად იძლეოდეს წარმოებულს
დაუმახინჯებლად. ყველა რეალურ მოწყობილობას გააჩნია
ინერციულობა ამა თუ იმ ხარისხით, რომელიც გამოიხატება
დროის რაღაც მუდმივათი. ამიტომ 9.7 ფორმულის ანალოგი-
ურად, რეალური (ინერციული) მაღიფერენცირებელი რგოლი
9.20-ის ნაცვლად აიწერება განტოლებით

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = k \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt}. \quad (9.22)$$

ზემოთ მოყვანილი ტაქოგენერატორის მაგალითში ეს
ნიშნავს, რომ იგი გამოიმუშავებს არა $\frac{d\varphi}{dt}$ კუთხური სიჩქარის
იდეალურად პროპორციულ U ძაბვას, როგორც 9.21 ფორმუ-

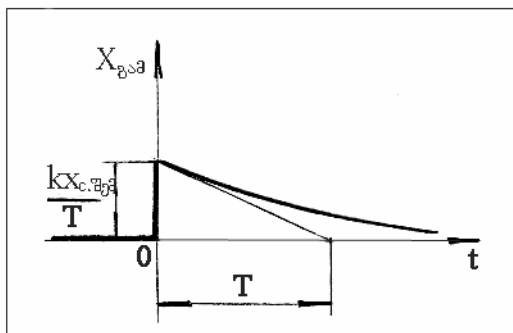
ლაშია, არამედ დამახინჯებით ინერციული დაგვიანების სახით, რომელიც ხასიათდება დროის T მუდმივათი:

$$T \frac{dU}{dt} + U = k \cdot \frac{d\varphi}{dt}. \quad (9.23)$$

რეალური მაღიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახაზზე 9.24 და აიწერება ფორმულით

$$x_{\text{გამ}} = \frac{kx_{c.\text{შეგ}}}{T} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (9.24)$$

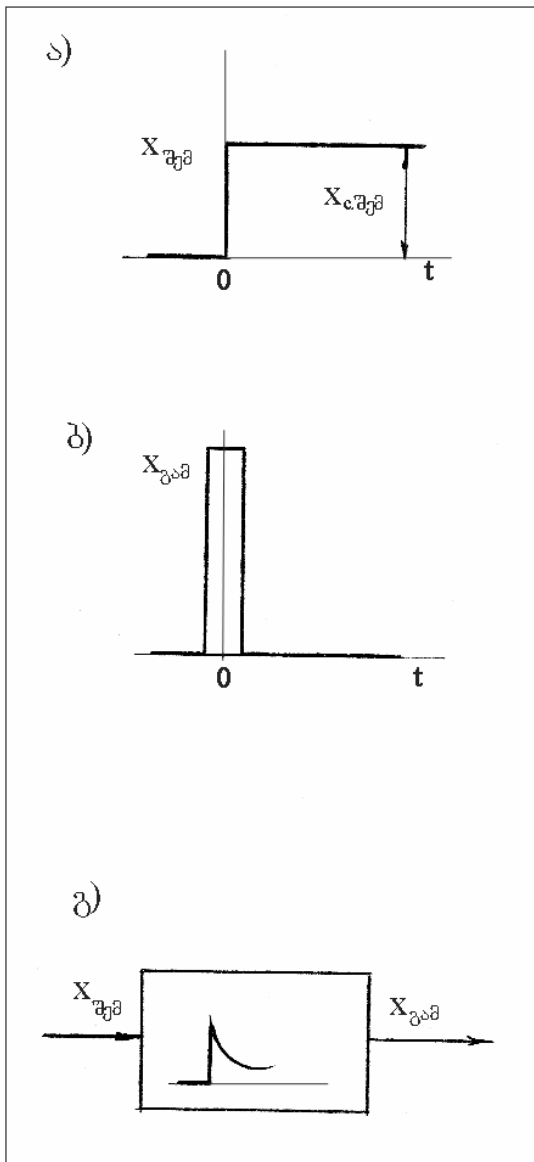
რომელიც წარმოადგენს (9.22) დიფერენციალური განტოლების გადაწყვეტას, ადვილი დასანახია, რომ როცა $T=0$ (იდეალური მაღიფერენცირებელი რგოლი) გრაფიკი ნახ.9.24 გადაგვარდება მყისიერ იმპულსად (ნახ.9.23ბ).



ნახ.9.24 მაღიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი

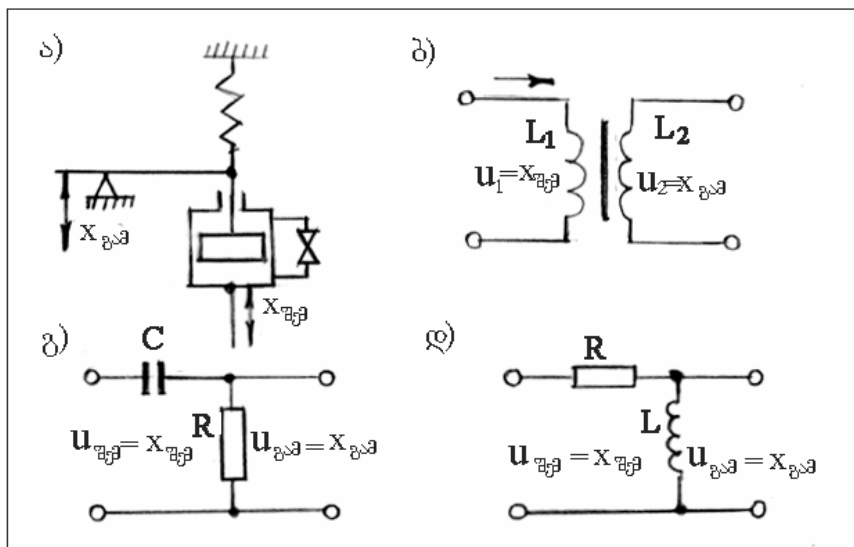
რეალური მაღიფერენცირებელი რგოლი შეესაბამება თანმიმდევრულად შეერთებულ აპერიოდულ და იდეალურ მაღიფერენცირებელ რგოლებს.

მაღიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი და მისი პირობითი გამოსახვა მოყვანილია 9.25 ნახაზზე.



ნახ.9.25. მადიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი: ა) შემაგალი ზემოქმედება; ბ) გარდამავალი მახასიათებელი; გ) რგოლის პირობითი გამოსახვა

მადიფერენცირებადი რგოლების მაგალითებია: ჰიდრავ-
ლიკური მამშვიდებელი ზამბარით (ნახ.9.26ა), ტრანსფორმა-
ტორი (ნახ.9.26ბ), წრედი აქტიური წინაღობით და ტევადობით
(ნახ.9.26გ), წრედი აქტიური წინააღობით და ინდუქციურობით
(ნახ.9.26დ), სიხარითი თერმოწყვილი, რომლისთვისაც ე.მ.დ.
გამოსასვლელზე პროპორციულია გასაზომი ტემპერატურის
ცვლილების სიჩქარისა; მუდმივი დენის გენერატორი, რომ-
ლის შემავალი სიდიდეა მისი დერძის მობრუნების კუთხე,
ხოლო გამომავალი სიდიდე – ძაბვა, ღუზის მომჭერებზე და
სხვ.



ნახ.9.26. მადიფერენცირებადი რგოლების მაგალითები

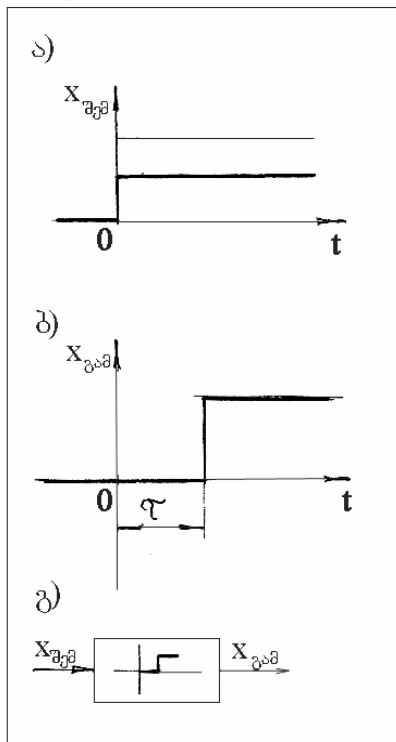
6. დაგვიანებით მოქმედი რგოლი. დაგვიანებით მოქმედი
რგოლი ეწოდება რგოლს, რომელშიც გამოსასვლელი სიდიდე
აღწარმოებს შესასვლელი სიდიდის ცვლილებას დაუმახინჯე-
ლად, მაგრამ გარკვეული მუდმივი τ დაგვიანებით (ნახ.9.27).

რგოლის დინამიკის განტოლებას აქვს სახე

$$x_{გამ}(t) = kx_{გამ}(t - \tau), \quad (9.25)$$

სადაც τ არის სუფთა ანუ სატრანსპორტო დაგვიანების დრო.

დაგვიანებით მოქმედი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი და მისი პირობითი გამოსახვა ნაჩვენებია ნახაზზე 9.27.



ნახ.9.27. დაგვიანებით მოქმედი რგოლის გარდამავალი მახასიათებელი: ა) საფეხურისებრი შემავალი ზემოქმედება; ბ) გარდამავალი მახასიათებელი; გ) რგოლის პირობითი გამოსახვა

დაგვიანებით მოქმედი რგოლის მაგალითებია კონვეიერები*, მკვებავეები, გრძელი მილსადენები**, წისქვილები*** და სხვ.

* თუ კონვეიერის ერთ ბოლოზე გარკვეული დოზით დაყრილ სატრანსპორტირებელ მასალას ჩავთვლით შემავალ სიგნალად, ხოლო მეორე ბოლოდან გადმოყრილი მასალის რაოდენობას დროის ერთეულში გამოშვებულ სიგნალად, ცხადია, რომ შემავალი სიგნალის ყოველგვარ ცვალეზადობას, მხოლოდ გარკვეული დროის შემდეგ (τ დროის მონაკვეთის შემდეგ), მოჰყვება გამოშვებული სიგნალის სათანადო ცვალეზადობა. მაშასადამე, კონვეიერი დაგვიანებით მოქმედი რგოლის მაგალითია.

** თუ ჩავთვლით, რომ მილსადენში შემავალი სითხის ტემპერატურა არის შემავალი სიგნალი, ხოლო მილსადენიდან გამონადენი სითხის ტემპერატურა – გამოშვებული სიგნალი, მაშინ მილსადენი იქნება დაგვიანებით მოქმედი რგოლის მაგალითი.

*** თუ წისქვილში დასაფუჭავი მარცვლის მიწოდების ინტენსივობა შემავალი სიგნალია, ხოლო მუდმივი სიჩქარით მბრუნავ წისქვილში

დაგვიანებით მოქმედი რგოლი წარმოადგენს პროპორციული რგოლის სახეს, როდესაც გამოსასვლელი სიდიდე დროის მუდმივი მონაკვეთის ჩამორჩენით იმეორებს შესასვლელ სიდიდეს (იხ. ფორმულა 9.6).

თუ 9.25 გამოსასვლელაში დავეშვებით, რომ გაძლიერების კოეფიციენტი $k=1$, მაშინ რგოლის განტოლება იქნება

$$x_{\text{გამ}}(t) = x_{\text{შემ}}(t - \tau),$$

რომლის ოპერაციული სახე შეიძლება მიღებული იქნას დაძვრის თეორემის თანახმად.

ავტომატური რეგულირების თეორიასა და პრაქტიკაში უმეტეს შემთხვევებში საქმე გვაქვს უფრო მაღალი რიგის განტოლებებთან. ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლება მუდმივი კოეფიციენტებით, რომელიც აღწერს წრფივი სისტემის დინამიკურ თვისებებს ზოგადი სახით ასეთია:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n x_{\text{გამ}}}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_{\text{გამ}}}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + a_0 x_{\text{გამ}} = \\ = b_m \frac{d^m x_{\text{შემ}}}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_{\text{შემ}}}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_{\text{შემ}}}{dt} + b_0 x_{\text{შემ}}, \end{aligned} \quad (9.26)$$

სადაც

$x_{\text{გამ}}$ არის გამომავალი (სარეგულირებელი) სიდიდე;

$x_{\text{შემ}}$ – შემავალი სიდიდე (მარეგულირებელი ან შემავ-ფოთებელი ზემოქმედება);

$a_n, a_{n-1}, \dots, a_0; b_m, b_{m-1}, \dots, b_0$ – მუდმივი კოეფიციენტები;

$\frac{d^n x}{dt^n}$ – n -ური ხარისხის წარმოებული დროის მიხედვით;

$\frac{d^m x}{dt^m}$ – m -ური ხარისხის წარმოებული დროის მიხედვით.

მარცვლის დაფქვის ხარისხი გამომავალი სიგნალი, მაშინ წისკვილი დაგვიანებით მოქმედ რგოლად შეიძლება იქნას წარმოდგენილი.

§5. ავტომატური რეგულირების სისტემების რგოლების შეერთება

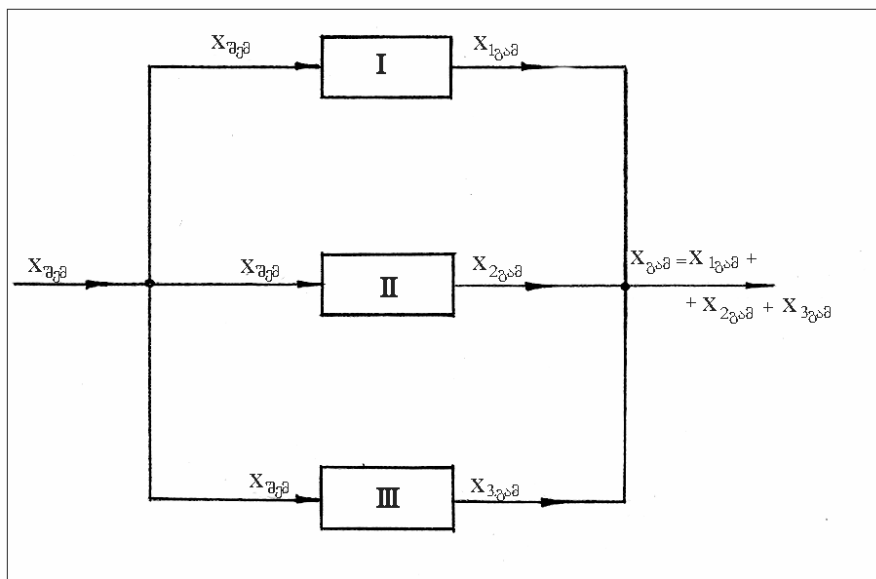
ავტომატური რეგულირების სისტემის რგოლები შეიძლება შეერთდნენ პარალელურად მიმდევრობით და სისტემის ან რამდენიმე რგოლის შერთვით უკუკავშირით*.

რგოლების პარალელური შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, რომლის დროსაც შემავალი სიდიდე წარმოადგენს საერთოს ყველა რგოლისათვის, ხოლო შეერთების გამოშვებული სიდიდე ტოლია რგოლების გამოშვებული სიდიდეების ალგებრული ჯამისა.

ნახ.9.28-ზე მოყვანილია სისტემის სამი რგოლის პარალელურად შეერთების სქემა. შეერთების გამოშვებული სიდიდე

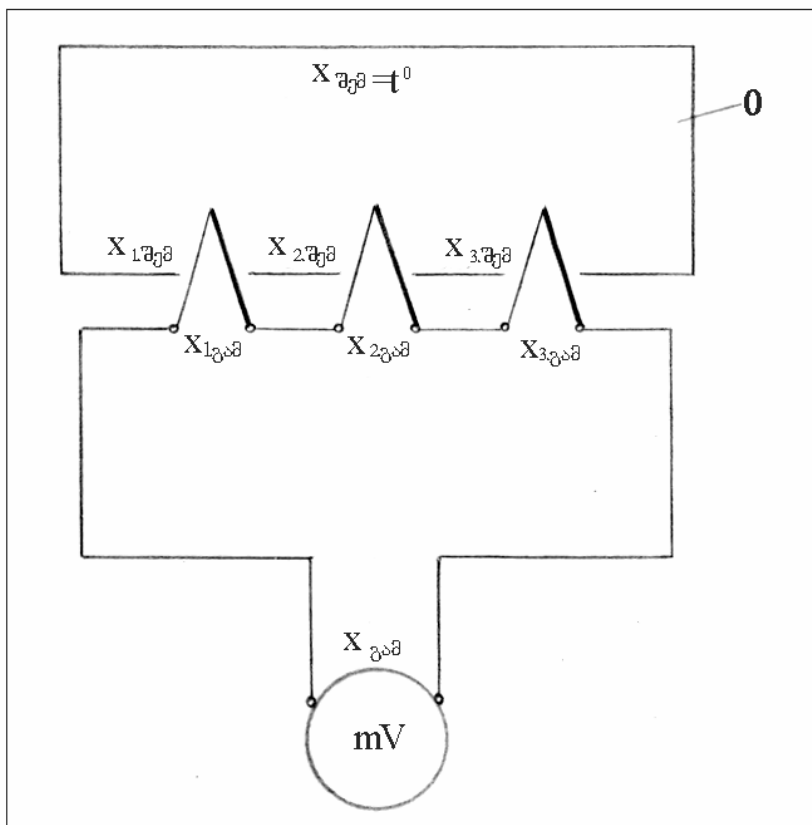
$$x_{გამ} = x_{1გამ} + x_{2გამ} + x_{3გამ}. \quad (9.27)$$

* უკუკავშირის ქვეშ იგულისხმება მოწყობილობების ერთობლიობა, რომლებიც გამოსასვლელი (სარეგულირებელი) სიდიდის ცვლილებებს გადასცემენ სისტემის შესასვლელზე.



ნახ.9.28. სისტემის ელემენტების პარალელური შეერთება

რგოლების პარალელურად შეერთება განვიხილოთ რაიმე გარემოს ტემპერატურის გაზომვის მაგალითზე, თერმოწყვილების დახმარებით (ნახ.9.29). ივარაუდება, რომ O ობიექტში, რომელშიც წარმოებს გაზომვა, გარემოს ტემპერატურა იცვლება ერთდროულად და ერთნაირად მთელს მოცულობაში. ამ მაგალითში სამივე თერმოწყვილისათვის (სამივე რგოლისათვის) შემავალ სიდიდეს $x_{შეშ}$ წარმოადგენს გარემოს ტემპერატურა, ხოლო გამომავალ სიდიდეს $x_{გამ}$ საერთო თერმო ე.მ.ძ. ბატარეის მომჭერებზე, რომელიც შედგენილია განხილული მაგალითის შემთხვევაში სამი თერმოწყვილისაგან.



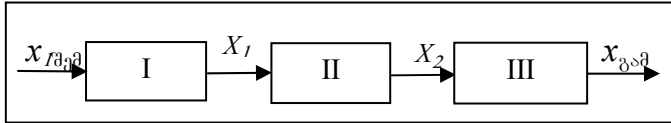
ნახ.9.29. ობიექტის ტემპერატურის გაზომვა პარალელურად შეერთებული რგოლების დახმარებით

შემაგალი სიდიდე ყველა რგოლისათვის ერთი და იგივეა, ე.ი.

$$X_{1შემ} = X_{2შემ} = X_{3შემ} = X_{შემ} = t^0 C.$$

თერმოწყვილების გამოსასვლელები ისეთნაირადაა შეერთებული, რომ ბატარეის თერმო ე.მ.ძ. ტოლია თითოეული თერმოწყვილის ე.მ.ძ. ჯამისა, ე.ი. საერთო გამომავალი სიდიდე ტოლია შემადგენელი რგოლების გამომავალი სიდიდეების ჯამისა (გარემოს საშუალო ტემპერატურის განსასაზღვრავად ამ მაგალითში საჭიროა ხელსაწყოზე გამომავალი სიდიდის ჩვენება გავყოთ სამზე).

ნახაზზე 9.30 მოცემულია სამი რგოლის თანმიმდევრობით შეერთება. რგოლების თანმიმდევრობით შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, რომლის დროსაც ყოველ რგოლში შემავალი სიგნალი არის წინა რგოლიდან გამოსული სიგნალი, ხოლო გამომავალი სიგნალი შემდგომ რგოლში შემავალი სიგნალია.



ნახ.9.30. რგოლების თანმიმდევრობით შეერთება

ვიპოვოთ სტატიკური მახასიათებელი თანმიმდევრობით შეერთებული ხაზოვანი (წრფივი) რგოლებისა.

პირველი რგოლისათვის

$$x_{1გამ} = k_1 x_{1შემ}; \quad (9.28)$$

II რგოლისათვის

$$x_{2გამ} = k_2 x_{2შემ}; \quad (9.29)$$

III რგოლისათვის

$$x_{3გამ} = k_3 x_{3შემ}; \quad (9.30)$$

მაგრამ თანმიმდევრობით შეერთების დროს

$$x_{1გამ} = x_{2შემ} = X_1; \quad (9.31)$$

ე.ი. პირველი რგოლის გამომავალი სიდიდე წარმოადგენს II რგოლისათვის შემავალს (ნახ.9.30-ზე აღნიშნულია X_1 -ით).

ანალოგიურად

$$\left. \begin{aligned} x_{2გამ} &= x_{3შემ} = X_2; \\ x_{3გამ} &= x_{გამ}, \end{aligned} \right\} \quad (9.32)$$

სადაც $x_{გამ}$ არის რგოლების მთელი ჯგუფის გამომავალი სიდიდე. მაშინ

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= x_{1გამ} = k_1 x_{1შემ}; \\ X_2 &= x_{2გამ} = k_2 x_{2შემ}; \\ X_3 &= x_{3გამ} = k_3 x_{3შემ}. \end{aligned} \right\} \quad (9.33)$$

მაგრამ

$$x_{3გამ} = x_{გამ},$$

მაშასადამე

$$x_{\text{გამ}} = k_3 x_{3\text{შემ}}. \quad (9.34)$$

მაგრამ 9.32 და 9.29 ფორმულების თანახმად

$$x_{3\text{შემ}} = X_{2\text{გამ}} = k_2 x_{2\text{შემ}}; \quad (9.35)$$

თუ ჩავსვამთ 9.35 9.34-ში, მივიღებთ:

$$x_{\text{გამ}} = k_3 k_2 x_{2\text{შემ}}; \quad (9.36)$$

9.31-სა და 9.34-ის თანახმად

$$X_{2\text{შემ}} = x_{1\text{გამ}} = k_1 x_{1\text{შემ}};$$

თუ ჩავსვამთ ამ მნიშვნელობას 9.36-ში, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$x_{\text{გამ}} = k_3 k_2 k_1 x_{1\text{შემ}};$$

ამრიგად,

$$x_{\text{გამ}} = k_1 k_2 k_3 x_{1\text{შემ}}, \quad (9.37)$$

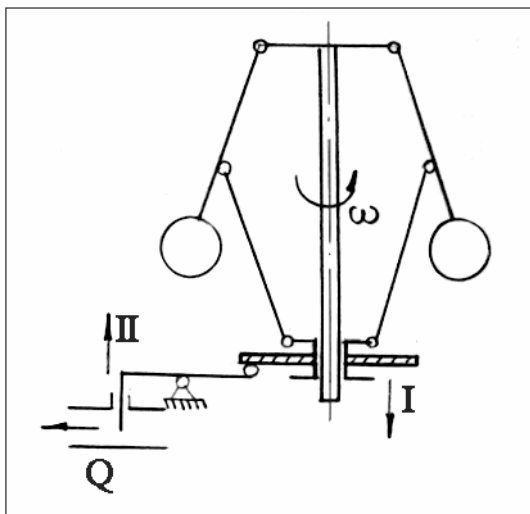
ე.ი.

$$x_{\text{გამ}} = k x_{1\text{შემ}},$$

სადაც $k = k_1 k_2 k_3$.

რამდენიმე თანმიმდევრობით შეერთებული წრფივი რგოლის სტატიკური მახასიათებელი წარმოადგენს სწორს, რომლის გადამცემი (გარდაქმნის) კოეფიციენტი ტოლია რგოლების გადამცემი კოეფიციენტების ნამრავლისა.

რგოლების თანმიმდევრობით შეერთების მაგალითი მოცემულია 9.31 ნახაზზე. თბური ძრავას ლილვის ბრუნვის სიხშირის სტაბილიზაცია ხორციელდება ორი თანმიმდევრობით შეერთებული რგოლის საშუალებით – ცენტრიდანული რეგულატორითა (I რგოლი) და ბერკეტით (II). ბერკეტი გადაადგილებს საფარს, რომელიც ცვლის სათბობის ხარჯს.

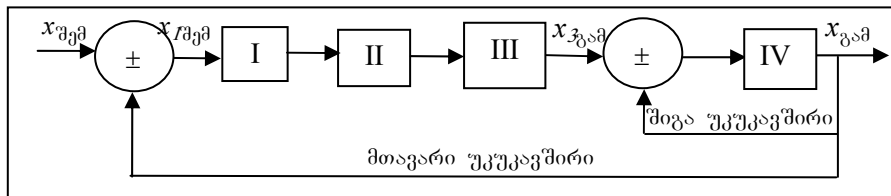


ნახ.9.31. თბური ძრავას ლილვის ბრუნვის სიხშირის სტაბილიზაციის ავტომატური მართვის სისტემა

სისტემის ან რამდენიმე რგოლის შერთვა უკუკავშირით. ძირითადი ცნობები ავტომატური მართვის სისტემაზე უკუკავშირით მოცემულია მეოთხე თავის პირველ პარაგრაფში. აქ აღვნიშნავთ, რომ უკუკავშირი უკუკავშირის კოეფიციენტის ნიშნის მიხედვით შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი. დადებითი უკუკავშირის გამოყენება ზრდის გაძლიერების კოეფიციენტს, ხოლო უარყოფითი უკუკავშირის გამოყენება ამცირებს გაძლიერების კოეფიციენტს.

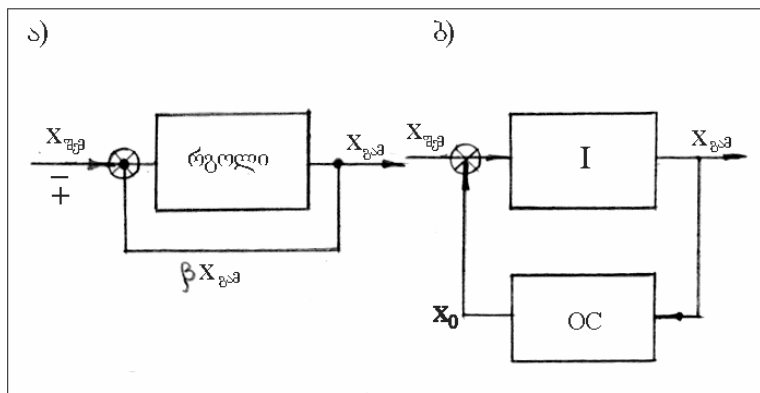
სისტემის ან რამდენიმე რგოლის შერთვა უკუკავშირით ხორციელდება, როდესაც ნებისმიერი წესით შეერთებული შესართავი რგოლების შესასვლელზე მათი გამოსასვლელიდან მიეწოდება სიგნალი შემრთველი რგოლების გავლით, რომლებიც იმყოფებიან უკუკავშირის წრედში. მაშასადამე, უკუკავშირი ეწოდება ისეთ კავშირს, რომლის დროსაც რგოლის გამომავალი სიგნალი ემატება ან აკლდება იმავე რგოლის ან რომელიმე წინ მდებარე რგოლის შემავალ სიგნალს. ამასთან, თუ სისტემის უკანასკნელი რგოლის გამომავალი სიგნალი ემატება ან აკლდება სისტემის პირველი რგოლის შემავალ სიგნალს, მაშინ ასეთ კავშირს მთავარი უკუკავშირი ეწოდება; სხვა დანარჩენ უკუკავშირს – შიგა და დამატებითი უკუკავშირი (ნახ.9.32). თუ სქემაზე მხოლოდ ერთი მთავარი უკუკავშირია, მას ერთკონტურიანი ეწოდება,

ხოლო თუ რამდენიმე უკუკავშირია – მრავალკონტურიანი. თუ შემადარებელ ორგანოში პლუს ნიშანია, მაშინ პირველ რგოლში შემავალი სიგნალი იქნება $x_{შეგ} + x_{გამ}$, ხოლო, თუ მინუსია, მაშინ $x_{შეგ} - x_{გამ}$.



ნახ.9.32. კავშირების სახეები

ნახ.9.33ა-ზე მოყვანილია შერთული სისტემა ხისტი უკუკავშირით, ხოლო ნახ.9.33ბ-ზე უკუკავშირის რგოლით.



ნახ.9.33. ჩაკეტილი სისტემა უკუკავშირით

ამრიგად, სისტემის ან რამდენიმე რგოლის შერთვისას უარყოფითი (დადებითი) უკუკავშირით (ნახ.9.33ბ) ჩაკეტილი სისტემის გადამცემი ფუნქცია ტოლია ნებისმიერი წესით შეერთებული, ჩასაკეტი რგოლების გადამცემი ფუნქცია $W_1(P)$ გაყოფილი ერთი პლიუს (მინუს) ჩასაკეტი რგოლების გადამცემი ფუნქცია გამრავლებული ჩამკეტი რგოლების $W_{oc}(P)$ გადამცემი ფუნქციაზე

$$W_{\text{ჩაკეტილი სისტ.}}(P) = \frac{W_1(P)}{1 \pm W_1(P) \cdot W_{oc}(P)} \quad (9.38)$$

ამ ფორმულის გამოყენება იხილე [16].

§6. ავტომატური რეგულირების სისტემების სტრუქტურული სქემები

ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურული სქემა ეწოდება სქემას, რომელიც შედგენილია ტიპობრივი დინამიკური რგოლებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებული არიან ისეთნაირად, რომ ზემოქმედებები მათი საშუალებით მიმდინარეობდნენ იმის ანალოგიურად, როგორც ისინი მიმდინარეობენ რეალურ (კონსტრუქციულ) სქემაში.

ავტომატური რეგულირების სისტემების დიფერენციალური განტოლებების შედგენა მარტივდება, თუ წინასწარ შევადგენთ ამ სისტემის ე.წ. სტრუქტურულ სქემას. ამრიგად, ავტომატური რეგულირების სისტემების დიფერენციალური განტოლებების შედგენის ამოცანა დაიყვანება ცალკეული რგოლების განტოლებების შედგენაზე. ამასთან მოგება შრომაში ხდება თვალნათელი, ვინაიდან პრაქტიკაში უმეტეს შემთხვევებში ავტომატური რეგულირების სისტემების სტრუქტურული სქემები წარმოადგენენ მცირე რიცხვის ტიპური რგოლების კომბინაციებს, რომელთა გადამცემი ფუნქციები ცნობილია. (ავტომატური რეგულირების რგოლების გადამცემი ფუნქციები განხილულია მეცხრე პარაგრაფში). აქ მხოლოდ აღვნიშნავთ, რომ რგოლის გადამცემი ფუნქცია შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც გამოსასვლელი სიგნალის შეფარდება შესასვლელ სიგნალთან.

მაშასადამე, ავტომატური რეგულირების სისტემის რეალური კონსტრუქციული (პრინციპიალური) სქემის წარმოსადგენად დინამიკური სტრუქტურული სქემის სახით, თავდაპირველად საჭიროა დადგინდეს, თუ რომელი ტიპური ელემენტარული რგოლის ეკვივალენტურია სისტემის კონსტრუქციული ელემენტი და შემდეგ რგოლები შეერთდეს ერთმანეთთან შენაწევრებული კონსტრუქციული ელემენტების შესაბამისად.

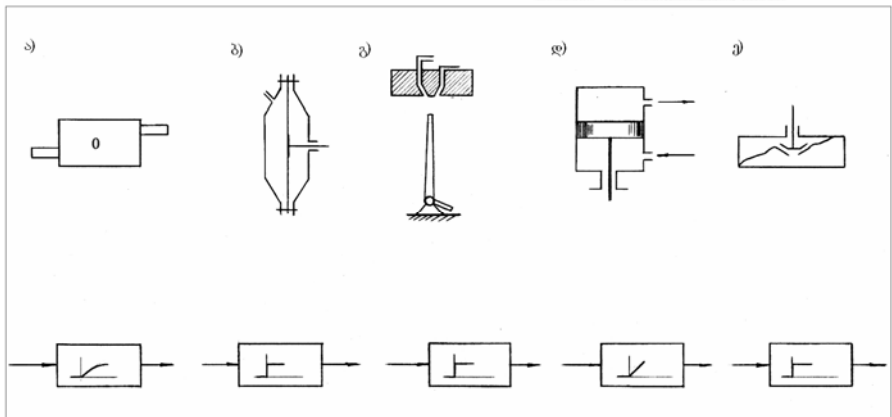
შევადგინოთ რეგულირების სისტემის სტრუქტურული სქემა, რომელიც მოყვანილია 9.2 ნახაზზე. ამ სისტემის თითოეული კონსტრუქციული ელემენტი შეიძლება შეცვლილი იქნეს მისი ეკვივალენტური დინამიკური რგოლით, როგორც ნაჩვენებია 9.34 ნახაზზე.

დავიწყოთ სარეგულირებელი ობიექტით. იგი შეიძლება წარმოდგენილი იქნას აპერიოდული რგოლით; სისტემის

შესასვლელს წარმოადგენს მიწოდებული გაზის რაოდენობის ცვლილება, ხოლო გამოსასვლელს – სარეგულირებელი წნევის ცვლილება (ნახ.9.34ა).

მემბრანული მგრძნობიარე ელემენტი (გარდამსახი) შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს როგორც **პროპორციული რგოლი**; შესასვლელი – სარეგულირებელი წნევის ცვლილება, გამოსასვლელი – ჭავლურ მილაკთან (გამაძლიერებელი) ხისტად დაკავშირებული მემბრანის ცენტრის გადაადგილება (ნახ.9.34ბ).

ჭავლური მილაკი (გამაძლიერებელი) შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს, აგრეთვე, როგორც **პროპორციული რგოლი** (თუ უგულვებელყოფთ ხახუნის ძალებს და მოძრავი ნაწილების მასას); შესასვლელი სიდიდე აქ იქნება ჭავლური მილაკის გადაადგილება, ხოლო გამოსასვლელი – სამუშაო (მუშა) სითხის წნევის ცვლილება (ნახ.9.34გ).



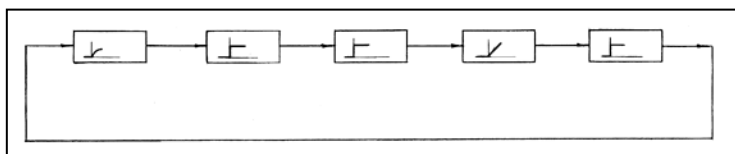
ნახ.9.34. კონსტრუქციული სქემის ელემენტები, ტიპური რგოლების პირობითი გამოსახვით

შემსრულებელი (აღმასრულებელი) მოწყობილობა – ძალური ცილინდრი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს როგორც **მაინტეგრირებული რგოლი**; შესასვლელი – სამუშაო სითხის მიწოდების ცვლილება, ხოლო გამოსასვლელი – დგუშის გადაადგილება (ნახ.9.34დ).

მარეგულირებელი სარქველი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს როგორც **პროპორციული რგოლი** (სარქველის მასა სერვომოძრავს მოძრავი დგუშის მასასთან შედარებით მხედველობაში

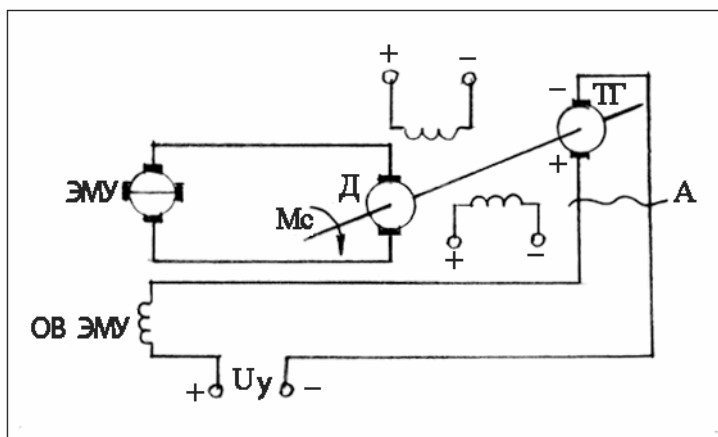
არ მიიღება). აქ შესასვლელი სიდიდე იქნება სარკველის გადაადგილება, ხოლო გამოსასვლელი – გაზის მიწოდების ცვლილება ობიექტში (ნახ.9.34). 9.34 ნახაზის ქვედა ნაწილში ნაჩვენებია რგოლების პირობითი გამოსახუვები.

9.35 ნახაზზე მოყვანილია რეგულატორის სტრუქტურული სქემა, რომლის კონსტრუქციული (პრინციპიალური) სქემაც გამოსახულია 9.2 ნახაზზე. სისტემის რგოლები შეერთებულია ერთმანეთთან თანმიმდევრობით. როგორც 9.35 ნახაზიდან ჩანს, კონსტრუქციული სქემა შემდგარი 5 ელემენტისაგან, სტრუქტურულ სქემაში წარმოდგენილია მხოლოდ სამი ტიპის ტიპური რგოლით: აპერიოდული რგოლით, სამი პროპორციული რგოლით და ერთი მაინტეგრებელი რგოლით.



ნახ.9.35. რეგულატორის სტრუქტურული სქემა

მეორე მაგალითი. მუდმივი დენის ძრავას სიჩქარის ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურული სქემის შედგენა (ნახ.9.36).



ნახ.9.36. მუდმივი დენის ძრავას სიჩქარის ავტომატური რეგულირების სტატიკური სისტემა

Δ ძრავას ღუზა იკვებება ელექტრომანქანური გამაძლიერებლიდან $\mathfrak{M}\mathfrak{Y}$. გამაძლიერებლის შესასვლელზე, ე.ი. მისი მართვის გრაგნილზე OB $\mathfrak{M}\mathfrak{Y}$, მიეწოდება მართვადი ძაბვის U_y და $T\Gamma$ ტაქოგენერატორის **ე.მ.ძ.**-ის $E_{T\Gamma}$ სხვაობა - $\Delta U = U_y - E_{T\Gamma}$. ტაქოგენერატორი ბრუნავს ძრავას Δ ლილვისაგან. ძრავასა და ტაქოგენერატორს აქვთ დამოუკიდებელი ადგზნება მუდმივი დენის გარე წყაროდან.

ტაქოგენერატორის **ე.მ.ძ.** პროპორციულია ძრავას n ბრუნვის სიჩქარისა. ამიტომ ძრავა და ტაქოგენერატორი შეიძლება განხილული იქნეს როგორც ერთი მთლიანი, ხოლო ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების ამოცანა განხილული იქნეს როგორც ტაქოგენერატორის **ე.მ.ძ.** $E_{T\Gamma}$ რეგულირება.

დამყარებულ რეჟიმში სხვაობა

$$\Delta U = U_y - E_{T\Gamma}$$

წარმოადგენს $\mathfrak{M}\mathfrak{Y}$ -ს შემავალ ძაბვას, რომლის დროსაც იქმნება n -ისა და $E_{T\Gamma}$ -ს მოცემული მნიშვნელობები.

ძრავას ლილვზე დატვირთვის შეცვლისას n და $E_{T\Gamma}$ -ს მნიშვნელობები იცვლება, რასაც მიეყავართ ΔU სხვაობის შეცვლასთან $E_{T\Gamma}$ -ს შემცირებადი გადახრის მიმართულებით U_y -დან. მართველი ძაბვის U_y შეცვლისას სხვაობაც, აგრეთვე, იცვლება მიმართულებით, რომელიც ამცირებს $E_{T\Gamma}$ -ს გადახრას U_y -დან.

დავანაწევროთ განხილული სისტემა ტიპურ რგოლებად.

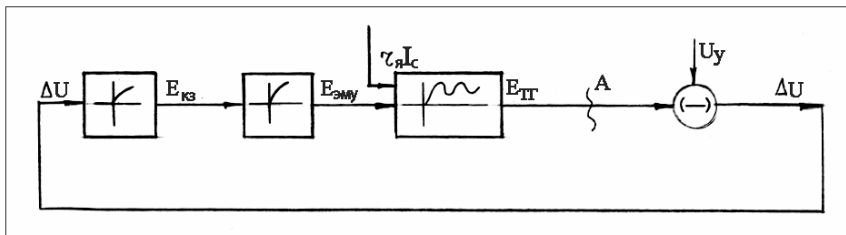
პირველი რგოლი. შესასვლელი - წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული ელექტრომანქანური გამაძლიერებლის $\mathfrak{M}\mathfrak{Y}$ მართვის გრაგნილისაგან OB , ტაქოგენერატორის $T\Gamma$ ღუზისა და მართველი ძაბვის U_y წყაროსაგან. გამოსასვლელი - $\mathfrak{M}\mathfrak{Y}$ მოკლედნართული წრედის მუხები. ეს რგოლი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს როგორც **აპერიოდული** რგოლი, რადგან იგი შეიცავს მხოლოდ ინდუქციურობასა და აქტიურ წინაღობას. ამ რგოლის შესასვლელში მიეწოდება ΔU -ს სიდიდე, ხოლო გამოსასვლელში მიიღება $\mathfrak{M}\mathfrak{Y}$ -ს მოკლედნართული წრედის E_{K3} **ე.მ.ძ.**

მეორე რგოლი. შესასვლელი - ΞMY -ს მოკლედნართული წრედის მუსები, გამოსასვლელი - ΞMY -ს გამოსასვლელი მუსები. ეს რგოლიც შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს როგორც **აპერიოდული** რგოლი, რომლის შესასვლელში მიეწოდება ΞMY -ს მოკლედნართული წრედის E_{κ} **ე.მ.ძ.**, ხოლო გამოსასვლელზე მიიღება ელექტრომაგნიტური გამაძლიერებლის $E_{\Xi MY}$ **ე.მ.ძ.**

მესამე რგოლი. მუდმივი დენის ძრავა კომპლექსში ტაქოგენერატორთან. შესასვლელი - წრედი, რომელიც შედგება თანმიმდევრობით შეერთებული ძრავას ღუზისა და ΞMY -ის ღუზისაგან, გამოსასვლელი - ტაქოგენერატორის ღუზის მუსები. ეს რგოლი არის მეორე რიგის (შეიძლება იყოს **რხევითიც**). რგოლის შესასვლელში მიეწოდება ΞMY -ს **ე.მ.ძ.** $E_{\Xi MY}$ და დატვირთვა ძრავას ღიდვზე, ხოლო გამოსასვლელში მიიღება ტაქოგენერატორის **ე.მ.ძ.** E_{TT} .

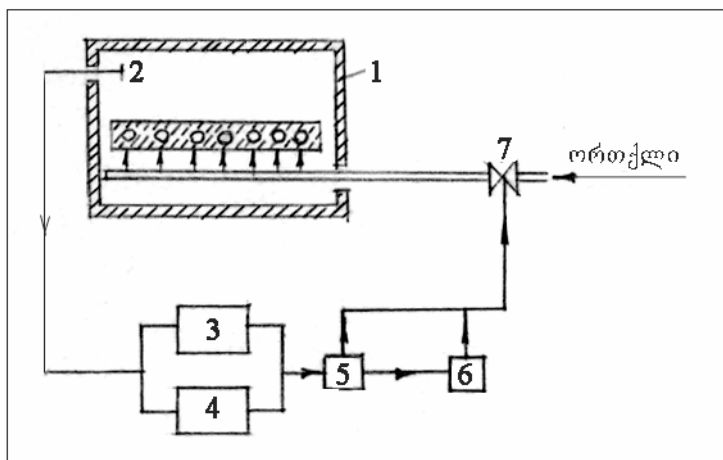
ამრიგად, 9.36 ნახაზზე მოყვანილი სქემა შედგება ორი **აპერიოდული** რგოლისა და ერთი **მერხვეი** რგოლისაგან. გარდა ამისა სქემაში შედის ელემენტი, რომელშიც სწარმოებს ტაქოგენერატორის **ე.მ.ძ.** E_{TT} შედარება მართველ ძაბვასთან U_y განხილულ სქემაში შედარება ხორციელდება E_{TT} და U_y -ს შემხვედრი ჩართვით.

ნახ.9.37 გამოსახულია 9.36 ნახაზზე მოყვანილი ავტომატური რეგულირების სტატიკური სისტემის სტრუქტურული სქემა. ელემენტი, რომელშიც წარმოებს ტაქოგენერატორის **ე.მ.ძ.**-ის შედარება მართველ ძაბვასთან U_y გამოსახულია წრეხაზით მინუს ნიშნით, რაც უჩვენებს, რომ მასთან მიყვანილი სიდიდეები ერთმანეთს აკლდება.



ნახ.9.37. ნახაზზე 9.36 მოყვანილი ავტომატური რეგულირების სტატიკური სისტემის სტრუქტურული სქემა

მესამე მაგალითი. გაორთქლვის კამერაში (ნახ.9.38) ტემპერატურის სარეგულირებელი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემის შედგენა. სქემაზე ნაჩვენებია: გაორთქლვის კამერა (1); წინაღობის თერმომეტრი (2); გამაძლიერებელი (3); მაღიფერენცირებელი მოწყობილობა (4); რეგულატორი (5); ხისტი უკუკავშირის მოწყობილობა (6); მარეგულირებელი ორგანო (7). ამოცანა მდგომარეობს რკინაბეტონის ნაკეთობათა თბოტენიანობითი დამუშავების რეჟიმის კამერაში ორთქლის ტემპერატურის სარეგულირებელი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემის შედგენაში თერმოწყვილის ინერციულობის გაუთვალისწინებლად. ამასთან კეთდება დაშვება, რომ ნაკეთობის გახურება თანაბარია, ხოლო პირობები კამერის მთელი მოცულობის მიხედვით ერთნაირია.



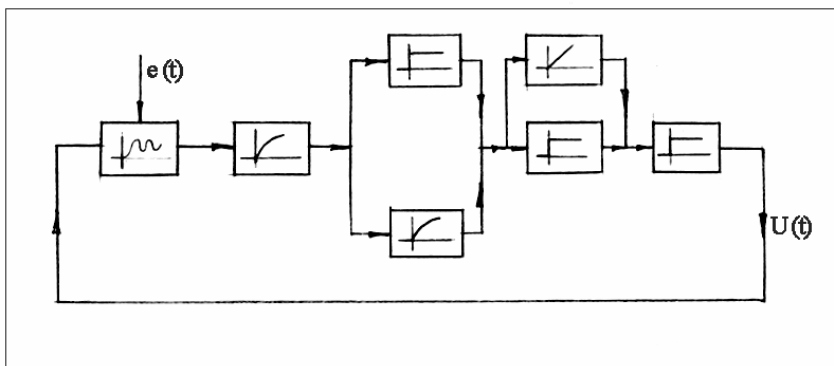
ნახ.9.38. გაორთქლვის კამერაში ტემპერატურის რეგულირების მოწყობილობის ბლოკ-სქემა: 1 - გაორთქლვის კამერა; 2 - წინააღმდეგობის თერმომეტრი; 3 - გამაძლიერებელი; 4 - მაღიფერენცირებელი მოწყობილობა; 5 - რეგულატორი; 6 - უკუკავშირის მოწყობილობა; 7 - მარეგულირებელი ორგანო

დავანაწევროთ მოწყობილობა შვიდი ტიპის დინამიკურ რგოლად.

პირველი რგოლი - გაორთქლვის კამერა შეიძლება წარმოდგენილი იქნას **რხევითი** რგოლის სახით. შესასვლელი სიდიდე - ორთქლსადენის სარქველის გადაადგილება, გამოსასვლელი სიდიდე - ტემპერატურა. **მეორე რგოლი** - წინა-

ლობის თერმომეტრი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს **აპერიოდული** რგოლით. შესასვლელი – ობიექტში ტემპერატურის ცვლილება, გამოსასვლელი – გარდამსახის წინაღობის ცვლილება. **მესამე რგოლი** – გამაძლიერებელი. იგი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს **პროპორციული** რგოლით. შესასვლელი – გასაძლიერებელი სიგნალი, გამოსასვლელი – გაძლიერებული სიგნალი. **მეოთხე რგოლი** – მადიფერენცირებული მოწყობილობა. გამოსასვლა **აპერიოდული** რგოლით. **მეხუთე რგოლი** – რეგულატორი. გამოსასვლა **მაინტეგრებელი** რგოლით. **მექვსე რგოლი** – ხისტი უკუკავშირის მოწყობილობა. გამოსასვლა **პროპორციული** რგოლით და ბოლოს **მეშვიდე რგოლი** – მარეგულირებელი ორგანო. შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს, აგრეთვე, **პროპორციული** რგოლით.

9.39 ნახაზზე მოცემულია გასაორთქლ კამერაში ტემპერატურის სარეგულირებელი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა, შედგენილი 9.38 ნახაზის საფუძველზე.



ნახ.9.39. გაორთქელის კამერაში ტემპერატურის რეგულირების მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა

მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს, რომ სისტემის ელემენტების შეცვლას ტიპური დინამიკური რგოლებით მიუყვართ სტრუქტურული სქემის შექმნასთან, რომელშიც ტიპური რგოლების რაოდენობა, რომლებიც გამოსახავენ გარდამავალი პროცესის თვისებებს, ნაკლებია კონსტრუქციული სქემის ელემენტების რიცხვზე. სტრუქტურული სქემის აგება

ამსუბუქებს ავტომატური რეგულირების სისტემის განტოლებების შედგენას.

§7. ავტომატური რეგულირების რგოლების სიხშირული მახასიათებლები

ავტომატური რეგულირების სისტემის თითოეული რგოლი ხასიათდება გარდამავალი პროცესის განსაზღვრული სახით, რომელიც აღიძვრება შემაშფოთებელი ზემოქმედების მოდების შედეგად რგოლის შესასვლელში. რგოლის გამომავალი სიდიდის დროში ცვლილების ხასიათი განისაზღვრება რგოლის საწყისი მდგომარეობით, მისი შინაგანი თვისებებით და შემავალი სიდიდის ცვლილების ხასიათით.

რგოლის შესასვლელში შეიძლება შემოვთება მიწოდებული იქნეს, როგორც ერთეული ბიძგის სახით, ისე ჰარმონიული რხევის სახით.

თუ ხაზოვანი რგოლის შესასვლელში მივაწოდებთ ჰარმონიულ შემოვთებას, მაშინ ასეთი შემოვთების მიწოდების შემდეგ გარკვეული დროის ამოწურვისას, როდესაც მიიღევა ყველა მოძრაობა, განსაზღვრული გარდამავალი პროცესით, ელემენტარული რგოლის გამოსასვლელში დამყარდება ასევე გამოსასვლელი სიდიდის ჰარმონიული ცვლილება იმავე სიხშირით, როგორიც გააჩნია შემავალ სიდიდეს, მხოლოდ განსხვავებული ამპლიტუდითა და ფაზით.

ირკვევა, რომ გამოსასვლელში ამპლიტუდისა და ფაზის მიხედვით შეიძლება განსჯა ცალკეული განრთული რგოლების დინამიკური თვისებების შესახებ და უფრო მეტიც, ავტომატური რეგულირების რთული ჩაკეტილი სისტემების თვისებების შესახებ.

გამოსასვლელი სიდიდის რხევის დამოკიდებულებას, რგოლის შესასვლელში მოცემულ სინუსოიდალურ რხევით ზემოქმედებაზე, სიხშირული მახასიათებელი ეწოდება.

პერიოდული შემოვთება მიწოდებული რგოლის შესასვლელში ვთქვათ იცვლება სინუსოიდალური კანონით

$$x_{\text{შვ}} = a \sin \omega t, \quad (9.39)$$

სადაც

a არის შემავალი ზემოქმედების რხევის ამპლიტუდა;

ω – რხევის კუთხური სიხშირე, $\frac{1}{T}$.

მაშინ ხაზოვანი რგოლის გამოსასვლელში დამყარდება, აგრეთვე, იძულებითი პერიოდული რხევები

$$x_{\text{გამ}} = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (9.40)$$

სადაც

A არის გამომავალი სიდიდის რხევის ამპლიტუდა;

φ – ფაზის მიხედვით ჩამორჩენის კუთხე.

ამპლიტუდა და ფაზა დამოკიდებულია რხევის კუთხურ სიხშირეზე და შეიცვლება ω -ს ცვლილებასთან ერთად (ეს არის კანონი ყველა იძულებითი რხევისათვის ბუნებაში). ამ-

პლიტუდების ფარდობა $\frac{A}{a}$ და ფაზის გადაადგილება სხვადასხვა სიხშირეების დროს დამოკიდებულია რგოლის დინამიკურ თვისებებზე და თავის მხრივ ახასიათებენ ამ თვისებებს.

ანსხვავებენ ამპლიტუდურ-სიხშირულ, ფაზურ-სიხშირულ და ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებს.

დამოკიდებულებას, რომელიც უჩვენებს, თუ როგორ იცვლება სიხშირესთან ერთად რგოლის გამოსასვლელში იძულებითი რხევების ამპლიტუდა, თუ შესასვლელში მიეწოდება ჰარმონიული რხევები ერთეულის ტოლი ამპლიტუდით, ეწოდება ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი და აღინიშნება $\frac{A}{a}(\omega)$.

დამოკიდებულებას, რომელიც უჩვენებს, თუ ω სიხშირის ცვლილებებით, როგორ იცვლება იძულებითი რხევების φ ფაზა გამოსასვლელში ჰარმონიული რხევების ფაზასთან შეფარდებით, რომლებიც მიეწოდება რგოლის შესასვლელში, ეწოდება ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი და აღინიშნება $\varphi(\omega)$.

ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი ამყარებს კავშირს რგოლის გამოსასვლელში ამპლიტუდასა და შესასვლელში ამპლიტუდას შორის, აგრეთვე, განსაზღვრავს გამოსასვლელზე რხევების ფაზის ძვრას შესასვლელთან შეფარ-

დებით სხვადასხვა სიხშირეების დროს; ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი აღინიშნება $k(\omega)$ -ით.

ამასთან

$$k(\omega) = \frac{A}{a}(\omega) \cdot \varphi(\omega) \quad (9.41)$$

ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი აიგება სიხშირის ცვლილებისას 0-დან ∞ -მდე. მისი აგება ზოგჯერ მარტივდება, თუ მას ლოგარითმებით წარმოვადგენთ. სიხშირული მახასიათებლების შესახებ იხილეთ §9-ში.

§8. ავტომატური რეგულირების სისტემების რბოლების დიფერენციალური განტოლებების ჩაწერის ოპერატორული ფორმა

ოპერაციული აღრიცხვის ფუძემდებელია დიდი ინგლისელი მეცნიერი ჰევისაიდი. მან ჩამოაყალიბა ფუნქციების გარდაქმნის წესები, თუმცა მათემატიკურად იგი არ დაუსაბუთებია. მოგვიანებით სხვა მეცნიერთა მიერ გამოვლინებულ იქნა კავშირი ლაპლასის გარდაქმნასა და ჰევისაიდის სიმბოლურ მეთოდს შორის. თანამედროვე ლიტერატურაში ოპერაციული აღრიცხვა ლაპლასის გარდაქმნით არის მოხსენიებული.

ლაპლასის გარდაქმნის საფუძველზე შემოღებულია სიმბოლო-ოპერატორი P , როგორც გამარტივებული პირობითი აღნიშვნა დიფერენცირების ოპერაციისა. გამოთქმა: “მოვახდინოთ y ფუნქციის ლაპლასის გარდაქმნა” ნიშნავს: “მივცეთ y ფუნქციას ოპერაციული ფორმა”. ამ აღნიშვნის თანახმად

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= Py; & \frac{d^2y}{dt^2} &= P^2y; & \frac{d^ny}{dt^n} &= P^ny \end{aligned} \right\}. \quad (9.42)$$

შესაბამისად, ინტეგრირების ოპერაციისათვის შემოიტანება უკუაღნიშვნა.

$$\int y dt = \frac{y}{P}. \quad (9.43)$$

ჩაწერის ასეთი ფორმა იწოდება ოპერატორულად, ხოლო სიმბოლო P – ოპერატორად. აღნიშვნის ეს ფორმა ამცირებს

ჩანაწერების მოცულობას, ამარტივებს შუალედურ მათემატიკურ გამოანგარიშებებს რეგულირების სისტემების ანალიზის დროს*. ამგვარად, ოპერაციული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ რთული მათემატიკური ოპერაციები – გაწარმოება და ინტეგრირება – შევცვალოთ გაცილებით მარტივი ოპერაციებით: შესაბამისად, გამრავლებითა და გაყოფით. ამასთან, წრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა გადაწყვეტა ალგებრული მოქმედებებით სრულდება.

გარდა აღნიშნულისა, ოპერაციული აღრიცხვა საფუძვლად უდევს სიხშირული ანალიზის მეთოდს. სიხშირული მეთოდით კი შესაძლოა დავადგინოთ სისტემის მდგრადობა, განვსაზღვროთ სისტემის ან მისი ელემენტის დინამიკური თვისებები და მისი პარამეტრები, მაკორექტირებელ საშუალებათა სახეობა და სხვა. სიხშირული ანალიზის მეთოდს მეტად დიდი გამოყენება აქვს ავტომატური რეგულირების თეორიაში.

ქვემოთ მოყვანილია დინამიკური რგოლების დიფერენციალური განტოლებები ჩაწერის ჩვეულებრივი ფორმით და ოპერატორული ფორმით:

1. პროპორციული რგოლი

$$x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}}.$$

2. აპერიოდული რგოლი

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}}.$$

$$TPx_{\text{გამ}} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}}.$$

$$(TP + 1)x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}}. \quad (9.44)$$

3. რხევითი რგოლი

* ოპერაციული აღრიცხვის იდეაში გასარკვევად გავიხსენოთ ლოგარითმული მეთოდის არსი, რომელიც იმაში მდგომარეობს, რომ მათემატიკური ოპერაციები – გამრავლება და გაყოფა, შევცვლილი იქნას უფრო მარტივი ოპერაციებით – მიმატებითა და გამოკლებით. ამ მიზნით ჯერ მოცემულ სიდიდეებს გამოვსახავთ ლოგარითმებში, უკანასკნელებზე ვაწარმოებთ მოქმედებებს და მიღებულ შედეგს ისევ გამოვსახავთ ნატურალური სიდიდის სახით.

$$\begin{aligned}
T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{გამ}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}} . \\
T_2^2 P^2 x_{\text{გამ}} + T_1 P x_{\text{გამ}} + x_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}} . \\
(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1) x_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}} .
\end{aligned} \tag{9.45}$$

4. მაინტეგრებული რგოლი

$$\begin{aligned}
\frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} &= kx_{\text{შემ}} \\
Px_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}} .
\end{aligned}$$

რეალური მაინტეგრებული რგოლი

$$\begin{aligned}
T \frac{d^2 x_{\text{გამ}}}{dt^2} + \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} &= kx_{\text{შემ}} . \\
TP^2 x_{\text{გამ}} + Px_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}} . \\
(TP^2 + P) x_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}} .
\end{aligned} \tag{9.46}$$

5. მადიფერენცირებული რგოლი

$$\begin{aligned}
x_{\text{გამ}} &= k \frac{dx_{\text{შემ}}}{dt} . \\
x_{\text{გამ}} &= kPx_{\text{შემ}} .
\end{aligned}$$

რეალური მადიფერენცირებული რგოლი

$$\begin{aligned}
T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} &= k \frac{dx_{\text{შემ}}}{dt} . \\
TPx_{\text{გამ}} + x_{\text{გამ}} &= kPx_{\text{შემ}} . \\
(TP + 1) x_{\text{გამ}} &= kPx_{\text{შემ}} .
\end{aligned} \tag{9.47}$$

6. დაგვიანებით მოქმედი რგოლი

$$x_{\text{გამ}}(t) = kx_{\text{შემ}}(t - \tau) .$$

ავტომატური რეგულირების წრფივი სისტემის (9.26) დიფერენციალური განტოლება ოპერატორული ფორმით ასე შეიძლება იქნეს ჩაწერილი:

$$\begin{aligned}
a_n P^n x_{\text{გამ}} + a_{n-1} P^{n-1} x_{\text{გამ}} + \dots + a_1 P x_{\text{გამ}} + a_0 x_{\text{გამ}} &= \\
= b_m P^m x_{\text{შემ}} + b_{m-1} P^{m-1} x_{\text{შემ}} + \dots + b_1 P x_{\text{შემ}} + b_0 x_{\text{შემ}} &
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (a_n P^n + a_{n-1} P^{n-1} + \dots + a_1 P + a_0) x_{\text{გამ}} = \\ & = (b_m P^m + b_{m-1} P^{m-1} + \dots + b_1 P + b_0) x_{\text{შეშ}} \end{aligned} \quad (9.48)$$

საჭიროა შევნიშნოთ, რომ ზოგად შემთხვევაში P წარმოადგენს კომპლექსურ რიცხვს

$$P = a + jb,$$

სადაც

a არის კომპლექსური რიცხვის ნამდვილი ნაწილი;

b – კომპლექსური რიცხვის წარმოსახვითი ნაწილი;

j – სიმბოლო, რომელიც პირობითად აღნიშნავს $\sqrt{-1}$.

თუ $a=0$, მაშინ კომპლექსურ რიცხვს ეწოდება წმინდა წარმოსახვითი რიცხვი; როცა $b=0$ კომპლექსური რიცხვი ხდება ნამდვილი რიცხვი.

$j=\sqrt{-1}$ არა აქვს ფიზიკური აზრი და წარმოადგენს პირობით ცნებას, ხოლო კომპლექსური რიცხვი – მათემატიკურ აბსტრაქციას. მაგრამ კომპლექსური რიცხვების შემოყვანა ავტომატური რეგულირების დინამიკური სისტემების თვისებების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. მაგალითად, განტოლებაში კომპლექსური ფესვების არსებობა წარმოადგენს სისტემაში გარდამავალი პროცესების რხევითი ხასიათის ნიშანს. კომპლექსური რიცხვების გამოყენება საშუალებას იძლევა შედარებით მარტივი და თვალსაჩინო მეთოდებით იქნეს გამოკვლეული ავტომატური რეგულირების სისტემების მდგრადობა და ხარისხი.

დასასრულს შევნიშნავთ, რომ სხვადასხვა წესის გამოყენებით შესრულებულია ათასზე მეტი სახის ფუნქციის ლაპლასის გარდაქმნა, რომლებიც ცხრილების სახით მოყვანილია სპეციალურ ლიტერატურაში.

§9. ავტომატური რეგულირების სისტემების რბოლების ბაღამცემი უზნაძიები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, რგოლის გაძლიერების კოეფიციენტი ამყარებს დამოკიდებულებას რგოლის შემავალ და გამომავალ პარამეტრებს შორის დამყარებულ რეჟიმებში; კავშირს ამ პარამეტრებს შორის უფრო ზოგად შემთხვევებში, მათ რიცხვში დაუმყარებელ რეჟიმებში, ადგენს ე.წ.

რგოლის გადამცემი ფუნქცია, რომელიც შეიძლება ასე იქნეს განმარტებული – ტიპობრივი რგოლის გადამცემი ფუნქცია ეს არის გარდამავალი პროცესის დროს გამოშვებულ და შემავალ სიდიდეთა შორის დამოკიდებულება, გამოსახული სათანადო დიფერენციალური განტოლებით წარმოდგენილი ოპერაციულ ფორმაში, ნულოვანი საწყისი პირობებისა და შემავალი სიდიდის მუდმივობის დროს. მაშასადამე, გადამცემი ფუნქცია შეიძლება განხილული იქნეს როგორც გამოშვებული სიგნალის შეფარდება შემავალ სიგნალთან:

$$W = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} . \quad (9.49)$$

განვსაზღვროთ გადამცემი ფუნქციები ტიპური დინამიკური რგოლებისათვის.

1. პროპორციული რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{kx_{\text{შემ}}}{x_{\text{შემ}}} = k , \quad (9.50)$$

ე.ი. პროპორციული რგოლის გადამცემი ფუნქცია ტოლია მისი გაძლიერების კოეფიციენტისა.

2. აპერიოდული რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{\frac{kx_{\text{შემ}}}{TP+1}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{k}{TP+1} . \quad (9.51)$$

3. რხევითი რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{\frac{kx_{\text{შემ}}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{k}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1} . \quad (9.52)$$

4. მაინტეგრებელი რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{\frac{kx_{\text{შემ}}}{P}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{k}{P} . \quad (9.53)$$

რეალური მაინტეგრებელი რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{\frac{kx_{\text{შემ}}}{TP^2 + 1}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{k}{TP^2 + P}. \quad (9.54)$$

5. მაღიფერენცირებელი რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{kPx_{\text{შემ}}}{x_{\text{შემ}}} = kP. \quad (9.55)$$

რეალური მაღიფერენცირებელი რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{\frac{kPx_{\text{შემ}}}{TP + 1}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{kP}{TP + 1}. \quad (9.56)$$

6. დაგვიანებით მოქმედი რგოლი

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{kx_{\text{შემ}}(t - \tau)}{x_{\text{შემ}}} = k(t - \tau). \quad (9.57)$$

9.48 განტოლებაში მოყვანილ მრავალწევრთა ნაცვლად, შეიძლება მივიღოთ აღნიშვნები

$$L(P)x_{\text{გამ}} = N(P)x_{\text{შემ}},$$

სადაც $L(P)$ და $N(P)$ ოპერატორული მრავალწევრებია.

მაშინ ავტომატური რეგულირების წრფივი სისტემის გადამცემი ფუნქციისათვის გვექნება

$$W(P) = \frac{x_{\text{გამ}}}{x_{\text{შემ}}} = \frac{b_m P^m + b_{m-1} P^{m-1} + \dots + b_1 P + b_0}{a_n P^n + a_{n-1} P^{n-1} + \dots + a_1 P + a_0}. \quad (9.58)$$

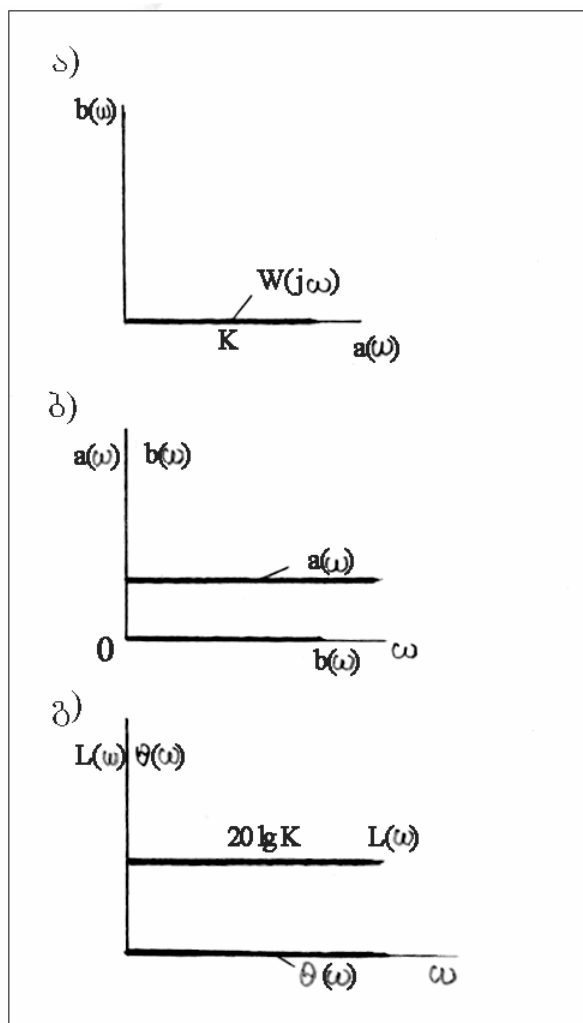
რგოლის გადამცემი ფუნქცია საშუალებას იძლევა გაანგარიშების გზით იქნეს მიღებული რგოლის სიხშირული მახასიათებელი. ამ მიზნით P უნდა შევცვალოთ $j\omega$ -ით (j და ω განმარტებულია ზემოთ).

შეცვლის შედეგად გვექნება:

1. პროპორციული რგოლი

$$W(j\omega) = k. \quad (9.59)$$

ეს არის ვექტორი, რომელიც ემთხვევა ნამდვილი ღერძის დადებით მიმართულებას (ნახ.9.40).

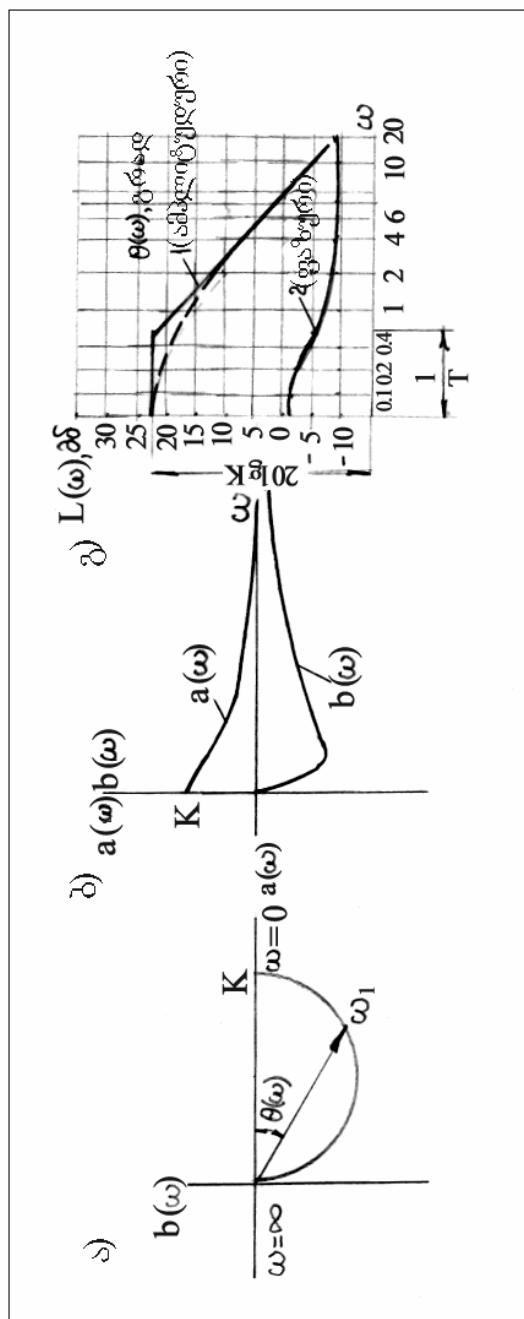


ნახ.9.40. გამაძლიერებელი რგოლის სიხშირული მახასიათებლები

2. აპერიოდული რგოლი

$$W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1} \quad (9.60)$$

ეს არის წრეხაზის განტოლება k დიამეტრით, რომელიც გადის კოორდინატა დასაწყისში, რომლის ცენტრიც მდებარეობს ნამდვილ ღერძზე (ნახ.9.41ა).

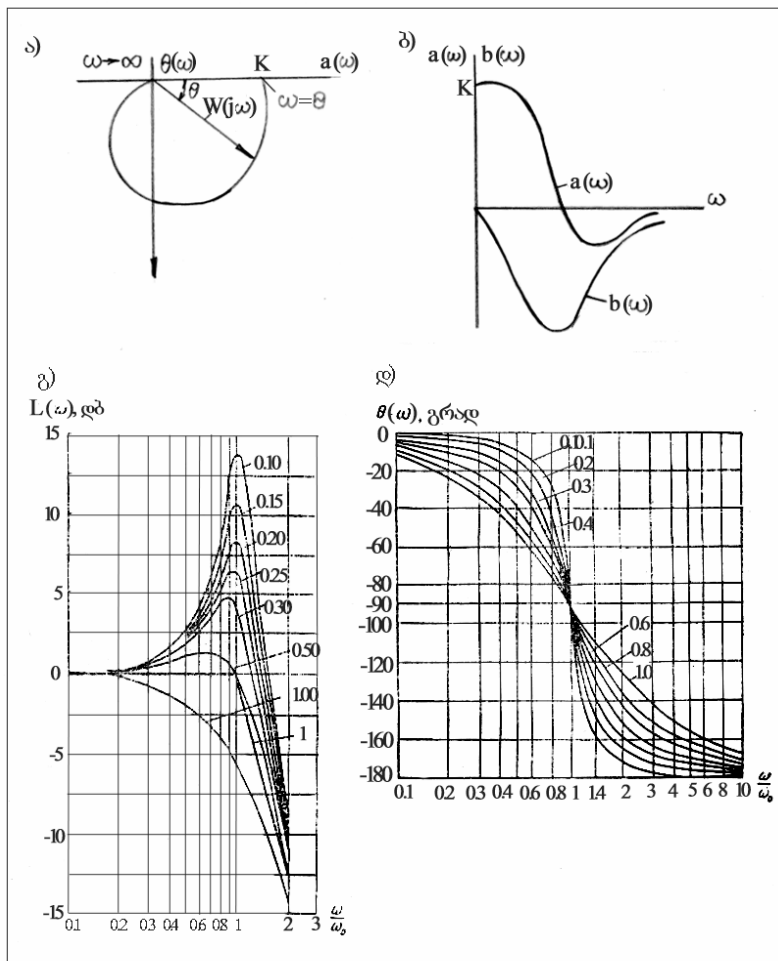


ნახ.9.41. აპერიოდული რგოლის სიხშირული მახასიათებლები: ა) ამპლიტუდურ-ფაზური; ბ) ნამდვილი და წარმოსახვითი; გ) ლოგარითმული

3. რხევითი რგოლი

$$W(j\omega) = \frac{k}{T_2^2(j\omega)^2 + T_1(j\omega) + 1} \quad (9.61)$$

ეს არის ამპლიტუდურ-ფაზური-სიხშირული მახასიათებლის განტოლება (ნახ.9.42,ა).

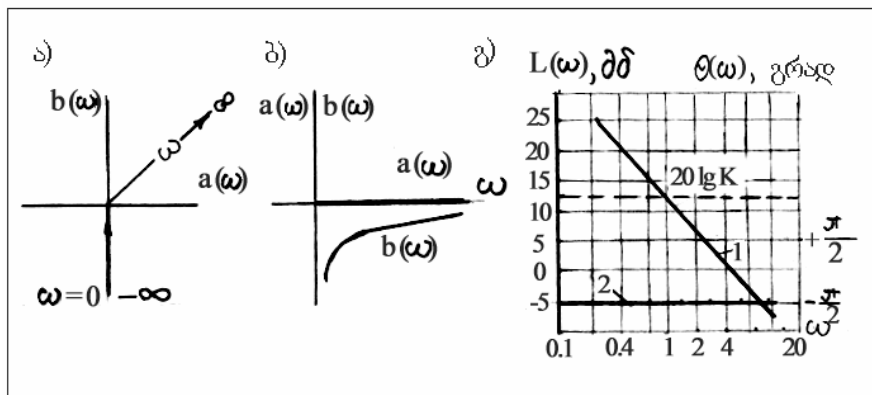


ნახ.9.42. მერხევი რგოლის სიხშირული მახასიათებლები:

- ა) ამპლიტუდურ-ფაზური; ბ) ნამდვილი და წარმოსახვითი;
 გ) ლოგარითმული (ამპლიტუდური); დ) ლოგარითმული (ფაზური)

4. მაინტეგრებული რგოლი $W(j\omega) = \frac{k}{j\omega}$. (9.62)

ეს არის სწორის განტოლება, რომელიც ემთხვევა წარმოსახვითი ღერძის უარყოფით მიმართულებას (ნახ.9.43ა).

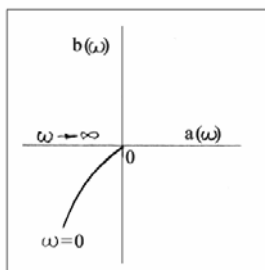


ნახ.9.43. იდეალური მაინტეგრებული რგოლის სიხშირული მახასიათებლები: ა) ამპლიტუდურ-ფაზური; ბ) ნამდვილი და წარმოსახვითი; გ) ლოგარითმული

რეალური მაინტეგრებული რგოლი

$$W(j\omega) = \frac{k}{T(j\omega)^2 + j\omega}. \quad (9.63)$$

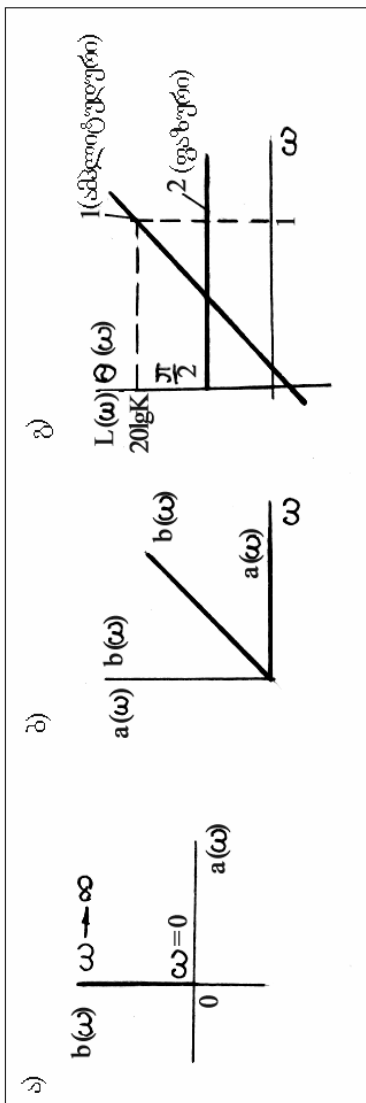
9.63 გამოსახულება წარმოადგენს ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლის განტოლებას რეალური მაინტეგრებული რგოლისათვის. ფორმალურად ეს რგოლი შეიძლება დანაწევრდეს იდეალურ მაინტეგრებელ და აპერიოდულ რგოლებად. რეალური მაინტეგრებული რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახაზზე 9.44გ.



ნახ.9.44. რეალური მაინტეგრებული რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი

5. მადიფერენცირებელი რგოლი $W(j\omega) = kj\omega$. (9.64)

ეს არის იდეალური მადიფერენცირებელი რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლის განტოლება. თვით მახასიათებელი გამოისახება სწორით, რომელიც ემთხვევა წარმოსახვითი ღერძის დადებით მიმართულებას (ნახ.9.45ა)

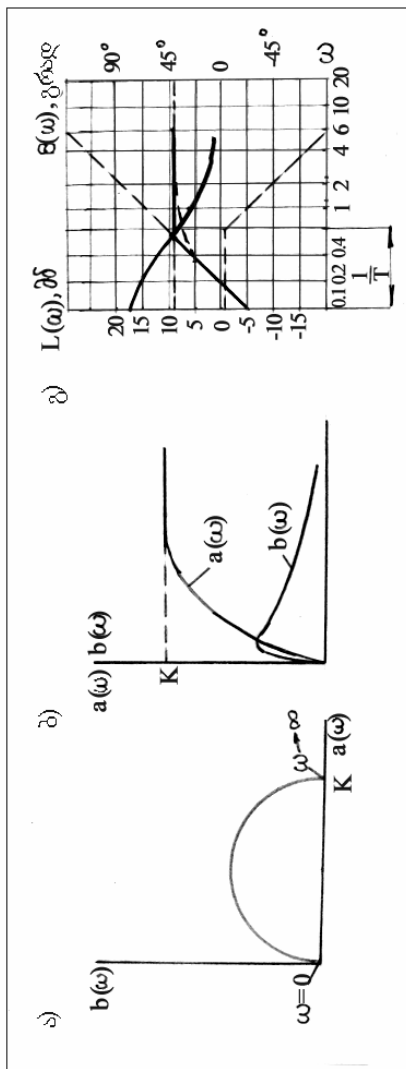


ნახ.9.45. იდეალური მადიფერენცირებელი რგოლის სიხშირული მახასიათებლები: ა) ამპლიტუდურ-ფაზური; ბ) ნამდვილი და წარმოსახვითი; გ) ლოგარითმული

რეალური მადიფერენცირებელი რგოლი

$$W(j\omega) = \frac{kj\omega}{Tj\omega + 1} \quad (9.65)$$

ეს განტოლება წარმოადგენს ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლის გამოსახულებას (ნახ.9.46,ა).

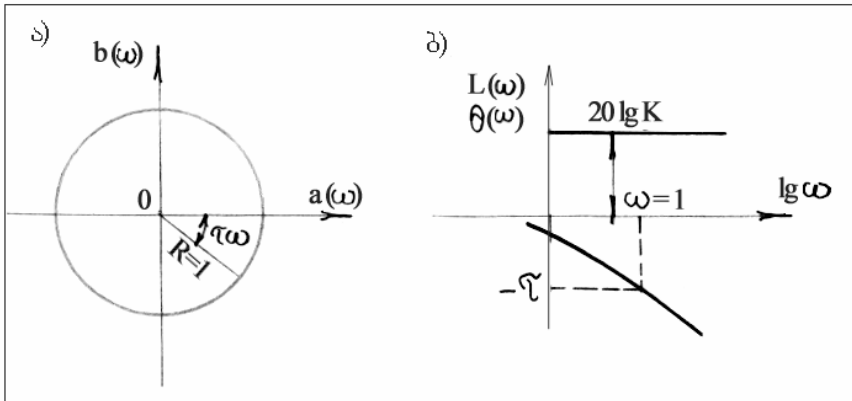


ნახ.9.46. რეალური მადიფერენცირებელი რგოლის სიხშირული მახასიათებლები: ა) ამპლიტუდურ-ფაზური; ბ) ნამდვილი და წარმოსახვითი; გ) ლოგარითმული

6. დაგვიანებით მოქმედი რგოლი

$$W(j\omega) = e^{-j\tau\omega}. \quad (9.66)$$

ეს არის ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლის განტოლება. ω -ს ცვლილებისას 0-დან ∞ -მდე $W(j\omega)$ ვექტორი ბრუნავს საათის ისრის მიმართულებით და არ იცვლის თავის სიგრძეს. ამრიგად, დაგვიანებით მოქმედი რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი წარმოადგენს წრესაზს ცენტრით კოორდინატთა სათავეში და ერთის ტოლი რადიუსით (ნახ.9.47ა).



ნახ.9.47. დაგვიანებით მოქმედი რგოლის სიხშირული მახასიათებლები: ა) ამპლიტუდურ-ფაზური; ბ) ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ლოგარითმულ-ფაზური

რხევის სიხშირის ცვლილებისას გადამცემი ფუნქციის ცვლილების ძალიან თვალსაჩინო სურათს იძლევა ე.წ. გოდოგრაფი, ე.ი. მრუდი, რომელიც წარმოადგენს გადამცემი ფუნქციის (W) შესატყვისი მონაკვეთების ბოლოების წერტილების გეომეტრიულ ადგილს, რომელიც შეესაბამება სიხშირის სხვადასხვა მნიშვნელობებს 0-დან ∞ -მდე. ხაზოვანი რგოლებისა და სისტემებისათვის გადამცემი ფუნქცია W არ არის დამოკიდებული შემავალი რხევის ამპლიტუდაზე და განისაზღვრება მხოლოდ სიხშირით ω , მაშასადამე, გოდოგრაფის თითოეულ წერტილს შეესაბამება სიხშირის განსაზღვრული მნიშვნელობა ან როგორც მიღებულია გამოთქმა

“სიხშირული ნიშანი”. ტიპური რგოლების გოდოგრაფების მაგალითები ზემოთ არის მოყვანილი.

ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლის აგება სიხშირის ცვლილებისას 0-დან ∞ -მდე მარტივდება მისი ლოგარითმებით წარმოდგენის შედეგად.

პროპორციული რგოლის შემთხვევაში ნამდვილი (a) და წარმოსახვითი (b) სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$a(\omega) = k - \text{ხაზი, პარალელური სიხშირეების ღერძისა;}$$

$$b(\omega) = 0 - \text{ხაზი, რომელიც ემთხვევა სიხშირეების ღერძს (ნახ.9.40ბ).}$$

ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი

$$A(\omega) = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} = \sqrt{k^2} = k. \quad (9.67)$$

ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი*

$$L(\omega) = 20 \lg k. \quad (9.68)$$

ლოგარითმულ ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი (ნახ. 9.40გ)

$$\theta(\omega) = \arctg \frac{b(\omega)}{a(\omega)} = \frac{0}{k} = 0. \quad (9.69)$$

აპერიოდული რგოლის ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$a(\omega) = \frac{k}{T^2 \omega^2 + 1}; \quad (9.70)$$

$$b(\omega) = -\frac{kT\omega}{T^2 \omega^2 + 1}. \quad (9.71)$$

* ხშირად ორდინატთა ღერძზე დააქვთ $\lg A(\omega)$ -ის 20-ჯერ გადიდებული მნიშვნელობა, და ასეთ ერთეულს დეციბელი ეწოდება, რომელთა რაოდენობაც აღინიშნება L-ით. სიხშირეთა ინტეგრალს, რომელიც მდებარეობს სიხშირის ნებისმიერ მნიშვნელობასა და მის გაორკეცებულ მნიშვნელობას შორის, ოქტავა ეწოდება, ხოლო ინტეგრალს, მოქცეულს ნებისმიერ სიხშირესა და მის გაათეცეცებულ მნიშვნელობას შორის, დეკადა ეწოდება. შევნიშნავთ, რომ ლოგარითმული მახასიათებლები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს სისტემის რეაქცია. უფრო ზოგად შემთხვევაში, როცა შემფოთება ატარებს არა სინუსოიდალურ, არამედ უფრო რთულ ხასიათს, მაგალითად გააჩნია საფეხურისებრი ზემოქმედების ფორმა.

ამპლიტუდური და ფაზური სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$A(\omega) = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} = \frac{k}{T\sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}}; \quad (9.72)$$

$$\theta(\omega) = \arctg \frac{b(\omega)}{a(\omega)} = -\arctg T\omega. \quad (9.73)$$

9.72 გამოსახულების გაღოგართმევით მივიღებთ ლოგარითმულ ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებელს

$$L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg T \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}. \quad (9.74)$$

ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლები წარმოდგენილია ნახაზზე 9.41გ.

რხევითი რგოლის ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$a(\omega) = \frac{k(1 - T_1 T_2 \omega^2)}{(1 - T_1 T_2 \omega^2)^2 + T_2^2 \omega^2}; \quad (9.75)$$

$$b(\omega) = \frac{k T_2 \omega}{(1 - T_1 T_2 \omega^2)^2 + T_2^2 \omega^2}. \quad (9.76)$$

ნახაზზე 9.42ბ მოყვანილია ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლები – აგებული 9.75 და 9.76 განტოლებებით.

ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის განტოლებაა

$$A(\omega) = \frac{k\omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_0\omega)^2}}, \quad (9.77)$$

სადაც $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{T_1 T_2}}$ არის შეუღლების ფარდობითი სიხშირე;

$\xi = \sqrt{\frac{T^2}{4T_1}}$ – მიღვეადობის ფარდობითი კოეფიციენტი.

ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლის განტოლებას აქვს სახე:

$$\theta(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{2\xi\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} = -\operatorname{arctg} \frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2}. \quad (9.78)$$

ლოგარიტმულ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი მიიღება (9.77) გამოსახულების გალოგარიტმებით

$$L(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega_0^2 - 20 \lg \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega_0\omega)^2}. \quad (9.79)$$

ლოგარიტმულ-სიხშირული მახასიათებლები წარმოდგენილია ნახ.9.42გ.დ.

იდეალური მაინტეგრებული რგოლის ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$a(\omega) = 0; \quad (9.80)$$

$$b(\omega) = -\frac{k}{\omega}; \quad (9.81)$$

რომელთა მიხედვითაც აგებულია ეს მახასიათებლები (ნახ.9.43ბ)

ამპლიტუდური და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია

$$A(\omega) = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} = \frac{k}{\omega}. \quad (9.82)$$

$$\theta(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{b(\omega)}{a(\omega)} = -\operatorname{arctg} \infty = -\frac{\pi}{2}. \quad (9.83)$$

ლოგარიტმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებლის განტოლებას მივიღებთ (9.82) გამოსახულების გალოგარიტმებით,

$$L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \omega. \quad (9.84)$$

ეს მახასიათებელი წარმოდგენილია ნახაზზე 9.43გ.

9.64 გამოსახულებიდან უშუალოდ ვპოულობთ იდეალური მაღიფერენცირებელი რგოლის ნამდვილ და წარმოსახვით სიხშირულ მახასიათებლების განტოლებებს

$$a(\omega) = 0; \quad (9.85)$$

$$b(\omega) = k\omega. \quad (9.86)$$

ამ მახასიათებლების გრაფიკები მოყვანილია ნახ.9.45ბ-ზე.

ამპლიტუდური და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია

$$A(\omega) = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} = \sqrt{(k\omega)^2} = k\omega; \quad (9.87)$$

$$\theta(\omega) = \arctg \frac{b(\omega)}{a(\omega)} = \arctg \frac{k\omega}{a(\omega) \rightarrow 0} = \frac{\pi}{2}. \quad (9.88)$$

ლოგარიტმულ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის განტოლებას მივიღებთ 9.87 გამოსახულების გალოგარიტმებით,

$$L(\omega) = 20 \lg k\omega. \quad (9.89)$$

იდეარული მაღიფერენცირებელი რგოლის ლოგარიტმულ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი წარმოდგენილია 9.45,გ ნახაზზე.

რეალური მაღიფერენცირებელი რგოლის ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$a(\omega) = \frac{kT^2\omega^2}{T^2\omega^2 + 1}; \quad (9.90)$$

$$b(\omega) = \frac{kT\omega}{T^2\omega^2 + 1}. \quad (9.91)$$

ნახაზზე 9.46ა აგებულია ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი, რომელიც წარმოადგენს ნახევარწრეს, ცენტრით ნამდვილ ღერძზე, რომელიც განლაგებულია პირველ კვადრანტში და რომელიც გადის კოორდინატთა დასაწყისში.

9.90 და 9.91 გამოსახულებების მიხედვით აგებულია ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლები (ნახ.9.46ბ).

ამპლიტუდურ და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია

$$A(\omega) = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} = \frac{kT\omega}{T\sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}}, \quad (9.92)$$

$$\theta(\omega) = \arctg \frac{b(\omega)}{a(\omega)} = \arctg \frac{1}{T\omega}. \quad (9.93)$$

ლოგარიტმულ ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებელს მივიღებთ 9.92 გამოსახულების გალოგარიტმებით,

$$L(\omega) = 20 \lg kT\omega - 20 \lg T \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}. \quad (9.94)$$

ლოგარიტმულ ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი (ნახ.9.46 მრუდი 4) აგებულია წერტილების მიხედვით 9.93 გამოსახულების დახმარებით.

გამოსახულება (9.66) ტრიგონომეტრიული ფორმით

$$W(j\omega) = e^{-j\tau\omega} = \cos \tau\omega - j \sin \tau\omega. \quad (9.95)$$

ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლების განტოლებებია:

$$a(\omega) = \cos \tau\omega, \quad (9.96)$$

$$b(\omega) = -\sin \tau\omega. \quad (9.97)$$

ω -ს შეცვლისას 0-დან ∞ -მდე ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლები წარმოადგენენ შესაბამისად კოსინისოიდს და სინუსოიდს ერთი ტოლი ამპლიტუდით.

ამპლიტუდური-სიხშირული მახასიათებლის განტოლებას აქვს სახე

$$A(\omega) = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} = \sqrt{\cos^2 \tau\omega + \sin^2 \tau\omega} = 1. \quad (9.98)$$

ლოგარიტმულ-ამპლიტუდური სიხშირული მახასიათებელი

$$L(\omega) = 20 \lg 1 = 0 \quad (9.99)$$

წარმოადგენს სწორს, რომელიც ემთხვევა აბსცისათა ღერძს ანუ ხაზს 0 დეციბელით.

ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლის განტოლებაა

$$\theta(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{b(\omega)}{a(\omega)} = -\operatorname{arctg} \frac{\sin \tau\omega}{\cos \tau\omega} = -\tau\omega. \quad (9.100)$$

ω -ს ცვლილებისას 0-დან ∞ -მდე $\theta(\omega)$ იცვლება 0-დან $-\infty$ -მდე (ნახ.9.47,ბ).

დასასრულს იბადება კითხვა – რისთვისაა საჭირო ზემო-მოყვანილი ანალიზი და რად გვინდა საერთოდ ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლების მეთოდი? პასუხი ასეთია. როდესაც ავტომატური სისტემის ან მისი ცალკეული ელემენტის განტოლება უცნობია ან მისი შედგენა გარკვეულ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული, ასეთ შემთხვევაში ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლების მეთოდის გამოსაყენებლად ექსპერიმენტულად ავაგებთ ამ რგოლების

(ელემენტების) ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებს, რაც საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ სისტემის ან მისი ელემენტის დინამიკური თვისებები და მისი პარამეტრები. გარდა ამისა, სიხშირული მეთოდი, საშუალებას იძლევა შევაფასოთ ცალკეული რგოლების პარამეტრების გავლენა სისტემის მდგრადობაზე. განსაკუთრებით ეს ეხება ერთკონტურიან სისტემებს, ე.ი. ისეთებს, რომლებშიც ყველა რგოლი შეერთებულია თანმიმდევრობით, ერთი მეორის მიყოლებით და ქმნიან ერთიან ჩაკეტილ წრედს (კონტურს). მეთოდი საშუალებას იძლევა გადაწყდეს საკითხი არა მხოლოდ სისტემის მდგრადობის შესახებ, არამედ შეფასდეს გარდამავალი პროცესის ხასიათი. ზოგიერთი ცვლილებით მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნეს სისტემების მდგრადობის ანალიზისათვის, რომლებშიც შედის არა მხოლოდ ხაზოვანი, არამედ არახაზოვანი (არაწრფივი) რგოლებიც და სხვ.

შევნიშნავთ, რომ მესამე რიგზე მაღალი დიფერენციალური განტოლებების გადაწყვეტა წარმოადგენს მნიშვნელოვან სიძნელეს. ამიტომ, ასეთი განტოლებების გადასაწყვეტად ყველაზე ხშირად მიმართავენ ხოლმე გამოთვლულ მანქანებს, ან როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები, იყენებენ გაანგარიშების სიხშირულ მეთოდებს. თუმცა სიხშირული გამოკვლევები ხელსაყრელია იმ შემთხვევებში, როდესაც სისტემის ზოგიერთი რგოლისათვის, რომელიც ადვილად ექვემდებარება მაკეტირებას, უფრო ადვილია სიხშირული მახასიათებლების ექსპერიმენტალურად განსაზღვრა, ვიდრე დინამიკის დიფერენციალური განტოლებების შედგენა.

§10. ავტომატური რეგულირების წრფივი სისტემების დიფერენციალური განტოლებები

რეგულირების ან მართვის პროცესის ანალიზი შეიძლება შესრულდეს სხვადასხვა წესით: გაანგარიშების გზით, ექსპერიმენტალურად და გაანგარიშების ექსპერიმენტთან კომბინირების გზით. რეგულირების პროცესის გასაანგარიშებლად საჭიროა სისტემის ყველა რგოლის დინამიკის განტოლების შედგენა. ექსპერიმენტისათვის უნდა

გაგვაჩნდეს რეგულატორის კონსტრუქცია ნატურაში ან მოქმედი მაკეტის სახით, და უნდა გვქონდეს, აგრეთვე, თვითონ ობიექტი. მაგრამ, მხოლოდ ექსპერიმენტით ვერ ხერხდება ავტომატური რეგულატორის შექმნა. გაანგარიშების კომბინირება ექსპერიმენტთან ხშირად ხდება ხელსაყრელი, იმიტომ რომ სისტემის ერთი ნაწილისათვის (მაგალითად, სუფთა ელექტრული და ელექტრონული) ხდება, რომ უფრო ადვილია აგებული იქნეს მოქმედი მაკეტი, ვიდრე შედგენილი იქნეს განტოლება, ხოლო მეორე ნაწილისათვის – პირიქით. ამასთან დიდი მნიშვნელობა აქვს ავტომატური მართვის პროცესების დინამიკის მოდელირებას ელექტრონული მათემატიკური მანქანების გამოყენებით.

როდესაც ცნობილია ცალკეული რგოლების (რომლებადაც არის დანაწევრებული ავტომატური რეგულირების სისტემა) დიფერენციალური განტოლებები და გადამცემა ფუნქციები და აგებულია სტრუქტურული სქემა, რომელიც გვიჩვენებს, როგორ არიან ეს რგოლები ერთმანეთთან შეერთებული, შეიძლება შედგენილი იქნეს მთლიანობაში ავტომატური რეგულირების სისტემის დიფერენციალური განტოლება. გამოკვლევების დროს ზოგჯერ წარმოიქმნება აუცილებლობა განხილული იქნეს გახსნილი სისტემის ქცევა. გახსნილი სისტემის მისაღებად, საჭიროა კავშირის გაწყვეტა ორ ნებისმიერ მეზობელ რგოლს შორის. ჩვეულებრივ განრთვა ხდება სარეგულირებელი ობიექტის გამოსასვლელსა და საკუთრივ რეგულატორის შესასვლელს შორის (კვეთი A ნახაზებზე 9.36 და 9.37).

გახსნილ სისტემაში რეგულატორის შესასვლელზე სიდიდის მიწოდებისას, რომელიც შეესაბამება ნამდვილი სიდიდის გადახრას მოცემული მნიშვნელობიდან, სარეგულირებელი ობიექტის გამოსასვლელზე მიიღება სარეგულირებელი სიდიდის მნიშვნელობები, დამოკიდებული სისტემის პარამეტრებისაგან და შესასვლელზე სიდიდის ცვლილების ხასიათისაგან.

ავტომატური რეგულირების სისტემის გახსნილი და შეკრული მდგომარეობების შესაბამისად შეიძლება შედგენილი იქნეს გახსნილი და შეკრული სისტემების დიფერენციალური განტოლებები.

მაგალითის სახით შევადგინოთ მარტივი ობიექტის – დონის რეგულირების (იხ. ნახ.9.12) დიფერენციალური განტოლება.

ჭურჭელში მიეწოდება წყალი Q_n მ³/წ რაოდენობით და იხარჯება Q_p მ³/წ რაოდენობით. როდესაც სარეგულირებელი ობიექტი იმყოფება წონასწორობაში, მოდენა ტოლია ხარჯისა, ე.ი.

$$Q_n = Q_p, \quad (9.101)$$

$$\text{ხოლო,} \quad Q_n - Q_p = 0;$$

ამასთან h დონე არ იცვლება და, მაშასადამე, დონის გადახრა მოცემული მნიშვნელობიდან $\Delta h = 0$.

თუ მიწოდებული ან დახარჯული წყლის რაოდენობა შეიცვლება, მაშინ მისი დონე ჭურჭელში, აგრეთვე, შეიცვლება.

ვთქვათ ახალი მიწოდებაა Q_{n1} , ხოლო ახალი ხარჯი Q_{p1} ; მაშინ:

$$Q_{n1} = Q_n + \Delta Q_n; \quad (9.102)$$

$$Q_{p1} = Q_p + \Delta Q_p, \quad (9.103)$$

სადაც ΔQ_n და ΔQ_p არის შესაბამისად მიწოდებისა და ხარჯის ნაზარდები.

წყლის რაოდენობა წამში, რომელიც მიდის დონის გაზრდაზე, ტოლი იქნება მიწოდებისა და ხარჯის სხვაობისა, ე.ი. $Q_{n1} - Q_{p1}$. ეს სხვაობა (9.102) და (9.103)-ის გათვალისწინებით იქნება ტოლი

$$Q_{n1} - Q_{p1} = Q_n + \Delta Q_n - Q_p - \Delta Q_p.$$

მაგრამ 9.101-ის თანახმად $Q_n = Q_p$, მაშინ

$$Q_{n1} - Q_{p1} = \Delta Q_n - \Delta Q_p. \quad (9.104)$$

მეორეს მხრივ, წყლის მოცულობა, რომელიც დროის ერთეულში წავიდა დონის გაზრდაზე, ტოლია

$$Q_{n1} - Q_{p1} = S \frac{d(\Delta h)}{dt}, \quad (9.105)$$

სადაც S არის ჭურჭლის ფუძის ფართობი;

$\frac{d(\Delta h)}{dt}$ – დონის შეცვლის სიჩქარე.

ჩვენს ობიექტში ხარჯი ჭურჭლიდან დამოკიდებულია წყლის დონის სიმაღლეზე:

$$Q_p = f(h).$$

თუ Δh მცირეა, მაშინ პირველ მიახლოებაში შეიძლება ჩაითვალოს, რომ

$$\Delta Q_p = k_1 \Delta h, \quad (9.106)$$

სადაც $k_1 = \frac{dQ_p}{dh}$ არის მუდმივი კოეფიციენტი.

გადავწეროთ 9.104 განტოლება 9.105-ის გათვალისწინებით:

$$Q_{n1} - Q_{p1} = \Delta Q_n - \Delta Q_p = S \frac{d(\Delta h)}{dt},$$

საიდანაც

$$S \frac{d(\Delta h)}{dt} + \Delta Q_p = \Delta Q_n.$$

თუ ჩავსვამთ უკანასკნელ ტოლობაში ΔQ_p -ის მნიშვნელობას 9.106 ფორმულიდან, მივიღებთ:

$$S \frac{d(\Delta h)}{dt} + k_1 \Delta h = \Delta Q_n. \quad (9.107)$$

აღვნიშნოთ სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა Δh მოცემული მნიშვნელობიდან დროის მოცემულ მომენტში $x_{\text{გამ}}$ -ით. მაშინ 9.107 განტოლება შეიძლება გადაწერილი იქნეს შემდეგი სახით:

$$S \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + k_1 x_{\text{გამ}} = x_{\text{გამ}}.$$

გავყოთ ბოლო ტოლობის ყველა წევრი k_1 -ზე, მივიღებთ

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = k x_{\text{გამ}},$$

სადაც

$$T = \frac{S}{k_1} \text{ არის დროის მუდმივა;}$$

$$k = \frac{1}{k_1} - \text{ობიექტის გაძლიერების კოეფიციენტი.}$$

მიღებული განტოლება არის აპერიოდული რგოლის პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლება (იხ. განტოლება 9.7). ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ რეგულირების პროცესის გამოკვლევისათვის აუცილებელია არა მხოლოდ სარეგულირებელი სიდიდის $x_{გამ}$ -ის ცოდნა, არამედ მისი წარმოებულისაც $\frac{dx_{გამ}}{dt}$, ე.ი. მისი დროში ცვლილების სიჩქარე.

ახლა გადავიდეთ უფრო რთულ მაგალითზე და შევადგინოთ რკინაბეტონის კონსტრუქციების გასაორთქლი კამერის დიფერენციალური განტოლება.

როგორც ცნობილია რკინაბეტონის ნაკეთობათა ქარხნებში ბეტონის გამაგრების ხანგრძლივობა ძირითადად განსაზღვრავს კონსტრუქციის დამზადების დროს. ამიტომ გამაგრების ინტენსიფიკაცია არსებითად ამცირებს საწარმოო პროცესის ხანგრძლივობას. დამუშავების თბური მეთოდი ყველაზე ეფექტურად და ფართოდ გამოიყენება რკინაბეტონის ნაკეთობების დამზადების დროს.

ამჟამად ბეტონის გამაგრების დაჩქარების შემდეგი თბური მეთოდები გამოიყენება: თბოტენიანობით დამუშავება ორთქლპაერიან გარემოში $60-80^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს; გაჯერებული ორთქლის გარემოში დამუშავება ნორმალური წნევისა და $95-100^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს; ნაკეთობების კონტაქტური გათბობა თბომატარებლით, რომელიც ცირკულირებს ჩაკეტილ სივრცეში, რომელიც აკრავს ბეტონის ნაკეთობის ზედაპირს; ბეტონის დამუშავება ცხელი წყლით ბასეინებში; ბეტონის გახურება ელექტროდენით, რომლის გატარებაც ხდება გასამაგრებელ ბეტონში; ინფრაწითელი სხივების დახმარებით; ბეტონის ცხელი ვიბროდაწნეხა; ცხელი ფორმირება და ავტოკლავებში დამუშავება გაჯერებული წყლის ორთქლის გარემოში $0,8-1,5$ МПа წნევისა და $175-200^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს.

რკინაბეტონის ნაკეთობათა ქარხნები თბოტენიანობითი დამუშავებისათვის აღჭურვილია პერიოდული და უწყვეტი ქმედების დანადგარებით. პერიოდული ქმედების დანადგარებს მიეკუთვნება ისეთები, რომლებშიც თბური დამუშავების პროცესი მიმდინარეობს პერიოდებით (ციკლებით), ე.ი. ნაკე-

თობები ხურდება დანადგარებთან ერთდროულად განსაზღვრული დროით, რის შემდეგაც დანადგარი და ნაკეთობა ცივდება. ასეთი პროცესები მეორდება, სითბოს გადაცემის პრინციპის მიხედვით პერიოდული ქმედების დანადგარები იყოფა ორ ჯგუფად:

1. როდესაც დასამუშავებელი ნაკეთობები უშუალოდ ეხებიან თბომატარებელს და მათ შორის სწარმოებს სითბოს მასობრივი გაცვლა;

2. როდესაც ნაკეთობის გახურება ხორციელდება გამყოფი ზედაპირის გავლით. ამ შემთხვევაში იქმნება უფრო ხელსაყრელი პირობები ბეტონის სტრუქტურის ფორმირებისათვის და დამუშავების დრო მცირდება 10-20%-ით შედარებით ღია ფორმებში დამუშავებასთან.

პირველი ჯგუფის პერიოდული ქმედების დანადგარებს მიეკუთვნება გასაორთქლი კამერები, სტენდები და ავტოკლავეები, ხოლო მეორე ჯგუფისას – კასეტები, პაკეტები, მატრიცები, მოცულობით-ჩამომყალიბებელი მოწყობილობები.

უწყვეტი ქმედების დანადგარები რკინაბეტონის ნაკეთობათა ქარხნებში გამოიყენება კონვეიერული ტიპის. კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით მათი დაყოფა შეიძლება ორ კატეგორიად:

ჰორიზონტალური – გვირაბის ტიპის;

ვერტიკალური – კოშკურა ტიპის.

კამერების მუშაობის ეკონომიურობა ხასიათდება ორთქლის ხარჯით ნაკეთობის დამუშავებაზე და შეიძლება შეადგენდეს 420-დან 1000 კგ/მ³.

გასაორთქლი კამერების ბრუნვადობა შეადგენს ერთიდან ორ ციკლამდე, ხოლო კასეტური დანადგარებისა – ერთიდან სამ ციკლამდე დღეღამეში.

გასაორთქლი კამერა წარმოადგენს პერიოდული ქმედების ყველაზე გავრცელებულ აგრეგატს, რკინაბეტონის ნაკეთობათა თბოტენიანობითი დამუშავების რეჟიმის განსახორციელებლად. ცნობილია გასაორთქლი კამერის შემდეგი ტიპები:

ორმოს ფორმის გასაორთქლი კამერა პერფორირებული ორთქლსადენის გაშლის ქვედა სისტემით;

პროფ. ლ.ა. სემიონოვის უდაწნეო გასაორთქლი კამერა პერფორირებული ორთქლსადენების ქვედა და ზედა გაშლით და უკუმიღლით ორთქლჰაერიათი ნარევის არინებისათვის.

პროფ. ა.ა. ვოზნესენსკის გასაორთქლი კამერა ორთქლის მიწოდებით ღაგალის საქშენით.

კამერები აღჭურვილია ჰიდრაულიკური საკეტებით სახურავების ჰერმეტიზაციისათვის და გამწოვი ვენტილაციით კამერების და ნაკეთობების გასაცივებლად პროცესის დამთავრების შემდეგ.

ორმოს სახის გასაორთქლ კამერებში თბოტენიანობითი დამუშავება წარმოებს ორთქლჰაერიან გარემოში ატმოსფერული წნევისა და $60-90^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს.

ლ.ა. სემიონოვის უდაწნეო გასაორთქლ კამერებში პროცესი ხორციელდება ნორმალური წნევის გაჯერებული ორთქლის გარემოში $95-100^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს. პროცესის დასაწყისში ორთქლი მიეწოდება ქვედა პერფორაციულ მიღებში, რის შედეგადაც კამერა და ნაკეთობა თანდათანობით ხურდება. $85-90^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს ქვედა მილსადენების სისტემა ითიშება და ორთქლის მიწოდება იწყება ზემოდან. გამშრალი ორთქლი თანდათანობით კამერიდან გამოაძეგებს გაჯერებულ ორთქლჰაერიან ნარევის უკუმიღლის გავლით. მიმდინარეობს იზოთერმული პროცესი.

ა.ა. ვოზნესენსკის კამერაში ორთქლი მიეწოდება ამალღებული სიჩქარით. ეს ათანაბრებს ტემპერატურულ ველს და აუმჯობესებს თბოგადაცემას ორთქლჰაერის გარემოსა და ნაკეთობას შორის. ეფექტურობის ამალღების ასეთი მეთოდი ორთქლის ხარჯისა და ნაკეთობის თბური დამუშავების ხანგრძლივობის დაახლოებით ორჯერ შემცირების საშუალეხს იძლევა.

კამერების ავტომატიზაციის სისტემის შესარჩევად აუცილებელია ნაკეთობის დამუშავების რეკომენდებული რეჟიმის ცოდნა, რომელიც ხასიათდება ნაკეთობის წინასწარი დაყოვნებით თბური დამუშავების დაწყებამდე. კამერაში ტემპერატურის აწევის ინტენსივობით, ტემპერატურითა და იზოთერმული გახურების ხანგრძლივობით, ბეტონის გაგრილების სიჩქარით გაცივების დროს.

დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარე გარემოს ტემპერატურის აწევისა კამერაში შეადგენს 20-დან 35 გრადუსამდე საათში. გასაორთქლი კამერების თბური პროცესების ავტომატიზაცია ყველაზე მიზანშეწონილია განხორციელდეს ნაკეთობის ტემპერატურის მიხედვით, მაგრამ გამზომი აპარატურის უქონლობა ამ მიზნისათვის გვაიძულებს ამ პროცესის მართვას ორთქლჰაერიანი გარემოს ტემპერატურის მიხედვით, რომელშიც იმყოფება დასამუშავებელი ნაკეთობა.

გასაორთქლი კამერის დინამიკის განტოლების შესადგენად ვისარგებლოთ ენერგიის მუდმივობის კანონით. კამერაში დროის ერთეულში შედის სითბოს Q_1 რაოდენობა, რომელიც იხარჯება კამერის, ფორმების და ბეტონის ნაკეთობების გახურებაზე, წყლის აორთქლებას, გარემოს გახურებასა, აგრეთვე, Q_2 დანაკარგებზე. შევადგინოთ თბური ბალანსის განტოლება დროის dt ინტერვალისათვის:

$$G_n C_n d\theta = (Q_1 - Q_2) dt, \quad (9.108)$$

სადაც

G_n არის თერმოტენიანი გარემოს მასა;

G_n – გარემოს თბოტევადობა.

(9.108) დინამიკის განტოლებიდან ვღებულობთ

$$G_n C_n \frac{d\theta}{dt} = Q_1 - Q_2.$$

სტატიკის განტოლება იქნება

$$Q_1 - Q_2 = 0. \quad (9.109)$$

9.108 და 9.109 განტოლებებიდან მივიღებთ ობიექტის (გასაორთქლი კამერა) დიფერენციალურ განტოლებას ნაზრდებში

$$G_n C_n \frac{d\Delta\theta}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2. \quad (9.110)$$

ვსაზღვრავთ, რა ფაქტორები ახდენენ გავლენას ΔQ_1 და ΔQ_2 -ზე:

$$1. \Delta Q_1 = f_1(\theta, h, t),$$

სადაც h არის მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილება.

დავშალოთ ეს გამოსახულება ტეილორის რიგად მცირე ნაზრდების მიხედვით და უკუვაგლოთ ყველა წევრი პირველ რიგზე მაღალი:

$$\Delta Q_1 = \frac{\partial Q_1}{\partial \theta} \Delta \theta + \frac{\partial Q_1}{\partial h} \Delta h; \quad (9.111)$$

$$2. \Delta Q_2 = f_2(\theta, t) + Q_{yT}(t),$$

სადაც $Q_{yT}(t)$ არის ორთქლის გაპარვის სიდიდე.

დავშალოთ ეს გამოსახულება ტეილორის რიგად:

$$\Delta Q_2 = \frac{\partial Q_2}{\partial \theta} \Delta \theta + Q_{yT}(t). \quad (9.112)$$

ჩაესვით 9.111 და 9.112 განტოლებები 9.110 განტოლებაში:

$$G_n C_n \frac{d(\Delta \theta)}{dt} = \frac{\partial Q_1}{\partial h} \Delta h + \frac{\partial Q_1}{\partial \theta} \Delta \theta - \frac{\partial Q_2}{\partial \theta} \Delta \theta - Q_{yT}(t);$$

გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ:

$$G_n C_n \frac{d(\Delta \theta)}{dt} + \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \theta} - \frac{\partial Q_1}{\partial \theta} \right) \Delta \theta = \frac{\partial Q_1}{\partial h} \Delta h - Q_{yT}(t). \quad (9.113)$$

გადავიღეთ ფარდობით სიდიდეებზე:

$$\frac{\Delta \theta}{\theta_{\max}} = \varphi \quad - \quad \text{სარეგულირებელი სიდიდის ფარდობითი}$$

მნიშვნელობა;

$$\frac{\Delta h}{h_{\max}} = \mu_1 \quad - \quad \text{მარეგულირებელი ორგანოს ფარდობითი}$$

გადაადგილება;

$$\frac{\Delta Q_{yT}}{Q_{yT \max}} = \lambda_1 \text{ გაპარვის (შეშფოთების) ფარდობითი}$$

მნიშვნელობა.

ჩაესვით 9.113 გამოსახულებაში ეს აღნიშვნები:

$$G_n C_n \theta_{\max} \frac{d\varphi}{dt} + \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \theta} - \frac{\partial Q_1}{\partial \theta} \right) \theta_{\max} \varphi = \frac{\partial Q_1}{\partial h} h_{\max} \mu_1 - \lambda_1. \quad (9.114)$$

შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$T = \frac{G_n C_n \theta_{\max}}{Q_{1 \max}} - \text{ობიექტის გაქანების დრო;}$$

$$A = \frac{Q_{\max}}{Q_{1\max}} \left(\frac{\partial Q_2 - \partial Q_1}{\partial \theta} \right) - \text{რეგულირების ობიექტის თვითგა-}$$

თანაბრების მახასიათებელი კოეფიციენტი.

თვითგათანაბრება განიხილება, როგორც გასართქლ კამერაში გარემოს ტემპერატურის უნარი თვითნებურად მივიდეს ახალ დამყარებულ მნიშვნელობამდე ავტომატური რეგულატორის დახმარების გარეშე. თვითგათანაბრება ხასიათდება კოეფიციენტით, რომელიც გასართქლი კამერისათვის ნულზე მეტია (დადებითია).

ჩავსვათ T და A -ს გამოსახულებები 9.114 განტოლებაში:

$$T \frac{d\varphi}{dt} + A \cdot \varphi = \mu_1 - \lambda_1. \quad (9.115)$$

9.115 განტოლების მარცხენა და მარჯვენა ნაწილები გავყოთ A -ზე:

$$\frac{T}{A} \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = \frac{1}{A} \mu_1 - \frac{1}{A} \lambda_1$$

ანუ

$$T_0 \varphi' + \varphi = k\mu - \lambda, \quad (9.116)$$

სადაც

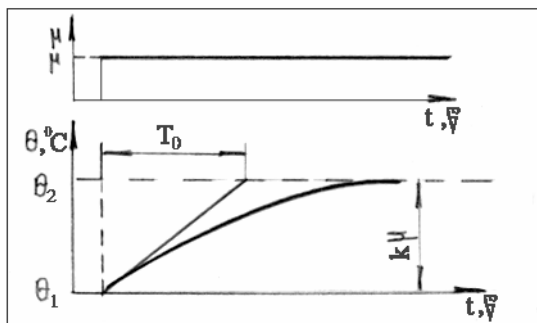
T_0 არის ობიექტის დროის მუდმივა, წ;

k – ობიექტის გადაცემის კოეფიციენტი.

9.116 დიფერენციალური განტოლების ამოხსნით ნახტომისებური შემოთებისა და ნულოვანი საწყისი პირობების დროს, მივიღებთ:

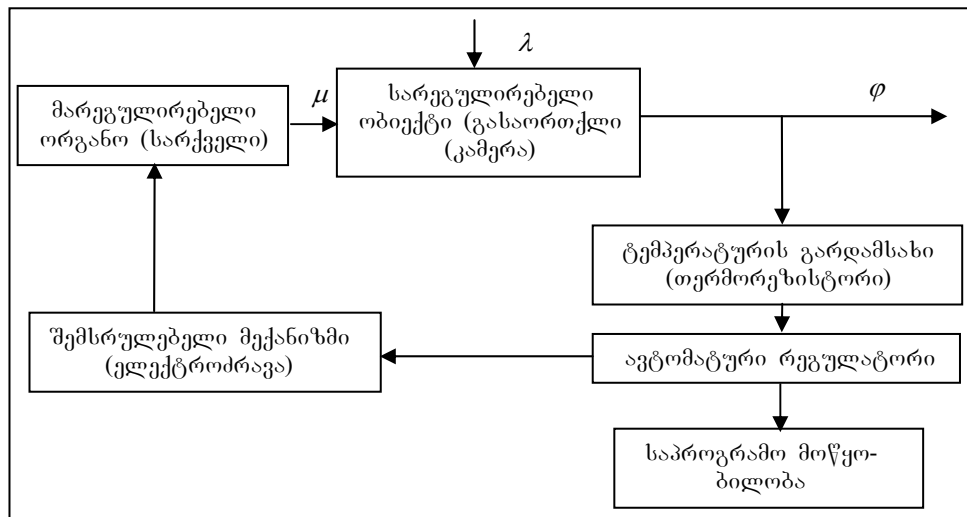
$$\varphi = k\mu \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}} \right). \quad (9.117)$$

ამრიგად, თბური პროცესი კამერაში, შემაშვოთებელი მოქმედების ნახტომისებურად შეცვლისას მიმდინარეობს ექსპონენციალურად (ნახ.9.48).

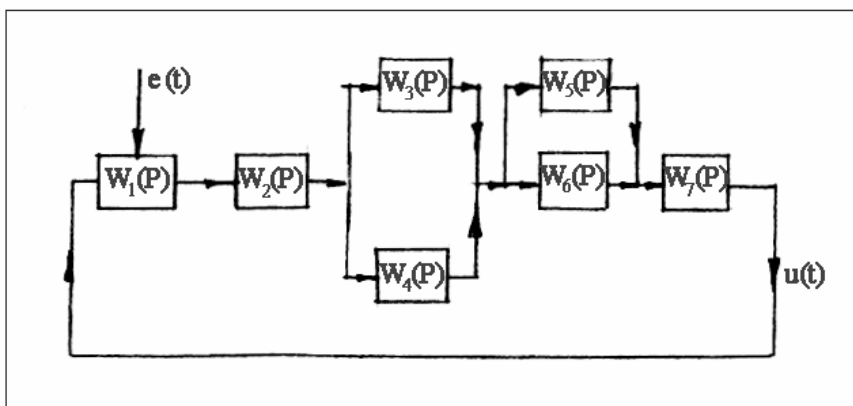


ნახ.9.48. გარდამავალი პროცესი გაორთქელის კამერაში ტემპერატურის რეგულირების დროს

ნახ.9.49 მოცემულია გასაორთქელ კამერაში ორთქლჭაერიანი გარემოს ტემპერატურის ავტომატური რეგულირების სისტემის ფუნქციონალური სქემა, ხოლო 9.50 ნახაზზე სტრუქტურული სქემა. ამ უკანასკნელის მიხედვით შევადგინოთ ავტომატური რეგულირების სისტემის გადამცემი ფუნქცია.



ნახ.9.49. გასაორთქელ კამერაში ორთქლჭაერიანი გარემოს ტემპერატურის ავტომატური რეგულირების სისტემის ფუნქციონალური სქემა



ნახ.9.50. გაორთქელის კამერაში ტემპერატურის რეგულირების მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა

ცალკეული რგოლების (ავტომატური რეგულირების სისტემის ელემენტების) გადამცემი ფუნქციები შეიძლება ასე იქნან ჩაწერილი:

$$\begin{aligned}
 W_1(P) &= \frac{k_1}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}; W_2(P) = \frac{k_2}{T_3 P + 1}; W_3(P) = k_3; \\
 W_4(P) &= \frac{T_4 P}{T_4 P + 1}; W_5(P) = -\frac{1}{T_5 P}; W_6(P) = -k_4; W_7(P) = k_5.
 \end{aligned} \quad (9.118)$$

სისტემის გადამცემი ფუნქციისათვის გვექნება:

$$W(P) = W_1(P)W_2(P)[W_3(P) + W_4(P)] \left[\frac{W_5(P)}{1 + W_5(P)W_6(P)} \right] W_7(P),$$

ან

$$W(P) = \left[\frac{k_1}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1} \right] \left(\frac{k_3}{T_3 P + 1} \right) \left[k_3 + \frac{T_4 P}{T_4 P + 1} \right] \left(-\frac{1}{T_5 P + k_4} \right) k_5. \quad (9.119)$$

რადგან

$$\frac{W_5(P)}{1 + W_5(P)W_6(P)} = -\frac{1}{T_5 P \left(1 + \frac{k_4}{T_5 P} \right)} = -\frac{1}{k_4 + T_5 P},$$

ამიტომ

$$W(P) = \frac{-k_1 k_2 k_5 [k_3(1+T_4 P) + T_4 P]}{(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)(1+T_3 P)(1+T_4 P)(k_4 + T_5 P)},$$

ა6

$$W(P) = \frac{k_0 + T_0(P)}{k_4 + T_{01}P + T_{02}^2 P^2 + T_{03}^3 P^3 + T_{04}^4 P^4 + T_{05}^5 P^5}, \quad (9.120)$$

სადაც

$$k_0 = k_1 k_2 k_3 k_5; \quad T_0 = k_1 k_2 k_5 (k_3 T_4 + T_4);$$

$$T_{01} = k_4 T_1 + k_4 T_3 + k_4 T_4 + T_5;$$

$$T_{02}^2 = k_4 T_2^2 + k_4 T_1 T_3 + T_1 T_5 + k_4 T_1 T_4 + k_4 T_3 T_4 + T_4 T_5 + T_3 T_5;$$

$$T_{03}^3 = k_4 T_2^2 T_3 + T_2^2 T_5 + T_3 T_4 T_5 + T_1 T_4 T_5 + k_4 T_2^2 T_4 + k_4 T_1 T_3 T_4 + T_1 T_3 T_5;$$

$$T_{04}^4 = T_3 T_2^2 T_5 + k_4 T_2^2 T_3 T_4 + T_2^2 T_4 T_5 + T_1 T_3 T_4 T_5;$$

$$T_{05}^5 = T_2^2 T_3 T_4 T_5.$$

მაშასადამე, გაორთქლების კამერის, როგორც რეგულირების ობიექტის შესწავლისას დგინდება:

კამერას გააჩნია თვითგათანაბრების დადებითი კოეფიციენტი;

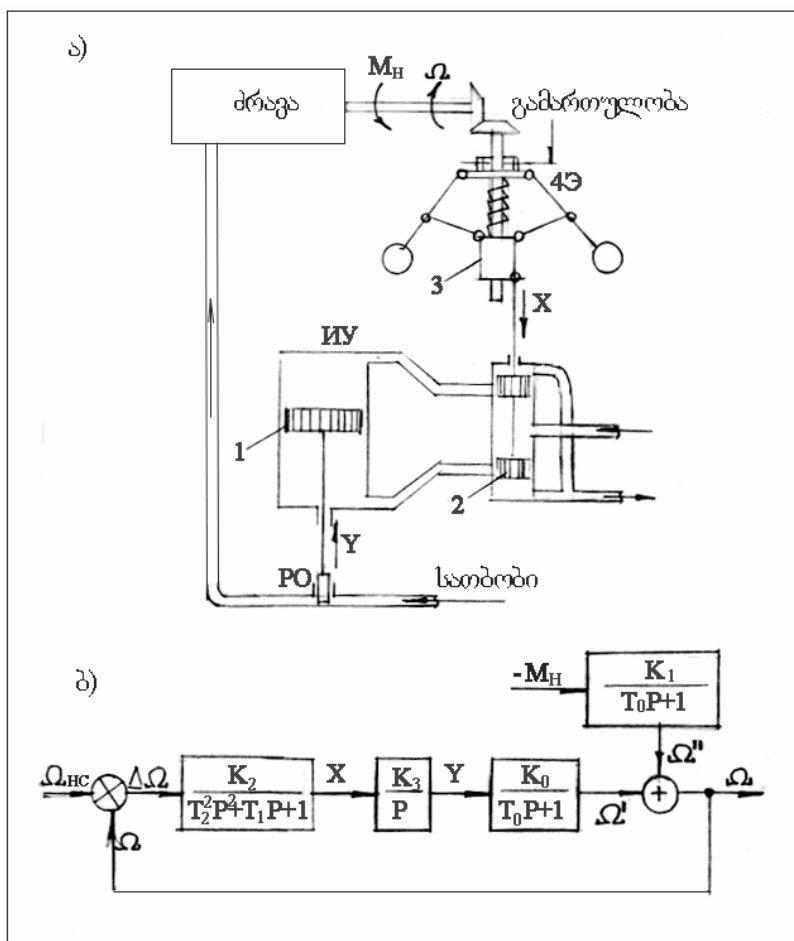
ორთქლპაერიანი გარემოს ტემპერატურა ორთქლის მიწოდების ან გადაკეტვის დროს იმატებს ექსპონენციალური კანონით;

ამ ექსპონენტის დროის მუდმივა საკმარისად დიდია.

ამრიგად, გასაორთქლი კამერა ავტორეგულირების სისტემისათვის წარმოადგენს აპერიოდულ რგოლს დროის დიდი მუდმივით. ეს საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნეს ორპოზიციანი რეგულირება. ანალოგიური განტოლებებით აიწერება კასეტური დანადგარები და თერმოფორმები.

კიდევ უფრო გავართულოთ სარეგულირებელი ობიექტი და განვიხილოთ თბური ძრავას სიჩქარის რეგულირების (სტაბილიზაციის) ავტომატური სისტემის დიფერენციალური განტოლების და გადამცემა ფუნქციის შედგენა. თბური ძრავას კონსტრუქციული (პრინციპიული) და სტრუქტურული სქემები მოცემულია 9.51 ნახაზზე.

სტრუქტურულ სქემაზე (ნახ.9.51ბ) აღნიშნულია: Ω_{HC} – გამართულობის დაყვანილი ან ექვივალენტური კუთხური სიჩქარე, განსაზღვრული ЦИС-ის ზამბარის შეკუმშვის ძალით; Ω' -საფარის y გადაადგილებით გამოწვეული კუთხური სიჩქარის მდგენელი, ხოლო Ω'' – დატვირთვის მომენტით M_H გამოწვეული ამასთან $\Omega = \Omega' + \Omega''$ და შეცდომა ანუ გადახრა $\Delta\Omega = \Omega_{HC} - \Omega$. მგრძნობიარე ელემენტს (რე) წარმოადგენს სიჩქარის ცენტრიდანული საზომი (ЦИС). შემსრულებელ ელემენტს (ИУ) წარმოადგენს ჰიდრაულიკური ძრავა, რომელიც შედგება ЦИС ქურო 3-თან დაკავშირებული მკვეთარისაგან (2), და საფართან ან სარეგულირებელ ორგანოსთან (РО) დაკავშირებულ ძალური დგუშისაგან (1).



ნახ.9.51. თბური ძრავას სიჩქარის რეგულირების ავტომატური სისტემის სქემები: ა) პრინციპული; ბ) სტრუქტურული

1. ძრავა წარმოადგენს ობიექტს და მისი გაწრფივებული განტოლება შეიძლება წარმოვადგინოთ სახით:

$$(T_0 P + 1)\Omega = k_0 y - k_1 M_H, \quad (9.121)$$

სადაც

Ω არის კუთხური სიჩქარე;

T_0 – დროის მუდმივა;

y – საფარის გადაადგილება;

M_H – დატვირთვის მომენტი;

k_0, k_1 – გადაცემის კოეფიციენტები.

2. სიჩქარის ცენტრიდანული საზომის განტოლება იქნება

$$(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)x = k_2 \Delta \Omega, \quad (9.122)$$

სადაც

x არის ქუროს და მკვეთარას გადაადგილება;

T_2, T_1 - ЦИС-ის დროის მუდმივები;

k_2 – გადაცემის კოეფიციენტი.

3. ჰიდრაულიკური ძრავა

$$Py = k_3 x, \quad (9.123)$$

სადაც k_3 არის გადაცემის კოეფიციენტი.

გახსნილი სისტემის გადამცემი ფუნქცია მოცემული ზემოქმედების Ω_{HC} მიხედვით:

$$W(P) = \frac{\Omega(P)}{\Omega_{HC}(P)} = \frac{k_0 k_2 k_3}{P(T_0 P + 1)(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)}, \quad (9.124)$$

ხოლო შეშვოთების (დატვირთვის) M_H მიხედვით:

$$W_f(P) = \frac{\Omega(P)}{M_H(P)} = -\frac{k_1}{T_0 P + 1}. \quad (9.125)$$

შეკრული სისტემის გადამცემი ფუნქცია სარეგულირებელი სიდიდის Ω მიხედვით:

$$\Phi(P) = \frac{\Omega(P)}{\Omega_{HC}(P)} = \frac{W(P)}{1 + W(P)} = \frac{k_0 k_2 k_3}{P(T_0 P + 1)(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1) + k_0 k_2 k_3}. \quad (9.126)$$

შეკრული სისტემის გადამცემი ფუნქცია შეცდომის (გადახრის) $\Delta \Omega$ მიხედვით:

$$\Phi_x(P) = \frac{\Delta \Omega(P)}{\Omega_{HC}(P)} = \frac{1}{1 + W(P)} = \frac{P(T_0 P + 1)(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)}{P(T_0 P + 1)(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1) + k_0 k_2 k_3}. \quad (9.127)$$

შეკრული სისტემის გადამცემი ფუნქცია შეშვოთების M_H მიხედვით:

$$\Phi_f(P) = \frac{\Omega(P)}{M_H(P)} = \frac{W_f(P)}{1 + W(P)} = -\frac{k_1 P(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1)}{P(T_0 P + 1)(T_2^2 P^2 + T_1 P + 1) + k_0 k_2 k_3}. \quad (9.128)$$

კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის ავტომატური სისტემის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება სარე-

გულირებელი სიდიდის (Ω_1) მიმართ, შესაბამისად მოცემული ზემოქმედების (Ω_{HC}) და შეშფოთების (M_H) დროს:

$$\left. \begin{aligned} &[P(T_0P+1)(T_2^2P^2+T_1P+1)+k_0k_2k_3]\Omega(t)=k_0k_2k_3\Omega_{HC}(t) \\ &\text{ანუ} \\ &(a_0P^4+a_1P^3+a_2P^2+a_3P+a_4)\Omega(t)=b_0\Omega_{HC}(t), \end{aligned} \right\} \quad (9.129)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} &a_0=T_0T_2^2, a_1=T_2^2+T_0T_1, a_2=T_0+T_1, a_3=1, a_4=b_0=k_0k_2k_3 \\ &[P(T_0P+1)(T_2^2P^2+T_1P+1)+k_0k_2k_3]\Omega(t)= \\ &=-k_1P(T_2^2P^2+T_1P+1)M_H(t) \\ &\text{ანუ} \\ &(a_0P^4+a_1P^3+a_2P^2+a_3P+a_4)\Omega(t)= \\ &=-(d_0P^3+d_1P^2+d_2P)M_H(t), \end{aligned} \right\} \quad (9.130)$$

სადაც $d_0=k_1T_2^2, d_1=k_1T_1, d_2=k_1$.

კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის სისტემის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება შეცდომის (გადახრის) ($\Delta\Omega$) მიმართ, შესაბამისად მოცემული ზემოქმედების (Ω_{HC}) და შეშფოთების (M_H) მისხედვით:

$$\left. \begin{aligned} &[P(T_0P+1)(T_2^2P^2+T_1P+1)+k_0k_2k_3]\Delta\Omega(t)= \\ &=P(T_0P+1)(T_2^2P^2+T_1P+1)\Delta\Omega_{HC}(t); \\ &P[(T_0P+1)(T_2^2P^2+T_1P+1)+k_0k_2k_3]\Delta\Omega(t)= \\ &=k_1P(T_2^2P^2+T_1P+1)M_H(t). \end{aligned} \right\} \quad (9.131)$$

ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებელი ნებისმიერი კომპლექსური რიცხვის მაგვარად, შეიძლება წარმოდგენილი იქნას გრაფიკულად სწორკუთხა კოორდინატებში, როგორც გეომეტრიული ჯამი ნამდვილი a და წარმოსახვითი b ნაწილებისა:

$$W(j\omega)=a(j\omega)+b(j\omega). \quad (9.132)$$

თუ ჩავსვამთ ამ განტოლებაში ω -ს მნიშვნელობებს 0-დან ∞ -მდე, მივიღებთ ვექტორებს სხვადასხვა ამპლიტუდებითა და ფაზებით. ვექტორების ბოლოების შეერთებით ნარნარი მრუდით, მივიღებთ ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლის გოდოგრაფს.

§11. ავტომატური რეგულირების წრეში სისტემების მდგრადობის გამოკვლევა

ავტომატური რეგულირების სისტემები* მუშაობის პროცესში განიცდიან სხვადასხვაგვარ შემაშვოთებელ ზემოქმედებებს, რომლებსაც სისტემა გამოჰყავთ დამყარებული რეჟიმიდან, წონასწორობის მდგომარეობიდან და სარეგულირებელ სიდიდეს გადახრიან მოცემული მნიშვნელობიდან. რეგულატორი მიისწრაფვის სარეგულირებელი სიდიდის მოცემულ მნიშვნელობასთან მიყვანას. სისტემის გადასვლა ერთი მდგომარეობიდან მეორეში მასების, ტევადობების და ა.შ. არსებობის შედეგად არ შეიძლება მოხდეს მყისიერად. შემაშვოთებელი ზემოქმედებისა და მისი მომდევნო რეგულატორის აღმდგენი ზემოქმედებების შედეგად სისტემაში აღიძვრება გარდამავალი პროცესები.

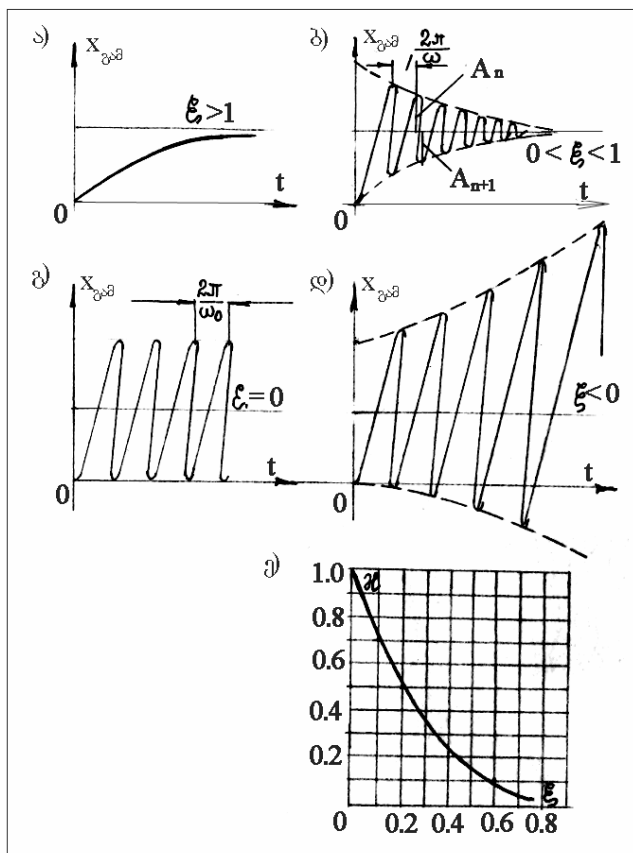
ამასთან, შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გარდამავალი პროცესის სამ სახეს:

1. სარეგულირებელი სიდიდე, რომელიც შემაშვოთებელი ზემოქმედებების შედეგად გადაიხარა მოცემული მნიშვნელობიდან, დროის განმავლობაში რეგულატორის ზემოქმედების შედეგად უბრუნდება მოცემულ მნიშვნელობას სიზუსტით, რომელიც პასუხობს რეგულატორის სტატიკურ ცდომილებას. ასეთ გარდამავალ პროცესს ეწოდება კრებადი, ხოლო რეგულირების სისტემას – მდგრადი (ნახ.9.52ბ).

2. სარეგულირებელი სიდიდე, რომელიც შემაშვოთებელი ზემოქმედებების შედეგად გადაიხარა მოცემული მნიშვნელობიდან, დროის განმავლობაში რეგულატორის ზემოქმედების შედეგად კი არ უახლოვდება, არამედ თეორიულად უსა-

* ავტომატური სისტემა ხასიათდება შიგა და გარე პარამეტრებით. შიგა პარამეტრებს მიეკუთვნება სისტემაში შემავალი ტიპური რგოლების დროის მუდმივები, გაძლიერების კოეფიციენტები და სხვ. შიგა პარამეტრები განსაზღვრავს თვით ავტომატური სისტემის თვისებებს. გარე პარამეტრებს მიეკუთვნება სისტემაში გარედან შეყვანილი პარამეტრები – პროგრამა, ძირითადი შეშვოთება და დაბრკოლებანი (ძირითადი შეშვოთების სიდიდის გათვალისწინება შესაძლებელია, ხოლო ყოველი სახის დაბრკოლების და, მით უმეტეს, მათი სიდიდის გათვალისწინება თითქმის შეუძლებელია). გარე პარამეტრები დამოკიდებული არ არიან ავტომატური სისტემის შიგა ბუნებაზე და, ამიტომაც, ისინი სრულებით არ გამოსახვენ ავტომატური სისტემის თვისებებს.

ზღვროდ სცილდება მოცემულ მნიშვნელობას აპერიოდულად ან რხევებით, რომელთა ამპლიტუდაც განუწყვეტილვ იზრდება. ასეთ გარდამავალ პროცესს ეწოდება განშლადი, ხოლო რეგულირების სისტემას – არამდგრადი (ნახ.9.52ა,დ).



ნახ.9.52. რხევითი რგოლის რეაქცია შემავალი სიდიდის ნახტომისებურ ცვლილებაზე: ა) აპერიოდული პროცესი; ბ) რხევითი მღივი პროცესი; გ) რხევითი არამღივი პროცესი; დ) მზარდი რხევები (უარყოფითი დაწყნარების გიპოტეტიური შემთხვევა); ე) დაწყნარების ხარისხსა ξ და ამპლიტუდების კლების კოეფიციენტს M შორის კავშირი. ω_0 - არადემფირებული რხევის საკუთარი სიხშირე, რად/წ; ξ - დემფირების (დაწყნარების) ხარისხი; A - ამპლიტუდა

შეგნიშნავთ, რომ რეალურ პირობებში არ შეიძლება მოხდეს რაიმე ფიზიკური პარამეტრის უსაზღვრო გადახრა მოცემული მნიშვნელობიდან, ისევე, როგორც შეუძლებელია რხევები უსაზღვროდ ზრდადი ამპლიტუდით.

გადახრები შემოსაზღვრულია ელემენტების თვისებებით: ელექტრული მანქანების გაჯერებით, დგუშების მაქსიმალური სვლით, ძრავების განსაზღვრული სიმძლავრით და ა.შ. თუმცა წარმოქმნილი რხევები ან სარეგულირებელი სიდიდის არაკონტროლირებადი გადახრები შეიძლება იყოს დაუშვებელი მოწყობილობის დაცულობის, უსაფრთხოების და სხვ. მოსაზრებებით.

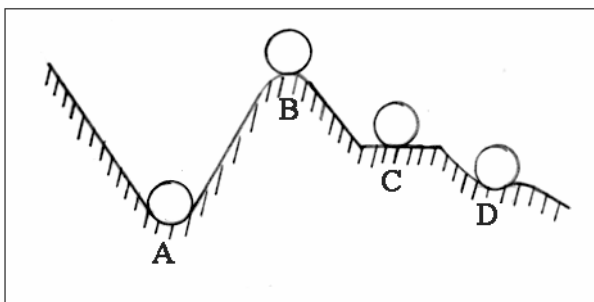
3. სარეგულირებელი სიდიდე, რომელიც შემაშფოთებელი ზემოქმედების შედეგად გადაიხარა მოცემული მნიშვნელობიდან, დროის განმავლობაში რეგულატორის ზემოქმედების შედეგად დამყარებულ სიდიდეს კი არ უბრუნდება, არამედ ასრულებს არამილევად რხევებს ამპლიტუდით, რომელიც დამოკიდებულია საწყისი პირობებისაგან. ასეთ გარდამავალ პროცესს ეწოდება რხევითი, ხოლო რეგულირების წრფივ სისტემას – მდგრადობის საზღვარზე მყოფი (ნახ.9.52გ).

არაწრფივ სისტემებში შეიძლება აღიძვრას მდგრადი რხევები მუდმივი ამპლიტუდით, რომლის სიდიდეც არ არის დამოკიდებული საწყისი პირობებისაგან, რომლებისკენაც სისტემა ბრუნდება ნებისმიერი შემაშფოთებელი ზემოქმედების მოხსნის შემდეგ. ასეთი სისტემები განიხილება, როგორც მდგრადი რხევების მქონენი.

ავტომატური რეგულირების არამდგრადი სისტემები პრაქტიკულად გამოუსადეგარია და, ამიტომ, აუცილებელია სისტემების მდგრადობის გამოკვლევა.

რაიმე სტატიკური სისტემის წონასწორობის მდგრადობის განსასაზღვრავად, უნდა შევისწავლოთ ამ სისტემის ქცევა წონასწორობის მდგომარეობიდან მცირე გადახრების დროს.

მაგალითად, იმისათვის, რომ განსაზღვრული იქნას სფეროს მდგრადობა A მდგომარეობაში (ნახ.9.53), ამისათვის მას უნდა მივანიჭოთ მცირე გადახრა და განვიხილოთ ამისაგან აღძრული ძალების მოქმედება. A მდგომარეობიდან ნებისმიერი მცირე სიდიდით სფეროს გადახრისას, აღიძვრება ძალები, რომლებიც დააბრუნებენ მას საწყის მდგომარეობაში, და, მაშასადამე, წონასწორობის ეს მდგომარეობა მდგრადია.



ნახ.9.53. წონასწორობის სხვადასხვა სახე

სფეროს მცირე გადახრისას წონასწორობის მდგომარეობიდან B წერტილში, აღიძვრება ძალები, რომლებიც განაგრძობენ სფეროს გადახრას წონასწორობის მდგომარეობიდან, რომელიც მოცემულ შემთხვევაში წარმოადგენს არამდგრადს.

სფერო, განლაგებული ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე C წერტილში იმყოფება განურჩეველ წონასწორობაში, რადგან მისი გადახრისას C წერტილიდან არავითარი დამატებითი ძალები არ აღიძვრება. სფერო, განლაგებული D წერტილში, იმყოფება ნახევრადმდგრად წონასწორობაში.

სისტემის მდგრადობას უსასრულოდ მცირე გადახრების დროს ეწოდება მდგრადობა მცირეში. ხშირად სისტემები, რომლებიც მდგრადი არიან მცირეში, აღმოჩნდებიან მდგრადები სასრულო საკმარისად დიდი გადახრების დროსაც. ე.ი. სისტემა აღმოჩნდება მდგრადი დიდში. გვხვდება სისტემები, მდგრადი მცირეში, მაგრამ არამდგრადი დიდში.

9.53 ნახაზზე სფერო განლაგებული A წერტილში, არ კარგავს წონასწორობას იქამდე, ვიდრე გადახრები არ სცილდება B წერტილს. სისტემა მდგრადია მცირეში, მაგრამ დიდში იგი მდგრადია მხოლოდ განსაზღვრულ არეში.

ავტომატური რეგულირების სისტემების გამოკვლევის დროს განიხილავენ მდგრადობას მცირეში, ე.ი. სისტემის ქცევას სარეგულირებელი სიდიდის დამყარებული მნიშვნელობიდან მცირე გადახრების დროს.

წრფივ სისტემებში მდგრადობა მცირეში უზრუნველყოფს მდგრადობას დიდშიც.

არაწრფივი სისტემა, მდგრადი მცირეში, შეიძლება აღმოჩნდეს არამდგრადი დიდში და ამიტომ არაწრფივი სისტე-

მების მდგრადობის გამოკვლევის მეთოდები არსებითად განსხვავდება წრფივი სისტემების გამოკვლევის მეთოდებისაგან.

განვიხილოთ წრფივი და გაწრფივებული სისტემები (ზუსტად წრფივი სისტემები იშვიათია). რუსმა მათემატიკოსმა ა.მ. ლიაპუნოვმა უჩვენა, რომ მდგრადობის გამოკვლევა მცირეში გაწრფივებული განტოლებების დახმარებით იძლევა ამოცანის ზუსტ გადაწყვეტას.

ავტომატური რეგულირების წრფივი სისტემის თავისუფალი მოძრაობა, რომელიც წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოყვანილია მცირე გადახრით, აიწერება შეკრულწრფიანი (ჩაკეტილი) სისტემის დიფერენციალური განტოლებით (ჩაწერილი ოპერაციულ ფორმაში)

$$(a_n P^n + a_{n-1} P^{n-1} + \dots + a_1 P + a_0) x = 0, \quad (9.133)$$

სადაც x არის სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა მოცემული მნიშვნელობიდან.

ინტეგრირების დახმარებით 9.133 განტოლება შეიძლება გარდაქმნილი იქნეს შემდეგ განტოლებად:

$$x = c_n e^{\lambda_{n1} t} + c_{n-1} e^{\lambda_{(n-1)1} t} + \dots + c_1 e^{\lambda_{11} t} + A_0. \quad (9.134)$$

სადაც

$c_1, c_2, \dots, c_n$ ინტეგრირების მუდმივებია განსაზღვრული საწყისი პირობებით;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – სისტემის მახასიათებელი განტოლების არათანაბარი ფესვები.

9.134 განტოლება წარმოადგენს მახასიათებელ განტოლებას.

რეგულირების სისტემა, აღწერილი 9.133 განტოლებით, ა.მ. ლიაპუნოვის მიერ შემუშავებული დებულებების მიხედვით მდგრადი იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მახასიათებელი განტოლების 9.134 ყველა ფესვი იქნება უარყოფითი. მაშინ დროის დინებით 9.134 განტოლების ყველა წევრი, რომელიც შეიცავს $e^{\lambda_{i1} t}$ მამრავლს, მიისწრაფვის ნულისაკენ, ხოლო სარეგულირებელი x სიდიდის გადახრა მიისწრაფვის A_0 მუდმივი მნიშვნელობისაკენ ან 0-კენ.

თუ ერთი ფესვი მაინც, მაგალითად λ_1 , დადებითია, მაშინ შესაბამისი წევრი $c_1 e^{\lambda_{11} t}$ დროის დინებით განუსაზღვრელად გაიზრდება, განუსაზღვრელად გაიზრდება

სარეგულირებელი სიდიდის x გადახრაც. სისტემა არამდგრადია.

კომპლექსური შეუღლებული ფესვების დროს უარყოფითი ნამდვილი ნაწილების შემთხვევაში სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა მოდის დამყარებული მნიშვნელობისაკენ მიღევადი კარმონიული რხევებით. სისტემა მდგრადია.

ერთი წყვილი ფესვების მუდმივი ნაწილის დადებითი მნიშვნელობის დროსაც კი სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა ასრულებს რხევებს განუსაზღვრელად ზრდადი ამპლიტუდით. სისტემა არა მდგრადია.

თუ გაწრფივებული სისტემის მახასიათებელ განტოლებას, რომელსაც არ გააჩნია დადებითი ფესვები, მაგრამ აქვს თუნდაც ერთი ნულოვანი ფესვი ან წყვილი სუფთა წარმოსახვითი შეუღლებული ფესვები, რეალური სისტემის ქცევა არ შეიძლება განისაზღვროს მისი გაწრფივებული განტოლებით. ამ შემთხვევაში განტოლების გაწრფივების დროს უკუღებული წევრები მეორე და მეტი წარმოებულებით არსებითად ახდენენ გავლენას სისტემის მდგრადობაზე.

ამრიგად, ავტომატური რეგულირების სისტემის მდგრადობის ანალიზი დაიყვანება წმინდა ალგებრულ ამოცანამდე – მახასიათებელი განტოლების ფესვების ნამდვილი ნაწილების ნიშნის განსაზღვრამდე.

ფესვების ნამდვილი ნაწილების ნიშნები შეიძლება ნაპოვნი იქნეს მახასიათებელი განტოლების უშუალო გადაწყვეტის გზით. მაგრამ მარტივად ამოიხსნება მხოლოდ მეორე ხარისხის განტოლებები. მესამე ხარისხის განტოლებების გადაწყვეტა ანალიზურად მეტად რთულია. უფრო მაღალი ხარისხის განტოლებებს საერთოდ არ გააჩნიათ ანალიზური გადაწყვეტა და შეიძლება ამოიხსნილი იქნეს მხოლოდ მიახლოებით.

მდგრადობის გამოკვლევის შესამსუბუქებლად შემოთავაზებული იქნა ე.წ. მდგრადობის კრიტერიუმები.

მდგრადობის კრიტერიუმში ეწოდება მახასიათებელი განტოლების ფესვების ნამდვილი ნაწილის ნიშნების განსაზღვრის ირიბ მეთოდს, რომელიც არ მოითხოვს ამ განტოლების ამოხსნას.

ყველაზე მარტივია სტოდოლის მდგრადობის პირობა, რომელიც წარმოადგენს აუცილებელს, მაგრამ არასაკმარისს. სტოდოლის პირობა საშუალებას იძლევა განტოლების სახის მიხედვით ადვილად განისაზღვროს აშკარად არამდგრადი სისტემა. ეს პირობა ყალიბდება შემდეგნაირად. იმისათვის, რომ სისტემა იყოს მდგრადი, აუცილებელია (მაგრამ არასაკმარისია), რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტს ჰქონდეს ერთნაირი ნიშანი.

თუ კოეფიციენტების ნიშნები სხვადასხვაა, ეს მოწმობს იმის შესახებ, რომ განტოლება შეიცავს დადებით ფესვებს, თუმცა იგი მათ შეიძლება შეიცავდეს კოეფიციენტების წინ ერთნაირი ნიშნების დროსაც.

ყველა ცნობილი კრიტერიუმი იყოფა ორ ჯგუფად: სისტემის დიფერენციალური განტოლების კოეფიციენტების გამოკვლევის მეთოდი, ე.წ. ალგებრული და ამპლიტუდურ-ფაზური მახასიათებლების მეთოდი, ე.წ. სიხშირული.

ალგებრულს მიეკუთვნება ვიშნეგრადსკის, რაუტის, გურვიცის კრიტერიუმები.

სიხშირულს მიეკუთვნება მიხაილოვის, ნაიკვისტის, ლოგარითმული სიხშირული მახასიათებლების მეთოდის კრიტერიუმები.

განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მდგრადობის არეების გამოყოფას. უნდა გვახსოვდეს, რომ მდგრადობის კრიტერიუმები ადგენენ ერთ ფაქტს: მახასიათებელი განტოლების ყველა ფესვის ნამდვილი ნაწილი უარყოფითია თუ არა. ამა თუ იმ კრიტერიუმის გამოყენება დამოკიდებულია კონკრეტულ პირობებზე.

ალგებრული კრიტერიუმები მოსახერხებელია მეხუთე რიგამდე სისტემების მდგრადობის შემოწმების დროს. უფრო მაღალი რიგის სისტემებისათვის ხელსაყრელია სიხშირული კრიტერიუმების გამოყენება.

მდგრადობის ალგებრულ კრიტერიუმს შემუშავებულს რაუსის მიერ 1877 წელს, შევიცარიელმა მათემატიკოსმა გურვიცმა 1895 წელს უფრო განზოგადებული ხასიათი მისცა მას. ამჟამად კრიტერიუმი ცნობილია რაუს-გურვიცის კრიტერიუმის სახელით. შევნიშნავთ, რომ რაუს-გურვიცის კრიტერიუმი გამოირჩევა მნიშვნელოვანი სირთულით პრაქტიკული გამოყენების დროს ავტომატური რეგულირების

ბევრი რეალური სისტემისათვის. ამ მეთოდით სარგებლობის დროს აუცილებელია: ა) გაგვაჩნდეს სისტემის ყველა რგოლის დიფერენციალური განტოლება, თვითონ სარეგულირებელი ობიექტის ჩათვლით, რაც პრაქტიკულად ყოველთვის არ არის შესაძლებელი, რადგან არის ხოლმე შემთხვევები, როდესაც ცალკეული რგოლების მახასიათებლები შეიძლება გადაღებული იქნეს მხოლოდ ექსპერიმენტულად და ძნელად ექვემდებარებიან ანალიზურ გამოსახვას; ბ) შედგეს დიფერენციალური განტოლებების სისტემა და ამოიხსნას იგი, სისტემის ერთი საერთო დიფერენციალური განტოლების მიღების მიზნით; გ) შემოწმდეს, აკმაყოფილებს თუ არა საერთო დიფერენციალური განტოლების კოეფიციენტები განსაზღვრულ უტოლობებს. თუ ეს უტოლობები კმაყოფილდება, მაშინ სისტემა იქნება მდგრადი, ხოლო თუ ერთი უტოლობაც კი არ კმაყოფილდება, სისტემა არამდგრადია.

თუ ავტომატური რეგულირების წრფივი სისტემის გადამცემი ფუნქციის გამოსახულებაში 9.58, გავუტოლებთ ნულს მნიშვნელში მოცემულ ოპერატორულ მრავალწევრს $L(P)=0$, მივიღებთ მახასიათებელ განტოლებას 9.134 შემდეგი ფორმით:

$$a_n P^n + a_{n-1} P^{n-1} + \dots + a_1 P + a_0 = 0. \quad (9.135)$$

გურვიცის კრიტერიუმში ჩამოყალიბდება შემდეგნაირად: იმისათვის რომ ავტომატური რეგულირების სისტემის მახასიათებელი განტოლების 9.135 ფესვებს, როდესაც $a_n > 0$ ჰქონდეთ უარყოფითი ნამდვილი ნაწილები, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მთავარი დეტერმინანტი და ყველა მისი დიაგონალური მინორები იყოს დადებითი.

მთავარი დეტერმინანტისათვის გვექნება

$$\Delta_{n-1} = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & \dots & a_0 & 0 \\ 0 & a_{n-1} & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & a_n & \dots & a_2 & a_0 \\ 0 & 0 & \dots & a_3 & a_1 \end{vmatrix}. \quad (9.136)$$

დიაგონალურ მინორებს ექნებათ სახე:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= a_1, & \Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_3 & a_1 & 0 \\ a_4 & a_2 & a_0 \\ a_5 & a_3 & a_1 \end{vmatrix}, \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix}, & \Delta_4 &= \begin{vmatrix} a_4 & a_2 & a_0 & 0 \\ a_5 & a_3 & a_1 & 0 \\ a_6 & a_4 & a_2 & a_0 \\ a_7 & a_5 & a_3 & a_1 \end{vmatrix} \end{aligned} \right\} \text{და ა.შ.} \quad (9.137)$$

ე.ი. დიაგონალური მინორების მისაღებად მარცხნიდან და ზემოდან წაიშლება თანმიმდევრობით თითო სვეტი და თითო პწკარი, ორი სვეტი და ორი პწკარი და ა.შ.

თუ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი უარყოფითია, მაშინ 9.135 განტოლების ორივე ნაწილი მრავლდება -1-ზე.

განვიხილოთა მდგრადობის პირობები კერძო შემთხვევებისათვის გურვიცის მიხედვით.

პირველი რიგის სისტემისათვის მახასიათებელ განტოლებას ექნება სახე

$$a_1 P + a_0 = 0.$$

გურვიცის მდგრადობის პირობები იქნება:

$$\Delta_1 = a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0.$$

მაშასადამე, იმისათვის რომ სისტემა აღწერილი პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლებით, იყოს მდგრადი, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი იყოს დადებითი.

მეორე რიგის სისტემისათვის მახასიათებელ განტოლებას აქვს სახე

$$a_2 P^2 + a_1 P + a_0 = 0.$$

გურვიცის მდგრადობის პირობები:

$$\Delta_1 = a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \quad \Delta_1 = a_2 > 0.$$

იმისათვის, რომ სისტემა აღწერილი მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებით, იყოს მდგრადი, აუცილებ-

ბელი და საკმარისია, რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი იყოს დადებითი.

მესამე რიგის სისტემისათვის, მახასიათებელ განტოლებას აქვს სახე:

$$a_3P^3 + a_2P^2 + a_1P + a_0 = 0.$$

მდგრადობის პირობები:

$$\Delta_1 = a_0 > 0; \Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_1 = a_2 > 0; \Delta_1 = a_3 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2a_1 - a_3a_0 > 0.$$

იმისათვის, რომ სისტემა აღწერილი მესამე რიგის დიფერენციალური განტოლებით, იყოს მდგრადი, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი და დეტერმინანტი Δ_2 იყოს დადებითი.

მეოთხე რიგის სისტემისათვის, მახასიათებელ განტოლებას აქვს სახე:

$$a_4P^4 + a_3P^3 + a_2P^2 + a_1P + a_0 = 0.$$

მდგრადობის პირობები:

$$\Delta_1 = a_0 > 0; \Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_1 = a_2 > 0; \Delta_1 = a_3 > 0; \Delta_1 = a_4 > 0;$$

$$\begin{aligned} \Delta_3 &= a_3a_2a_1 + a_1a_0 \cdot 0 + 0 \cdot a_4a_3 - 0 \cdot a_2 \cdot 0 - a_3a_0a_3 - a_1a_4a_1 = \\ &= a_3a_2a_1 - a_3a_0a_3 - a_1a_4a_1 = a_3a_2a_1 - a_3^2a_0 - a_1^2a_4 = \\ &= a_3(a_2a_1 - a_3a_0) - a_1^2a_4 = a_3\Delta_2 - a_1^2a_4 > 0; \end{aligned}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2a_1 - a_3a_0 > 0.$$

ვინაიდან დიაგონალური მინორი Δ_2 შედის მამრავლად Δ_3 დეტერმინანტის დადებით ნაწილში, ეს უკანასკნელი შეიძლება დადებითი იყოს მხოლოდ იმ პირობის დროს, რომ Δ_2 დადებითია. იმისათვის, რომ სისტემა აღწერილი მეოთხე რიგის დიფერენციალური განტოლებით, იყოს მდგრადი, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი და დეტერმინანტი Δ_3 იყოს დადებითი.

მეხუთე რიგის სისტემისათვის, მახასიათებელ განტოლებას აქვს სახე:

$$a_5 P^5 + a_4 P^4 + a_3 P^3 + a_2 P^2 + a_1 P + a_0 = 0.$$

გურვიცის პირობები

$$\Delta_1 = a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \quad \Delta_1 = a_2 > 0; \quad \Delta_1 = a_3 > 0;$$

$$\Delta_1 = a_4 > 0; \quad \Delta_1 = a_5 > 0.$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_4 & a_2 & a_0 & 0 \\ a_5 & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_4 & a_2 & a_0 \\ 0 & a_5 & a_3 & a_1 \end{vmatrix} = (a_2 a_1 - a_3 a_0)(a_4 a_3 - a_5 a_2) - (a_4 a_1 - a_5 a_0)^2 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_3 & a_1 & 0 \\ a_4 & a_2 & a_0 \\ 0 & a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_3 \Delta_2 - a_1^2 a_4 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 a_1 - a_3 a_0 > 0.$$

დეტერმინანტების განხილვიდან გამომდინარეობს, რომ თუ $\Delta_2 > 0$ და $\Delta_4 > 0$, მაშინ Δ_3 აგრეთვე დადებითია და მისი გამოთვლა არ არის საჭირო.

იმისათვის, რომ სისტემა აღწერილი მეხუთე რიგის დიფერენციალური განტოლებით, იყოს მდგრადი, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა კოეფიციენტი და დეტერმინანტები Δ_2 და Δ_4 იყოს დადებითი.

გურვიცის კრიტერიუმით ხელსაყრელია სარგებლობა ავტომატური რეგულირების სისტემის მდგრადობის გამოსაკვლევად არაუმეტესი მეხუთე რიგისა. უფრო მაღალი რიგის სისტემებისათვის უფრო მოხერხებულია რაუსის კრიტერიუმის გამოყენება. გურვიცისა და რაუსის კრიტერიუმების გარდა აღგებრული კრიტერიუმების რიცხვს მიეკუთვნება, აგრეთვე, ი.ა. ვიშნეგრადსკის კრიტერიუმი, რომელიც ავტორის მიერ დამუშავებული იყო წრფივი სისტემე-

ბის მესამე რიგისათვის. შევნიშნავთ, რომ ი.ა. ვიშნეგრადსკის კრიტერიუმში ჩადებულმა იდეებმა დიდი როლი ითამაშეს ავტომატური რეგულირების სისტემების მდგრადობის თეორიის საერთო განვითარებაში. რაუსისა და ვიშნეგრადსკის კრიტერიუმებს ჩვენ არ განვიხილავთ.

ა.ვ. მიხაილოვის მდგრადობის კრიტერიუმი (გამოქვეყნდა 1938 წელს) ეფუძნება სიხშირულ მეთოდს და გათვალისწინებულია ავტომატური რეგულირების წრფივი შეკრულ-წრფიანი სისტემისათვის. ისე როგორც გურვიცის კრიტერიუმი, ა.ვ. მიხაილოვის კრიტერიუმიც განიხილავს ჩაკეტილი სისტემის მახასიათებელ განტოლებას.

მიხაილოვის მდგრადობის სიხშირული კრიტერიუმი ხასიათდება ყველა იმ ნაკლოვანებით, რომელიც გააჩნია გურვიცის კრიტერიუმს, რომელთა შესახებაც ზემოთ იყო აღნიშნული. დამატებით ნაკლოვანებას წარმოადგენს ის, რომ სისტემის პარამეტრების გავლენის განსაზღვრა მის მდგრადობაზე პრაქტიკულად შეუძლებელია.

მიხაილოვის კრიტერიუმის ღირსებას წარმოადგენს შესაძლებლობა შედარებით მარტივად განისაზღვროს გაძლიერების კრიტიკული კოეფიციენტი და მდგრადობის მარაგი გაძლიერების კოეფიციენტის მიხედვით.

მიხაილოვის კრიტერიუმის არსი განვიხილოთ ავტომატური სისტემის მაგალითზე, რომელიც აიწერება მეოთხე რიგის განტოლებით, მახასიათებელ განტოლებას ამ სისტემისათვის აქვს სახე

$$a_4 P^4 + a_3 P^3 + a_2 P^2 + a_1 P + a_0 = 0.$$

შევცვალოთ განტოლების მარცხენა $L(P)$ -თი, ხოლო P კი $j\omega$ -თი, მაშინ

$$L(j\omega) = a_4 (j\omega)^4 + a_3 (j\omega)^3 + a_2 (j\omega)^2 + a_1 (j\omega) + a_0 = 0.$$

გავიხსენოთ, რომ

$$j = \sqrt{-1}; \quad j^2 = -1; \quad j^3 = -j; \quad j^4 = 1.$$

მაშინ

$$L(j\omega) = a_4 \omega^4 - ja_3 \omega^3 - a_2 \omega^2 + ja_1 \omega + a_0.$$

გამოვყოთ განტოლების ნამდვილი და წარმოსახვითი ნაწილები:

$$L(j\omega) = a_4 \omega^4 - a_2 \omega^2 + a_0 + (a_1 \omega - a_3 \omega^3)j. \quad (9.138)$$

აღვნიშნოთ 9.138 განტოლების ნამდვილი და წარმოსახვითი ნაწილები შესაბამისად $X(\omega)$ და $Y(\omega)$ -თი ე.ი.

$$X(\omega) = a_4\omega^4 - a_2\omega^2 + a_0;$$

$$Y(\omega) = a_1\omega - a_3\omega^3.$$

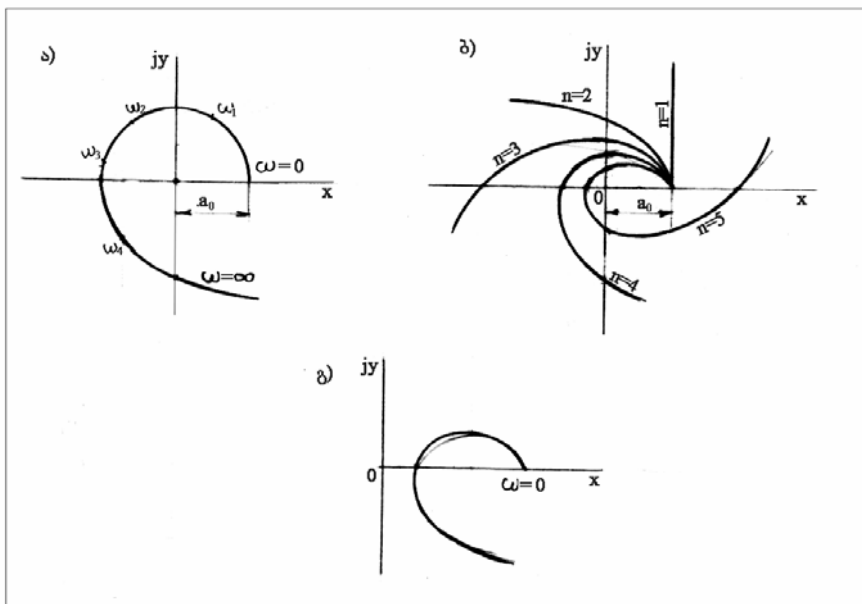
ჩავსვათ ეს აღნიშვნები (9.138) ფორმულაში, მივიღებთ

$$L(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega).$$

ახლა ავაგოთ დამოკიდებულება jY და X კოორდინატთა ღერძებში, როდესაც ω იცვლება 0-დან ∞ -მდე. ამ დამოკიდებულებას ექნება მრუდის ფორმა, რომელსაც ეწოდება მახასიათებელი ფუნქციის გოდოგრაფი, ან მიხაილოვის მრუდი (ნახ.9.54ა).

ავტომატური სისტემის მდგრადობისათვის მოითხოვება, რომ მიხაილოვის მრუდი გადიოდეს თანმიმდევრობით იმდენ კვადრანტს, რამდენიც არის მახასიათებელი განტოლების ხარისხი. ამასთან, მიხაილოვის მრუდმა უნდა შემოუაროს კოორდინატთა სათავეს საათის ისრის სვლის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მაგალითად, ჩვენს მიერ განხილული მეოთხე რიგის სისტემისათვის, როგორც ნაჩვენებია ნახ.9.54ა, მრუდი გადის თანამიმდევრობით ოთხ კვადრანტს.

ნახაზზე 9.54ბ ნაჩვენებია მიხაილოვის გოდოგრაფები მდგრადი სისტემებისათვის 1-დან მე-5 რიგამდე. მეტი თვალსაჩინოებისათვის ყველა ხაზი გამოდის ერთი წერტილიდან, ე.ი. a_0 ყველა მახასიათებელი განტოლებისათვის არის ერთნაირი. პირველი რიგის განტოლებას შეესაბამება სწორი, წარმოსახვითი ღერძის პარალელური, რომელიც იმყოფება მისგან a_0 მანძილზე; მაღალი რიგის განტოლებებს შეესაბამება შესაბამისი მრუდები. ნახაზზე 9.54გ ნაჩვენებია მიხაილოვის მრუდის მაგალითი მეოთხე რიგის არამდგრადი სისტემისათვის. OA და OB მონაკვეთების თანაფარდობის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ მდგრადობის მარაგის შესახებ. თუ OB (ნახ.9.54ა) საკმარისად დიდია OA-თან (ნახ.9.54გ) შედარებით, სისტემას გააჩნია მდგრადობის მნიშვნელოვანი მარაგი. OB მონაკვეთის შემცირებასთან ერთად მდგრადობის მარაგი მცირდება.



ნახ.9.54. მიხაილოვის გოდოგრაფები: ა) მახასიათებელი ფუნქციის გოდოგრაფი; ბ) გოდოგრაფები მდგრადი სისტემებისათვის 1-დან მე-5 რიგამდე; გ) მიხაილოვის მრუდი მეოთხე რიგის არამდგრადი სისტემისათვის

სისტემის გაძლიერების საერთო კოეფიციენტის გაზრდის დროს მიხაილოვის გოდოგრაფი ფორმის შეუცვლელად გადაადგილდება მარჯვნივ და გაძლიერების კოეფიციენტის გარკვეული კრიტიკული მნიშვნელობის დროს $k_{კრიტ.}$ გაივლის კოორდინატა სათავეზე. სისტემა ამ შემთხვევაში იმყოფება მდგრადობის ზღვარზე. გაძლიერების კოეფიციენტის შემდგომი გაზრდისას, გოდოგრაფი გადაადგილდება მარჯვნივ და გაივლის კვადრანტების რაოდენობას, რომელთა რიცხვი იქნება ნაკლები დიფერენციალური განტოლების რიგზე. სისტემა გახდება არამდგრადი.

ავტომატური რეგულირების სისტემების კვლევაში ყველაზე ფართო გამოყენება ჰპოვეს მდგრადობის ნაიკვისტის*

* ნაიკვისტმა 1932 წელს დაამუშავა სიხშირული ამპლიტუდურ-ფაზური კრიტერიუმი რადიოტექნიკური გამაძლიერებლების კვლევისათვის. 1938 წელს ა.ვ. მიხაილოვმა იგი გაავრცელა ავტომატური რეგულირების სისტემების კვლევაზე.

ამპლიტუდურ-ფაზურმა კრიტერიუმმა და მდგრადობის განსაზღვრამ, ლოგარითმული სიხშირული მახასიათებლების მიხედვით. ეს აიხსნება იმით, რომ სიხშირული მახასიათებლები, რომელთა მიხედვითაც ხდება მდგრადობის ანალიზი, შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს გარდამავალი პროცესების ხარისხის გამოკვლევის, და მაკორექტირებელი მოწყობილობების სინთეზის დროს.

ნაიკვისტის კრიტერიუმი შეიძლება, აგრეთვე, გამოყენებული იქნეს დაგვიანების მქონე სისტემების მდგრადობის გამოსაკვლევად და არაწრფივი სისტემების გამოკვლევის დროს ჰარმონიული გაწრფივების მეთოდით.

მდგრადობის კრიტერიუმი მიახლოებითი ლოგარითმული სიხშირული მახასიათებლების მიხედვით წარმოადგენს მნიშვნელოვნად ნაკლებად შრომატევადს, ვიდრე სხვა კრიტერიუმები.

ორივე კრიტერიუმი შეიძლება გამოყენებული იქნეს იმ შემთხვევაშიც, როდესაც ცალკეული ელემენტების სიხშირული მახასიათებლები მიღებულია ექსპერიმენტალურად და არ არსებობს მათი ანალიზური გამოსახულებები. ამ კრიტერიუმების დახმარებით შეიძლება განსაზღვრული იქნეს გაძლიერების კრიტიკული კოეფიციენტი და მდგრადობის მარაგი ამპლიტუდისა და ფაზის მიხედვით.

ამრიგად, ნაიკვისტის კრიტერიუმსა და მდგრადობის განსაზღვრას ლოგარითმული სიხშირული მახასიათებლებით გააჩნიათ ყველაზე ფართო შესაძლებლობები.

სიხშირულ მეთოდზეა დამყარებული, აგრეთვე, ი.ი. ნეიმარკის კრიტერიუმიც, რომელიც გამოქვეყნდა 1947 წელს. ეს მეთოდი ლიტერატურაში ცნობილია D განცალკევების მეთოდის სახელწოდებით. ყველა წინა კრიტერიუმისაგან განსხვავებით ნეიმარკის კრიტერიუმი საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ნებისმიერი რიგის დიფერენციალური განტოლებით აღწერილი სისტემის ნებისმიერი პარამეტრის გავლენა მდგრადობაზე. იგი იძლევა განწრფივებული სისტემების მდგრადობის არეების გამოყოფის შესაძლებლობას. შევნიშნავთ, რომ პირველად მდგრადობის არეების გამოყოფის საკითხით დაინტერესდა ი.ა. ვიშნეგრადსკი. მან გადაწყვიტა აღნიშნული ამოცანა მესამე რიგის დიფერენციალური განტოლებით აღწერილი სისტემისათვის.

§12. ავტომატური რეგულირების პროცესის ხარისხი და ხარისხის მაჩვენებლები

რეგულირების პროცესის ხარისხი ეწოდება მდგრადი სისტემის გარდამავალი პროცესის ხასიათს, რომელიც დამოკიდებულია რეგულირების სისტემის პარამეტრებსა და მმართველი და შემაშვოთებელი ზემოქმედებების ხასიათზე.

ხარისხის მაჩვენებლები ეწოდება სიდიდეებს, რომლებიც ახასიათებენ სისტემის ქცევას გარდამავალ პროცესში, გამოწვეულს რაიმე ტიპური გარე ზემოქმედებით (ყველაზე ხშირად ერთეული საფეხურისებრი ზემოქმედებით). მაშასადამე, ყველაზე სრული წარმოდგენა რეგულირების ხარისხზე შეიძლება მიღებული იქნეს თუ ავაგებთ და გავანალიზებთ $x(t)$ ფუნქციას, სადაც x არის სარეგულირებელი სიდიდე. რეგულირების ხარისხის შეფასებები, მიღებული ავტომატური რეგულირების სისტემებში გარდამავალი პროცესების გრაფიკების ანალიზის საფუძველზე ტიპური ურთიერთმოქმედებისას იწოდებიან პირდაპირ შეფასებებად. რეგულირების ხარისხის შეფასებები, რომლებიც ემყარება სხვადასხვა შუალედი მახასიათებლების ანალიზს, მაგალითად, გადამცემი ფუნქციის ანალიზს, იწოდებიან ირიბ შეფასებებად. იმ შემთხვევებში, როდესაც ხარისხის შეფასების პირდაპირი მეთოდები მიუღებელია რაიმე მოსაზრებით, მაგალითად გამოთვლითი სამუშაოების დიდი მოცულობით, მიმართავენ ირიბ შეფასებებს.

თუ გამოკვლევა ხდება რეალურად არსებული რეგულირების ავტომატური სისტემისა, გარდამავალი პროცესების მრუდები ყველაზე ხელსაყრელია მიღებული იქნეს ექსპერიმენტალური გზით, კერძოდ $X(t)$ ოსცილოგრამების გადაღებით ტიპური ზემოქმედებების დროს. რეგულირების ავტომატური სისტემის დაპროექტების დროს $X(t)$ ფუნქციის მისაღებად აუცილებელია დიფერენციალური განტოლების გადაწყვეტა, რომელიც აკავშირებს სარეგულირებელ სიდიდეს და მმართველი ან შემაშვოთებელი ზემოქმედების ფუნქციას. როგორც ცნობილია, მაღალი რიგის (მეოთხეზე მაღალი) დიფერენციალური განტოლებების გადაწყვეტა მოითხოვს დიდი მოცულობის გამოთვლების შესრულებას და არ იძლევა ზუსტ შედეგს. სწორედ ამიტომ რეგულირების ავტომატური

სისტემის ხარისხის პირდაპირი შეფასება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იყო მეტად ძნელი.

საინჟინრო პრაქტიკაში ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების (ЭВМ) ფართოდ დანერგვამ არსებითად გაამართივა რეგულირების ხარისხის პირდაპირი შეფასებების მიღება.

დიფერენციალური განტოლებების გადაწყვეტა ყველაზე ადვილად ხორციელდება ანალოგური გამომთვლელი მანქანების (ABM) დახმარებით. მაგრამ, გადაწყვეტის სიზუსტე მიღებული ABM-ის დახმარებით შეზღუდულია: ცდომილება აღწევს 10%-სა და მეტს. ABM-ზე გადაწყვეტის მნიშვნელოვანი ცდომილება გამომდინარეობს ანალოგური მანქანების მუშაობის პრინციპიდან. გარდა ამისა, დიფერენციალური განტოლებების რიგის ამოღებასთან ერთად გადაწყვეტა ABM-ზე ძნელდება, განსაკუთრებით, თუ მოითხოვება რამდენიმე გამოსასვლელი ცვლადის ანალიზი.

რეგულირების ავტომატური სისტემის ანალიზი ციფრული ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანების (ЭВМ) ბაზაზე ხასიათდება დიდი სიზუსტით, უნივერსალურობით, ფართო ლოგიკური შესაძლებლობებით. ამჟამად ЭВМ-ის სტანდარტული მათემატიკური უზრუნველყოფის შემადგენლობაში არის სხვადასხვა კლასის დიფერენციალური განტოლებების გადაწყვეტის ეფექტური პროგრამები.

დიფერენციალური განტოლებების გადაწყვეტა ЭВМ-ზე ხორციელდება რიცხვითი ინტეგრირების მეთოდების ბაზაზე. პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების რიცხვითი გადაწყვეტისათვის გამოიყენება ეილერის და მასზე ზუსტი რუნგე-კუტის მეთოდები. რუნგე-კუტის მეთოდი გადაწყვეტის სიზუსტის გაზრდის საშუალებას იძლევა, ეილერის მეთოდთან შედარებით ინტეგრირების ერთნაირი ბიჯის დროს.

ЭВМ-ზე n -ური რიგის დიფერენციალური განტოლებების გადასაწყვეტად ეილერის ან რუნგე-კუტის მეთოდებით, n -ური რიგის განტოლებები დაიყვანება პირველი რიგის განტოლებების სისტემამდე. ამასთან, თითოეული განტოლება გადაწყვეტილი უნდა იქნეს მასში შემავალი თავისი ფუნქციის პირველი რიგის წარმოებულის მიმართ.

რეგულირების ხარისხის ირიბი მეთოდები საშუალებას იძლევა მიახლოებით განისაზღვროს რეგულირების ხარისხის

ზოგიერთი მაჩვენებელი, მაგალითად, მდგრადობის ხარისხი, გარდამავალი პროცესის დრო, გადამეტრეგულირება $X(t)$ ფუნქციის აუგებლად. ავტომატური რეგულირების თეორიაში ფართო გავრცელება ჰპოვა რეგულირების პროცესის ხარისხის ირიბი შეფასების სამმა მეთოდმა: ფესვების განაწილების მეთოდი, ინტეგრალურ შეფასებათა მეთოდი და სისშირული მეთოდი.

ფესვებით შეფასების მეთოდი ემყარება გარდამავალი პროცესის ხასიათის კავშირს დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ფესვების კომპლექსურ სიბრტყეზე განაწილების ხასიათთან.

ინტეგრალური მეთოდების გამოყენება ხელსაყრელია თვისებებით ახლო მდგომი სისტემების შედარებითი შეფასებისათვის.

სისშირული მეთოდები ემყარება რეგულირების ავტომატურ სისტემაში გარდამავალი პროცესების ხასიათსა და $X(\omega)$ ფუნქციის ნამდვილი სისშირული მახასიათებლის ფორმას შორის კავშირს.

მას შემდეგ, რაც ირიბი მეთოდის დახმარებით შეირჩევა პარამეტრები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ხარისხის სასურველ მაჩვენებლებს, სასარგებლოა გარდამავალი პროცესის მრუდის აგება პირდაპირი მეთოდით, რათა დავრწმუნდეთ იმაში, რომ გარდამავალი პროცესი პასუხობს მოცემულ მოთხოვნებს. წინააღმდეგ შემთხვევაში უნდა შეიცვალოს პარამეტრები არადაამკმაყოფილებელი გარდამავალი პროცესის გამოსასწორებლად.

განვიხილოთ გარდამავალ პროცესში რეგულირების ხარისხის შემდეგი მაჩვენებლები:

ა) სარეგულირებელი სიდიდის მაქსიმალური გადახრა (მდგრადობის ხარისხი);

ბ) გარდამავალი პროცესის მიღვეადობის ხასიათი;

გ) გადამეტრეგულირების სიდიდე;

დ) რეგულირების ცდომილებები;

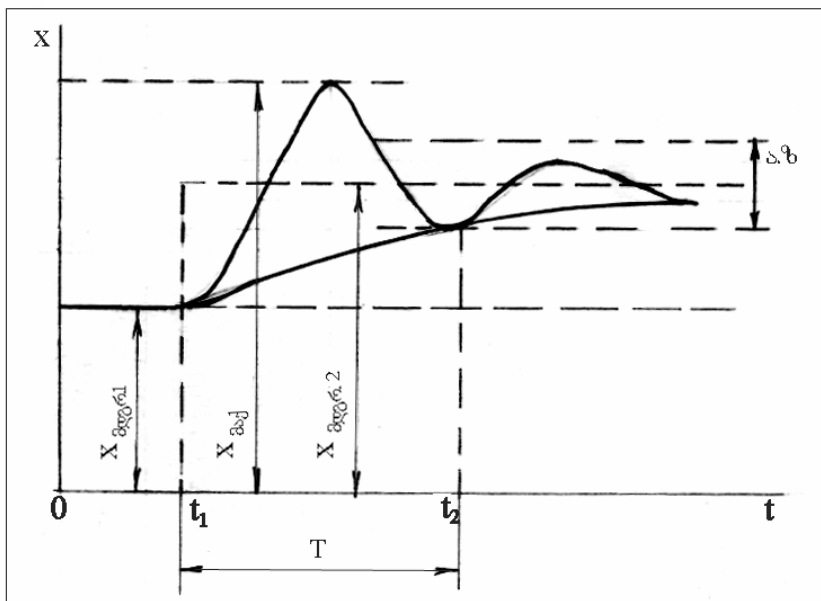
ე) დამყარებული გადახრა;

ვ) რეგულირების დრო;

ზ) გარდამავალი პროცესის რხევითობა.

ა) სარეგულირებელი სიდიდის მაქსიმალური გადახრა (მდგრადობის ხარისხი), ახასიათებს გარდამავალი პროცესის მიღვეადობის სიჩქარეს. რაც უფრო ნაკლებია სარეგულირებელი სიდიდის მაქსიმალური გადახრა, მით უფრო მაღალია რეგულირების ხარისხი.

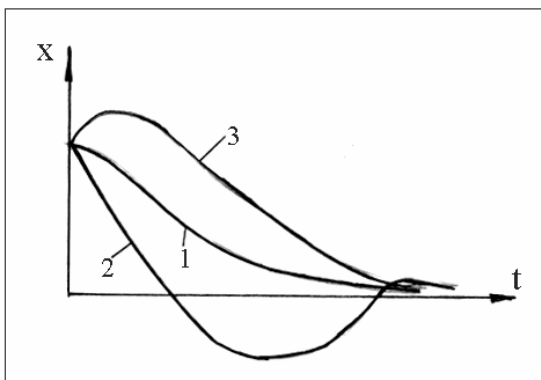
ნახაზზე 9.55 ნაჩვენებია რეგულირების მდგრადი სისტემისათვის რხევითი გარდამავალი პროცესი. სისტემის პირველდაწყებით დამყარებულ მდგომარეობაში სარეგულირებელი სიდიდის მნიშვნელობა იყო $X_{მდგ.1}$; შემდეგ სარეგულირებელი სიდიდის მოცემული მნიშვნელობა შეცვლილი იქნა $X_{მდგ.2}$ -მდე; ამის შემდეგ დგება გარდამავალი პროცესი, რომლის დროსაც სარეგულირებელი სიდიდე ღებულობს სხვადასხვა მნიშვნელობას. მაქსიმალური გადახრა სარეგულირებელი სიდიდის მოცემულობიდან ნახაზზე 9.55 განისაზღვრება ორდინატით $X_{ა.ზ.}$.



ნახ.9.55. რხევითი გარდამავალი პროცესი რეგულირების მდგრადი სისტემისათვის

ბ) გარდამავალი პროცესის მიღევადობის ხასიათი შეიძლება იყოს მონოტონური, აპერიოდული ან რხევითი.

მონოტონური ეწოდება პროცესს, რომელშიც სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა ახალი დამყარებული მნიშვნელობიდან დროთა განმავლობაში განუწყვეტლივ მცირდება გადამეტრეგულირების გარეშე (მრუდი 1, ნახ.9.56). ახალი დამყარებული მნიშვნელობა ემთხვევა დროის ღერძს.



ნახ.9.56. გარდამავალი პროცესების სახეები: 1 – მონოტონური; 2, 3 – აპერიოდული

აპერიოდული ეწოდება პროცესს, რომელშიც სარეგულირებელი სიდიდე უახლოვდება დამყარებულ მნიშვნელობას ერთი, ორი ან რამდენიმე რხევის შემდეგ. რხევის პერიოდის სხვადასხვა სიდიდით და გადამეტრეგულირებებით (მრუდები 2 და 3 ნახ.9.56).

რხევითი ეწოდება პროცესს, რომელშიც სარეგულირებელი სიდიდე უახლოვდება დამყარებულ მნიშვნელობას ჰარმონიული რხევებით (იხ. ნახ.9.55).

სისტემის მაღალი რიგის რხევითი პროცესი შეიძლება დაშლილი იქნას ცალკეულ მდგენელებად, რომელთა ჩაქრობაც ხდება კანონის მიხედვით

$$X = Ae^{-\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \psi_0), \quad (9.139)$$

სადაც

A არის რხევის საწყისი ამპლიტუდა;

α_i – კომპლექსური ფესვის ნამდვილი ნაწილის მნიშვნელობა, $\frac{1}{T}$;

ω_i – კომპლექსური ფესვის წარმოსახვითი ნაწილის მნიშვნელობა – რხევის კუთხური სიხშირე, $\frac{1}{\mathbb{T}}$.

ψ_0 – ფაზის საწყისი ძვრა, რად.

რხევის პერიოდის სიდიდე.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_i}.$$

ორი მეზობელი მაქსიმალური გადახრის ფარდობა (იხ. ნახ.9.55)

$$q = \frac{\delta_m}{\delta_{m_1}} = e^{\frac{2\pi}{\omega_i} \alpha_i} = e^{T \alpha_i}. \quad (9.140)$$

ამ ფარდობის ნატურალური ლოგარითმი

$$d = \ln \frac{\delta_m}{\delta_{m_1}} = \ln e^{T \alpha_i} = T \alpha_i \text{ იწოდება ჩაქრობის ლოგარითმულ დეკრემენტად.}$$

უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, რომ გარდამავალი პროცესის შემადგენელი რხევების ჩაქრობის სიჩქარე პირდაპირ დამოკიდებულებაში იმყოფება ჩაქრობის ლოგარითმული დეკრემენტის სიდიდესთან, რომელიც პირდაპირპროპორციულია წყვილი შეუღლებული კომპლექსური ფესვების შესაბამისი ნამდვილი ნაწილის α_i მნიშვნელობისა.

გ) გადამეტრეგულირების სიდიდე. ერთი დამყარებული მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის დროს, ე.ი. გარდამავალ პროცესში, შესაძლებელია სარეგულირებელი სიდიდის ახალ მნიშვნელობასთან მიახლოების ორი შემთხვევა:

1. სარეგულირებელი სიდიდე უახლოვდება ახალ მნიშვნელობას მხოლოდ ერთი მხრიდან, არ გამოდის რა საზღვრებიდან, რომლებიც შემოსაზღვრულია მოცემული ახალი და ძველი მნიშვნელობებით (მრუდი 1, ნახ.9.55); ამ შემთხვევაში გადამეტრეგულირებას არა აქვს ადგილი;

2. სარეგულირებელი სიდიდე უახლოვდება ახალ მოცემულ მნიშვნელობას, ამასთან, მისი გადახრები ორმხრივია და სცილდება მითითებულ ახალ ზღვარს, ე.ი. წარმოებს გადამეტრეგულირება (მრუდი 2, ნახ.9.55).

გადამეტრეგულირების სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას. ნახაზზე 9.55 მაქსიმალური გადამეტრეგულირება განისაზღვრება მონაკვეთით $X_{\text{მაქს}}-X_{\text{მდგ.2}}$. რაც უფრო მეტია გადამეტრეგულირება, პროცესი იქნება უფრო რხევითი და ხანგრძლივი.

დ) რეგულირების ცდომილების ქვეშ ივლისსდება სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა მოცემული მნიშვნელობიდან.

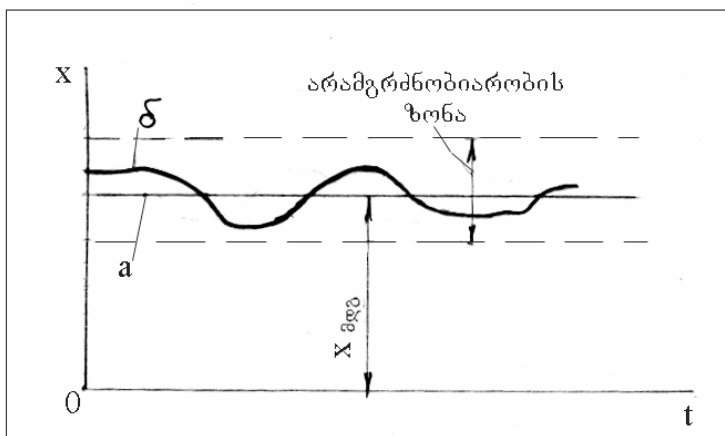
ჩვეულებრივ რეგულირების ცდომილება იყოფა ორ მდგენელად: გარდამავალ ანუ დინამიკურ ცდომილებად და დამყარებულ ანუ სტატიკურ ცდომილებად. დინამიკური ცდომილება წარმოადგენს რეგულირების დამატებით შეცდომას და გარდამავალ რეჟიმში იგი ემატება სტატიკურ ცდომილებას.

სტატიკური ცდომილება, აგრეთვე, შედგება ორი მდგენელიდან. **პირველი მდგენელი** განპირობებულია რეგულირების სისტემის ცალკეული რგოლების შესრულების სიზუსტით და დამოკიდებულია ღრეწობისაგან კინემატიკურ წყვილებში და ელექტრულ კონტაქტებში, მშრალი ხახუნის ძალებისაგან, ე.ი. მიზეზებისაგან, რომლებიც იწვევენ რეგულატორის არამგრძნობიარობას.

სარეგულირებელი პარამეტრის შესაძლო გადახრების ზღვარს დამყარებულ რეჟიმებში ეწოდება რეგულატორის არამგრძნობიარობის ზონა. არამგრძნობიარობის ზონა განისაზღვრება პარამეტრის ცვლილების სიდიდით, რომელიც აუცილებელია, რათა დაძლეული იქნეს ხახუნის ძალები და ღრეწოები, ცვლადი გარდამავალი წინაღობების არსებობა ელექტრულ კონტაქტებში, აგრეთვე, სარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილების მიმართულების შესაცვლელად. ნახაზზე 9.55 3H – არის არამგრძნობიარობის ზონა.

არამგრძნობიარობის ზონის სიდიდე ჩვეულებრივ მიიღება ტექნიკური პირობებით ავტომატური რეგულირების მოცემული კონკრეტული სისტემისათვის. ჩვეულებრივ, არამგრძნობიარობის ზონა არ უნდა აღემატებოდეს $+5\%$ მოცემული სარეგულირებელი სიდიდისაგან $X_{\text{მდგ.}}$.

ნახაზზე 9.57 სწორი a წარმოადგენს სარეგულირებელი სიდიდის მოცემულ მნიშვნელობას; მრუდი δ გამოსახავს სარეგულირებელი პარამეტრის ფაქტობრივ ცვლილებას; არამგრძნობიარობის ზონა შემოსაზღვრულია წყვეტილი ხაზებით.



ნახ.9.57. სარეგულირებელი სიდიდის მნიშვნელობები: a – სიდიდის მოცემული მნიშვნელობა; δ – სარეგულირებელი პარამეტრის ფაქტობრივი ცვლილება

სტატიკური ცდომილების მეორე მდგენელი ეს არის საკუთრივ სტატიკური შეცდომა, დამოკიდებული ავტომატური რეგულირების სისტემის კონსტრუქციისა და მისი დატვირთვისაგან.

სარეგულირებელი სიდიდის უდიდესი გადახრა, რომელიც წარმოიშევა დატვირთვის მაქსიმალურად შეცვლის შედეგად და რჩება ავტომატური რეგულირების სისტემაში გარდამავალი პროცესის დამთავრების შემდეგ, იწოდება სტატიკურ შეცდომად. იგი დამახასიათებელია რეგულირების სტატიკური სისტემებისათვის.

სტატიკური შეცდომა

$$\delta = X_{\text{მდგ,ნომინ}} - X_{\text{მდგ}}$$

არ უნდა აღემატებოდეს δ_{gen} დასაშვებ სიდიდეს. რეგულირების ასტატიკურ სისტემაში სტატიკური შეცდომა არ არსებობს. სტატიკური შეცდომა გამოითვლება პროცენტებში სარეგულირებელი სიდიდის ნომინალური მნიშვნელობისადმი $X_{\text{მდგ,ნომინ}}$.

$$\delta\% = \frac{\delta}{X_{\text{მდგ,ნომინ}}} \cdot 100. \quad (9.141)$$

ე) დამყარებული გადახრა განისაზღვრება სარეგულირებელი სიდიდის გადახრის სიდიდით მოცემული მნიშვნელობიდან დამყარებულ პროცესში.

ვ) რეგულირების დროის ქვეშ იგულისხმება გარდამავალი პროცესის დროის მონაკვეთი რეგულირების სისტემაზე ზემოქმედების მოდების მომენტიდან იმ მომენტამდე, როდესაც სარეგულირებელი სიდიდე შედის არამგრძნობიარობის ზონაში.

ზ) გარდამავალი პროცესის რხევითობა ეს არის სარეგულირებელი სიდიდის მის ახალ დამყარებულ მნიშვნელობასთან ახლოს რხევების რიცხვი გარდამავალი პროცესის დროის განმავლობაში. იგი ჩვეულებრივ არ უნდა აღემატებოდეს მოცემულ რიცხვს.

§13. ავტომატური სისტემის რეგულირების ხარისხის კორექტირება

მეოთხე თავის §1-ში განმარტებულია უკუკავშირის გამოყენების შესახებ გაძლიერების კოეფიციენტის სტაბილიზაციის ან მისი გაზრდის მიზნით, განსაზღვრულია დადებითი და უარყოფითი უკუკავშირები. განმარტებულია, რომ დადებითი უკუკავშირის გამოყენება ზრდის გაძლიერების კოეფიციენტს, ხოლო უარყოფითი უკუკავშირის გამოყენება ამცირებს მას.

შევნიშნავთ, რომ კავშირები, რომლებიც წარმოქმნიან ზემოქმედების გადაცემის გზას ავტომატური რეგულირების სისტემის ელემენტებს შორის, იწოდებიან მთავარ კავშირებად. ერთი რომელიმე მთავარი კავშირის დარღვევისას მთელი სისტემის მარეგულირებელი მოქმედება შეწყდება. მთავარ კავშირებად ჩვეულებრივ გამოიყენება ბერკეტები, რედუქტორული და კბილანა გადაცემები, ელექტრული სადენები და კაბელები, ჰიდრაულიკური და პნევმატური გადაცემები. მთავარი და დამატებითი უკუკავშირების, აგრეთვე, ერთკონტურიანი და მრავალკონტურიანი სქემების შესახებ იხილეთ მეათე თავის მეხუთე პარაგრაფში.

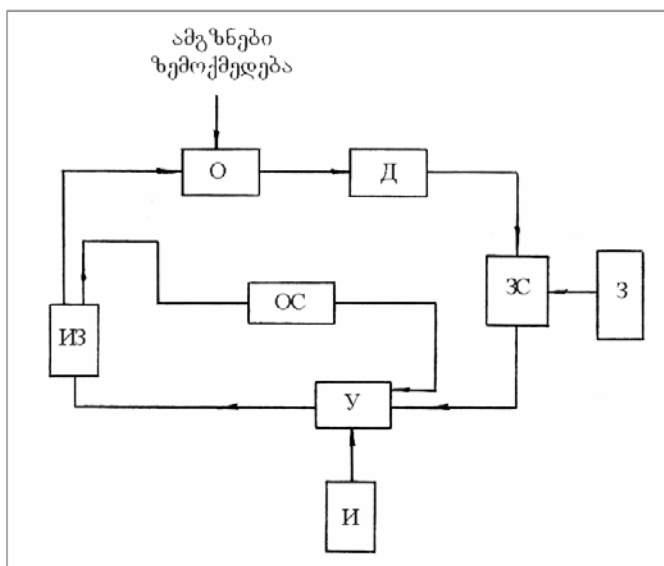
თუ დაპროექტებული ავტომატური რეგულირების სისტემა აღმოჩნდა არამდგრადი, ის შეიძლება გადაკეთდეს მდგრადად სპეციალური მაკორექტირებელი მოწყობილობების სისტემაში შეყვანით, რომლებსაც, ამ შემთხვევაში, ჩვეულებრივ უწოდებენ მასტაბილიზებელ მოწყობილობებს.

არამდგრადი სისტემები იყოფიან სტრუქტურულად მდგრადად და სტრუქტურულად არამდგრადად.

სტრუქტურულად მდგრადი ეწოდება ავტომატური რეგულირების სისტემებს იმ შემთხვევაში, თუ ისინი შეიძლება გაკეთდეს მდგრადად მათი პარამეტრების (დროის მუდმივების, გაძლიერების კოეფიციენტების) რიცხვითი მნიშვნელობების შეცვლით, სტრუქტურული სქემის შეუცვლელად.

სტრუქტურულად არამდგრადი ეწოდება ავტომატური რეგულირების სისტემებს, რომლებიც მათი პარამეტრების ვერავითარი შეცვლით არ შეიძლება გახდნენ მდგრადი. ამ სისტემების მდგრადობის მიღწევა შეიძლება მხოლოდ მათი სტრუქტურული სქემის შეცვლით.

სისტემის სტაბილიზირებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს უკუკავშირი, რომლის ძირითადი დანიშნულებაა – ცალკეული რგოლის ან რგოლების ჯგუფის თვისებების შეცვლით რეგულირების ხარისხის გაუმჯობესება და გარდამავალი პროცესის მდგრადობის უზრუნველყოფა, ე.ი. სისტემის სტაბილიზირება. მაშასადამე, უკუკავშირი ასრულებს მაკორექტირებელი მოწყობილობის როლს. ამრიგად, ავტომატური რეგულირების სისტემის კორექცია ვარაუდობს რეგულირების სისტემის სტრუქტურის ან ცალკეული რგოლების პარამეტრების შეცვლას, გამომდინარე სისტემის მდგრადობის ამადლების პირობიდან (მდგრადობის აუცილებელი მარაგების მიღება), აგრეთვე, განსაზღვრული დინამიკური თვისებების მიღებას (სიზუსტე, სწრაფქმედება). ავტომატური რეგულირების სისტემაში უკუკავშირი ყველაზე ხშირად ხორციელდება შემსრულებელი მოწყობილობის გამოსასვლელსა და მაძლიერებლის შესასვლელს შორის (ნახ.9.58).



ნახ.9.58. ავტომატური რეგულირების სისტემის ფუნქციონალური სქემა უარყოფითი უკუკავშირით

უკუკავშირები მათი მიერთების მეთოდის მიხედვით იყოფიან დადებითად და უარყოფითად. დადებითი ეწოდება ისეთ უკუკავშირს, რომლის სიგნალიც შეიყვანება რგოლში იმავე ნიშნით, რაც ძირითადი წრედით მიწოდებული შესასვლელი სიდიდე. უარყოფითი ეწოდება ისეთ უკუკავშირს, რომლის სიგნალიც შეიყვანება რგოლში ნიშნით, საწინააღმდეგო შესასვლელი სიდიდის ნიშნისა, რომელიც მიეწოდება ძირითადი წრედით.

ავტომატური რეგულირების ტექნიკაში ყველაზე ფართო გამოყენება ჰპოვა უარყოფითმა უკუკავშირმა, რადგან იგი ამცირებს რგოლის ინერციულობას, აუმჯობესებს მდგრადობას, ახშობს რხევებს და ცვლის რგოლის ტიპს.

ავტომატური რეგულირების სისტემებში გამოყენებული უარყოფითი უკუკავშირები იყოფა ხისტად და მოქნილად*.

* უკუკავშირს ეწოდება მოქნილი, თუ დამატებით კონტურში ჩართულია მაღიფერენცირებელი რგოლები. კონტურში ჩვეულებრივი პროპორციული რგოლის ჩართვის დროს უკუკავშირს ეწოდება ხისტი. კორექცია ხისტი უკუკავშირის დახმარებით ტექნიკურად ყველაზე მარტივია. მოქნილ უკუკავშირს სხვაგვარად იზოღრომულს უწოდებენ.

ხისტი უკუკავშირები (იგი შესაძლოა მოქმედებდეს მუდმივად – გარდამავალი პროცესის დროს და მაშინაც, როდესაც პროცესი დამყარებულია) მათში გამოყენებული მოწყობილობებისაგან დამოკიდებულებით, გვხვდება:

ა) მარტივი, რომელიც აიწერება განტოლებით

$$X_{\text{შემ.უკ.}} = k_{\text{უკ.}} X_{\text{გამ.}}, \quad (9.142)$$

სადაც

$X_{\text{შემ.უკ.}}$ არის უკუკავშირის შესასვლელი სიდიდე;

$k_{\text{უკ.}}$ – უკუკავშირის გაძლიერების კოეფიციენტი;

$X_{\text{გამ.}}$ – რგოლის გამოსასვლელი სიდიდე.

ბ) ინერციული, რომელიც აიწერება განტოლებით

$$T_{\text{უკ.}} \frac{dx_{\text{შემ.უკ.}}}{dt} + x_{\text{შემ.უკ.}} = k_{\text{უკ.}} x_{\text{გამ.}}. \quad (9.143)$$

მოქნილი უკუკავშირები (მოქმედებს მხოლოდ გარდამავალ პროცესში და არ მოქმედებს დამყარებული პროცესის დროს) გვხვდება:

ა) მარტივი, რომელიც აიწერება განტოლებით

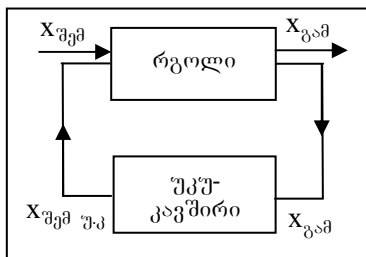
$$x_{\text{შემ.უკ.}} = k_{\text{უკ.}} \frac{dx_{\text{გამ.}}}{dt}; \quad (9.144)$$

ბ) ინერციული (ეწოდება აგრეთვე იზოდრომული), რომელიც აიწერება განტოლებით

$$T_{\text{უკ.}} \frac{dx_{\text{შემ.უკ.}}}{dt} + x_{\text{შემ.უკ.}} = k_{\text{უკ.}} \frac{dx_{\text{გამ.}}}{dt}. \quad (9.145)$$

განვიხილოთ ზოგიერთი მაგალითი ხისტი უკუკავშირის გავლენისა მის მიერ მოცუული რგოლების დინამიკურ თვისებებზე.

ვთქვათ, ჩვენ მოცემული გვაქვს აპერიოდული პირველი რიგის რგოლი, რომელსაც მოიცავს უარყოფითი უკუკავშირი, მაგალითად პროპორციული რგოლის სახით (ნახ.9.59). პროპორციული რგოლის განტოლება ჩვენი შემთხვევისათვის აიწერება განტოლებით 9.142.



ნახ.9.59. ავტომატური რეგულირების უკუკავშირით შემოწვდომილი რგოლის პირობითი გამოსახვა

მათემატიკურად უარყოფითი უკუკავშირის შეყვანა აპერიოდულ რგოლში გამოიხატება შემდეგნაირად. როგორც უკვე ცნობილია [ფორმულა (9.7)], აპერიოდული პირველი რიგის რგოლის განტოლებას აქვს სახე

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}}.$$

უარყოფითი უკუკავშირის ჩასმით ამ განტოლებაში, მივიღებთ

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = k(x_{\text{შემ}} - x_{\text{შემ უკ}}). \quad (9.146)$$

განსაზღვრის თანახმად უარყოფითი უკუკავშირი გამოაკლდება შემავალი სიდიდის სიგნალს, იხ. ფორმულა 4.10.

ჩაესვით $x_{\text{შემ უკ}}$ -ის მნიშვნელობა 9.142-დან 9.146-ში:

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = k(x_{\text{შემ}} - k_{\text{უკ}} x_{\text{გამ}});$$

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}} - kk_{\text{უკ}} x_{\text{გამ}};$$

$$T \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + (1 + kk_{\text{უკ}})x_{\text{გამ}} = kx_{\text{შემ}}. \quad (9.147)$$

თუ უკანასკნელი ტოლობის ორივე ნაწილს გავყოფთ $1 + kk_{\text{უკ}}$ -ზე, გვექნება

$$\frac{T}{1 + kk_{\text{უკ}}} \cdot \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = \frac{k}{1 + kk_{\text{უკ}}} x_{\text{შემ}}. \quad (9.148)$$

აღვნიშნოთ

$$\frac{T}{1 + kk_{\text{უკ}}} = T_1; \quad \frac{k}{1 + kk_{\text{უკ}}} = k_1;$$

მაშინ 9.148 განტოლება მიიღებს სახეს

$$T_1 \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = k_1 x_{\text{შეგ}} \quad (9.149)$$

(9.149) განტოლება წარმოადგენს, აგრეთვე, აპერიოდულ პირველი რიგის რგოლს, მაგრამ ნაკლები დროის მუდმივათი

($T_1 < T$, რადგან $T_1 = \frac{T}{1 + kk_{\text{უკ}}}$, ამასთან, მნიშვნელი მეტია

ერთზე). მაშასადამე, რგოლი უარყოფითი უკუკავშირით მიიღება ნაკლებად ინერციული. მოცემული რგოლის გაძლიერების კოეფიციენტის k -ს საკმარისად დიდი მნიშვნელობისას 9.149 განტოლების პირველი შესაკრები შეიძლება უგულებელვყოთ (ვინაიდან T_1 იქნება მცირე), ხოლო

$$k_1 = \frac{k}{1 + kk_{\text{უკ}}} \approx \frac{k}{kk_{\text{უკ}}} = \frac{1}{k_{\text{უკ}}},$$

ვინაიდან $kk_{\text{უკ}} \gg 1$ და მაშინ

$$x_{\text{გამ}} \approx \frac{1}{k_{\text{უკ}}} x_{\text{შეგ}}. \quad (9.150)$$

9.150 თანაფარდობიდან ჩანს, რომ აპერიოდული პირველი რიგის რგოლი, გაძლიერების დიდი კოეფიციენტით, მოცემული ხისტი უკუკავშირით, იქნება ახლო პროპორციულ რგოლთან უკუკავშირის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდის ტოლი გაძლიერების კოეფიციენტით.

მოვიცვათ უარყოფითი უკუკავშირით იდეალური მაინტეგრებელი რგოლი, რომელიც აიწერება განტოლებით 9.11.

$$\frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} = kx_{\text{შეგ}}.$$

პროპორციული რგოლის განტოლება, გამოყენებული უკუკავშირის სახით, აიწერება განტოლებით 9.142; მაინტეგრებელი რგოლის განტოლება, მოცემული უკუკავშირით, გამოიხატება განტოლებით

$$\frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} = k(x_{\text{შემ}} - x_{\text{შემ.უკ.ავშ.}}). \quad (9.151)$$

$x_{\text{შემ.უკ.}}$ -ს მნიშვნელობის ჩასმით 9.142-დან 9.151-ში, გვექნება

$$\begin{aligned} \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} &= kx_{\text{შემ}} - kk_{\text{უკ.}}x_{\text{გამ}}. \\ \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + kk_{\text{უკ.}}x_{\text{გამ}} &= kx_{\text{შემ}}. \end{aligned} \quad (9.152)$$

ტოლობის ორივე ნაწილის გაყოფით $kk_{\text{უკ.}}$ -ზე, მივიღებთ

$$\frac{1}{kk_{\text{უკ.}}} \cdot \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = \frac{1}{k_{\text{უკ.}}} x_{\text{შემ}}. \quad (9.153)$$

შევცვალოთ $\frac{1}{kk_{\text{უკ.}}} = T_1$; $\frac{1}{k_{\text{უკ.}}} = k_1$,

მაშინ

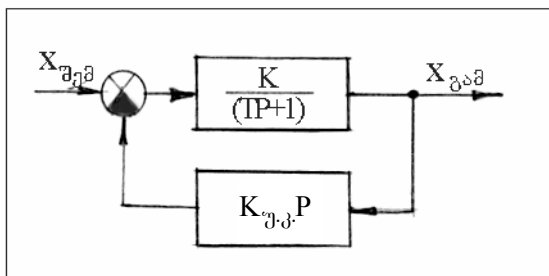
$$T_1 \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} + x_{\text{გამ}} = k_1 x_{\text{შემ}},$$

რაც წარმოადგენს აპერიოდული პირველი რიგის რგოლის განტოლებას.

მაშასადამე, იდეალური მაინტეგრებელი რგოლი, მოცული ხისტი უკუკავშირით, ეკვივალენტურია აპერიოდული პირველი რიგის რგოლისა.

ახლა განვსაზღვროთ $x_{\text{შემ.უკ.}} = k_{\text{უკ.}} \frac{dx_{\text{გამ}}}{dt} = k_{\text{უკ.}} P x_{\text{გამ}}$ სახით

მოქნილი უკუკავშირის გაგლენა ცალკეული რგოლების თვისებებზე გადამცემი ფუნქციების გამოყენებით. მოვიცვათ ასეთი უკუკავშირით აპერიოდული რგოლი (ფორმულა 9.7), რომელიც ოპერატორული ფორმით გამოიხატება (ფორმულა 9.44, ნახ.9.60)



ნახ.9.60. აპერიოდული რგოლის შემოწვდომა მოქნილი უკუკავშირით

$$(TP + 1)x_{\text{გამ}} = kx_{\text{მეშ}}.$$

გვერდულენტიური რგოლის გადამცემი ფუნქციისათვის 9.38 ფორმულის თანახმად გვექნება

$$\begin{aligned} W(P) &= \frac{W_I(P)}{1 + W_I(P) \cdot W_{\text{უკ.}}(P)} = \frac{\frac{k}{TP+1}}{\frac{k}{TP+1} \cdot k_{\text{უკ.}} P} = \frac{\frac{k}{TP+1}}{\frac{TP+1 + kk_{\text{უკ.}} P}{TP+1}} = \\ &= \frac{k}{TP + kk_{\text{უკ.}} P + 1} = \frac{k}{P(T + kk_{\text{უკ.}}) + 1} = \frac{k}{P(T_{\text{მკვ}} + 1)}, \end{aligned}$$

სადაც

$$T_{\text{მკვ}} = T + kk_{\text{უკ.}}.$$

ამ შემთხვევაში მოქნილი უკუკავშირის ჩართვამ არ შეცვალა რგოლის ხასიათი. იზრდება მხოლოდ მისი დროის მუდმივა, ხოლო გაძლიერების კოეფიციენტი რჩება ადრინდელი.

თუ მოვიცავთ მაინტეგრებელ რგოლს მოქნილი უარყოფითი უკუკავშირით, რგოლის ტიპი ისევ შენარჩუნებული იქნება, ხოლო მისი გაძლიერების კოეფიციენტი შეიცვლება, რაც ჩანს შემდეგი თანაფარდობიდან

$$W(P) = \frac{\frac{k}{P}}{1 + \frac{k}{P} k_{\text{უკ.}} P} = \frac{k}{P + kk_{\text{უკ.}} P} = \frac{k}{P(1 + kk_{\text{უკ.}})} = \frac{k}{T_{\text{მკვ}} \cdot P},$$

სადაც

$$T_{\text{მკვ}} = 1 + kk_{\text{უკ.}}.$$

კონსტრუქციულად უკუკავშირებად შეიძლება გამოყენებული იქნეს ნებისმიერი მექანიკური, თბური, ელექტრონული, ელექტრონული, პნევმატიკური, ჰიდრავლიკური მოწყობილობები, რომელთა დინამიკა მიახლოებით აიწერება ზემოთ მოყვანილ ერთ-ერთი განტოლებით.

ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ სარეგულირებელი სიდიდის გადახრა დამყარებულ რეჟიმში (სტატიკური შეცდომა δ), მდგრადობა და რეგულირების პროცესის ხარისხი (გარდამავალი პროცესის დრო, გადამატრეგულირება) ბევრ შემთხვევაში ურთიერთგამომრიცხავია. კერძოდ, განთვლილი სისტემის გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდა (რომელიც ტოლია ჩაკეტილი კონტურის თანმიმდევრობით ჩართული ელემენტების გაძლიერების კოეფიციენტების ნამრავლისა) ამცირებს სტატიკურ შეცდომას, მაგრამ, ერთდროულად ამცირებს მდგრადობის მარაგსაც, ზრდის სარეგულირებელი სიდიდის ცვლილების სიჩქარეს. მაგრამ, შეუძლია გამოიწვიოს ძლიერი რხევითი პროცესი, დიდი გადამეტრეგულირება და გარდამავალი პროცესის დროის გაზრდა.

სისტემაში მაინტეგრირებელი რგოლის შეყვანა სისტემას ხდის ასტატიკურს ($\delta=0$ სისტემა, რომელშიც რეგულირება სტატიკაში ხორციელდება უშეცდომოდ), მაგრამ, ამცირებს მდგრადობის მარაგს და ანელებს გარდამავალ პროცესს. ამიტომ, ცდილობენ ისე შეარჩიონ სისტემის ელემენტების პარამეტრები, რომ სტატიკური შეცდომა, გადამეტრეგულირება, რეგულირების დრო და მდგრადობის მარაგი აკმაყოფილებდეს მოთხოვნებს, რომლებიც წაყენება სისტემის ექსპლואტაციის პირობებს. თუ ამ ამოცანის გადაწყვეტა არ ხერხდება მხოლოდ სისტემის ძირითადი ელემენტების პარამეტრების შეცვლის ხარჯზე, მაშინ როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სისტემაში შეჰყავთ მაკორექტირებელი ელემენტები. კერძოდ, ასტატიკური სისტემის მისაღებად შეჰყავთ მაინტეგრირებელი რგოლი, ხოლო ასტატიკური სისტემის გარდასაქმნელად სტატიკურ სისტემად, რაც აუცილებელია, ხოლმე, მდგრადობის ასამაღლებლად, მაინტეგრირებელ ელემენტს მოიცავენ ხისტი უკუკავშირით – პროპორციული რგოლით გადამცემი ფუნქციით $W(P)=k$.

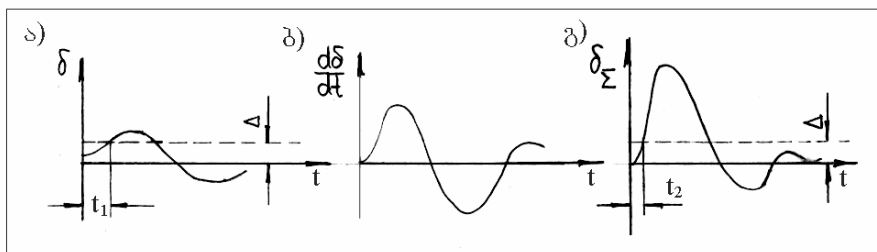
სწრაფადმოქმედი სისტემის მიღების სურვილის დროს, სტატიკურ სისტემაზე გადაუსვლელად (რათა არ წარმოიქმნას სტატიკური შეცდომა), მაინტეგრირებელ ელემენტს მოიცავენ არა ხისტი, არამედ მოქნილი უკუკავშირით. ასეთი სისტემა გარდამავალ პროცესში მუშაობს როგორც სტატიკური, ხოლო გარდამავალი პროცესის ბოლოს – როგორც ასტატიკური. მაშასადამე, ეს სისტემა იქნება ასტატიკური და ერთდროულად ექნება მდგრადობის დიდი მარაგი და უფრო მაღალი სწრაფმოქმედება, ვიდრე სისტემას უკუკავშირის გარეშე.

სწრაფმოქმედების გასაზრდელად, ზოგიერთ ავტომატური რეგულირების სისტემაში, მაძლიერებლის შესასვლელში გადახრის პროპორციულ სიგნალთან δ ერთდროულად

(ნახ.9.61,ა), შეყავთ სიხქარის $\frac{d(\delta)}{dt}$ პროპორციული სიგნალი

(ნახ.9.61,ბ). ეს კორექტირება იწოდება ზემოქმედების შეყვანად წარმოებულის მიხედვით. სისტემის სწრაფმოქმედება იზრდება იმის შედეგად, რომ პროცესის დასაწყისში მაძლიერებელზე მიეწოდება დიდი სიგნალი ($\delta_{\Sigma} = \delta + \frac{d(\delta)}{dt}$), ხოლო

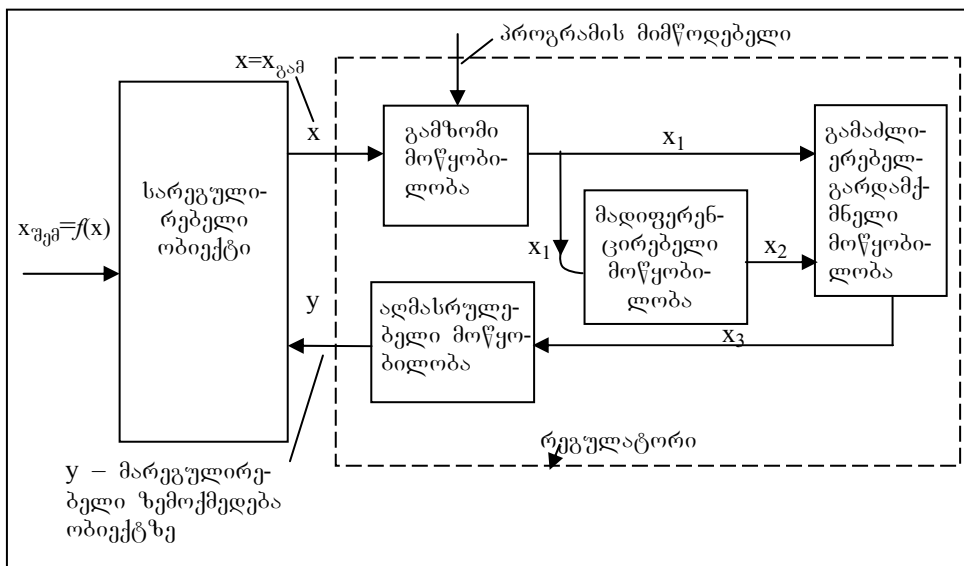
სისტემის წონასწორობის მდგომარეობასთან მიახლოების კვალობაზე ეს სიგნალი მცირდება (ნახ.9.61,გ). თუ სისტემა დაიწყებს შეცდომის სიგნალის გამომუშავებას მისი მნიშვნელობის დროს, რომელიც მეტია Δ -ზე, როდესაც $t=t_1$ ზემოქმედების შეყვანისას წარმოებულის მიხედვით, სიგნალის გამომუშავება დაიწყება t_2 -ის დროს, რომელიც ნაკლებია t_1 -ზე.



ნახ.9.61. კორექტირება ზემოქმედების შეყვანით

სიგნალის შეყვანა წარმოებულის მიხედვით ზრდის სწრაფმოქმედებას და მდგრადობის მარაგს და არ ახდენს გავლენას სისტემის სტატიკურ მახასიათებელზე.

რეგულირების კანონში რეგულირების ხარისხის გაუმჯობესების მეტად ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს, აგრეთვე, ინტეგრალის შეყვანა რეგულირების კანონში. (რეგულირების კანონის ქვეშ იგულისხმება რეგულატორის შემავალ და გამომავალ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება, შედგენილი რეგულატორის ინერციულობის გაუთვალისწინებლად, დროის მუდმივების გაუთვალისწინებლად, ე.ი. რეგულირების კანონი არის “იდეალური” რეგულატორის განტოლება). გადახრის წარმოებულის შესაყვანად რეგულატორის სქემას უერთდება მაღიფერენცირებელი მოწყობილობა, რაც იწვევს გარდამავალი პროცესის ჩაქრობის დაჩქარებას (ნახ.9.62).



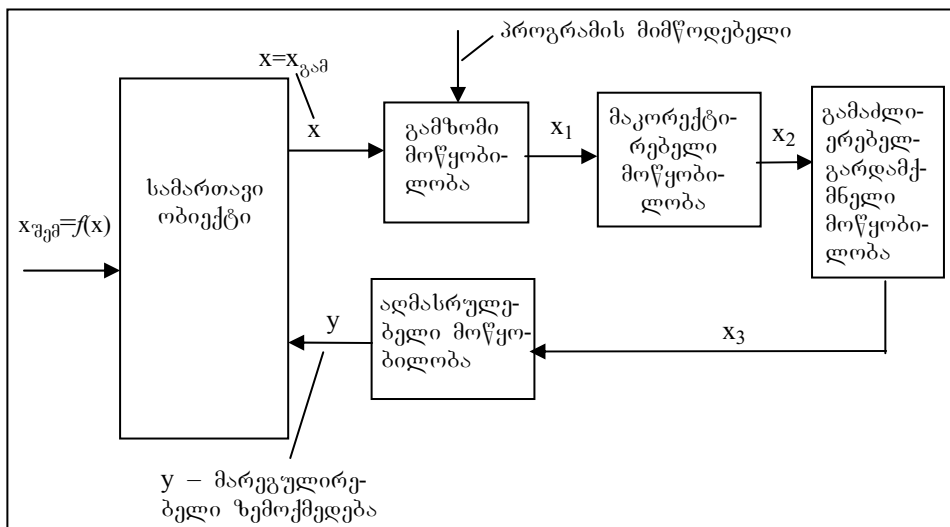
ნახ.9.62. წარმოებულის შეყვანა რეგულირების კანონში

ინტეგრალის შეყვანა რეგულირების კანონში ცვლის რეგულატორის მოქმედების პრინციპს: სტატიკური რეგულატორიდან იგი გარდაიქმნება ასტატიკურად, რომელსაც არ გააჩნია რეგულირების სტატიკური შეცდომა. ასტატიკურ

სისტემაში რეგულირება წარმოებს სარეგულირებელი სიდიდის გადახრის ინტეგრალის მიხედვით, მაშინ როდესაც სტატიკურ სისტემაში – სარეგულირებელი სიდიდის გადახრის მიხედვით. რეგულირების ასტატიკურ კანონს ხშირად უწოდებენ სიჩქარითს, ხოლო სტატიკურს – პოზიციურს.

ინტეგრალი რეგულირების კანონში შეიძლება შეყვანილი იქნეს ელექტრომექანიკური, მექანიკური, ელექტრონული კონსტრუქციების დახმარებით.

წარმოებულისა და ინტეგრალის შეყვანა რეგულირების კანონში – ეს არის თანმიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობების ჩართვის სხვადასხვა კერძო შემთხვევები (ნახ.9.63). თანმიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობების გარდა, რეგულირების პროცესის გასაუმჯობესებლად რეგულატორში შეყავთ პარალელური მაკორექტირებელი მოწყობილობები. ესენი არიან ე.წ. დამატებითი უკუკავშირები.



ნახ.9.63. მაკორექტირებელი მოწყობილობის შეყვანა რეგულირების პროცესში

$$x_1 = k_1 x$$

$$x_2 = k \frac{dx_1}{dt}$$

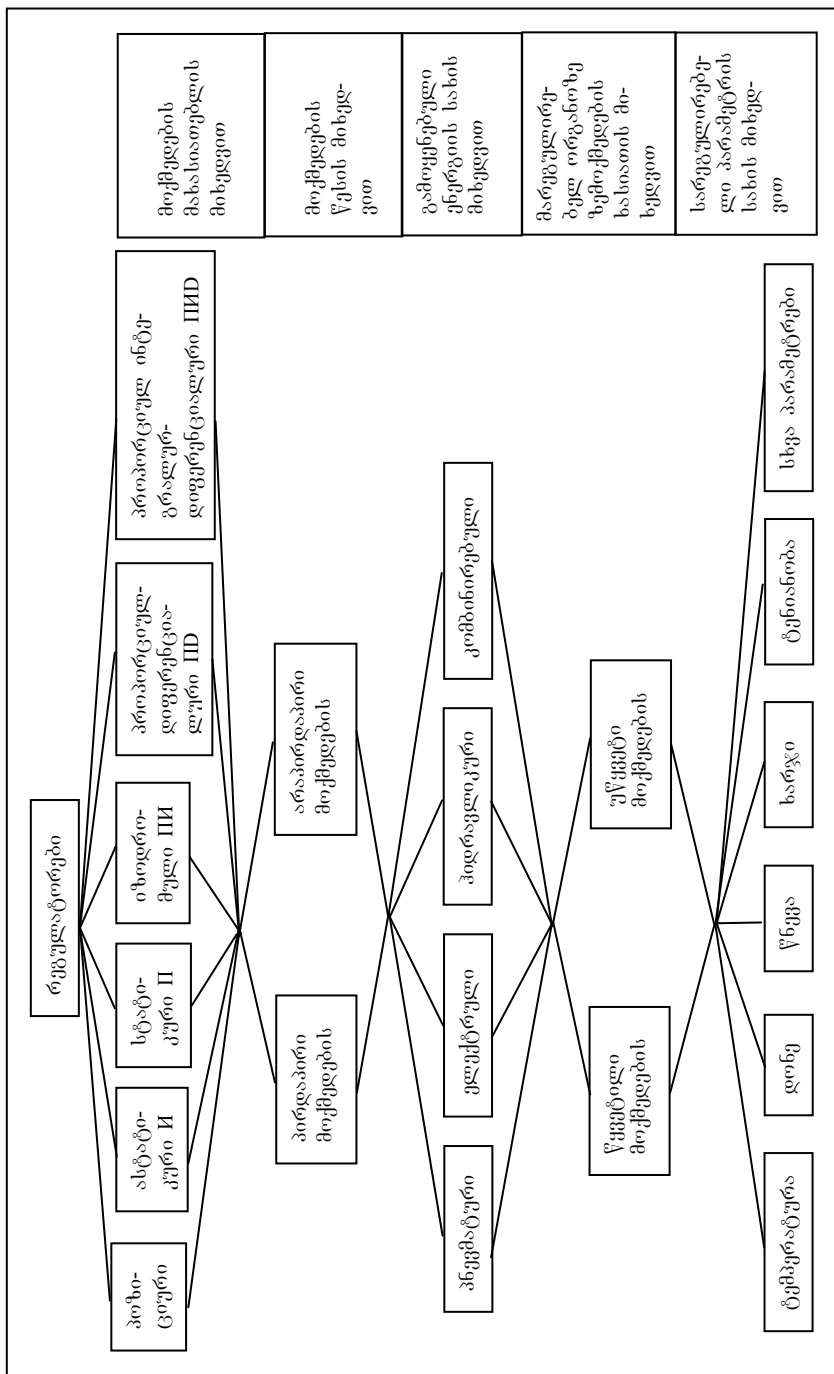
$$x_3 = k_2 (x_1 + x_2)$$

$$y = k_3 x_3$$

$$y = k_1 k_2 k_3 \left(x + \frac{k}{k_1} \frac{dx_1}{dt} \right)$$

დამატებითი უკუკავშირი წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც გადასცემს ზემოქმედებას მომდევნო რგოლიდან ერთ-ერთ წინა რგოლზე. დამატებითი უკუკავშირი ირთვება რგოლის ან რგოლების ჯგუფის პარალელურად და ქმნის რეგულატორის შიგნით დამატებით ჩაკეტილ კონტურებს.

სწორად გაანგარიშებული და აწყობილი ავტომატური რეგულირების სისტემა, გამომდინარე მუშაობის კონკრეტული პირობებიდან, შეიძლება აღმოჩნდეს პრაქტიკულად არამუშაუნარიანი, თუ ელემენტების პარამეტრები და შემავსოთებელი ზემოქმედებები მნიშვნელოვნად იხრებიან საანგარიშოდან. მაგალითად, გრუნტის ტემპერატურის დაკლებისას, რომელსაც ამუშავებს მიწისმთხრელი მანქანა სიმაგრე შეიძლება მნიშვნელოვნად ამაღლდეს საანგარიშოსთან შედარებით, რაც უარყოფითად იმოქმედებს ამ მანქანის მწარმოებლურობის მარეგულირებელი ავტომატური სისტემის მუშაობის ხარისხზე. ასევე სამსხვრეველებისა და ცხაურების ავტომატური რეგულირების სისტემის მუშაობაზე მნიშვნელოვნად იმოქმედებს გადასამუშავებელი მასალის გრანულომეტრიული შემადგენლობის შეცვლა. ამიტომ განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო შემთხვევებში გამოიყენება ავტომატური რეგულირების სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ რეგულატორის ავტომატურ გადაწყობას გარე პირობების შეცვლის დროს კოეფიციენტების k_{Π} (Π – რეგულატორი), k_{Π} (Π – რეგულატორი), k_D (D – რეგულატორი) შეცვლით, რომლებიც ადგენენ რეგულატორის გამომავალ სიგნალს. ასეთ სისტემებს ეწოდება თვითაწყობადი ან ადაპტიური. რეგულატორების კლასიფიკაცია მოცემულია ნახაზზე 9.64.



ნახ.9.64. რეგულატორების კლასიფიკაცია

რეგულატორის ძირითად თვისებას, რომელიც განსაზღვრავს მის კლასიფიკაციას, წარმოადგენს მისი მოქმედების დახასიათება (რეგულირების კანონი), ე.ი. დამოკიდებულება სარეგულირებელი პარამეტრის ცვლილებასა (მისი მოცემული მნიშვნელობიდან გადახრასა – შემავალი სიდიდე) და მარეგულირებელი ორგანოს გადაადგილებას (მდგომარეობას – გამოშვებული სიდიდე) შორის.

მოქმედების დახასიათების მიხედვით რეგულატორები შეიძლება დაიყოს ექვს ტიპად (იხ. სქემა ნახ.9.64):

1. პოზიციური;
2. ასტატიკური (ინტეგრალური) И [გამოიყენება მხოლოდ სიგნალი $k_H \int \delta t (k_H = 0, k_D = 0)$];
3. სტატიკური (პროპორციული) П [გამოიყენება მხოლოდ სიგნალი $k_H \delta (k_H = 0, k_D = 0)$];
4. იზოდრომული (პროპორციულ-ინტეგრალური) ПИ [გამოიყენება სიგნალები $k_H \delta$ და $k_H \int \delta t (k_D = 0)$];
5. პროპორციულ-დიფერენციალური ПД [გამოიყენება სიგნალები $k_H \delta$ და $k_D \frac{d\delta}{dt} (k_H = 0,)$];
6. იზოდრომული პირველი წარმოებულით (პროპორციულ-ინტეგრალურ-დიფერენციალური) ПИД [გამოიყენება სამივე სიგნალი $k_H \delta$, $k_H \int \delta t$ და $k_D \frac{d\delta}{dt}$].

პოზიციურ რეგულატორებში მარეგულირებელმა ორგანომ შეიძლება დაიკავოს ორი ან სამი განსაზღვრული მდგომარეობა (ორპოზიციანი და სამპოზიციანი რეგულატორები). ორპოზიციან რეგულატორებში მარეგულირებელი ორგანო შეიძლება იყოს ორ მდგომარეობაში – მთლიანად გაღებულ (გახსნილ) ან მთლიანად დაკეტილ (დახურულ) მდგომარეობაში. ორპოზიციანი რეგულატორის მარეგულირებელი ორგანოს გადანაცვლება წარმოებს თითქმის მყისიერად. სამპოზიციან რეგულატორებში მარეგულირებელ ორგანოს შეუძლია დაიკავოს სამი მდგომარეობა – მთლიანად გაღებული, საშუალო (ნორმალური) და მთლიანად დაკეტილი.

ასტატიკური (ინტეგრალური) რეგულატორები, ან შემოკლებით II-რეგულატორები. ამ რეგულატორებს არ გააჩნიათ უკუკავშირი.

სტატიკური (პროპორციული) რეგულატორები, ან შემოკლებით PI-რეგულატორები. ამ რეგულატორებს გააჩნიათ ხისტი უკუკავშირი.

იზოდრომული (პროპორციულ-ინტეგრალური) რეგულატორები, ან შემოკლებით ПИ-რეგულატორები. ეს რეგულატორები არიან მოქნილი უკუკავშირით.

პროპორციულ-დიფერენციალური რეგულატორები, ან შემოკლებით ПД-რეგულატორები. ამ რეგულატორებს ზოგჯერ უწოდებენ სტატიკურს პირველი წარმოებულის.

პროპორციულ-ინტეგრალურ-დიფერენციალური რეგულატორები ან შემოკლებით ПИД-რეგულატორები. ამ რეგულატორებს უწოდებენ, აგრეთვე, იზოდრომულს პირველი წარმოებულის.

მოქმედების წესის მიხედვით რეგულატორები იყოფიან პირდაპირი და არაპირდაპირი მოქმედების რეგულატორებად. პირდაპირი მოქმედების რეგულატორებს არ გააჩნიათ გამაძლიერებელი და არ იყენებენ გარეშე ენერგიას. უმეტეს შემთხვევებში მარეგულირებელი ორგანო მოქმედებაში მოიყვანება ბერკეტების სისტემით (დონის რეგულატორები იხ. ნახ.8.7) ან სითხის ან გაზის წნევით, რომელიც მოთავსებულია საკუთრივ ხელსაწყო სისტემაში.

ყველა რეგულატორს მოძრავ სისტემებში ხახუნის გამო გააჩნია რაღაც არამგრძნობიარობა. ამიტომ, რეგულატორი მოქმედებაში მოდის სარეგულირებელი პარამეტრის გადახრის შემდეგ წონასწორობის მნიშვნელობიდან განსაზღვრულ სასრულ სიდიდემდე.

სარეგულირებელი პარამეტრის უმცირესი ცვლილების გაორმაგებული სიდიდე, რომლის დროსაც ამოქმედდა მარეგულირებელი ორგანო, იწოდება რეგულატორის არამგრძნობიარობის ზონად. მაგალითად, თუ წნევის რეგულირების დროს მოცემულ მნიშვნელობას წარმოადგენს 100 კგ/სმ², ხოლო რეგულატორის არამგრძნობიარობა შეადგენს 1 კგ/სმ², წნევის გადახრისას ამა თუ იმ მხარეს 1კგ/სმ²-ზე ნაკლები სიდიდით, რეგულატორი იქნება უმოქმედო. რეგულატორი ამოქმედდება წნევის მიღწევისას 101 კგ/სმ² (წნევის გაზრდისას)

ან 99 კგ/სმ² (წნევის შემცირებისას). 101–99 კგ/სმ²-ის არეში, ე.ი. 100 ± 1 კგ/სმ², რეგულატორი არ მოქმედებს. ეს არე წარმოადგენს მისი არამგრძნობიარობის ზონას.

პირდაპირი მოქმედების რეგულატორების მგრძნობიარობის ასამაღლებლად, ე.ი. იმისათვის, რომ პრავას მოძრავი ნაწილის მოძრაობა და, მაშასადამე, მარეგულირებელი ორგანოსიც დაიწყოს ზემოქმედების ძალის მინიმალური შეცვლისას, მიისწრაფვიან მოხახუნე ელემენტების შემცირებისაკენ, რითაც განტვირთავენ მარეგულირებელ ორგანოს.

არაპირდაპირი მოქმედების რეგულატორებში, ძალვა აღძრული მგრძნობიარე ელემენტში, სარეგულირებელი პარამეტრის სიდიდის ცვლილებისას რთავს მუშაობაში მხოლოდ დამხმარე მოწყობილობას – მმართველ ელემენტს. ეს მოწყობილობა ენერგიას აწოდებს გარეშე ენერგიის წყაროდან მექანიზმს, რომელიც ავითარებს ძალვას აუცილებელს მარეგულირებელი ორგანოს გადანაცვლებისათვის. არაპირდაპირი მოქმედების რეგულატორის მგრძნობიარობა აღემატება პირდაპირი მოქმედების რეგულატორის მგრძნობიარობას.

რეგულატორები, აგრეთვე, იყოფიან:

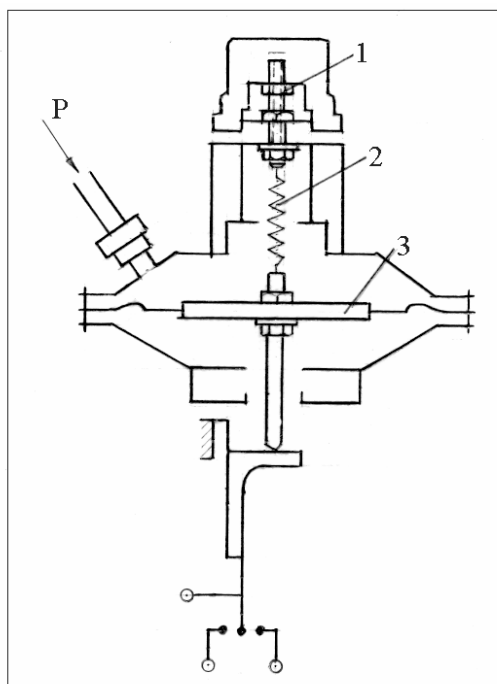
გამოყენებული ენერგიის სახის მიხედვით – პნევმატიკურ, ჰიდრაულიკურ, ელექტრულ, კომბინირებულ რეგულატორებად;

მარეგულირებელ ორგანოზე ზემოქმედების ხასიათის მიხედვით – წყვეტილი და უწყვეტი მოქმედების რეგულატორებად;

სარეგულირებელი პარამეტრის სახის მიხედვით – ტემპერატურის, წნევის, ხარჯის, დონის და ა.შ. რეგულატორებად.

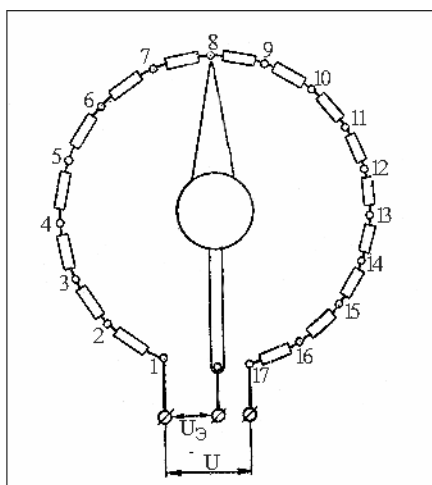
ქვემოთ მოყვანილ ნახაზებზე 9.65-9.82 მოცემულია ავტომატური რეგულატორების ელემენტებისა და მარეგულირებელი ორგანოების სქემები.

ნახ.9.65 მოცემულია ზამბარული მავალებლის სქემა, გათვალისწინებული მემბრანიან გამზომ მოწყობილობაზე დასაყენებლად.



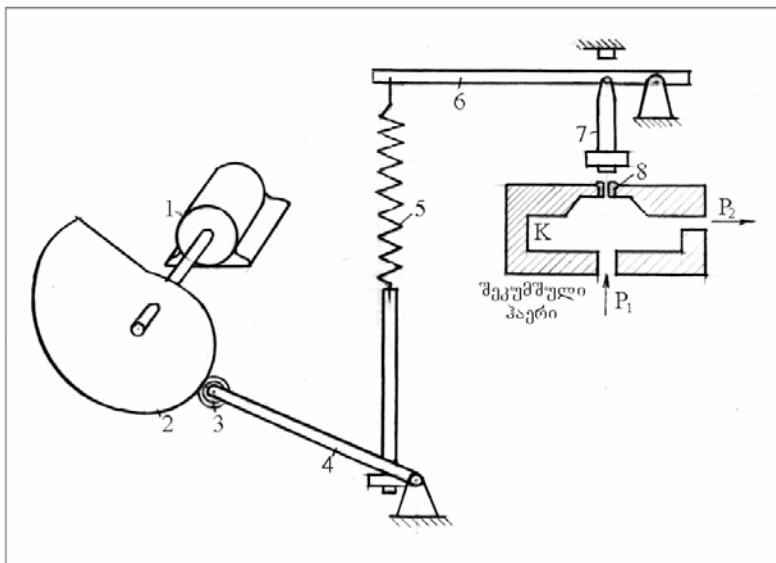
ნახ.9.65. მემბრანიან
გამზომ მოწყობილობა-
ზე დასაყენებელი ზამ-
ბარული მავალებლის
სქემა: 1 – ქანჩი; 2 –
ზამბარა; 3 – მემბრანა

ნახ.9.66 – II-16/17 ტიპის მავალებლის ელექტრული სქემა.



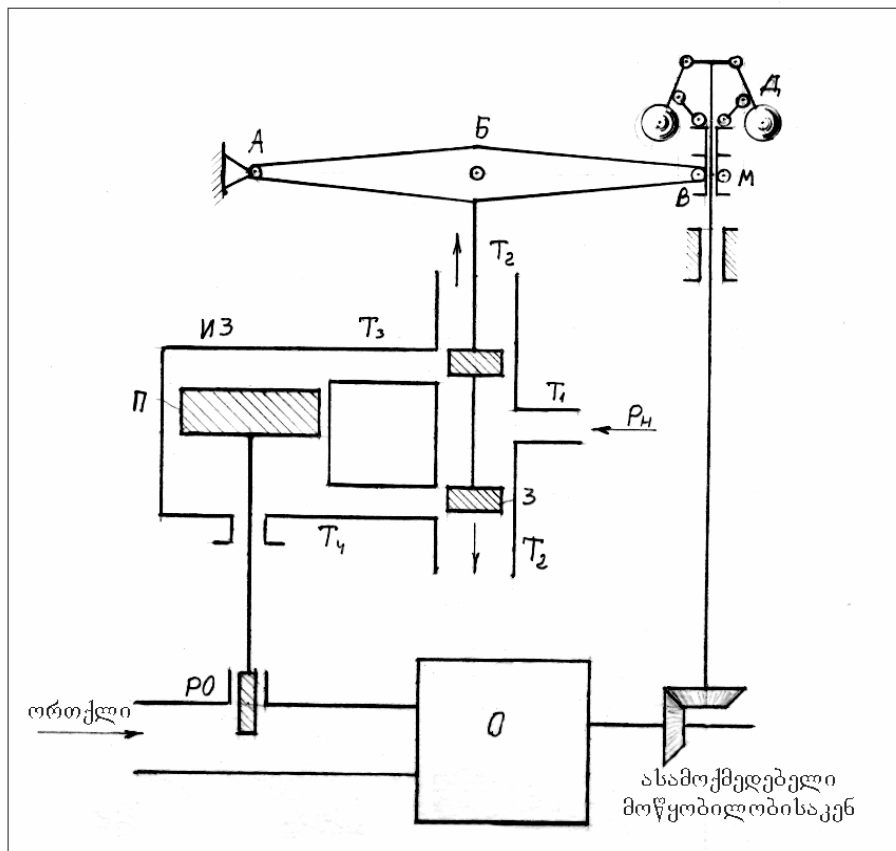
ნახ.9.66. II16/17 ტიპის
მავალებლის ელექტრული
სქემა სექციონირებული მავ-
თულის პოტენციომეტრით
17 მდებარეობაზე (1 ÷ 17)

ნახ.9.67 – პნევმატიკური პროგრამული მავალეზლის სქემა.



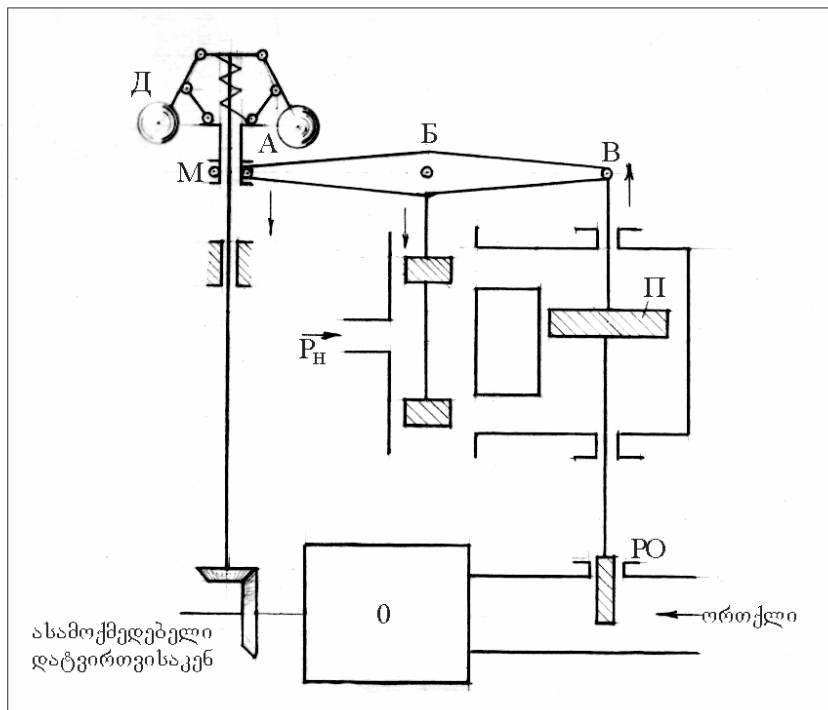
ნახ.9.67. პნევმატიკური პროგრამული მავალეზლის სქემა: 1 – სინქრონული ძრავა; 2 - საპროგრამო დისკო; 3 – გორგოლაჭი; 4 – ბერკეტი; 5 – ზამბარა; 6 – პნევმოგარდამქმნელის ბერკეტი; 7 – ღერო; 8 – საქშენი; k - კამერა; P_1 - შეკუმშული ჰაერის წნევა; P_2 - ჰაერის საკომანდო წნევა

ნახ.9.68 – სიჩქარის ავტომატური რეგულატორი უკუკავშირის გარეშე.



ნახ.9.68. სიჩქარის ავტომატური რეგულატორი უკუკავშირის გარეშე: O - ობიექტი (ორთქლის მანქანა); PO - მარეგულირებელი ორგანო; D - გარდამსახი; M - ქურო; ABB - ბერკეტი; 3 - მეკეთარა; T_1 - მილი; T_2, T_3 - სერვოდრავას Π (აღმასრულებელი ელემენტის) ჰიდრავლიკური აღმასრულებელი მექანიზმის მილსადენები; Π - სერვოდრავას დგუში

ნახ.9.69 – სიჩქარის ავტომატური რეგულატორი ხისტი უკუკავშირით.

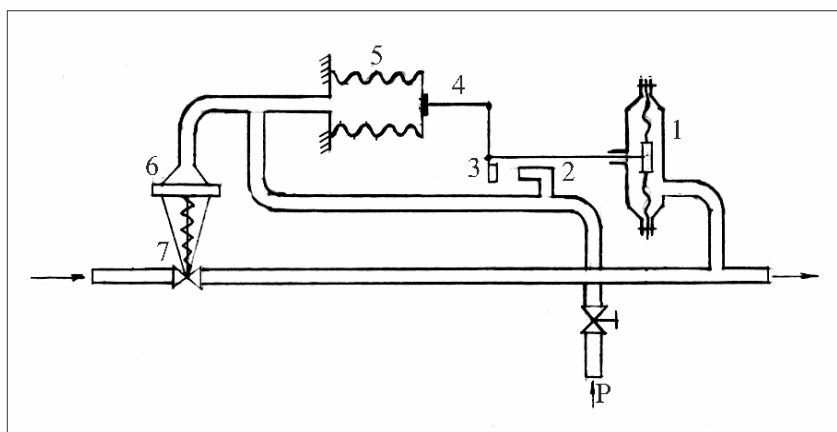


ნახ.9.69. სიჩქარის ავტომატური რეგულატორი ხისტი უკუკავშირით: ABB - ბერკეტი; M - ქურო; D - გამზომი ელემენტი; PO - მარეგულირებელი ორგანო; II - სერვოდრავას დგუში; O - ობიექტი



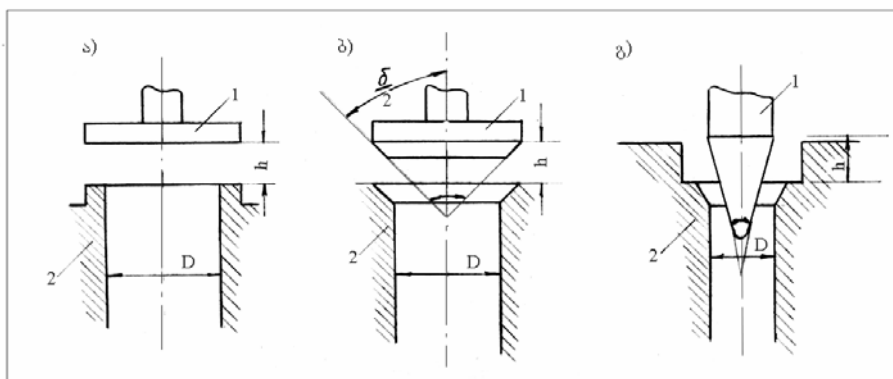
100

ნახ.9.71 – ბერკეტული პნევმატიკური უკუკავშირი.



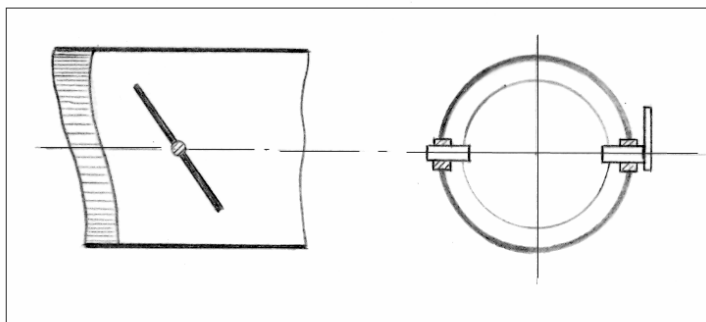
ნახ.9.71. წნევის რეგულატორი ბერკეტული პნევმატიკური უკუკავშირით: 1 – გარდამსახი; 2 – საკშენი; 3 – მკვეთარა; 4 – ბერკეტი; 5 – სილფონი; 6 – აღმასრულებელი მექანიზმი; 7 – ვენტილი; P - ჰაერის წნევა

ნახ.9.72 – მარეგულირებელი სარქველების ტიპები.



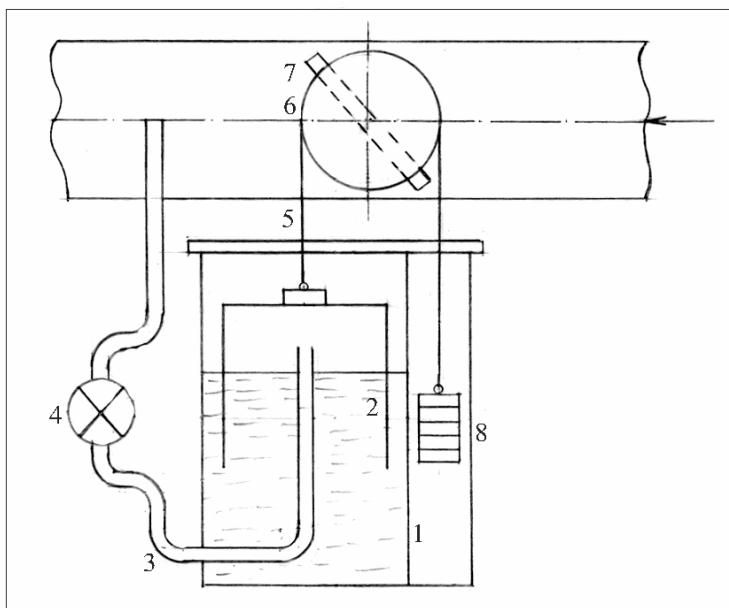
ნახ.9.72. მარეგულირებელი სარქველების ტიპები: ა) თევზა სარქველი; ბ) თევზა სარქველი კონუსური საყრდენი ზედაპირით; გ) ნემსისებრი სარქველი; 1 – პლუნჟერი; 2 – სარქველის ბუდე; h - პლუნჟერის სვლა

ნახ.9.73 – საბრუნო დროსელური საფარი (მრგვალი, ფურცლოვანი).



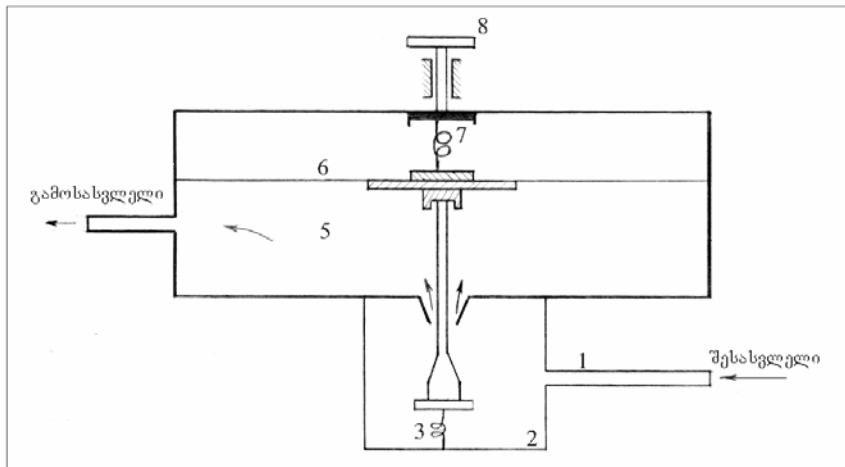
ნახ.9.73. საბრუნო დროსელური საფარი (მრგვალი, ფურცლოვანი)

ნახ.9.74 – პირდაპირი ქმედების წნევის რეგულატორი.



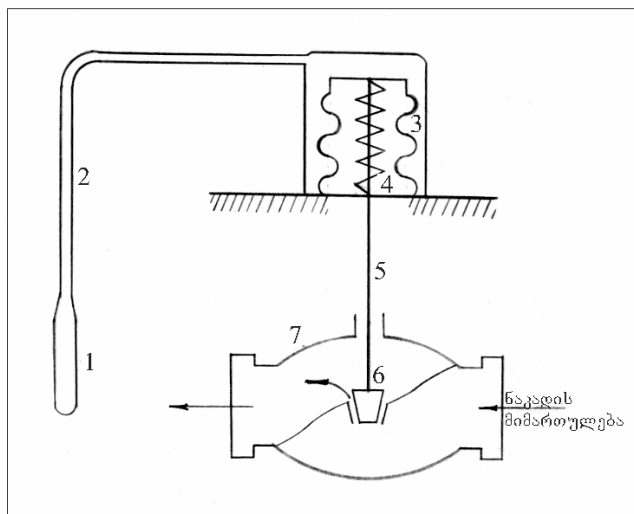
ნახ.9.74. პირდაპირი ქმედების წნევის რეგულატორი: 1 – ჭურჭელი სითხისათვის (მინერალური ზეთი ან წყალი); 2 – ზარხუფი; 3 – იმპულსური მილაკი; 4 – ვენტილი; 5 – მოქნილი ტროსი; 6 – შკივი; 7 – მკვეთარა; 8 – ტვირთი

ნახ.9.75 – პნევმატიკური რედუქტორის მოწყობილობის სქემა.



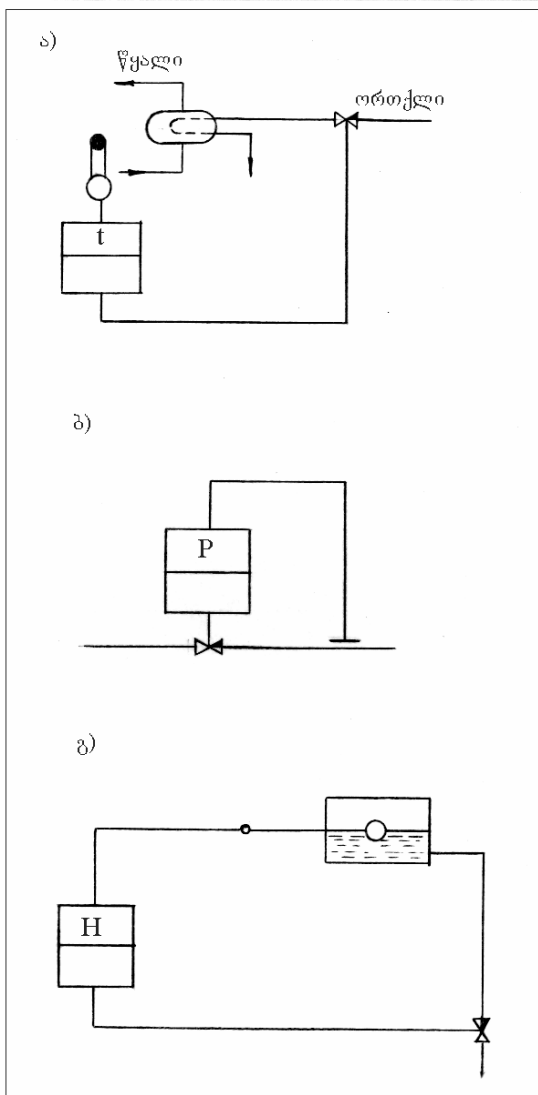
ნახ.9.75. პნევმატიკური რედუქტორის მოწყობილობის სქემა: 1 – მიმყვანი მილი; 2 - რედუქტორის კამერა; 3 – მკვეთარას ზამბარა; 4 – საქშენი; 5 – მემბრანის კამერა; 6 – მემბრანა; 7 – მავალელების ზამბარა; 8 – რედუქტორის თავი

ნახ.9.76 - PPD ტიპის პირდაპირი მოქმედების ტემპერატურის რეგულატორის მოწყობილობის სქემა.



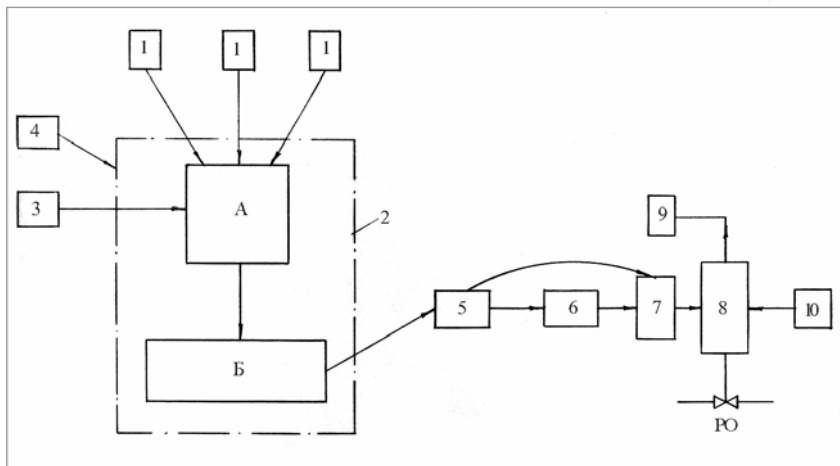
ნახ.9.76. PPD ტიპის პირდაპირი მოქმედების ტემპერატურის რეგულატორის სქემა: 1 - თერმობალონი; 2 – კაპილარი; 3 – სილფონი; 4 – ზამბარა; 5 – ჭოკი; 6 – მკვეთარა; 7 – მარეგულირებელი სარქველი

ნახ.9.77 – პირდაპირი ქმედების რეგულატორების პირობითი გამოსახულება.



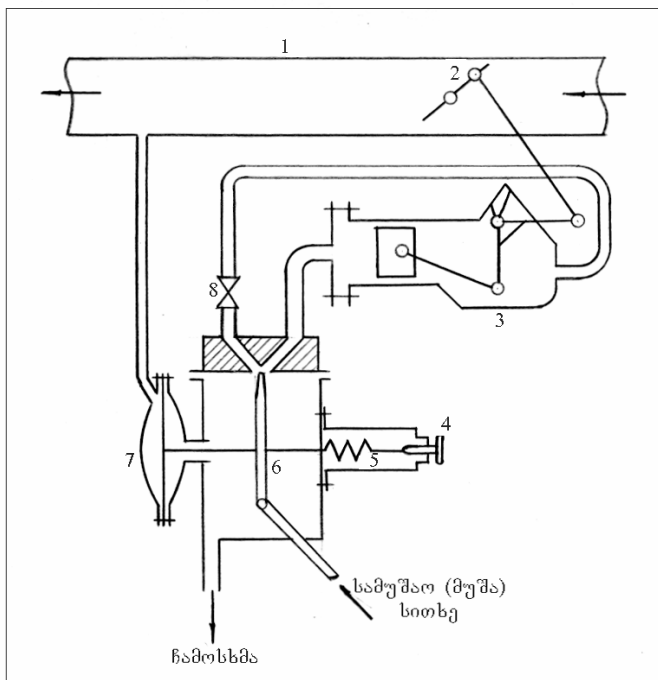
ნახ.9.77. პირდაპირი მოქმედების რეგულატორების პირობითი გამოსახულება: ა) ტემპერატურის რეგულირება; ბ) წნევის რეგულირება; გ) დონის რეგულირება

ნახ.9.78 – ელექტრონული რეგულატორის ფუნქციონალური სქემა.



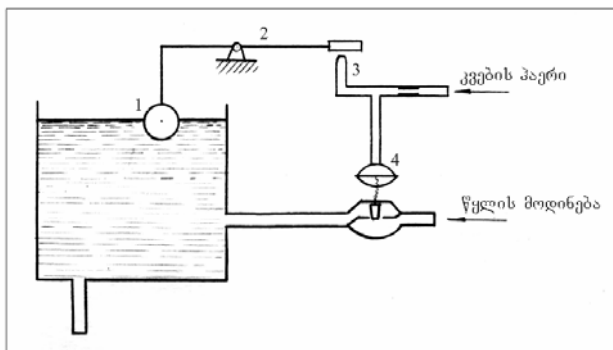
ნახ.9.78. ელექტრონული რეგულატორის ფუნქციონალური სქემა: 1 – პირველადი ხელსაწყო; 2 – მარეგულირებელი ხელსაწყო; 3 – ძაბვის სტაბილიზატორი; 4 – მავალბედი; 5 – გადამრთველი; 6 – დისტანციური მართვის გასაღები; 7 – მაგნიტური კონტაქტორი; 8 – აღმასრულებელი მექანიზმი; 9 – გამოსასვლელი ლილვი; 10 – ელექტრული მუხრუჭი; A - გამზომი ბლოკი; B - ელექტრონული ბლოკი; PO - მარეგულირებელი ორგანო

ნახ.9.79 – წნევის ერთკასკადიანი ჰაველური რეგულატორი.

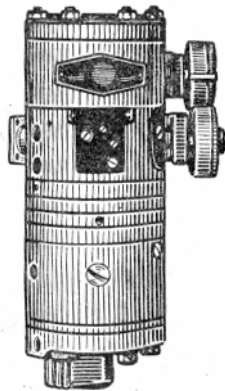


ნახ.9.79. წნევის ერთკასკადიანი ჰაველური რეგულატორი: 1 – მილ-სადენი; 2 - მარეგულირებელი ორგანო; 3 – ჰიდრაულიკური აღმასრულებელი მექანიზმი; 4 – ჭანჭიკი; 5 – ზამბარა; 6 – ჰაველური მილაკი; 7 – გამზომი მოწყობილობის მემბრანა; 8 – დროსელი

ნახ.9.80 – დონის რეგულირების პრინციპული სქემა “საქშენი-საფარი” გარდამქმნელის დახმარებით.

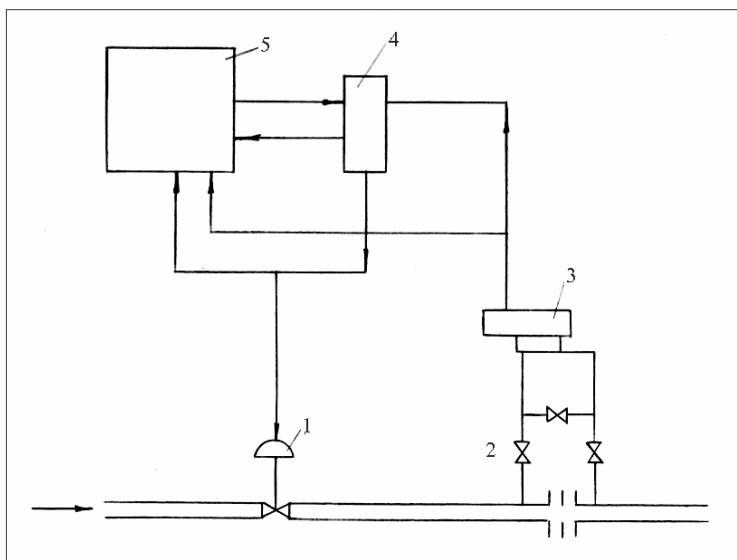


ნახ.9.80. დონის რეგულირების პრინციპული სქემა “საქშენი-საფარი” გარდამქმნელის დახმარებით: 1 – ტივტივა; 2 – მკვეთარა; 3 – საქშენი

$$1,4 \text{ g/d/bd}^2$$


445

ნახ.9.82 - ПАУС აპარატურის დახმარებით ხარჯის რეგულირების სტრუქტურული სქემა.



ნახ.9.82. ПАУС აპარატურის დახმარებით ხარჯის რეგულირების სტრუქტურული სქემა: 1 – მარეგულირებელი ორგანო; 2 – დიფრაგმა; 3 – პირველადი ხელსაწყო – დიფმანომეტრი პნევმატიკური გარდამსახით (ДМПК-4 ტიპისა); 4 – მარეგულირებელი ბლოკი (4РБ-32А ტიპისა); 5 – მეორადი მარეგულირებელი და მაჩვენებელი ხელსაწყო მავალებლით (ЗР.П-29В)