

იური მოღვაძე

მიკროელექტრონიკა

ნაწილი პირველი

ელექტრონული მაძლიერებლები I

(III კურსის II სემესტრის ლექციების კონსპექტი)

თ ბ ი ლ ი ს ი

1. მაძლიერებელთა კლასიფიკაცია
2. მაძლიერებლის სტრუქტურული სქემა
3. მაძლიერებლის ძირითადი მაჩვენებლები
 - 3.1. შესასვლელი და გამოსასვლელი მაჩვენებლები
 - 3.2. გაძლიერების კოეფიციენტი
 - 3.3. მარგიქმედების კოეფიციენტი (მქკ)
 - 3.4. სიგნალის დამახინჯება მაძლიერებელში
4. ამპლიტუდური მახასიათებელი და დინამიური დიაპაზონი
5. უკავშირი მაძლიერებელში
6. უკუკავშირის გავლენა მაძლიერებლის ძირითად პარამეტრზე

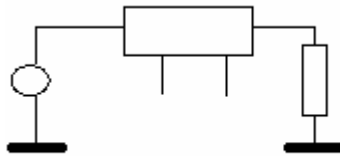
I. ელექტრონული მაძლიერებლები

1. მაძლიერებელთა კლასიფიკაცია

ელექტრონული მაძლიერებელი ფართოდ გამოიყენება ელექტროკავშირში, ავტომატიკასა და ტელემექანიკაში, ელექტრონულ-გამომთვლელ და მრავალ სხვა მოწყობილობებში.

ენერჯიის მართვას, როდესაც მართვის პროცესი არის უწყვეტი და მდორე ეწოდება გაძლიერება, ხოლო მოწყობილობას მაძლიერებელი. მმართველი და სამართავი სიგნალების მიხედვით მაძლიერებელი შეიძლება იყოს სხვადასხვა. კერძოდ, ელექტრული, მექანიკური, სინათლის და სხვა. ჩვენ განვიხილავთ ელექტრული სიგნალის მაძლიერებელს.

გასაძლიერებელი სიგნალი მიეწოდება მაძლიერებლის შესასვლელს (ნახ. 1.1). იმ მოწყობილობას



ნახ. 1.1

საიდანაც მიიღება გასაძლიერებელი სიგნალი ეწოდება სიგნალის წყარო, ხოლო წრედს რომლითაც ეს სიგნალი შეყავთ მაძლიერებელში ეწოდება შესასვლელი წრედი ანუ უბრალოდ მაძლიერებლის შესასვლელი. მოწყობილობას რომელიც მოიხმარს გაძლიერებულ სიგნალს ეწოდება მაძლიერებლის დატვირთვა, ხოლო წრედს მაძლიერებლის გამოსასვლელი წრედი.

ენერჯიის წყაროს, რომლის ხაჯჯეც მიიღება გაძლიერებული სიგნალი ეწოდება კვების წყარო.

ამრიგად, მაძლიერებლის შესასვლელზე მიეწოდება სუსტი ელექტრო სიგნალი და მის გამოსასვლელზე კვების წყაროს საშუალებით ვლევულობთ გაძლიერებულ სიგნალს. გაძლიერებული სიგნალი იცვლება იგივე კანონით როგორითაც შესასვლელი სიგნალი.

მაძლიერებელთა კლასიფიკაცია შესაძლებელია როგორც გასაძლიერებელი სიგნალის სახის, ისე მისი დანიშნულებისა და გამოყენებული მაძლიერებელი ხელსაწყოების მიხედვით.

გასაძლიერებელი სიგნალის მიხედვით განასხვავებენ ჰარმონიულ და იმპულსურ სიგნალების მაძლიერებლებს. ჰარმონიული სიგნალების მაძლიერებლის დანიშნულებაა დროში უწყვეტი პერიოდული სიგნალების გაძლიერება, რომელთა სიხშირული სპექტრი წარმოადგენს სასრული რაოდენობის ჰარმონიული რხევების ჯამს. პერიოდული სიგნალების გაძლიერების პროცესში აუცილებელია სიგნალის სიხშირული სპექტრისა და ყველა ჰარმონიული შემდგენის ამპლიტუდებს შორის თანაფარდობის შენარჩუნება. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება მიკროფონული, სატელეფონო, რადიოსამაუწყებლო, ბგერის ჩამწერი აღმწარმოებელი მაძლიერებლები.

იმპულსური სიგნალის მაძლიერებელი ემსახურება სხვადასხვა ფორმისა და სიდიდის ელექტრული იმპულსების გაძლიერებას. იმპულსური მაძლიერებლის თვისებებს განსაზღვრავს გარდამავალი პროცესები. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება სატელევიზიო, სატელეფონო, რადიოსალოკაციო და სხვა მაძლიერებლები.

სიხშირული ზოლის მიხედვით ანსხვავებენ მუდმივი და ცვლადი დენის მაძლიერებლებს. მუდმივი დენის მაძლიერებელი აძლიერებს სიგნალის როგორც მუდმივ, ისევე ცვლად (ჰარმონიულ) შემდგენებს. მუდმივი დენის მაძლიერებლის სიხშირული ზოლის ქვედა (დაბალი) სიხშირე $f_{\text{დ}} = 0$, ხოლო ზოლის ზედა (მაღალი) $f_{\text{გ}}$ სიხშირეს განსაზღვრავს გასაძლიერებელი სიგნალი. ცვლადი დენის მაძლიერებელი აძლიერებს სიგნალის მხოლოდ ცვლად შემდგენს $\omega \neq 0$ - დან $f_{\text{გ}}$ სიხშირემდე.

$f_{\text{დ}}$ და $f_{\text{გ}}$ სიხშირეთა მნიშვნელობის მიხედვით განასხვავებენ:

1. ბგერითი სიხშირის მაძლიერებელს, რომელიც აძლიერებს სიგნალის 20 ჰც-დან 20000 ჰც-მდე სიხშირულ ზოლში. კარგი ხარისხის ბგერადობის უზრუნველსაყოფად საკმარისია უფრო ვიწრო ზოლი ($50 \div 10000$ ჰც), ხოლო სატელეფონო მაძლიერებლისათვის საკმარისია 300 ÷ 3400 ჰც.

2. მაღალ და შუალედურ სიხშირის მაძლიერებელს, რომლის დანიშნულებაა რადიო და შუალედური სიხშირის მოდულირებული რხევების გაძლიერება. მათ ახასიათებთ მაღალი და დაბალი სიხშირეთა ფარდობის მცირე მნიშვნელობა ($f_{\text{გ}}/f_{\text{დ}} < 1,1$).

3. ვიდეოსიხშირის მაძლიერებელს, რომელიც სიგნალს აძლიერებს 50 ჰც-დან 6 მკც სიხშირეთა ზოლში და გამოყენება იმპულსური კავშირგაბმულობის, სატელევიზიო და რადიოსალოკაციო მოწყობილობებში. მაძლიერებელს, რომელის $f_{\text{გ}} \geq 1$ მკც, ხოლო $f_{\text{დ}} \leq 1$ კკც ეწოდება ფართოზოლოვანი.

4. ამორჩეული ანუ სელექციური მაძლიერებელი, რომლის დანიშნულებაცაა გააძლიეროს ვიწრო სიხშირის ზოლის მქონე სიგნალი. თუ სიგნალის სიხშირე გამოდის ამ ზოლიდან, მაშინ მაძლიერებლის გაძლიერების სიდიდე მკვეთრად ეცემა.

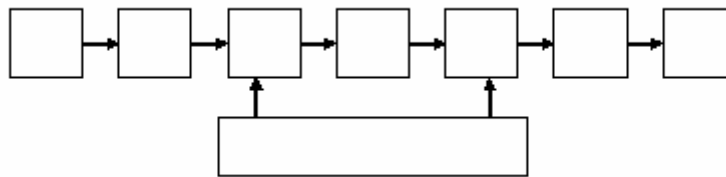
გამოყენებული მაძლიერებელი ხელსაწყოების მიხედვით არჩევენ ტრანზისტორულ, ელექტრონილაკიან, პარამეტრულ და ქვანტურ მაძლიერებლებს. ტრანზისტორული მაძლიერებელი არის უინერციო, ხანგამძლე, ეკონომიური და ვიბრაციის მიმართ მდგრადი. მის ნაკლს წარმოადგენს საკუთარი ხმაურის მაღალი დონე, ერთტიპური ტრანზისტორების პარამეტრების გაფანტულობა და დიდი ტემპერატურული დამოკიდებულება. ელექტრონილაკიანი მაძლიერებელი პრაქტიკულად მგრძობიარე არ არის ტემპერატურისა და კლიმატური პირობების ცვლილების მიმართ და გააჩნიათ მცირე საკუთარი ხმაური, მაგრამ ნაკლებად ეკონომიურია მოთხოვნილი ელექტროენერჯის მიმართ და ელექტრონული მილაკები ხასიათდებიან მუშაობის მოკლე ვადით, ამიტომ ისინი პრაქტიკულად აღარ გამოიყენებიან.

მაძლიერებელთა კლასიფიკაცია შესაძლებელია აგრეთვე მათი დანიშნულების (სატელევიზიო, სადენიანი მაუწყებლობის შორეული კავშირის და ა.შ.) და კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით (დისკრეტული ტექნოლოგიით ან მიკროსქემატექნიკის საფუძველზე).

2. მაძლიერებლის სტრუქტურული სქემა.

ელექტრონული მაძლიერებელი წარმოადგენს რადიოტექნიკურ მოწყობილობას, რომელიც აძლიერებს ელექტრული სიგნალის სიმძლავრეს, ძაბვას ან დენს.

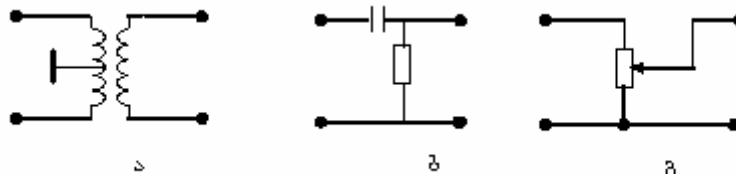
მაძლიერებლის ზოგადი სტრუქტურული სქემა მოცემულია ნახ.2-1-ზე. იგი შესდგება შემდეგი ბლოკებისაგან:



ნახ. 2.1

1. სიგნალის წყარო (სწ). სიგნალის წყაროს შეიძლება წარმოადგენდეს ნებისმიერი გარდაქმნელი, რომელიც რაიმე სახის ენერჯიას გარაქმნის ელექტრულ რხევად (მიკროფონი, ბეერათამრთმევი, მაგნიტური თავი, რადიოტექნიკური მოწყობილობა, გადამწოდი და სხვა).

2 შესასვლელი მოწყობილობა (შმ). იგი არის სიგნალის წყაროს მაძლიერებელთან კავშირის წრედი და ემსახურება სიგნალის მიწოდებას, სიგნალის წყაროდან მაძლიერებელი ხელსაწყოს შესავალ წრედში და ახდენს წინაღობებისა და სიგნალის დონეთა შეთანხმებას. შმ შეიწლება იყოს: მასიმეტრიული ტრანსფორმატორი (ნახ.2.2ა), რომელიც გარდაქმნის მაძლიერებლის არასიმეტრიულ შესავალ წრედს სიმეტრიულად; რეზისტორი გამყოფი კონდენსატორით (ნახ.2.2ბ), რომელიც უზრუნველყოფს დენის ან ძაბვის მუდმივი შემდგენების განცალკევებას სიგნალის წყაროს გამოსავალ და მაძლიერებელი ხელსაწყოს შესავალ წრედებში; ცვლადი რეზისტორი (ნახ.2.2გ), რომლის გამოყენებაც იძლევა მიწოდებულ სიგნალის დონის რეგულირების საშუალებას.



ნახ.2.2

3. წინასწარი მაძლიერებელი (წმ). მისი დანიშნულებაცაა გააძლიეროს სიგნალი იმ დონემდე, რომ შესაძლებელი იქნეს მძლავრი მაძლიერებლის მუშაობა. წმ შეიძლება შესდგებოდეს რამოდენიმე მაძლიერებელი ბლოკისაგან. თუ სწ მიერ მიწოდებული ძაბვა და დენი ისეთია, რომ შესაძლებელია მძლავრი მაძლიერებლის მუშაობა მაშინ წმ შეიძლება არ გამოიყენოთ.

სიგნალის გაძლიერება ხორციელდება ელექტრონული ხელსაწყოს (ტრანზისტორი, ელექტრონილაკი, ინტეგრალური მიკროსქემა) საშუალებით, კვების წყაროდან მოხმარებული

ელექტროენერჯის ხარჯზე. მაძლიერებელი ხელსაწყო (ტრანზისტორი) სხვა ელემენტებთან ერთად, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაძლიერებლის მუშაობის რეჟიმს ეწოდება მაძლიერებელი კასკადი.

4. კასკადებს შორის კავშირი (კკ). იგი უზრუნველყოფს სხვადასხვა კასკადების დაკავშირებას და აწყობილია პასიურ ელემენტებზე. მას შემდეგ განვიხილავთ.

5. სიმძლავრის მაძლიერებელი (სმ). იგი წარმოადგენს გამოსავალ (ბოლო) კასკადს და უზრუნველყოფს მოთხოვნილ სიმძლავრეს დატვირთვაში. ის მუშაობს მაძლიერებელში ყველაზე მაღალი დონის სიგნალით.

6. გამოსასვლელი მოწყობილობა (გმ). მისი საშუალებით გაძლიერებული სიგნალი მიეწოდება დატვირთვას. გამოსავალი მოწყობილობა—გამოსავალი ტრანსფორმატორის სახით, უზრუნველყოფს მაძლიერებელი ხელსაწყოს ოპტიმალურ დატვირთვას. აგრეთვე, მაძლიერებლის გამოსავალი წინააღობისა და დატვირთვის წინააღობის შეთანხმებას ან გამოსავლის სიმეტრიულობას. მაძლიერებლის გამოსავალი წრედისა და დატვირთვის გასაყოფად, დენისა და ძაბვის მუდმივი შემდეგნების მიმართ. გამოსავალი მოწყობილობის სახით გამოიყენება გამყოფი კონდენსატორი. როდესაც შესაძლებელია დატვირთვის უშუალოდ ჩართვა ბოლო კასკადის გამოსავალ წრედში, გამოსავალი მოწყობილობა არ გამოიყენება

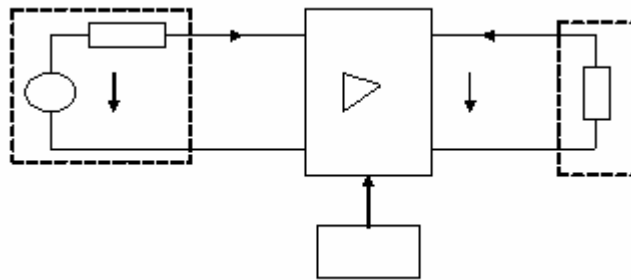
7. დატვირთვა (დ). მაძლიერებლის დატვირთვა შეიძლება იყოს სხვადასხვა მოწყობილობები, რომლებიც ელექტრულ ენერჯიას გარდაქმნიან არაელექტრულ ენერჯიად, მაგ: ხმამაღლა მოლაპარაკე, ინდიკატორული მოწყობილობა, შუქსანათი ან გამახურებელი ხელსაწყოები და სხვა.

8. კვების წყარო (კვ). იგი მაძლიერებელს აწვდის კვების ძაბვას, რომელიც უნდა იყოს მუდმივი და სტაბილური.

რეალური მაძლიერებელი ყოველთვის არ შეიცავს სტრუქტურული სქემის ყველა ელემენტს: თუ მაძლიერებლის დატვირთვას წარმოადგენს მცირე სიდიდის ტევადობა (მაგ. კინესკოპის მოდულიატორ—კათოდის ტევადობა), მაშინ დატვირთვაზე აუცილებელია მხოლოდ სიგნალის ძაბვის უზრუნველყოფა და არა სიმძლავრის. ამ შემთხვევაში სიმძლავრის მაძლიერებელი საჭირო არ არის და მაძლიერებლის გამოსასვლელ კასკადს წარმოადგენს წინასწარი გაძლიერების კასკადი. თუ სიგნალის წყაროს ძაბვა, დენი და სიმძლავრე საკმარისია სიმძლავრის მაძლიერებლის შესასვლელზე მისაწოდებლად, მაშინ მაძლიერებელი წინასწარი გაძლიერების კასკადს არ შეიცავს და ა.შ.

3. მაძლიერებლის ძირითადი მაჩვენებლები

ელექტრული მაძლიერებლის თვისებებს ახასიათებენ საექსპლუატაციო და ხარისხობრივი მაჩვენებლებით. პირველს მიეკუთვნება: შესავალი და გამოსავალი მაჩვენებლები, გაძლიერებისა და მარგი ქმედების კოეფიციენტები; ხოლო მეორეს—სიგნალის გაძლიერების სიხშირული დიაპაზონი, სიგნალის დამახინჯება, დაბრკოლებათა დონე და სხვა. განვიხილოთ ნახ. 3.1.



ნახ. 3.1

3.1. შესასვლელი და გამოსასვლელი მაჩვენებლები.

მაძლიერებლის შესასვლელ მაჩვენებლებს მიეკუთვნება: შესასვლელი ძაბვა — $U_{\text{შეს}}$, შესასვლელი დენი — $I_{\text{შეს}}$ და შესასვლელი სიმძლავრე — $P_{\text{შეს}}$, რომლის დროსაც მაძლიერებელი უზრუნველყოფს დატვირთვაში მოთხოვნილ სიმძლავრეს, ძაბვას და დენს; აგრეთვე, შესასვლელი წინააღობა — $Z_{\text{შეს}}$, რომელიც საერთოდ კომპლექსური სიდიდეა, მაგრამ შესასვლელი სიმძლავრე, ძაბვა და დენი ჩვეულებრივ განისაზღვრება მაშინ, როცა შესასვლელი წინააღობა შეიძლება ჩავთვალოთ როგორც აქტიური — $R_{\text{შეს}}$ ის ტოლი

$$P_{\text{შეს}} = 0,5U_{\text{შეს.მ}}I_{\text{შეს.მ}} = U_{\text{შეს.მ}}I_{\text{შეს}} = U_{\text{შეს}}/R_{\text{შეს}} = I_{\text{შეს}}R_{\text{შეს}}$$

სადაც $U_{\text{შეს.მ}}$ და $I_{\text{შეს.მ}}$ — დენის და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობებია მაძლიერებლის შესასვლელზე.

გამოსასვლელ მანვენებლებს მიეკუთვნება: გამოსავლელი ძაბვა, დენი, სიმძლავრე და წინაღობა. შესაბამისად — $U_{\text{გამ}}, I_{\text{გამ}}, P_{\text{გამ}}, Z_{\text{გამ}}$. $Z_{\text{გამ}}$ — ზოგად შემთხვევაში კომპლექსური სიდიდეა, თუმცა უმრავლეს შემთხვევაში ის არ წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარამეტრს.

გამოსასვლელი სიმძლავრე ეს ის სიმძლავრეა, რომელსაც მაძლიერებელი აძლევს დატვირთვას. დატვირთვაც ზოგად შემთხვევაში კომპლექსური სიდიდეა, მაგრამ გამოსასვლელი მანვენებლები ჩვეულებრივ განისაზღვრება მანძინ, როცა დატვირთვა შეიძლება ჩაითვალოს აქტიურ სიდიდეთ — $R_{\text{დ}}$.

$$P_{\text{გამ}} = 0,5U_{\text{გამ.მ}}I_{\text{გამ.მ}} = U_{\text{გამ.მ}}I_{\text{გამ}} = U_{\text{გამ}}/R_{\text{დ}} = I_{\text{გამ}}R_{\text{დ}}$$

3.2. გაძლიერების კოეფიციენტი

ძაბვის, დენის ან სიმძლავრის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი გვინვენებს თუ რამდენჯერ მეტია მაძლიერებლის გამოსასვლელი ძაბვა, დენი ან სიმძლავრე შესაბამისად შესასვლელ ძაბვასთან, დენთან ან სიმძლავრესთან შედარებით და განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$K_u = K = U_{\text{გამ}}/U_{\text{შეს}}, \quad K_i = I_{\text{გამ}}/I_{\text{შეს}}, \quad K_p = P_{\text{გამ}}/P_{\text{შეს}}$$

გაძლიერების კოეფიციენტები წარმოადგენენ კომპლექსურ სიდიდეებს, რადგან დატვირთვასა და მაძლიერებლის წრედებში რეაქტიული შემდგენების არსებობის გამო, გამოსავალი ძაბვა და დენი ფაზით არ ემთხვევა შესავალ ძაბვასა და დენს.

კავშირგაბმულობის ტექნიკაში, ტექნიკურ მანვენებლებს ხშირად გამოსახავენ ლოგარითმულ ერთეულში—დეციბელში (დბ) ან ნეპერებში (ნპ). გაძლიერების კოეფიციენტი დბ გამოითვლება ფორმულებით $G = 20\lg K$, $G_i = 20\lg K_i$, $G_p = 10\lg K_p$; ხოლო ნპ — ფორმულებით $G = \ln K$, $G_i = \ln K_i$, $G_p = 0,5\ln K_p$; ამ შემთხვევაში ფარდობით ერთეულებში გაძლიერების კოეფიციენტები გამოისახება

$$K_u = 10^{G/20}, \quad K_i = 10^{G/20}, \quad K = 10^{G/10} \text{ ან } K_u = e^{G/20}, \quad K_i = e^{G/20}, \quad K = e^{G/10}$$

ნეპერებიდან დეციბელებში გადასაყვანი ფორმულაა $(G)_{\text{ნპ}} = 0,115(G)_{\text{დბ}}$, ხოლო პირიქით $(G)_{\text{დბ}} = 8,7(G)_{\text{ნპ}}$

მრავალკასკადიან მაძლიერებლის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი ტოლია:

$$K = K_1 K_2 \cdots K_n, \quad G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$$

ბიპოლარულ ტრანზისტორებზე აგებულ მაძლიერებლებში, რომელთაც გაანჩნით მცირე შესავალი წინაღობა, სარგებლობენ გამჭოლი გაძლიერების კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს მაძლიერებლის გამოსავალი ძაბვისა და შესავალი სიგნალის ე.მ.ძ-ის დამყარებულ ამპლიტუდათა მნიშვნელობების შეფარდებას.

$$K_E = U_{\text{გამ}}/E_{\text{ს}}, \quad G_E = 20\lg K_E \text{ ან } G_E = 20\ln K_E$$

დავამყაროთ კავშირი K_E და K_u კოეფიციენტებს შორის

$$K_E = \frac{U_{\text{გამ}}}{E_{\text{ს}}} * \frac{U_{\text{შეს}}}{U_{\text{შეს}}} = K\alpha,$$

სადაც $\alpha = U_{\text{შეს}}/E_{\text{ს}}$ -- მაძლიერებლის შესავალი წრედის ძაბვის გადაცემის კოეფიციენტი.

მაძლიერებლის შესავალი წრედისათვის სამართლიანია ტოლობები: (ნახ. 3.1)

$$U_{\text{შეს}} = I_{\text{შეს}}R_{\text{შეს}}, \quad I_{\text{შეს}} = E_{\text{ს}}/(R_{\text{ს}} + R_{\text{შეს}}),$$

საიდანაც

$$\alpha = U_{\text{შეს}} / E_b = R_{\text{შეს}} / (R_b + R_{\text{შეს}});$$

მაშასადამე, რაც უფრო მეტია შესავალი წინაღობა, სიგნალის წყაროს წინაღობასთან შედარებით, მით უფრო ახლოსაა α ერთთან, ხოლო $K_E - K$ -სთან.

მაძლიერებელში სხვადასხვა რიგის პარმონიკები სხვადასხვანაირად ძლიერდება ე.ი. მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი დამოკიდებული არის სისშირეზე. გაძლიერების კოეფიციენტის მოდულის დამოკიდებულებას სისშირეზე $K=f(\omega)$ ეწოდება ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებელი. ასევე სხვადასხვა რიგის პარმონიული მდგენელი მაძლიერებლის გამოსასვლელზე სხვადასხვა კუთხით დაიძვრება და ამ ძვრას ახასიათებენ φ ფაზის კოეფიციენტი. დამოკიდებულებას $\varphi=f(\omega)$ ეწოდება ფაზური-სისშირული მახასიათებელი.

პრაქტიკაში იყენებენ აგრეთვე ფარდობით გაძლიერების კოეფიციენტს. იგი ტოლია მოცემულ სისშირეზე გაძლიერების კოეფიციენტის ფარდობისა საშუალო სისშირეზე გაძლიერების კოეფიციენტთან.

$$Y=K/K_{\text{საშ}}$$

3.3. მარგიქმედების კოეფიციენტი (მქკ).

მაძლიერებელი კასკადის გამოსავალი წრედის მ.კ.კ. გამოიყენება მაძლიერებელი ხელსაწყოს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების შესაფასებლად და წარმოადგენს გამოსავალი წრედის მიერ გაცემული სიგნალის სიმძლავრის შეფარდებას, ამ წრედის მიერ კვების წყაროდან მოთხოვნილ სიმძლავრესთან

$$\eta_{\text{გ.ა}} = P/P_0$$

დიდი სიმძლავრის მაძლიერებლის მუშაობის ეკონომიურობის შესაფასებლად გამოიყენება სამრეწველო მ.კ.კ-ის ცნება. ის განისაზღვრება როგორც მაძლიერებლის დატვირთვაში გამოყოფილი სიმძლავრის ფარდობა, მაძლიერებლის ყველა წრედის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრეების ჯამთან

$$\eta = P_{\text{დ}} / \sum P$$

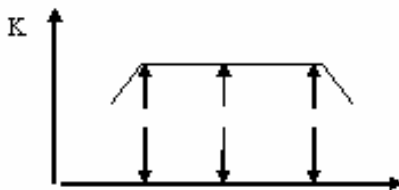
ჩვეულებრივ $\eta=0.2 \div 0.7$.

3.4. სიგნალის დამახინჯება მაძლიერებელში.

მაძლიერებლის გამოსავალზე სიგნალის ფორმის ნებისმიერ განსხვავებას შესავალი სიგნალის ფორმისაგან ეწოდება სიგნალის დამახინჯება. დამახინჯების გამომწვევი მიზეზის მიხედვით, განასხვავებენ სიგნალის წრფივ და არაწრფივ დამახინჯებას.

წრფივი დამახინჯება გამოწვეულია მაძლიერებლის რეაქტიური ელემენტებით (კონდენსატორი, ინდუქციურობა), რომელთა წინაღობები დამოკიდებულია სისშირეზე. პარმონიული სიგნალების მაძლიერებლის გამოსავალზე სიგნალის ფორმა შეიძლება განსხვავდებოდეს შესავალი სიგნალის ფორმისაგან ორი მიზეზის გამო: ა) შესავალი სიგნალის პარმონიული შემდგენელი ძლიერდებიან. სხვადასხვა სიდიდით, რადგან მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი დამოკიდებულია სისშირეზე; ბ) მაძლიერებლით გამოწვეული ფაზური ძვრა, რომელიც დამოკიდებულია სისშირეზე, ცვლის გამოსავალი სიგნალის პარმონიული შემდგენელ ურთიერთ დაძვრას დროში. სიგნალის დამახინჯებას პირველი შემთხვევაში ეწოდება სისშირული დამახინჯება, ხოლო მეორე შემთხვევაში – ფაზური.

სიგნალის სისშირული დამახინჯების შეფასება ხდება ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებლით (ნახ.3.2), რომელიც წარმოადგენს გაძლიერების კომპლესური კოეფიციენტის მოდულის დამოკიდებულებას სისშირეზე, როცა მაძლიერებლის შესავალზე მიეწოდება პარმონიული სიგნალის უცვლელი ძაბვა.



ნახ. 32

ვერტიკალურ ღერძზე k შეიძლება გადაზომილი იყოს როგორც წრფივ, ისე ლოგარითმულ მასშტაბში; ხოლო ჰორიზონტალურ ღერძზე სისშირე- f (ან კუთხური სისშირე $\omega=2\pi f$) გადაზომება

მხოლოდ ლოგარითმულ მაშტაბში, რის აუცილობლობაც გამოწვეულია თანამედროვე მაძლიერებლის ფართოხლოვნებით.

ჰარმონიული სიგნალების მაძლიერებლის სამუშაო სიხშირეთა დიაპაზონი ეწოდება სიხშირეთა ზოლს f_d დაბალი სიხშირიდან f_g მაღალ სიხშირემდე, რომლის საზღვრებში გაძლიერების კოეფიციენტის მოდული (ზოგჯერ ფაზაც) არ გამოდის დასაშვები ფარგლებიდან.

f_d და f_g სიხშირეების შესაბამისად დაბალი და მაღალი მუშა სიხშირეები ეწოდება. მათ მნიშვნელობებს (სიხშირულ დიაპაზონს) განსაზღვრავს გასაძლიერებელი სიგნალის სიხშირული სპექტრის შემადგენლობა და მაძლიერებლის ტექნიკური მანკვებლები.

სიგნალის სიხშირული დამახინჯების სიდიდე განისაზღვრება ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის არათანაბრობით სამუშაო სიხშირეთა დიაპაზონში. სიხშირული დამახინჯების კოეფიციენტი ტოლია:

$$M = K_0 / K_f = 1/Y$$

სადაც K_0 — გაძლიერების კოეფიციენტი საშუალო სიხშირეზე (ბგერითი სიხშირის მაძლიერებელში $f_{საშ} = 1$ კჰც), ხოლო K_f — განსახილველი სიხშირეზე.

კავშირგაბმულობის ტექნიკაში სიხშირული დამახინჯების სიდიდეს გამოსახავენ დეციბელით $M(დბ) = 20 \lg M$

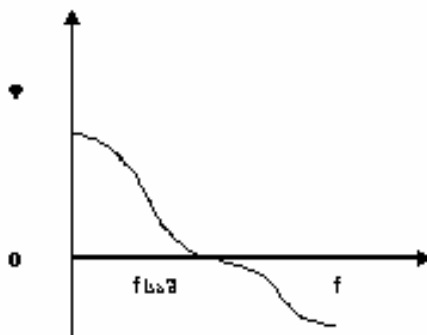
იმ სიხშირეებზე სადაც $M=1$ ($M(დბ) = 0$), სიგნალის სიხშირულ დამახინჯებას ადგილი არა აქვს.

მრავალკანკადიან მაძლიერებელში M_1, M_2, \dots, M_n კოეფიციენტებით, საერთო დამახინჯების კოეფიციენტი ტოლია $M = M_1 M_2 \dots M_n$ ან $M(დბ) = M_1(დბ) + M_2(დბ) + \dots + M_n(დბ)$.

სიხშირული დამახინჯების დასაშვები სიდიდე დამოკიდებულია მაძლიერებლის დანიშნულებაზე. მაგალითად, საშუალო ხარისხის ბგერითი სიხშირის მაძლიერებელში სიხშირული დამახინჯება დასაშვებია $\pm (2-4)$ დბ ფარგლებში, რასაც სმენის ორგანო ნაკლებად გრძნობს.

მაძლიერებლების სქემის სიხშირული თვისების ანალიზისა და პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მოხერხებულია ნორმირებული სიხშირული მახასიათებლის გამოყენება. მახასიათებლის ნორმირება შესაძლებელია როგორც ერთ-ერთ ღერძზე, ისე ორივეზე. ვერტიკალურ ღერძის ნორმირებისათვის მასზე გაიზომება ფარდობითი გაძლიერების კომპლექსური კოეფიციენტის მოდული; ხოლო პორიზონტალურ ღერძზე ნორმირებული სიხშირე, რომელიც წარმოადგენს სიხშირისა და სქემის ელექტრული სიდიდის ნამრავლს.

სიგნალის ფაზური დამახინჯება განისაზღვრება ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლიდან, რომელიც წარმოადგენს გამოსავალ და შესავალ ძაბვებს (დენებს) შორის ფაზეს ძვრის დამოკიდებულებას სიხშირეზე, როცა მაძლიერებლის შესავალზე მოქმედებს სინუსოიდური სიგნალი (ნახ.3.3). ფაზური დამახინჯების სწორი შეფასებისათვის ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელს აგებენ წრფივ მაშტაბში.

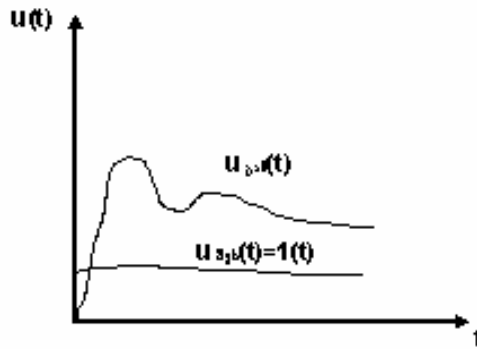


როცა $\varphi > 0$ გამოსავალი ძაბვა წინ უსწრებს შესავალს, ხოლო $\varphi < 0$ შემთხვევაში — ჩამორჩება. თუ რთული სიგნალის ჰარმონიკა დაიძვრება ერთი და იგივე ფაზით, მაშინ სიგნალის დამახინჯებას ადგილი არ ექნება.

მიუხედავად იმისა, რომ ფაზური დამახინჯების დროს სიგნალის ფორმა იცვლება, მას სმენის ორგანო ვერ გრძნობს და ამიტომ, ბგერითი სიხშირის მაძლიერებელი ფაზური დამახინჯების სიდიდით შეზღუდული არ არის. ვიდრე მაძლიერებლებში სიგნალის ფაზური დამახინჯება გავლენას ახდენს გამოსახულების ხარისხსა და ფორმაზე. ფაზური დამახინჯების დასაშვები სიდიდე, რომელსაც მხედველობის ორგანო თითქმის ვერ გრძნობს, დაბალი სიხშირეზე შეადგენს $4-5^\circ$ -ს ხოლო მაღალ სიხშირეზე — $20-30^\circ$ -ს.

ვინაიდან ამპლიტუდურ-სიხშირულ და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლებს შორის არსებობს ცალსახა კავშირი, ამიტომ ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი ხშირათ არ გამოიყენება, რადგან მოცემული სახის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი უზრუნველყოფს ფაზურ დამახიჯებას სიდიდის დასაშვებ საზღვრებში.

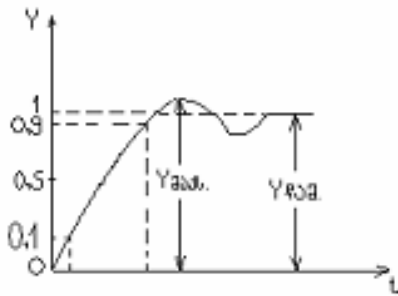
იმპულსური სიგნალების მაძლიერებლებში სიგნალის წრფივი დამახინჯება გამოწვეულია ძაბვების და დენების დამყარების გარდამავალი პროცესებით წრედებში, რომლებიც შეიცავენ რეაქტიულ წინაღობებს. ასეთ დამახინჯებას ეწოდება გარდამავალი დამახინჯება და განისაზღვრება გარდამავალი მახასიათებლის საშუალებით, როცა მაძლიერებლის შესავალზე მოქმედებს ერთეულოვანი ფუნქციის სახის ძაბვა (ნახ.3.4)



ნახ.3.4

ანალიზისა და პრაქტიკული გაანგარიშების დროს ჩვეულებრივ იყენებენ ნორმირებულ გარდამავალ მახასიათებელს. ამ დროს ვერტიკალურ ღერძზე გადაიზომება გამოსავალი ძაბვის მყისი და დამყარებული მნიშვნელობის ფარდობა $y = u_{გამ} / u_{დაბ}$, ხოლო ჰორიზონტალურ ღერძზე-ნორმირებული დროს x , რომელიც წარმოადგენს t დროის ფარდობას სქემის ელექტრულ სიდიდეთა ერთობლიობასთან, რომელსაც დროის განზომილება აქვს.

განახსხვავებენ გასაძლიერებელი იმპულსის ფრონტებისა და მწვერვალის დამახიჯებებს. მაძლიერებლებში ფრონტის დამყარების პროცესი მიმდენარეობს დროში, რომელიც ბევრად ნაკლებია გასაძლიერებელი იმპულსის ხანგრძლივობაზე, რის გამოც ფრონტის დამახინჯება მოხერხებულია განისაზღვროს ე.წ. მცირე დროის უბნის მახასიათებლიდან, რომლის დროის ღერძის მასშტაბი ძლიერ გაჭიმულია (ნახ.3.5).

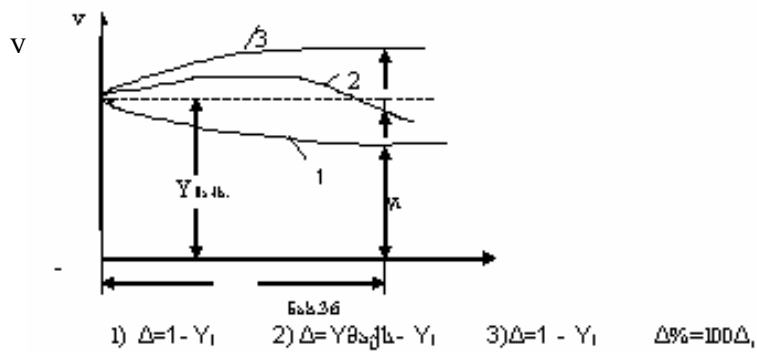


ნახ.3.5

იმპულსის ფრონტის დამახინჯება განისაზღვრება ფრონტის დამყარების დროით და ფრონტის ავარდნით. დამყარების დრო წარმოადგენს დროის ინტერვალს, რომლის განმავლობაში გამოსავალი სიგნალი იზრდება დამყარებული მნიშვნელობის 0.1 დონიდან 0.9 დონემდე $t_{დაბ} = t_{0,9} - t_{0,1}$; ხოლო ფრონტის

ავარდნა განისაზღვრება გარდამავალი მახასიათებლის მაქსიმალური და დამყარებული ორდინატების სხვაობით $\delta\% = y_{ავს} - 1$ და მას ჩვეულებრივ გამოსახავენ პროცენტებში $\delta\% = 100\delta$.

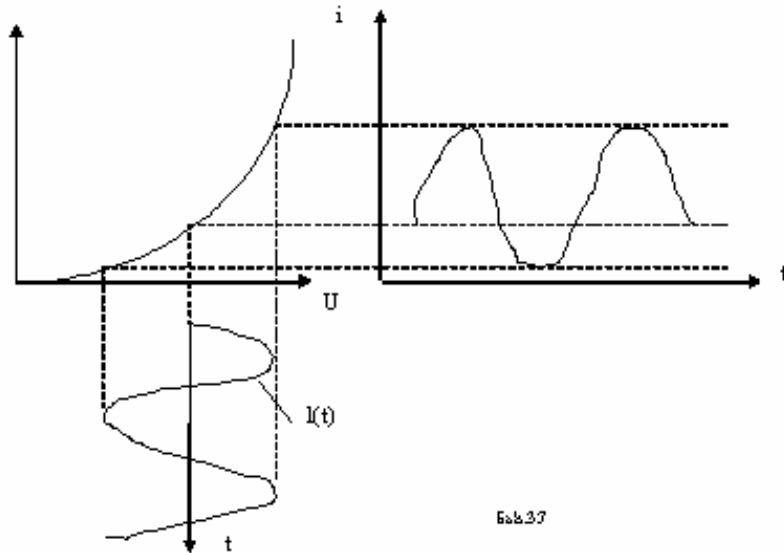
მწვერვალის დამახინჯება განისაზღვრება დიდი დროის უბნის გარდამავალი მახასიათებლიდან, რომლის დროს ღერძის მასშტაბი ძალიან მცირეა. იმპულსის მწვერვალის ცვლილების სახის მიხედვით (ნახ.3.6), დამახინჯების სიდიდე განისაზღვრება:



სადაც Y_t ორდინატა შეესაბამება t ხანგრძლივობის იმპულსის დასასრულს.

იმპულსური მაძლიერებლის თვისების შესაფასებლად ზოგჯერ სარგებლობენ აგრეთვე იმპულსის დაყოვნების დროით, რომლის განმავლობაში მცირე დროის უბნის ნორმირებული გარდამავალი მახასიათებლის (ნახ.3.5) ორდინატა აღწევს **0.5-ს**.

სიგნალის არაწრფივი დამახინჯება გამოწვეულია მაძლიერებელი ხელსაწყოების (ტრანზისტორის, ელექტრომილაკი) მახასიათებლისა და დროსელების გულარის დამახინჯების მახასიათებელთა არაწრფივობით.



თუ მაძლიერებელი ხელსაწყოს ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელზე (ნახ.3.7) მოქმედებს f სიხშირის სინუსოიდური $e(t)$ ძაბვა, მაშინ მახასიათებლის არაწრფივობას გამო, $i(t)$ დენი წარმოადგენს პერიოდულ არასინუსოიდურ პუნქციას და ის შეიცავს ძირითად f სიხშირის ჰარმონიკებს, რომელთა სიხშირეებია: **2f, 3f** და ა.შ. და მათ არ შეიცავდა $e(t)$ სიგნალი.

რაც უფრო მეტია მახასიათებლის არაწრფივობა, მით მეტია გამოსასვლელ სიგნალში მაღალი ჰარმონიკების ინტენსივობა და მეტია სიგნილის არაწრფივი დამახინჯება. დამახინჯების სიდიდე განისაზღვრება ჰარმონიკების კოეფიციენტით:

$$k_3 = \sqrt{I_2 + I_3 + I_4 + \dots} / I_1 = \sqrt{U_2 + U_3 + U_4 + \dots} / U_1$$

სადაც $I_1, I_2, I_3, I_4,$ და ა.შ; $U_1, U_2, U_3, U_4,$ და ა.შ. წარმოადგენენ შესაბამისად გამოსასვლელი დენისა და ძაბვის პირველი, მეორე, მესამე, მეოთხე და ა.შ. ჰარმონიკების მოქმედ ან ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს.

გაანგარიშებებისას ზოგჯერ სარგებლობენ მეორე, მესამე და ა.შ. ჰარმონიკების კოეფიციენტით:

$$k_{32} = I_2/I_1 = U_2/U_1, \quad k_{33} = I_3/I_1 = U_3/U_1, \quad \text{და ა.შ.}$$

ცხადია, რომ $k_3 = \sqrt{k_{32} + k_{33} \dots}$

სადენიანი კავშირგაბმულობის ტექნიკაში მაძლიერებლის არაწრფივობის შესაფასებლად სარგებლობენ მეორე, მესამე, მეოთხე და ა.შ. ჰარმონიკების არაწრფივობის მიღვეით

$$a_{32}=20lgU_1/U_2=20lg1/k_{32}; a_{33}=20lgU_1/U_3=20lg1/k_{33}; \dots ;$$

პარმონიკების კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა დამოკიდებულია მაძლიერებლის დანიშნულებაზე. ბგერითი სიხშირის მაძლიერებლებში, როცა $k_{\Sigma} \leq 0.2-0.5\%$ სმენის ორგანო არაწრფივ დამახინჯებას ვერ შეიგრძნობს.

იმპულსურ მაძლიერებელში, მაძლიერებელი ხელსაწყოების მახასიათებელთა არაწრფივობა სხვადასხვაგვარად მოქმედებს სხვადასხვა ფორმის იმპულსების შემთხვევაში. რადგანაც ნებისმიერი იმპულსური სიგნალის სპექტრი შეიცავს მაღალი რიგის პარმონიკებს, ამიტომ არაწრფივობის შეფასება პარმონიკების კოეფიციენტის მეშვეობით შეუძლებელია.

ვიდეოსიგნალების მაძლიერებლებში, იმპულსის არაწრფივი დამახინჯების შეფასებისათვის სარგებლობენ არაწრფივობის კოეფიციენტით, რომელიც განისაზღვრება გამოსავალი დენის, სიგნალის ე. მ. ძ-ზე დამოკიდებულების მახასიათებლის დახრილობის ფარდობით ცვლილებით

$$\gamma = (S_{მაქ} - S_{მინ}) / S_{მაქ}$$

სადაც $S_{მაქ}$ და $S_{მინ}$ -მახასიათებლის მაქსიმალური და მინიმალური დახრილობებია სიგნალის მოქმედების უბანში.

მაძლიერებლის საკუთარი ხმაური. თუ მაძლიერებლის შესავალზე არ მიეწოდება სიგნალი, მაშინ გასმოსავალზე დატვირთვის პარალელურად ჩართული საკმაო მგრძობიარობის ვოლტმეტრი ყოველთვის აჩვენებს დატვირთვაზე რაღაც გარეშე ძაბვის არსებობას, რომელსაც მაძლიერებლის საკუთარ ან შინაგან ხმაურის ძაბვას უწოდებენ. მაძლიერებლის საკუთარი ხმაურის ძაბვა საშუალებას არ იძლევა გავაძლიეროთ მცირე ამპლიტუდის სიგნალები, რადგან ახდენს მათ ჩახშობას.

საკუთარი ხმაურის ძაბვა გამოწვეულია: გარეშე ველით, ფონით, მიკროფონული ეფექტით, სითბური ეფექტით და მაძლიერებლის ელემენტებით.

გარეშე ველით ხდება მაძლიერებლის წრედში ინდუქციის ემპ აღძვრა, რაც წარმოადგენს ხმაურის წყაროს. მის შესამცირებლად საჭიროა მაძლიერებელი დავაშოროთ გარეშე ველის წყაროს, მოვახდინოთ მისი ეკრანირება კვების წყაროზე დავაყენოთ განმახლოებელი ფილტრები და სხვა.

ფონს უწოდებენ გამოსასვლელზე ძაბვას, რომლის პარმონიკები ჯერადია იმ ძაბვის სიხშირისა, ვლებულობთ მაძლიერებლის კვების ძაბვას ანუ ქსალის ძაბვის. მის შესამცირებლად საჭიროა კვების ძაბვის კარგი ფილტრაცია, ეკრანირება და სხვა.

მაძლიერებლის წრედზე ან დეტალებზე მექანიკური ზემოქმედებით გამოსასვლელზე აღძრული ძაბვა გამოწვეულია მიკროფონული ეფექტით. მის შესამცირებლად საჭიროა გამოვიყენოთ ისეთი დეტალები, რომლებსაც აღნიშნული ეფექტი არ გააჩნია ან დავაყენოთ ამორტიზატორები.

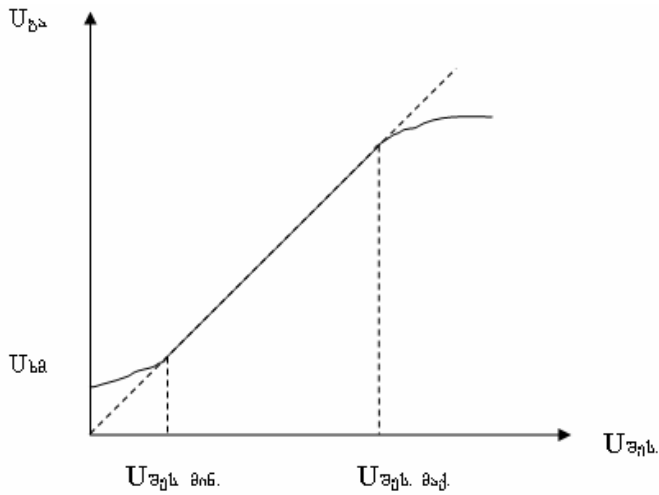
სითბური ეფექტი გამოწვეულია მაძლიერებლის (განსაკუთრებით შესასვლელ) წრედში ელექტრონების ქაოსური მოძრაობით. მისი შემცირება საკმაოდ ძნელია.

მაძლიერებელი ელემენტებით გამოწვეული ხმაურის წყარო არის აგრეთვე განპირობებული ელექტრონების ქაოსური მოძრაობით.

მიუხედავად იმისა, რომ მაძლიერებლის საკუთარი ხმაური შეიძლება გამოწვეული იქნეს მრავალი მიზეზით, სწორედ კონსტრუირებული მაძლიერებელში ხმაურის დონეს ძირითადად განსაზღვრავს შესავალი წრედის სითბური ხმაურისა და პირველი მაძლიერებელი ხელსაწყო ხმაურის ძაბვის მნიშვნელობები.

4. ამპლიტუდური მახასიათებელი და დინამიური დიაპაზონი

ამპლიტუდური მახასიათებელი წარმოადგენს მაძლიერებლის გამოსავალი და შესავალი ძაბვების ამპლიტუდური ან მოქმედი მნიშვნელობების დამოკიდებულების გრაფიკს (ნახ.4.1). იდალური ამპლიტუდური მახასიათებელი წარმოადგენს კორდინატთა სათავეში გამავალ წრფეს, რომლის დახრის



Error!

ნახ. 4.1

კუთხეს (ნახ.4.1 წვეტილი ხაზი) განსაზღვრავს მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი. რეალურ ამპლიტუდურ მახასიათებელს (ნახ.4.1 მთლიანი მრუდი) გააჩნია ქვედა და ზედა მოხრილი უბნები. მახასიათებლის ქვედა უბნის მოხრა გამოწვეულია მაძლიერებლის საკუთარი ხმაურის დაბვით, ხოლო ზედა-მაძლიერებელი ხელსაწყოს გადატვირთვით. როგორც მახასიათებლიდან ჩანს, მაძლიერებელს შეუძლია სიგნალის ნორმალური გაძლიერება შესავალი დაბვის ცვლილების განსაზღვრულ საზღვრებში; $U_{სიგნ. მინ}$ დაბვაზე მცირე სიგნალი არ გაძლიერდება, რადგან ის ჩაიხშობა მაძლიერებლის საკუთარი ხმაურით; ხოლო $U_{სიგნ. მაქ}$ დაბვაზე დიდი-გაძლიერდება დიდი დამახინჯებით. მაქსიმალური და მინიმალური შესავალი დაბვების შეფარდებას ეწოდება მაძლიერებლის დინამიური დიაპაზონი

$$D_g = U_{სიგნ. მაქ} / U_{სიგნ. მინ}; \quad D_g(დბ) = 20 \lg D_g \quad \text{და} \quad D_g(წებ) = 20 \ln D_g;$$

უმრავლეს შემთხვევაში, მაძლიერებლის შესავალზე სიგნალის წყაროდან მიწოდებული დაბვაც არ არის მუდმივი სიდიდის და იცვლება მინიმალურ მნიშვნელობიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, რომელთა შეფარდება განსაზღვრავს სიგნალის დინამიურ დიაპაზონს

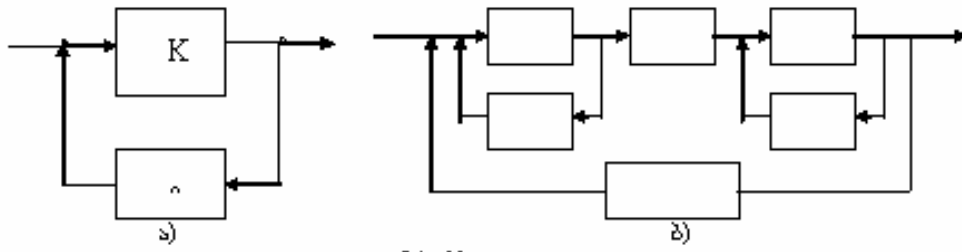
$$D_s = U_{სიგნ. მაქ} / U_{სიგნ. მინ}; \quad D_s(დბ) = 20 \lg D_s \quad \text{და} \quad D_s(წებ) = 20 \ln D_s;$$

იმისათვის რომ მაძლიერებელმა გააძლიეროს სიგნალის დაბვის მთელი დიაპაზონი აუცილებელია $D_g \geq D_s$. თუ ეს პირობა ვერ სრულდება, მაშინ ხელოვნურად, ავტომატური რეგულირების საშუალებით, ამცირებენ სიგნალის დინამიურ დიაპაზონს.

5. უკუკავშირი მაძლიერებელში

უკუკავშირი წარმოადგენს მაძლიერებლის ელექტრულ წრედებს შორის კავშირს, რომლის დროსაც სიგნალის ენერჯიის მიწოდება ხდება სიგნალის გაძლიერების საწინააღმდეგო მიმართულებით ე.ი. მაძლიერებლის გამოსავალიდან შესასვლელისაკენ. უკუ კავშირის წრედი მაძლიერებლის იმ ნაწილთან ერთად, რომელთანაც ის არის შეერთებული ქმნის ჩაკეტილ კონტურს (ნახ.5.1ა), რომელსაც

უკუკავშირის მარყუჟი ეწოდება. მაძლიერებელი შეიძლება შეიცავდეს ერთ ან რამდენიმე მარყუჟს



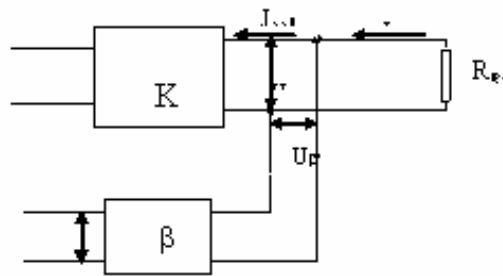
ნახ. 5.1

(ნახ.5.1ბ), რომლებიც შეიძლება იყოს ერთმანეთისგან როგორც დამოუკიდებელი, ისე ნაწილობრივ ან მთლიანად მოიცავდნენ ერთმანეთს. უკუკავშირის მარყუქებს, რომლებიც საერთო უკუკავშირის მარყუქში, მოიცავენ ცალკეულ კასკადებს ეწოდებათ ადგილობრივი.

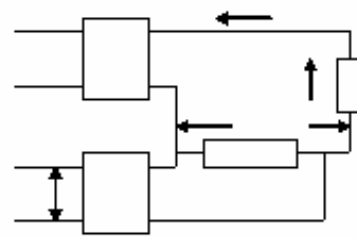
გაძლიერების K კოეფიციენტისა და უკუკავშირის წრედის β გადაცემის კოეფიციენტის ნამრავლს – $K\beta$ –ს ეწოდება მარყუქული გაძლიერება.

უკუკავშირის სახეს განსაზღვრავს უკუკავშირის ძაბვის მოხსნისა და მიწოდების სქემები,, მარყუქული გაძლიერების ნიშანი და უკუკავშირის გადაცემის კოეფიციენტის სისწირეზე დამოკიდებულება.

უკუკავშირის ძაბვის მოხსნის მიხედვით განასხვავებენ ძაბვით, დენით და შერეულ (ძაბვითა და დენით) უკუკავშირებს.ნახ.5.2–ზე ნაჩვენებია მაძლიერებლის სტრუქტურული სქემა ძაბვით უკუკავშირის



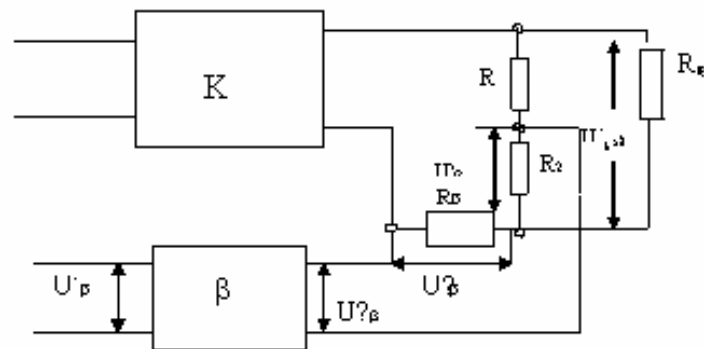
ნახ.5.2



ნახ.5.3

შემთხვევაში. ამ დროს უკუკავშირის წრედის შესასვლელი შეერთებულია მაძლიერებლის გამოსასვლელთან დატვირთვის პარალელურად. უკუკავშირის წრედის შესავალზე U ძაბვა ტოლია მაძლიერებლის გამოსავალი ძაბვის, ხოლო გამოსავალი დენი – $I_{ა,ბ}$. განსხვავდება დატვირთვაში გამავალი $I_{ღ}$ დენისაგან.

დენით უკუკავშირის შემთხვევაში (ნახ.5.3), უკუკავშირის წრედის შესასვლელი დატვირთვის მიმდევრობითი R რეზისტორის უკუკავშირის საშუალებით. უკუკავშირის წრედის შესასვლელზე ძაბვა $U = U_R$ და პროპორციულია დატვირთვაში გამავალი დენის ($I_{ა,ბ} = I_{ღ} = I_R$).

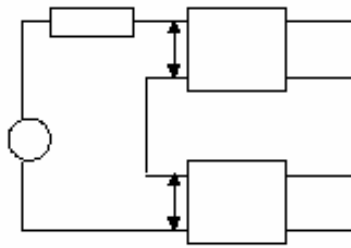


ნახ.5.4

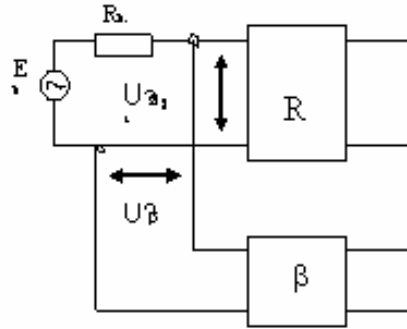
შერეული უკუკავშირის შემთხვევაში (ნახ.5.4), R_2 რეზისტორის საშუალებით წარმოიქმნება U ძაბვა (ძაბვითი უკუკავშირი), ხოლო R_1 რეზისტორით — U ძაბვა (დენითი უკუკავშირი). უკუკავშირის წრედის შესავალზე ძაბვა $U = U_1 + U_2$ პროპორციულია როგორც გამოსავალი ძაბვის, ისე დატვირთვაში გამავალი დენის.

უკუკავშირის ძაბვის მიწოდების სქემის მიხედვით არჩევენ პარალელურ, მიმდევრობით და კომბინირებულ უკუკავშირს.

მიმდევრობითი უკუკავშირის შემთხვევაში, უკუკავშირის წრედის გამოსასვლელი შეერთებულია მაძლიერებლის შესასვლელთან სიგნალის წყაროს მიმდევრობით (ნახ.5.5), რის გამოც U ძაბვა მოქმედებს E_s ძაბვის მიმდევრობით.



ნახ.5.5

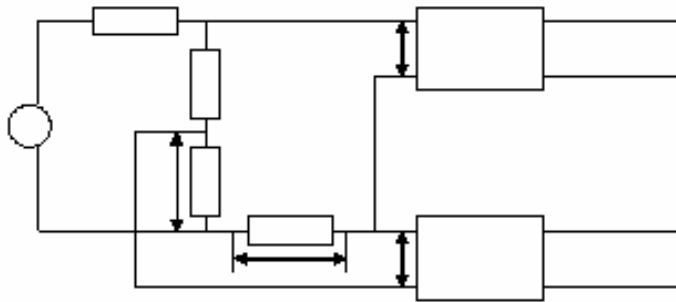


ნახ.5.6

პარალელური უკუკავშირის დროს (ნახ.5.6), უკუკავშირის წრედის გამოსავალი შეერთებულია მაძლიერებლის შესასვლელი სიგნალის წყაროს პარალელურად, ამიტომ $U_{ფ.ს.} = U$.

კომბინირებული უკუკავშირის შემთხვევაში (ნახ.5.7), $U = U_1 + U_2$ ამ დროს U ძაბვა მაძლიერებლის შესასვლელის მიმართ მოქმედებს E_s ძაბვის პარალელურად, ხოლო U — E_s ძაბვის მიმდევრობით.

მარყუჟული გაძლიერების ნამდვილი მნიშვნელობის ნიშნის მიხედვით განასხვავებენ დადებით და უარყოფით უკუკავშირს. დადებითი უკუკავშირის დროს, მაძლიერებლის გამოსავლიდან შესავალზე მიწოდებული უკუკავშირის ძაბვა ფაზით ემთხვევა შესავალი სიგნალის ძაბვას, ხოლო უარყოფითი უკუკავშირის შემთხვევაში, მაძლიერებლის შესავალზე მიწოდებული უკუკავშირის ძაბვის ფაზა 180° -ით განსხვავდება შესავალი ძაბვის ფაზისაგან.



ნახ.5.7

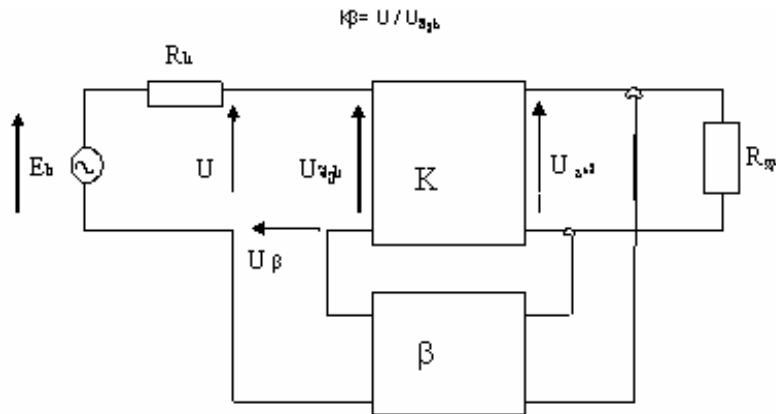
6. უკუკავშირის გავლენა მაძლიერებლის ძირითად პარამეტრზე

1. უკუკავშირის გავლენას ახდენს მაძლიერებლის ძაბვის, დენის და სიმძლავრის გაძლიერებლის კოეფიციენტებზე. განვსაზღვროთ უკუკავშირის გავლენა K კოეფიციენტზე, როცა მაძლიერებელში განხორციელებულია მიმდევრობითი უარყოფითი უკუკავშირი ძაბვით (ნახ.6.1). ანალიზის სიმარტივისათვის დავუშვათ, რომ მაძლიერებლის შესავალი წინაღობა უსასრულოდ

დიდია, რის გამოც შესავალი დენი ტოლია ნულის. მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი უკუკავშირის გარეშე და უკუკავშირის წრედის გადაცემის კოეფიციენტი ტოლია

$$K = U_{\text{გამ}} / U_{\text{შეს}}, \quad \beta = U / U_{\text{გამ}}$$

სილო მარყუჟული გაძლიერებლის სიდიდე განისაზღვრება მათი ნამრავლით



ნახ.ნ.1

თუ სიგნალის ე.მ.ძ.-ის მიმართულებას ნაბისმიერად შევარჩევთ ქვევიდან ზევით და დავუშვებთ, რომ ე.მ.ძ.-ის შერჩეულ მიმართულებას შეესაბამება სქემაში ძაბვების ნახაზზე ისრით ნაჩვენები მიმართულებები და მაძლიერებლის შესავალი წრედისთვის სამართლიანია გამოსახულება

$$U + U - U_{\text{შეს}} = 0$$

საიდანაც მივიღებთ:

$$U = U_{\text{შეს}} - U = U_{\text{შეს}}(1 - U / U_{\text{შეს}}) = U_{\text{შეს}}(1 - K\beta)$$

მაძლიერებლის გაძლიერებლის კოეფიციენტი უკუკავშირით განისაზღვრება გამოსავალი ძაბვის შეფარდებით სიგნალის წყაროს გამოსავალ ძაბვასთან

$$K = U_{\text{გამ}} / U = U_{\text{გამ}} / U_{\text{შეს}} \cdot (1 - K\beta) = K / (1 - K\beta) = K / F \quad (1)$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს უკუკავშირიანი სისტემის ერთ-ერთ ძირითად გამოსახულებას. სიდიდეს

$$F = 1 - K\beta$$

უკუკავშირის სიღრმე ეწოდება.

დადებითი უკუკავშირის შემთხვევაში $K\beta = K\beta$ და (1) გამოსახულება ჩაიწერება

$$K = K / (1 - K\beta),$$

საიდანაც, ჩანს რომ როცა $K\beta < 1$, მაშინ დადებითი უკუკავშირი მაძლიერებლის გაძლიერებას ზრდის. თუ $K\beta > 1$, მაშინ მაძლიერებელი დადებითი უკუკავშირით გარდაიქმნება მიუღწევადი რხევების გენერატორად და სიგნალის გაძლიერების თვისებას კარგავს. დადებითი უკუკავშირი ($\beta K < 1$) მაძლიერებელში არ გამოიყენება, რადგან ამ დროს მაძლიერებლის მუშაობა არამდგრადია.

უარყოფითი უკუკავშირის შემთხვევაში $K\beta = -K\beta$ და (1) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$K = K / (1 + K\beta)$$

სადაც ჩანს რომ $K\beta$ -ს ნებისმიერი მნიშვნელობის დროს უარყოფითი უკუკავშირი მაძლიერებლის გაძლიერებას ამცირებს. მიუხედავად ამისა, უარყოფითი უკუკავშირი მაძლიერებელში გამოიყენება თითქმის ყოველთვის, რადგან ის აუმჯობესებს მაძლიერებლის ყველა მახსიათებელს და პარამეტრს.

2. გაძლიერების კოეფიციენტის არასტაბილობა მაძლიერებელში განისაზღვრება გაძლიერების კოეფიციენტის ფარდობითი ცვლილებით

$$q = dk/k,$$

სადაც dk გამოსახავს გაძლიერების კოეფიციენტის ცვლილებას, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა მადესტაბილიზირებული ფაქტორით.

უარყოფითი უკუკავშირიანი მაძლიერების არასტაბილობა, რომელიც ანალოგიურად განისაზღვრება, ტოლია

$$q = dK / K = d[K/(1+K\beta)]/[K/(1+K\beta)] = [dK/K][1/(1+K\beta)] = q/(1+K\beta)$$

მასასადამე, უარყოფითი უკუკავშირი მაძლიერებლის სტაბილურობას იმდენჯერვე ამცირებს, რამდენადაც მცირდება გაძლიერება.

3. ნებსმიერი სახის უარყოფითი უკუკავშირი $(1+K\beta)$ -ჯერ ამცირებს მაძლიერებელში სიგნალის არაწრფივ დამახინჯებას და საკუთარი ხმაურის ძბვას.

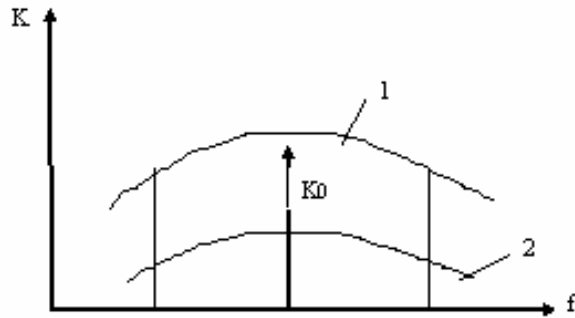
4. მაძლიერებლის შესავალი წინაღობა დამოკიდებულია უკუკავშირის ძბვის მიწოდების სქემასა და უკუკავშირის სიღრმეზე და არ არის დამოკიდებული თუ როგორ მოიხსნება უკუკავშირის ძბვა მაძლიერებლის გამოსავალიდან. გამოკვლევა გვჩვენებს, რომ მიმდევრობითი უარყოფითი უკუკავშირი მაძლიერებლის შესავალ წინაღობას ზრდის $(1+K\beta)$ -ჯერ; ხოლო პარალელური უარყოფითი უკუკავშირი შესავალ წინაღობას ამდრნჯერვე ამცირებს.

5. მაძლიერებლის გამოსავალი წინაღობა უარყოფითი უკუკავშირის დროს დამოკიდებულია მხოლოდ უკუკავშირის ძბვის მოხსნის სქემაზე და უკუკავშირის სიღრმეზე. ძბვითი უკუკავშირის შემთხვევაში მაძლიერებლის გამოსავალი წინაღობა $(1+K\beta)$ -ჯერ მცირდება, ხოლო დენით უკუკავშირის დროს ამდენჯერვე იზრდება.

6. მაძლიერებლის სისშირული და ფიზიკური დამახინჯების კოეფიციენტები, სისშირეზე დამოუკიდებელი უარყოფითი უკუკავშირის დროს განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$M = M \cdot (1+K\beta) / (1+K_0\beta); \quad \phi = \phi / (1+K\beta).$$

თუ მაძლიერებელში უკუკავშირის გარეშე, ადგილი აქვს რომელიმე სისშირეზე გაძლიერების შემცირებას (ნახ.6.2 მრუდი 1), მაშინ უარყოფითი უკუკავშირის განხორციელების შედეგად, ამ



ნახ.6.2

სისშირეზე უკუკავშირის სიღრმის კოეფიციენტი $(1+K\beta)$ შემცირდება უფრო მეტად ვიდრე საშუალო სისშირეზე. მის შედეგად განხილულ სისშირეზე გაძლიერების კოეფიციენტი შემცირდება უფრო ნაკლებად ვიდრე საშუალო სისშირეზე და მასასადამე, შემცირდება ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებლის არათანაბრობა სისშირეთა უფრო ფართო დიაპაზონში (ნახ.6.2; მრუდი-2).

უარყოფითი უკუკავშირის გავლენით ფაზური დამახინჯების შემცირება, სამუშაო სისშირეთა დიაპაზონში ფაზურ-სისშირული მახასიათებელს გახდის უფრო წრფივს.

სისშირეზე დამოკიდებული უკუკავშირი მიიღება მაშინ, როცა უკუკავშირის წრფივ შესრულებულია რეაქტიულ ელემენტებზე. ის გამოიყენება ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებლის კორექციისათვის მრავალარხიანი კავშირგაბმულობის, სატელევიზიო, ბგერის ჩამწერ და აღმწარმებელ და სხვა ტიპის მაძლიერებელში.