კოჰერენტული დემოდულატორის ხელშეშლებისადმი მდგრადობის კვლევა

ომარ ტომარაძე
საქართველოს ტექნიკური

რეზიუმე

გამოკვლეულია ერთჯერადი ფაზასხვაობითი მოდულირებული სიგნალების კოჰერენტული დემოდულატორის ხელშეშლებისადმი მდგრადობა სელექციური მილევის (მიყუჩების) არხებისა და შემთხვევითი შეცდომების ზემოქმედების პირობებში. მტკიცდება, რომ შესაბამისი დემოდულიატორის არარსებობის დროს ირღვევა კოჰერენტული დამუშავების პირობა, რაც განაპირობებს შეცდომების გაზრდის ალბათობას.

საკვანძო სიტყვები: ფაზასხვაობითი სიგნალი. სიგნალების მოდულატორი. არხის სელექციური მილევა. კოჰერენტული დემოდულატორი. შეცდომების ალბათობა. მდგრადობა.

1. შესავალი

სიგნალების ციფრული დამუშავების ერთ-ერთი აქტუალური ამოცანაა სიგნალის გაწმენდა შემთხვევითი შეცდომებისაგან, რადგან რეალურ პირობებში საინფორმაციო სისტემის ელემენტები განიცდიან ხელშეშლების ზემოქმედებას [1]. ნებისმიერი საინფორმაციო-საზომი სისტემა განიხილება როგორც ინფორმაციის წყარო, გადამცემი არხი და მიმღები ანუ დემოდულატორი.

შემოთავაზებულ სტატიაში განხილულია რეალურ არხებში ინფორმაციის მიღება და კოჰერენტული დემოდულიატორის ხელშეშლებისადმი მდგრადობის კვლევა ადიტიური გაუსის ხმაურიან სიხშირის მიხედვით სელექციური მილევის (მიყუჩების) არხებში. დასმული ამოცანის გადაწყვეტა ხდება კოჰერენტული დემოდულიატორისათვის ერთჯერადი ფაზასხვაობითი მოდულირებული სიგნალების შემთხვევაში.

2. ძირითადი ნაწილი

ცნობილია, რომ ერთჯერადი ფაზასხვაობითი მოდულირებული სიგნალების კოჰერენტული მიღების ალგორითმი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$(I_1+I_2)^2>(I_1-I_2)^2\,, \qquad \text{სადაც} \tag{1}$$

$$I_1=(2/T)\int_0^T z_n(t)S(t)dt,\quad I_2=(2/T)\int_0^T z_{n+1}(t)S(t)d(t),$$

$$S(t)=\sum_{k=k1}^{k2} A_k COSk\omega t+B_k SINk\omega t$$

A_k, B_k-t€(0,1) ინტერვალზე გადასაცემი სიგნალის ფურიეს დაშლის კოეფიციენტები: $\omega=(2\pi/T)$; T- სიგნალის ელემენტარული გზავნილის ხანგრძლივობა; $k_2-k_1+1=q$ $B=2q$ - სიგნალის ბაზა. $z_n(t)$- სიგნალის n-ური გზავნილის და გაუსის ადიტიური ხმაურის ნარევის რეალიზაცია.

რომ არ დავარღვიოთ განზოგადება, ჩავთვალოთ გადაცემული სიგნალის ფაზათა სხვაობის ნულოვანი მნიშვნელობა. ე. ი.

$$z_n(t)=\sum_{k=k1}^{k2}\,[(\alpha_k+\xi_k)COSk\omega t+(b_k+\hat{\xi}_k)SINk\omega t],$$

$$z_{n+1}(t)=\sum_{k=k1}^{k2}\,[(\alpha_k+\acute{\eta}_k)COSk\omega t+(b_k+\hat{\eta}_k)SINk\omega t], \qquad \text{სადაც}$$

$$a_k=\mu_{სვ.}A_k-\mu_{ჯვ}B_k, \qquad b_k=\mu_{სვ}B_k+\mu_{ჯვ}A_k;$$

$\mu_{სვ}$ $\mu_{ჯვ}$-k-ურ სიხშირეზე არხის გადაცემის კოეფიციენტის სინფაზური და კვადრატული მდგენელები; ξ_k, $\hat{\xi}_k$, μ_k და $\hat{\mu}_k$ k-ურ სიხშირეზე ადიტიური გაუსის ხმაურის კოეფიციენტების

დაშლის რეალიზაციის სინფაზური და კვადრატული მდგენელებია სიგნალის n-ური და (n+1) გზავნილის გადაცემისას ნორმალური შემთხვევითი სიდიდის ნულოვანი საშუალო და თანაბარი დისპერსიებით. განხილულ შემთხვევაში შეცდომების ალბათობა განისაზღვრება (1)-ლი უტოლობის შეუსრულებლობით. ე. ი.

$$P_{ცდ.}=P[\chi_1<\chi_2]\ ,\ \text{სადაც} \tag{2}$$

$$\chi_1=(I_1+I_2)^2,\quad \chi_2=(I_1-I_2)^2$$

ე. ი. უნდა მოინახოს ისეთი პირობები, როდესაც $\chi_1=(I_1+I_2)^2<\chi_2=(I_1-I_2)^2$.

ელემენტარული, მაგრამ ვრცელი გარდაქმნების შესრულების შედეგად $P_{ცდ.}$-სთვის მივიღებთ:

$$P_{ცდ.}=(1/2)[1-\Phi^2\{(\sqrt{T/2\vartheta}^{\,2}\sum_{k=1}^{q}\mu_{სკ.}C_k)/\sqrt{\sum_{k=1}^{q}C_k}\}] \tag{3}$$

აღსანიშნავია, რომ მიყუჩების (მილევის) არ არსებობის დროს (3)-დან გამოდის ცდომილების ალბათობის ცნობილი გამოსახულება, რომელიც სამართლიანია ერთჯერადი ფაზასხვაობითი მოდულირებული სიგნალების კოჰერენტული მიღების დროს ადიტიური გაუსის ხმაურიან არხებში [2,3].

$$P_{ცდ.}=(1/2)[1-\Phi^2(h)]\ ,\quad \text{სადაც} \tag{4}$$

$$h^2=(T/2Э^2)\sum_{k=1}^{q}C_k(\mu_{სკ}^2+\mu_{ზკ}^2) \tag{5}$$

$$\mu_{ს1}=\mu_{სq}=\mu_{ს}\qquad \mu_{ზ1}=\mu_{ზq}=\mu_{ზ}$$

მიყუჩების (მილევის) არხებში მიღებული სიგნალის ენერგია და შესაბამისად h^2-ის სიდიდე არის შემთხვევითი და შეცდომების საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის (3)-ე უნდა გავასაშუალოთ გადაცემის კოეფიციენტის ყველა შესაძლო სინფაზური მდგენელის $\mu_{სk}$ მიხედვით (სადაც $k=\overline{k1,k2}$, $k_2-k_1+1=q$).

შემოვიტანოთ აღნიშვნა

$$\nu=\sum_{k=1}^{q}(\mu_{სk}C_k)/\sqrt{\sum_{k=1}^{q}C_k},$$

რადგანაც $\mu_{სk}$ ნორმალური შემთხვევითი სიდიდეებია, ნულოვანი საშუალოთი. შემთხვევითი სიდიდე ν-ც არის ნორმალური ნულოვანი საშუალოთი და დისპერსიით

$$\sigma_\nu^2=\sum_{k=1}^{q}\sum_{e=1}^{q}C_kC_e\overline{\mu\,\mu}_{სe})/\sum_{k=1}^{q}C_k, \tag{6}$$

სადაც $\mu_{სk}$ $\mu_{სe}$ k-ურ და e-ურ სიხშირეებზე გადაცემის კოეფიციენტის სინფაზური მდგენელების კორელაციური ფუნქციაა. შესაბამისად (3)-ე შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$\overline{P}_{ცდ.}=(1/2\sqrt{2\pi}\,\sigma_\nu)\int_{-\infty}^{\infty}[1-\Phi^2(\sqrt{T|2\nu}^{\,2}\nu]\exp\{-(\nu^2)/2\sigma_\nu^2\}d\nu \tag{7}$$

ან ელემენტარული გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ

$$\overline{P}_{ცდ.}=(1/2)-1/\sqrt{2\pi}\int_{0}^{\infty}\Phi^2(\sqrt{T|2\nu}^{\,2}\sigma_\nu t)\exp\{-t^2/2\}dt$$

ეს ინტეგრალი არის ცხრილის [5,6], შედეგად მივიღებთ

$$\overline{P}_{ცდ.}=(1/2)-(1|\pi)\mathrm{arctg}(T\sigma^2\nu)/(\nu^2\sqrt{2T\sigma}_{\nu}^{\,2}/\nu^2+1 \tag{8}$$

შემდგომში გავითვალისწინოთ, რომ

$$\overline{\mu}_{სk}\overline{\overline{\mu}}_{სe}=0{,}5\,\overline{\mu}^2R_{k,e} \tag{9}$$

სადაც $\bar{\mu}^2$ – სიხშირის ყველა მდგენელზე არხის გადაცემის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობის კვადრატი; $R_{k,e}$ –k- ურ e-ურ სიხშირეებზე ნორმირებული კორელაციის კოეფიციენტები. ჩავსვათ (9)-ე (6)-ში, მივიღებთ

$$\sigma_v^2=0{,}5\,\bar{\mu}^2\sum_{k=1}^{q}\sum_{e=1}^{q} C_kC_eR_{k,e}/\sum_{k=1}^{q} C_k, \qquad (10)$$

ე. ი. შემთხვევითი v სიდიდის დისპერსია განისაზღვრება მიყუცების (მილევის) ხასიათით. ($R_{k,e}$=1 და როცა k=e) (10)-დან გამომდინარეობს საერთო მიყუჩება (მილევა)

$$\sigma_{v,0}^2=0{,}5\,\bar{\mu}^2\sum_{k=1}^{q} C_k \qquad (11)$$

სუფთა სელექციური (არაკოლერილებული) მიყუჩების (მილევის) დროს ($R_{k,e}$=0 როცა k≠e, $R_{k,e}$=1 როცა k=e)

$$\sigma_{v.c}=0{,}5\,\bar{\mu}^2\sum_{k=1}^{q} C_k^2 \;/\sum_{k=1}^{q} C_k \qquad (12)$$

(10) და (12) ჩავსვათ (8)-ში მივიღებთ გამოსახულებას კოჰერენტული დემოდულიატორის ცდომილების საშუალო ალბათობის საანგარიშოდ.

საერთო რელეური მიყუჩებისათვი (მილევისათვის)

$$\bar{P}_{\text{ცდ.საერ.}}=(1/2)-(1/\pi)\operatorname{arctg}(h^2/\sqrt{1+2h^2}) \qquad (13)$$

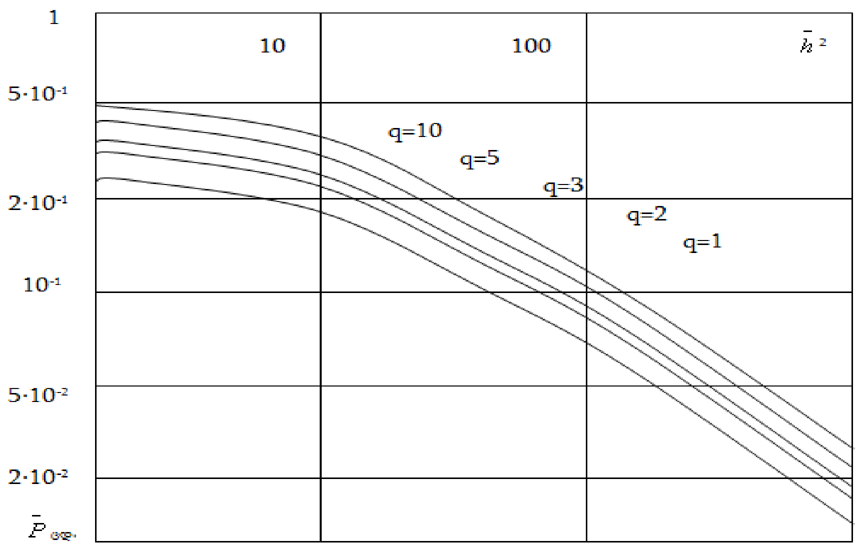
სუფთა სელექციური მიყუჩებისათვის (მილევისათვის

$$\bar{P}_{\text{ცდ.სელ.}}=(1/2)-(1/\pi)\operatorname{arctg}(\bar{\mu}^2TQ)/2v^2\sqrt{1+\bar{\mu}^2TQ/v^2} \qquad (14)$$

სადაც $\bar{h}^2$ - მიღების ადგილზე სიგნალ/ხმაურთან ფარდობის საშუალო მნიშვნელობა (ფსხ)

$$Q=\sum_{k=1}^{q} C_k^2/\sum_{k=1}^{q} C_k \qquad (15)$$

როგორც ადრეც აღვნიშნეთ, სელექციური მიყუჩების (მილევის) არხებში შეცდომების საშუალო მნიშვნელობის ალბათობა დამოკიდებულია გადასაცემი სიგნალის სიხშირის მიხედვით ენერგიის განაწილებაზე. სიგნალის ენერგიის თანაბარი განაწილების დროს (C_k=C-const) (15)-დან გამომდინარეობს, რომ Q=C და (114) შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით :



ნახ. 1

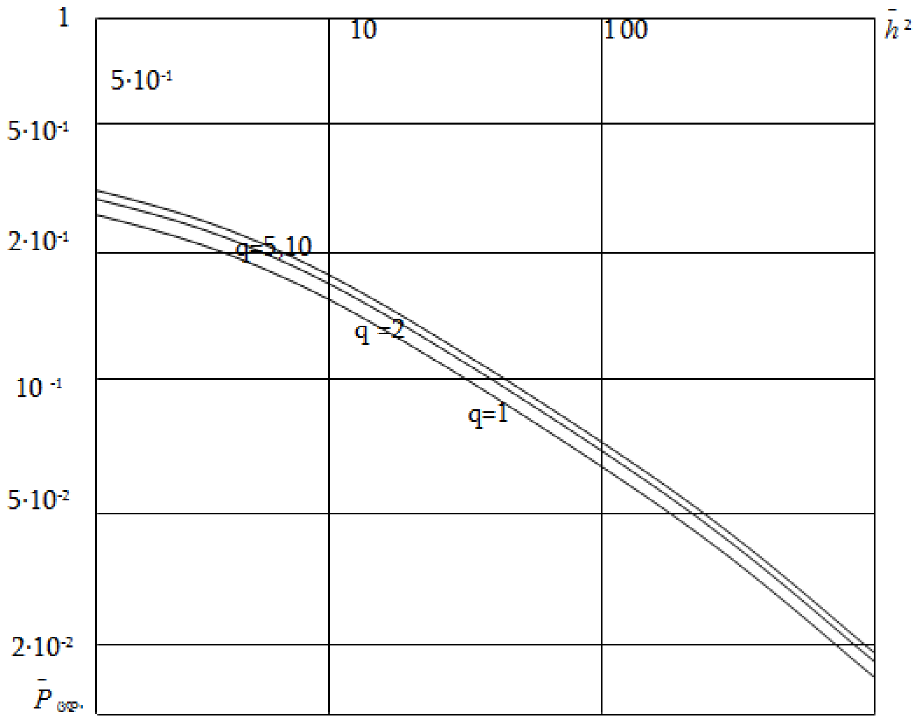
$$\bar{P}_{\text{ცდ.სელ.}}=(1/2)-(1|\pi)\operatorname{arctg}(\bar{\bar{h}}^2/q\sqrt{1+2h|q}); \qquad (16)$$

არათანაბარი განაწილების დროს

$$Q=(2\nu^{2}/\bar{\mu}^{2}\mathrm{T}\bar{h}^{2}\sum_{k=1}^{q}(\bar{h}_{k}^{2})^{2} \qquad (17)$$

ჩავსვათ (17) (14)-ში, მივიღებთ

$$\bar{P}_{ცდ.ხელ.}=(1/2)-(1/\pi)\mathrm{arctg}\{\sum_{k=1}^{q}(\bar{h}_{k}^{2})/\mathrm{h}^{2}\sqrt{1+2\sum_{k=1}^{q}(\bar{h})/\bar{h}^{2}}\} \qquad (18)$$



ნახ. 2

(13), (16) და (18)-ის მიხედვით ჩატარებულ იქნა საჭირო გათვლები. 1-ელ ნახაზზე მოცემულია $\bar{P}_{ცდ.ხელ.}$ და $\bar{P}_{ცდ.ხელ}$ დამოკიდებულება q=1,2,5, და 10-თვის, ხოლო მე-2 ნახაზზე - $\bar{P}_{ცდ.ხელ}$ გადასაცემი სიგნალის ენერგიის არათანაბარი განაწილება მდგენელების პორციალური შერჩევის შემთხვევაში

$$\bar{\bar{h}}^{2}=(1/9)[8+(1/4)^{q-1}]\mathrm{h}^{2},\ \bar{\bar{h}}^{2}=(1/3)(1/4)^{k-1}\mathrm{h}^{2},\ k=2,...,q$$

3. დასკვნა

მიღებული შედეგები გვაძლევს საშუალებას გავაკეთოთ დასკვნები სელექციური მილევის (მიყუჩების) არხებში ერთჯერადი ფაზასხვაობითი მოდულირებული სიგნალების კოჰერენტული დემოდულიატორის ხელშეშლების მდგრადობისადმი.

1. არხის გადაცემის კოეფიციენტის მდგენელების მიმდინარე ინფორმაციის დემოდულიატორის არ არსებობის დროს ირღვევა კოჰერენტული დამუშავების პირობა, რაც განაპირობებს შეცდომების ალბათობის გაზრდას.

2. მიღების ხელშეშლებისადმი მდგრადობა დამოკიდებულია სიგნალის ბაზაზე. ყველა სხვა თანაბარი პირობების დროს სიგნალის ბაზის გაზრდა იწვევს შეცდომების ალბათობის გაზრდას. აღნიშნული მოვლენა განსაკუთრებით თავს იჩენს გამოყენებული სიხშირის დიაპაზონში გადასაცემი სიგნალის ენერგიის თანაბარი განაწილების დროს.

ლიტერატურა:

1. ტომარაძე ო. ფსმ სიგნალების ოპტიმალური კოჰერენტული დამუშავების ხელშეშლე-ბისადმი მდგრადობა არხებში სელექციური მიყუჩებით. სტუს შრ.კრ. N6, 1991

2. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. М. Сов. радио, 1970

3. Окунев Ю. Б. Теория фазоразностной модуляции. М. Связь, 1979

4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехникию. М. Сов. радио, 1974

5. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений. М. Физматиз, 1962

6. Прудников А.П., Брычков Ю.А. Маричев О.И. Интегралы и ряды. Специальные функции. М. Наука, 1983.

RESEARCH OF RANDOM ERRORS NOISE IMMUNITY IN COHERENT DEMODULATOR

Tomaradze Omar
Georgian Technical University

Summary

In this article it is studied the immunity of the coherent demodulator of signals with a single PDM in channels with selective fading-out. It is proved that in the case of absence of an appropriate demodulator, the conditions of coherent processing are violated, what leads to an increase of the probability of error.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОГЕРЕНТНОГО ДЕМОДУЛЯТОРА

Томарадзе О.
Грузинский Технический университет

Резюме

Исследуется помехоустойчивость когерентного демодулятора сигналов с однократной ФРМ в каналах с селективными замираниями. Доказывается, что при отсутствии соответствующего демодулятора нарушаются условия когерентной обработки, что обуславливает увеличение вероятности ошибки.