

ლექცია 19

4.2 სიბნალები კუთხური მოდულაციით

შევისწავლოთ მოდულირებული რადიოსიგნალები, რომლებიც მიიღება იმის ხარჯზე, რომ გადამტანი ჰარმონიულ რხევაში $u_{\text{გა}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ გადასაცემი შეტყობინება $s(t)$ ცვლის ან **სიხშირეს** ω , ან **საწყის ფაზას** φ ; ამპლიტუდა U_m რჩება უცვლელი. რამდენადაც ჰარმონიული რხევის არგუმენტი $\psi(t) = \omega t + \varphi$, რომელსაც ეწოდება **სრული ფაზა**, განსაზღვრავს ფაზური კუთხის მიმდინარე მნიშვნელობას, ასეთმა სიგნალებმა მიიღეს **კუთხური მოდულაციით** სიგნალების სახელწოდება.

4.2.1. კუთხური მოდულაციის სახეები

ა) ფაზური მოდულაცია

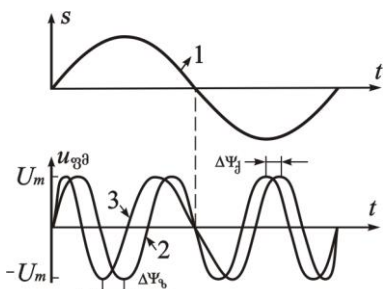
დავუშვათ დასაწყისში, რომ სრული ფაზა $\psi(t)$ დაკავშირებულია $s(t)$ სიგნალთან დამოკიდებულებით:

$$\psi(t) = \omega_0 t + k s(t), \quad (4.19)$$

სადაც ω_0 - სიხშირის მნიშვნელობაა სასარგებლო სიგნალის არარსებობისას; k - პროპორციულობის რაიმე კოეფიციენტი. მოდულაციას, რომელიც პასუხობს (4.19) თანაფარდობას, **ფაზური მოდულაცია (შმ)** ეწოდება:

$$u_{\text{შმ}}(t) = U_m \cos[\omega_0 t + k s(t)]. \quad (4.20)$$

თუ სიგნალი $s(t) = 0$, მაშინ **შმ**-რხევა წარმოადგენს მარტივ ჰარმონიულ რხევას. $s(t)$ სიგნალის მნიშვნელობების გაზრდით სრული ფაზა $\psi(t)$ იზრდება დროში უფრო სწრაფად, ვიდრე წრფივი კანონით. მამოდულირებელი სიგნალის მნიშვნელობების შემცირებისას ხდება



ნახ. 4.5

დროში სიხშირის ზრდის $\psi(t)$ ვარდნა. ნახ. 4.5 ნაჩვენებია **შმ**-სიგნალის გრაფიკის აგება:

1 – მამოდულირებელი დაბალსიხშირული სიგნალი; 2 – არამოდულირებული ჰარმონიული რხევა; 3 – სიგნალი ფაზური მოდულაციით.

დროის მომენტებში, როცა $s(t)$ სიგნალი აღწევს ექსტრემალურ

ღურ მნიშვნელობებს, აბსოლუტური ფაზური ძვრა **შმ**- სიგნალსა და არამოდულირებულ პარმონიულ რხევას შორის აღმონდება მცირე. ამ ფაზური ძვრის ზღვრულ მნიშვნელობას უწოდებენ **ფაზის დევიაციას** $\Delta\psi$. ზოგად შემთხვევაში, როცა $s(t)$ სიგნალი იცვლის ნიშანს, მიღებულია გაირჩეს **ფაზის დევიაცია ზევით** $\Delta\psi_b = k s_{\max}$ (როცა $s(t) > 0$) და **ფაზის დევიაცია ქვევით** $\Delta\psi_j = k s_{\min}$ (როცა $s(t) < 0$)

ექტორულ დიაგრამაზე მუდმივი სიდიდის გამომსახველი ექტორი შეასრულებს ბრუნვას არამუდმივი კუთხური სიჩქარით. სიგნალის **მეისიერი სიხშირე** $\omega(t)$ კუთხური მოდულაციით განისაზღვრება როგორც სრული ფაზის პირველი წარმოებული დროის მიხედვით:

$$\omega(t) = \frac{d\psi}{dt}, \quad (4.21)$$

ასე, რომ
$$\psi(t) = \int_{-\infty}^t \omega(\tau) d\tau + \text{const.} \quad (4.22)$$

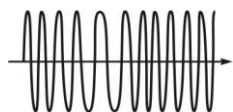
ბ) სიხშირული მოდულაცია

სიგნალის **სიხშირული მოდულაციისას** (სმ) $s(t)$ და $\omega(t)$ სიდიდეებს შორის არსებობს შემდეგი სახის კავშირი

$$\omega(t) = \omega_0 + k s(t). \quad (4.23)$$

ამიტომ
$$u_{\text{სმ}}(t) = U_m \cos[\omega_0 t + k \int_{-\infty}^t s(\tau) d\tau]. \quad (4.24)$$

ზოგადი სახის, ფორმულა (4.23) მიხედვით, სმ-სიგნალის ბუნებრივი პარამეტრები წარმოადგენენ: **სიხშირის დევიაცია ზევით** $\Delta\omega_b = k s_{\max}$ და **სიხშირის დევიაცია ქვევით** $\Delta\omega_j = k s_{\min}$.



კუთხური მოდულაციით ტიპური სიგნალის ოსცილოგრამა მოყვანილია ნახ. 4.6-ზე.

ნახ. 4.6

თუ $s(t)$ –საკმარისად გლუვი ფუნქციაა, მაშინ **შმ**- და **სმ**- სიგნალების გარე ოსცილოგრამები არ განსხვავდებიან.

4.2.2. ერთტონალური სიბნალები კუთხური მოდულაციით

ფმ- და **სმ-**სიგნალების ანალიზი მათემატიკური თვალსაზრისით უფრო რთულია, ვიდრე ამ-რხევების გამოკვლევა. ამიტომ ძირითადი ყურადღება დაეთმობა უმარტივეს ერთტონალურ სიგნალებს.

ერთტონალური სმ-სიგნალის შემთხვევაში მყისიერი სიხშირე

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \Phi_0),$$

სადაც $\Delta\omega$ – სიგნალის სიხშირის დევიაციაა. (4.17) ფორმულის საფუძველზე ასეთი სიგნალის სრული ფაზა

$$\varphi(t) = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t + \Phi_0) + \phi_0,$$

სადაც ϕ_0 – რაიმე მუდმივი ფაზური კუთხეა.

$$\text{აქედან ჩანს, რომ სიდიდე } m = \Delta\omega / \Omega, \quad (4.25)$$

რომელსაც ეწოდება *ერთტონალური კუთხური მოდულაციის ინდექსი*, წარმოადგენს ასეთი სიგნალის ფაზის დევიაციას, გამოსახულს რადიანებში.

სიმოკლისათვის დაეუშვათ, რომ დროში უცვლელი ფაზური კუთხეები $\phi_0 = \Phi_0 = 0$, და სმ-სიგნალის მყისიერი მნიშვნელობა გამოვსახოთ შემდეგი სახით

$$u_{\text{sm}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t) \quad (4.26)$$

ერთტონალური **ფმ-**სიგნალის ჩაწერის ანალიზური ფორმა იქნება ანალოგიური. ამასთან მხედველობაში უნდა გვქონდეს შემდეგი: **სმ-** და **ფმ-**სიგნალები იქცევიან სხვადასხვანაირად მოდულაციის სიხშირისა და მამოღუღირებელი სიგნალის ამპლიტუდის ცვლილებისას.

4.2.3. ფმ- და სმ- სიბნალებს შორის განსხვავება

ფმ- და **სმ-** სიგნალებს შორის არსებობს პრინციპული განსხვავებები:

1. ფაზური ძერა **ფმ-**სიგნალსა და არამოღუღირებულ რხევას შორის $s(t)$ -ს პროპორციულია, იმ დროს, როცა **სმ-**სიგნალისათვის ეს ძერა გადასაცემი შეტყობინების ინტეგრალის პროპორციულია;
2. სიხშირული მოდულაციისას სიხშირის დევიაცია $\Delta\omega$ პროპორციულია დაბალსიხშირული სიგნალის ამპლიტუდის. ამავე დროს სიდიდე $\Delta\omega$ არ არის დამოკიდებული მამოღუღირებელი სიგნალის სიხშირეზე.

ფაზური მოდულაციის შემთხვევაში მისი ინდექსი m აღმოჩნდება დაბალსიხშირული სიბნალის ამპლიტუდის პროპორციული მისი სიხშირისაგან დამოუკიდებლად. როგორც ამის შედეგი, სიხშირის დევიაცია ფაზური მოდულაციისას (4.25) ფორმულის შესაბამისად სიხშირის ზრდასთან ერთად წრფივად იზრდება.

მაგალითი 4.2. რადიოსადგური, რომელიც მუშაობს მოკლექტალოვან დიაპაზონში $f_0 = 80$ მჰც გადამტანი სიხშირით, გამოასხიებს **შმ**-სიბნალს, მოდულირებულს სიხშირით $F = 15$ კჰც. მოდულაციის ინდექსი $m = 12$. ვიპოვოთ ზღვრები, რომელშიც იცვლება სიბნალის მყისიერი სიხშირე და სიბნალის მათემატიკური მოდელი.

ამოხსნა:

1. ამოცანის პირობიდან გამომდინარე სიხშირის დევიაცია შეადგენს $\Delta f = mF = 1.8 \cdot 10^5 = 180$ კჰც.

ამგვარად, მოდულაციისას სიბნალის მყისიერი სიხშირე იცვლება ზღვრებში $f_{\min} = f_0 - \Delta f = 80 - 0.18 = 79.82$ მჰც-დან

$$f_{\max} = f_0 + \Delta f = 80 + 0.18 = 80.18 \text{ მჰც-მდე.}$$

2. ვინაიდან სიბნალის მათემატიკურ მოდელს, დროში უცვლელი ფაზური კუთხეებით $\varphi_0 = \Phi_0 = 0$, აქვს სახე $u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t)$, მაშინ

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \cos[2\pi \cdot f_0 t + 12 \sin(2\pi \cdot (\Delta f / m) \cdot t)] = \\ &= U_m \cos[2\pi \cdot 8 \cdot 10^7 t + 12 \sin(2\pi \cdot 1.5 \cdot 10^4 t)] \end{aligned}$$

U_m უცნობის სიდიდე არ ახდენს გავლენას მყისიერ სიხშირის მნიშვნელობაზე.

ვინაიდან ერთტონალური კუთხური მოდულაციის ინდექსი $m = \Delta\omega / \Omega$, მაშინ ცხადია, რომ $\Omega = \Delta\omega / m = 2\pi\Delta f / m$.

$$F = \Delta f / m$$

აქედან ჩანს, რომ სიდიდე $m = \Delta\omega / \Omega$, (4.25) რომელსაც ეწოდება, წარმოადგენს ასეთი სიგნალის ფაზის დევიაციას, გამოსახულს რადიანებში.

* 1. ამპლიტუდური მოდულაციის პრინციპებზე აგებულია მრავალი რადიომაუწყებელი სისტემა

2. ამპლიტუდური მოდულაციისას არ ხერხდება გადასაცემი სიგნალების ფართო დინამიკური დიაპაზონის უზრუნველყოფა

მოდულაცია

ამ-სიგნალი და მისი მომვლები

მომვლები და შევსება

ამპლიტუდური მოდულაციის კოეფიციენტი

ამოხსენით ამოცანა 3

თუ ამპლიტუდა ორჯერ იზრდება, მაშინ სიმძლავრე იზრდება ოთხჯერ

გადამოდულაცია

ერთტონალური მოდულაცია სიმეტრიულია,
ე.ი. $M_b = M_f = M$

როგორც ცნობილია

ამოხსენით ამოცანა 1

(4.6) გამოსახულებაში არიან როგორც წყაროთა საკუთარი სიმძლავრეები, ასევე ურთიერთსიმძლავრეები, რომლებიც პროპორციულია მყისიერი ძაბვების

ამოხსენით ამოცანა 5

ფურიეს მწკრივისაგან განსხვავებით სიხშირეები არა არის სავალდებულო იყვნენ ერთმანეთის ჯერადნი

მოდულაციის პარციალური კოეფიციენტები

ამპლიტუდური მოდულაციით სიგნალის სპექტრის სტრუქტურა

სრული ფაზა

ფაზური მოდულაცია

ფაზის დევიაცია

მყისიერი სიხშირე

სიხშირული მოდულაცია

კუთხური მოდულაციის ინდექსი

ამოხსენით ამოცანები 6 და 7

განსხვავება სმ- და ფმ-სიგნალებს შორის