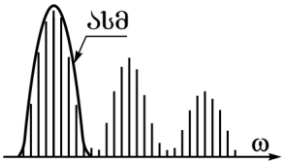
თემა 14. მოდულირებული რადიოსიგნალების მიღება

არაინერციულ არაწრფივ ელემენტზე საწყისი რხევების ჯამის მიწოდებით, გამოსასვლელ სიგნალში შეიძლება დავაკვირდეთ ყველა შესაძლო კომბინაციურ მდგენელს (ნახ. 14.1). თუ ასეთ გამოსასვლელ სიგნალს გავატარებთ წრფივ სიხშირულ ფილტრში, მაშინ შესაძლებელი გახდება გამოვყოთ გარდაქმნილი სიგნალის სასარგებლო კომპონენტების მწკრივი. ამ პრინციპზეა დაფუძნებული მრავალრიცხოვანი რადიოტექნიკური მოწყობილობების, კერძოდ, მოდულატორების მუშაობა.



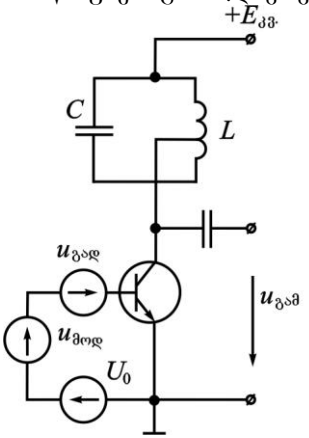
ნახ. 14.1

14.1. ამპლიტუდური მოდულატორის მუშაობის პრინციპი

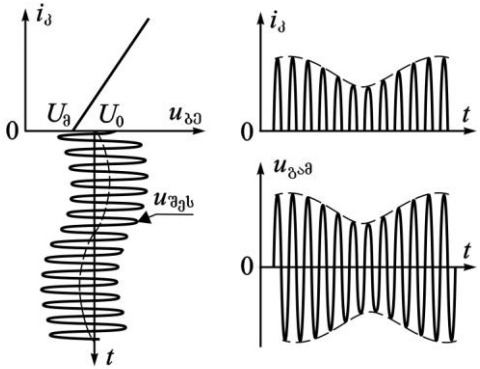
ამპლიტუდური მოდულატორი ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც გამოსასვლელ მომჭრებზე ქმნის $u_{ამ}(t) = U_m(1 + M\cos\Omega t)\cos\omega_0(t)$ სახის **ამ**-სიგნალს წრედის შესასვლელზე ჰარმონიული გადამტანი რხევის $u_{გად}(t) = U_{m\ გად}\cos\omega_0(t)$ და დაბალსიხშირული **მოდულირებული სიგნალის** $u_{მოდ}(t) = U_{m\ მოდ}\cos\Omega t$ მიწოდებისას.

ყველაზე ხშირად ამპლიტუდურ მოდულატორებს აგებენ არაინერციულ არაწრფივ ელემენტში **ორი სიგნალის ჯამის სპექტრის** გარდაქმნის ეფექტის გამოყენებით.

უმარტივეს ამპლიტუდურ მოდულატორს წარმოადგენს არაწრფივი გამაძლიერებელი (ნახ.14.2), რომლის გამოსასვლელ



ნახ. 14.2



ნახ. 14.3

წრედში რეზონანსული კონტური აწყობილია გადამტანი რხევის სიხშირეზე. მოდულატორის შესასვლელზე მიყვანილია ძაბვა

$$u_{\text{შეს}}(t) = U_0 + U_{m\ \text{მოდ}} \cos \Omega t + U_{m\ \text{გად}} \cos \omega_0(t) \qquad (4.42)$$

მოცემული მოდულატორის მუშაობის პრინციპი განიმარტება ნახ. 14.3–ზე ნაჩვენები ძაბვებისა და დენების ოსცილოგრამებით.

გარკვეულობისათვის მიჩნეულია, რომ ტრანზისტორის გამოსავალი მახასიათებელი აპროქსიმირებულია ორი წრფის მონაკვეთებით. იმის ხარჯზე, რომ მუშა წერტილი გადაინაცვლებს დაბალსიხშირულ მოდულირებულ რხევასთან ერთად, ხდება გადამტანი სიგნალის მოკვეთის კუთხის უწყვეტი ცვლილება. კოლექტორული დენის იმპულსთა მიმდევრობის პირველი ჰარმონიკის ამპლიტუდა აღმოჩნდება დროში არა მუდმივი. რხევითი კონტური ფილტრავს კოლექტორულ დენს, გამოყოფს რა გამოსასვლელზე **ᲐᲛ**-სიგნალს, ე.ი. ცვლად ამპლიტუდიანი გადამტან რხევას, რომელიც მოდულირებული სასარგებლო სიგნალის პროპორციულია.

მაგალითი 14.1. *ტრანზისტორს, რომელიც გამოყენებულია ამპლიტუდურ მოდულატორში, აქვს მახასითებელი გარდატეხით წერტილში* $U_m = 0.6$ *ვ. გადამტანი რხევის ამპლიტუდა შესასვლელზე* $U_{m\text{გად}} = 0.4$ *ვ, მოდულირებადი სიგნალის ამპლიტუდა* $U_{m\text{მოდ}} = 0.1$ *ვ, საწყისი წანაცვლება* $U_0 = 0.6$ *ვ. განსაზღვრეთ ამპლიტუდური მოდულაციის კოეფიციენტი* M *.*

საწყისი მონაცემების შესაბამისად ზღვრებში მუშა წერტილი წანაცვლდება ფარგლებში $U_0 + U_{m\text{მოდ}} = 0.7$ ვ-დან $U_0 - U_{m\text{მოდ}} = 0.5$ ვ–მდე. აქედან ვპოულობთ მოკვეთის კუთხის ზღვრულ მნიშვნელობებს:

$\vartheta_{\max} = arccos[(0.6 - 0.7)/0.4] = 1.823$ რად,

$\vartheta_{\min} = arccos[(0.6 - 0.5)/0.4] = 1.318$ რად,

კოლექტორული დენის პირველი ჰარმონიკის ამპლიტუდა პროპორციულია ბერგის ფუნქციის $\gamma_1(\vartheta)$, რომელიც იცვლება

$\gamma_1(\vartheta_{\max}) = (1/\pi)(\vartheta_{\max} - \sin\vartheta_{\max}\cos\vartheta_{\max}) = 0.657$ -დან

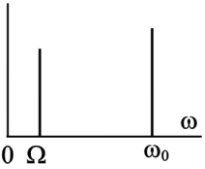
$\gamma_1(\vartheta_{\min}) = (1/\pi)(\vartheta_{\min} - \sin\vartheta_{\min}\cos\vartheta_{\min}) = 0.342$ -მდე ფარგლებში.

შედეგად, გამოსასვლელი სიგნალის მოდულაციის კოეფიციენტი:

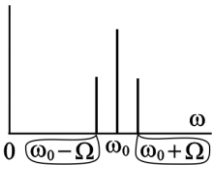
$$M = \frac{I_{1\max} - I_{1\min}}{I_{1\max} + I_{1\min}} = \frac{0.657 - 0.342}{0.657 + 0.342} = 0.315.$$

14.2. ანალიზური განხილვა.

ამ-სიგნალის მიღების პროცესი შეიძლება შევისწავლოთ ანალიზურად, თუ გამოვიყენებთ ზემოთ განხილულ **კომბინაციურ სიხშირეთა თეორიას**. ვთქვათ უმარტივესი სახის (4.29) მახასიათებლის მქონე არაწრფივი ელემენტის შესასვლელზე მოქმედებს ძაბვა: $u_{\text{შეს}}(t) = U_0 + U_{m\,\text{მოდ}} \cos\Omega t + U_{m\,\text{გად}} \cos\omega_0(t)$, ამასთან



ნახ. 14.4



ნახ. 14.5

$\omega_0 >> \Omega$ (ნახ. 14.4)

დენის შემადგენლობაში, რომელიც გადის ორპოლუსაში, შეიძლება გამოვყოთ მდგენელები სიხშირეებით, რომლებიც ახლოსაა ω_0-თან და ქმნიან ამპლიტუდურ-მოდულირებულ დენს (4.43):

$$i_{\text{ამ}}(t) = a_1 U_{m\,\text{გად}} \cos\omega_0(t) + a_2 U_{m\,\text{გად}} U_{m\text{მოდ}} \cos(\omega+\Omega)t + a_2 U_{m\,\text{გად}} U_{m\text{მოდ}} \cos(\omega-\Omega)t$$

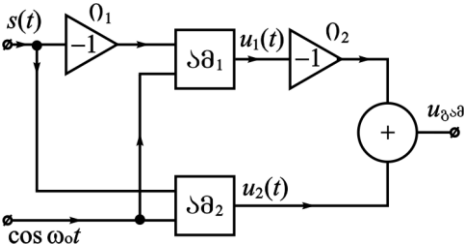
როგორც ცნობილია (იხ. სიგნალების თეორია, თავი 4), გვერდითი რხევების ფარდობითი დონე გადამტან რხევასთან შედარებით ტოლია $M/2$.

(4.43) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ მოცემულ შემთხვევაში გამოსასვლელი სიგნალის ამპლიტუდური მოდულაციის კოეფიციენტი $M = (2a_2/a_1)U_{m\text{მოდ}}$. (4.44)

14.3. სიგნალების მიღება ბალანსური მოდულაციით.

ამპლიტუდური მოდულაციის სქემას შეიძლება სახე ვუცვალოთ ისე, რომ მოწყობილობის გამოსასვლელზე მიღებულ იქნას სიგნალი გადამტანი რხევის ჩახშობით, ანუ სიგნალი **ბალანსური მოდულაციით** (იხ. სიგნალების თეორია, თავი 4).

ბალანსური მოდულატორის სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე 14.6.



ნახ. 14.6

აქ ω_0 სიხშირის მქონე **გადამტანი ჰარმონიული რხევა** მიიყვანება ორი ერთნაირი ამ_1 და ამ_2 ამპლიტუდური მოდულატორის ქვედა შესასვლელებზე.

მოდულირებული სიგნალი $s(t)$ მიეწოდება ამ_1 მოდულატორს 0_1 ინვერტორის გავ-

ლით, რომლის გადაცემის კოეფიციენტი -1 -ის ტოლია. ამიტომ მოდულატორების გამოსასვლელებზე მიღებული იქნება სიგნალები

$$u_1(t) = A[1 - Ms(t)]\cos\omega_0 t,$$
$$u_2(t) = A[1 + Ms(t)]\cos\omega_0 t, \qquad (4.45)$$

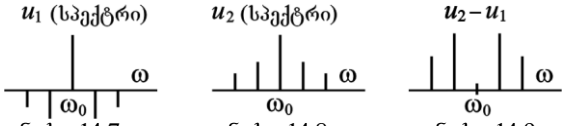
სადაც A მუდმივი კოეფიციენტია.

ინვერტორი O_2 სიგნალს უცვლის ნიშანს საპირისპიროთი ისე, რომ გამოსასვლელი სიგნალი

$$u_{\text{გამ}}(t) = u_2 - u_1 = 2AMs(t)\cos\omega_0(t) \qquad (4.46)$$

წარმოადგენს მოდულირებული და გადამტანი რხევების ნამრავლს, ე.ი. ნამდვილად წარმოადგენს ბალანსურად მოდულირებულ რხევას.

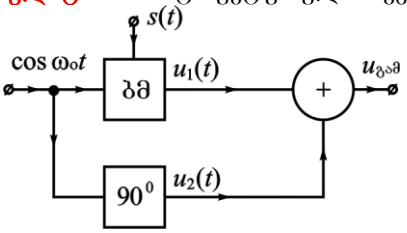
u_1 სიგნალის და u_2 სიგნალის სპექტრი და რხევები ბალანსური მოდულატორის გამოსასვლელზე მოყვანილია ნახ. 14.7, 14.8 და 14.9, შესაბამისად:



ნახ. 14.7 ნახ. 14.8 ნახ. 14.9

14.4. სიგნალების მიღება კუთხური მოდულაციით.

30-იან წლებში **ედვინ არმსტრონგმა** (1890-1954) შემოგვთავაზა კუთხურად მოდულირებული რადიოსიგნალების (**სმ**- და **ფმ**-სიგნალების) მიღების ეფექტური მეთოდი. **არმსტრონგის მოდულატორის** სტრუქტურული სქემა მოყვანილია ნახ. 14.10.



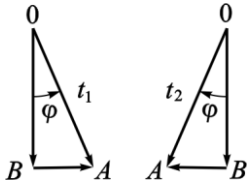
ნახ. 14.10

აქ ამჯამავის ერთ-ერთ შესასვლელზე მიყვანილია სიგნალი u_1, რომელიც მოდის **ბალანსური მოდულატორიდან ბმ**. ამჯამავის მეორე შესასვლელს მიეწოდება არამოდულირებული სიგნალი ფაზამაბრუნებლის გამოსასვლელიდან, რომელიც უცვლის გადამტანი სიხშირის ჰარმონიული სიგნალის ფაზას 90^0-ით **დაგვიანებისაკენ**. ამგვარად, სიგნალი მოცემული მოდულატორის გამოსასვლელზე ტოლი იქნება

$$u_{\text{გამ}}(t) = U_{m1}s(t)\cos\omega_0(t) + U_{m2}s(t)\sin\omega_0(t), \qquad (4.47)$$

სადაც U_{m1} და U_{m2} რაღაც მუდმივი ამპლიტუდებია.

იმისათვის, რომ დავრწმუნდეთ, რომ ფორმულა (4.47) ნამდვილად აღწერს სიგნალს ფაზური მოდულაციით, განვიხილოთ ამ რხევის ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 14.11 ა და ბ). არამოდულირებული მდგენელი $U_{m2}\sin\omega_0(t)$ აისახება U_{m2} სიგრძის მუდმივი OB ვექტორით. ბალანსურად მოდულირებული სიგნალი $U_{m1}s(t)\cos\omega_0(t)$ აისახება ვექტორით BA. ამ ვექტორის სიგრძე $U_{m1}s(t)$ არ **არის დროში მუდმივი**, მაგრამ ის ყოველთვის OB ვექტორის პერპენდიკულარულია. გასაგებია, რომ რეზულტიური ვექტორი OA დროის გავლის შემდეგ მოტრიალდება. მისი მობრუნების ცენტრი 0 წერტილია. **ფაზური კუთხე** $\varphi(t)$, რომელიც შედის მოდულატორის გამოსასვლელზე სიგნალის **სრული** $\psi(t)$ **ფაზის** გამოსახულებაში $\psi(t) = \omega_0(t) + \varphi(t)$, ცხადია, შეიძლება ვიპოვოთ თანაფარდობიდან $tg\varphi(t) = U_{m1}s(t)/U_{m2}$.



ა ბ

ნახ. 14.11

ჩვეულებრივ ისწრაფიან მიიღონ წრფივი დამოკიდებულება $s(t)$ სიგნალსა და $\varphi(t)$ ფაზურ კუთხეს შორის. ამისათვის აყენებენ მოდულატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როცა $U_{m1} << U_{m2}$, ისე რომ

$$\varphi(t) \approx U_{m1}s(t)/U_{m2}. \qquad (4.48)$$

ამ შემთხვევაში **გამოსასვლელი სიგნალის მყისიერი სიხშირე** მიახლოებით გადასაცემი დაბალსიხშირული რხევის წარმოებულის პროპორციულია:

$$\omega_{\text{გამ}}(t) \approx \omega_0 + U_{m1}s'(t)/U_{m2}. \qquad (4.49)$$

ამგვარად, არმსტრონგის მოდულატორი (4.48) გამოსახულების თანახმად უნდა მუშაობდეს **მოდულაციის მცირე ინდექსით**, ანუ სიხშირის მცირე დევიაციით. იმისათვის, რომ დავძლიოთ ეს ნაკლოვანება, **ფმ**- და **სმ**-სიგნალების გადამცემებში მოდულატორის შემდეგ ითვალისწინებენ სიხშირის მრავალჯერად გამრავლებას. თუ მამრავლებლის შესასვლელზე სიხშირის დევიაცია შეადგენს $\Delta\omega$-ს, მაშინ გამოსასვლელზე ის ტოლი იქნება $n\Delta\omega$, სადაც n - გამრავლების ჯერადობაა.