

# **Telekomunikacijų sistemų laboratorija**

**„Telekomunikacijų fizikos ir elektronikos“ bakalauro studijų programa.**

**Kursas „Telekomunikacijų pagrindai“**

**Laboratorinis darbas Nr. 5**

**Analoginė nešlio moduliacija**

**Vilnius, 2012**

## 1. Darbo tikslas

Susipažinti su analoginės nešlio moduliacijos rūšimis ir ištirti pagrindines moduluotų signalų savybes.

## 2. Darbo užduotys

1. Pasiruošti darbui teoriškai. Mokėti paaiškinti, kaip gaunami dvišonės benešės (DBAM), vienašonės (VAM), gaubtinės (GAM) amplitudės, dažnio (DazM) ir fazės (FazM) ir kvadratūrinės analoginių moduliacijų signalai.
2. Išmatuoti, kaip priklauso moduluoto signalo juostos plotis, spektro forma ir centrinis dažnis nuo moduliacijos rūšies, esant vienodiems moduluojančio signalo parametrams. Kuo skiriasi DBAM ir GAM signalų formos ir spektrai? Kuo skiriasi DazM ir FazM signalų spektrai? Kuo skiriasi DBAM ir KvaAM signalų formos ir spektrai?
3. Išmatuoti, kaip priklauso DBAM ir GAM signalų amplitudės nuo nešlio ir informacinio signalų amplitudžių. Nuo ko priklauso GAM signalo didžiausia, mažiausia ir gaubtinės amplitudės?
4. Išmatuoti, kaip priklauso moduluoto kampo signalo juostos plotis nuo informacinio signalo juostos, esant keletui deviacijos verčių. Ar rezultatai tenkina formulę  $\Delta f = 2f_d + 2f_m$ ? Ištirti moduluojančiojo ir moduluoto (DazM ir FazM) signalų spektrų sąsajas. Kaip priklauso moduluotame signale sukurtų spektro linijų kiekis (ir užimamas dažnių juostos plotis) nuo moduluojančiojo signalo dažnio aDazM ir FazM atvejais?

## 3. Teorinis įvadas

### 3.1 Amplitudės moduliacija

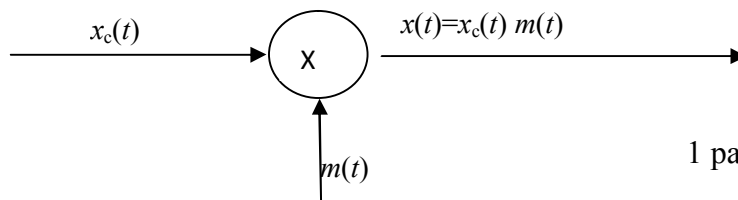
#### 3.1.1 Dvišonė benešė amplitudės moduliacija (DBAM)

Tegu turime nešlį  $x_c(t)$  ir moduluojantįjį signalą  $m(t)$ :

$$\begin{aligned}x_c(t) &= A_c \cos \omega_c t, \\m(t) &= A_m \cos \omega_m t,\end{aligned}\tag{1}$$

kur:  $\omega_c \gg \omega_m$ .

Atliekant DBAM moduliavimą abu signalai paprasčiausiai sudauginami (1 pav.):



1 pav. DBAM modulatorius -daugintuvas

$$\begin{aligned}
 x(t) &= m(t)x_c(t) = A_m \cos \omega_m A_c \cos \omega_c t = \\
 &= \frac{A_m A_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Gauname dvi vadinamąsias **šonines linijas**, kurių dažniai:

$$\omega_c \pm \omega_m.
 \tag{3}$$

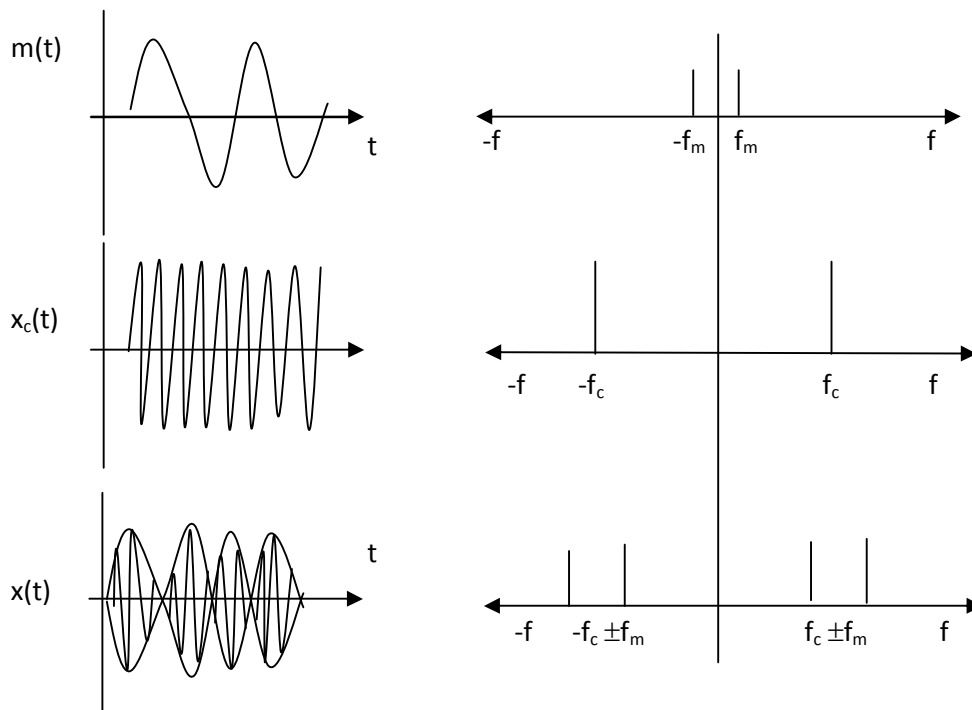
Kaip matyti, moduliutojo signalo spektre yra tik šoninės juostos ir nėra sando su nešlio dažniu  $\omega_c$ . Būtent todėl šis moduliacijos tipas yra vadinamas dvišone **benešle** amplitudės moduliacija.

Jei moduliutojo signalo spektrą vaizduotume dvipuse diagrama (2 pav.), tai  $x(t)$  užrašytume taip:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= \frac{A_m A_c}{4} \{ \exp[j(\omega_c + \omega_m)t] + \exp[-j(\omega_c + \omega_m)t] + \\
 &+ \exp[j(\omega_c - \omega_m)t] + \exp[-j(\omega_c - \omega_m)t] \}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Pastebėkime: informacinis signalas turi neturėti nuolatinio sando, kad nebūtų nešlio dažnio sando moduliutojo signalo spektre. Tegu:

$$m(t)_1 = m(t) + c.
 \tag{5}$$



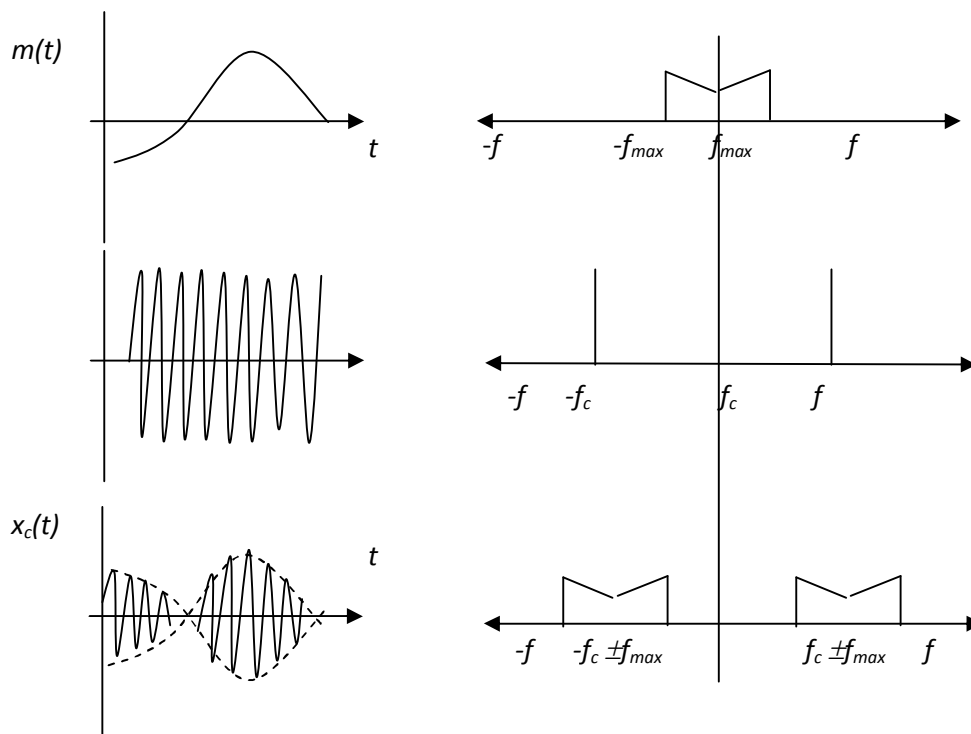
2 pav. DBAM signalų formos ir spektrai, kai informacinis signalas harmoninis

T.y. papildome harmoninį moduliuojantįjį signalą nuolatiniu sandu  $c$ . Tada:

$$\begin{aligned} x(t) &= [m(t) + c][x_c(t)] = \\ &= cx_c(t) + m(t)x_c(t) = \\ &= cA_c \cos(\omega_c t) + m(t)x_c(t), \end{aligned} \quad (6)$$

t.y. moduluotasis signalas turi nešlio dažnį, nors naudojama benešlė amplitudės moduliacija. Taigi, jei informacinis signalas savo spektre turi dažnį su  $\omega = 0$ , tai DBAM signalas, **turi** nešlio dažnio sandą.

Tegu turime bendresnį atvejį - nešlį moduluojame žemutinių dažnių informaciniu (pvz., kalbos) signalu  $m(t)$ , kaip parodyta (3) pav. Kiekvienas moduliuojančiojo signalo  $m(t)$  sandas su dažniu  $f$ , moduliotojo signalo spektre bus atvaizduotas dažniais  $f_c \pm f$ . Teigiamų ir neigiamų dažnių srityse gausime po dvi **šonines juostas**. Moduliotojo signalo spektras išlieka tokios pat formos, kaip informacinio signalo tik jau centruotas ne ties  $f=0$ , o ties  $f=\pm f_c$ .

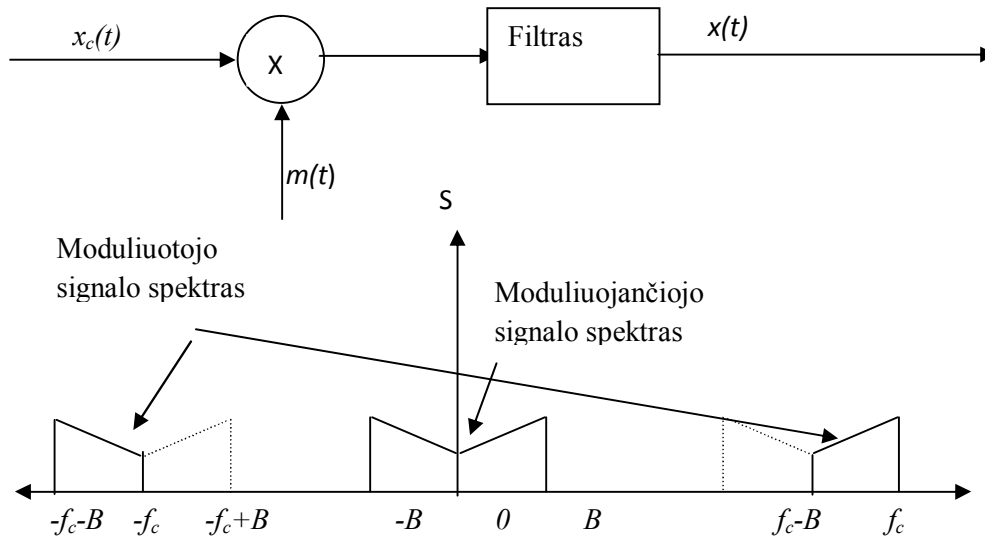


3 pav. DBAM signalų **formos** ir spektrai, esant ištisinio spektro moduliuojančiajam signalui

### 3.1.2 Vienašonė amplitudės moduliacija

Kai informacinio moduliuojančiojo signalo spektras yra juostoje  $\Delta\omega$ , dvišonės amplitudės moduliacijos signalo spektre yra dvi šoninės juostos  $\omega_c \pm \Delta\omega_m$ . Tačiau, informacijai perduoti pakanka ir vienos juostos. Todėl taupant dažnius, yra tikslinga nufiltruoti vieną iš dviejų

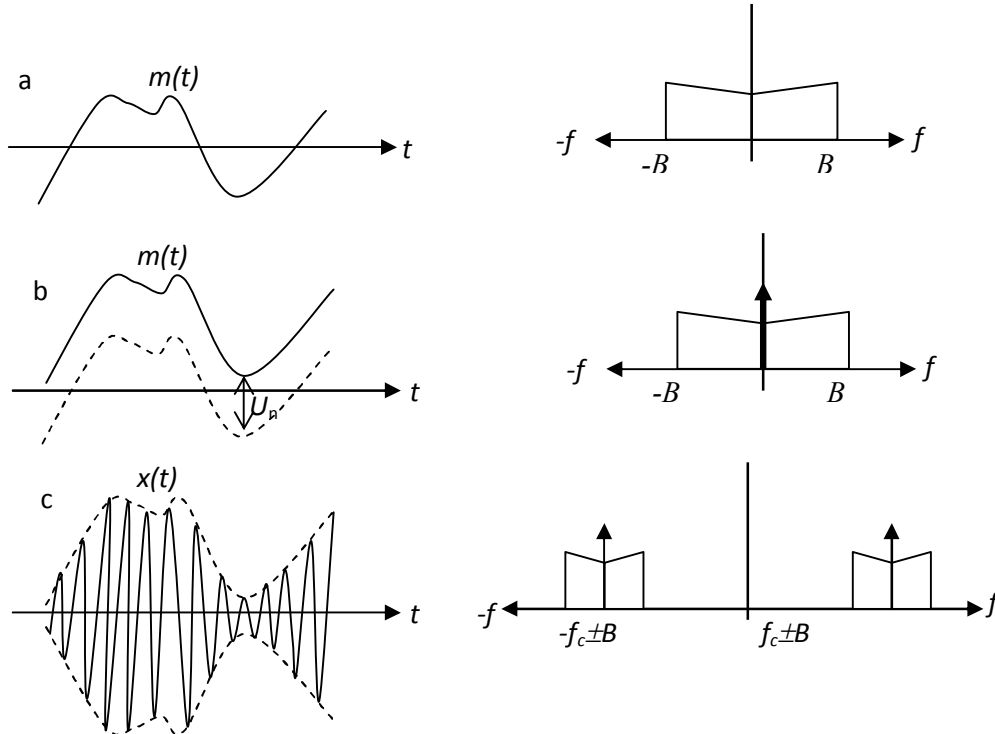
(žemadažnę arba aukštadažnę) šoninę juostą. Taip gaunamas vadinamosios **vienašonės amplitudės moduliacijos** - VAM ( *angl.-Single Side Band- SSB*) signalas (4 pav.).



4 pav. VAM modulatoriaus struktūra ir signalų spektrai

### 3.2.3 Paprastoji (gaubtinės) amplitudės moduliacija

Šiuo atveju (5 pav.) vėl dauginamas nešlys iš informacinio signalo, tačiau prieš dauginant, prie informacinio signalo pridėdama nuolatinis sandas  $U_n \geq |A_{min}|$  (čia  $A_{min}$ -minimali akimirksninė (neigiamiausia) signalo įtampa). Tada:



5 pav. Paprastoji AM. (a)- Informacinis signalas, (b)- informacinis signalas pridėjus nuolatinį sandą,  $U_n$ , (c)- moduluotasis signalas

$$\begin{aligned}
 x(t) &= [U_n + m(t)] [A_c \cos \omega_c t] = \\
 &= U_n A_c \cos \omega_c t + m(t) A_c \cos \omega_c t
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

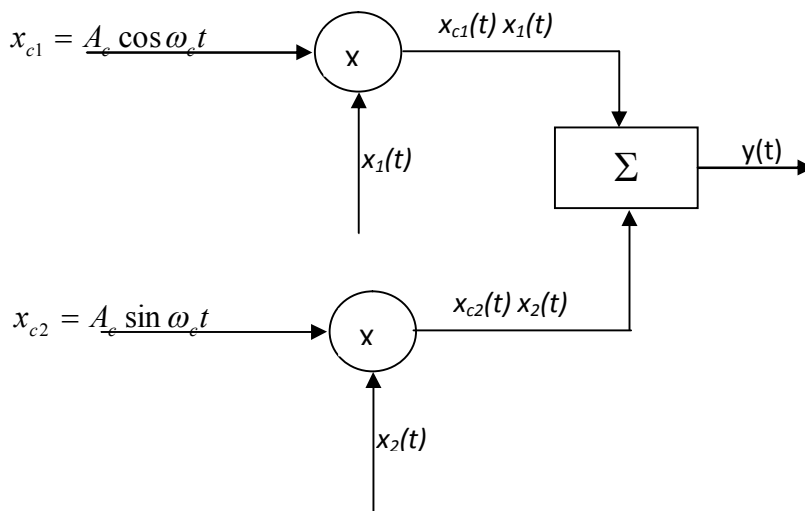
Dabar moduliuotojo signalo spektre būtinai yra nešlio dažnis, o moduliuotojo signalo gaubtinės forma atkartoja informacinio signalo formą. Dėl pastarosios savybės šis AM tipas dažnai vadinamas **gaubtinės** (arba **paprastąja**) moduliacija. Kadangi moduliuotame signale yra nešlio dažnis, tai siųstuvo energija būtinai naudojama nešliui, neperduodančiam jokios informacijos, siųsti. Vadinasi, dalis siųstuvo energijos naudojama bereikalingai. Nežiūrint to, ši moduliacija plačiai naudojamas radijo transliacijoje. Ilgujų, vidutinių ir trumpųjų bangų diapazonuose radijo stotys transliuoja moduluotos gaubtinės AM signalus.

### 3.2 Kvadratūrinė nešlio moduliacija

Tegu turime du nešlius:

$$\begin{aligned}
 x_{c1}(t) &= A_c \cos \omega_c t, \quad \text{ir} \\
 x_{c2}(t) &= A_c \sin \omega_c t = A_c \cos\left(\omega_c t - \frac{\pi}{2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

ir du informacinius signalus:  $x_1(t)$  ir  $x_2(t)$ . Atliekame su abiem nešliais ir informaciniais signalais dvišonės benešlės amplitudės moduliacijos vyksmą ir gautuosius signalus sudedame (6 pav.):



6 pav. QAM signalo gavimo principas

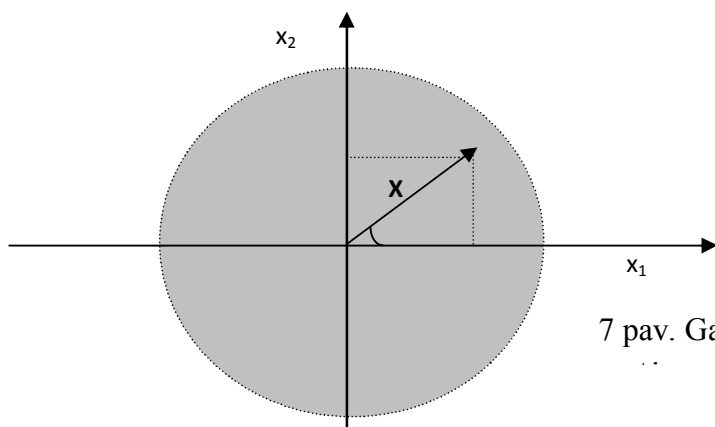
$$\begin{aligned}
 y(t) &= x_1(t)x_{c1}(t) + x_2(t)x_{c2}(t) = x_1(t)A_c \cos \omega_c t + x_2(t)A_c \sin \omega_c t = \\
 &= A_c x(t) \cos[\omega_c t + \varphi(t)]
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Čia:

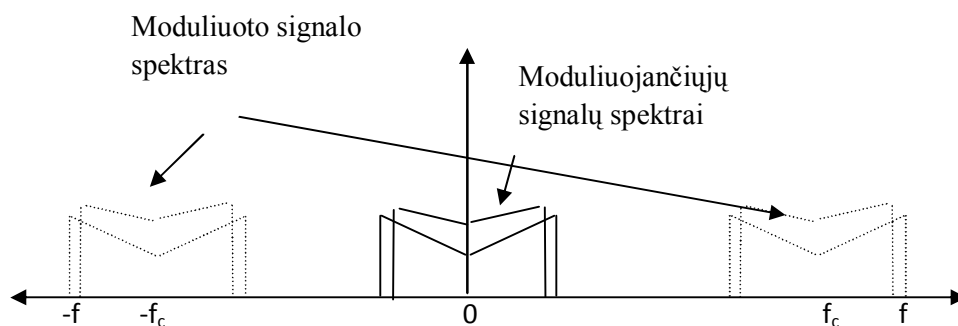
$$\begin{aligned}x(t) &= \sqrt{x_1^2(t) + x_2^2(t)} \\ \varphi(t) &= \operatorname{arctg} \frac{x_2(t)}{x_1(t)}\end{aligned}\quad (10)$$

Čia įvykdėme taip vadinamosios **kvadratinės moduliacijos** (*angl.* – *Quadrature Amplitude Modulation – QAM*) vyksmą. Nors šio moduliacijos tipo anglų kalbos pavadinime yra žodis “amplitude”, tačiau ši moduliacija nėra vien tik amplitudės. Moduluotame signale priklausomai nuo abiejų moduluojančiųjų signalų kinta du parametrai: moduluotojo signalo amplitudė  $A_c x(t)$  ir fazė -  $\varphi(t)$ . Taigi, kvadratinė moduliacija yra kartu **ir amplitudės, ir fazės** moduliacija.

Iš (9,10) lygčių aišku, kad moduluotojo signalo akimirksninę amplitudę ir akimirksninę fazę galima atvaizduoti vektoriumi  $\mathbf{X}(t)$ , kurio modulis polinėje koordinatų sistemoje yra  $x(t)$  ir fazė -  $\varphi(t)$ . Jei signalų  $x_1$  ir  $x_2$  maksimaliosios momentinės įtampos yra vienodos, vektoriaus  $\mathbf{X}(t)$  galimos pozicijos išsidėstys skritulyje, kaip parodyta 7 pav. Vektoriaus projekcijos į koordinatų ašis atitiks momentines signalų  $x_1$  ir  $x_2$  įtampas. QAM signalo spektras yra sudarytas iš dviejų DBAM signalų spektrų superpozicijos. Jei signalų  $x_1$  ir  $x_2$  spektrai persikloja, QAM signalo spektras bus dviejų persiklojančių DBAM signalų spektrų superpozicija, kaip parodyta 8 pav.



7 pav. Galimos vektoriaus  $\mathbf{X}(t)$



8 pav. QAM signalų spektrai

### 3.3 Analoginė nešlio kampo moduliacija

Tegu turime nešlį

$$x_c(t) = A_c \cos \omega_c t \quad (11)$$

ir moduluotąjį signalą:

$$x(t) = A_c \cos[\Theta(t)]. \quad (12)$$

Čia :

$$\Theta(t) = \omega_c t + \varphi(t). \quad (13)$$

Tegu informacinis moduluojantysis signalas yra  $m(t)$ . Jei:

$$\Theta(t) = f[m(t)] \quad (14)$$

sakome, kad turime **kampo moduliaciją**.

Panagrinėsime du svarbius atvejus. Jei:

$$\Theta(t) = \omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt, \quad (15)$$

tai sakome, kad turime nešlio **dažnio moduliaciją** – DM (*angl.* – FM). Iš tikrųjų, pagal apibrėžimą:

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Theta}{dt}. \quad (16)$$

Tada iš (15):

$$f_m^f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Theta(t)}{dt} = f_c + k_f m(t). \quad (17)$$

Čia  $f_m^f$  – **momentinis dažnis**,  $k_f$  – vadinamasis **moduliacijos indeksas**. Taigi, esant dažnio moduliacijai momentinio dažnio nuokrypis proporcingas informaciniam signalui  $m(t)$ . Jei:

$$\Theta(t) = \omega_c t + 2\pi k_\varphi m(t), \quad (18)$$

(čia  $k_\varphi$  - moduliacijos indeksas), tai sakome, kad turime **fazės moduliaciją** – FM (*angl.* – PM). Šiuo atveju  $\Delta\varphi \sim m(t)$ , t.y. fazės nuokrypis proporcingas moduluojančiajam informaciniam signalui.

Jei (18) pervesime į dažnius, tai:

$$f_m^\varphi = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Theta}{dt} = f_c + k_\varphi \frac{dm(t)}{dt}. \quad (19)$$



(15) ir (18), taip pat (17) ir (19) tarpusavyje labai panašios. Iš (15) ir (18) aišku, kad jei koki nors įrenginį veikiant moduliuojančiuoju signalu  $m(t)$  gauname fazės moduliaciją, tai tą įrenginį veikiant  $m(t)$  integralu gausime dažnio moduliaciją. Jei koki nors įrenginį veikdami signalu  $m(t)$  gauname dažnio moduliaciją, tai, kad gautume fazės moduliaciją, tai tą patį įrenginį reikia paveikti  $m(t)$  išvestine (17 ir 19 lygtys).

Tegu:

$$m(t) = A_m \cos \omega_m t. \quad (20)$$

Tada moduluotąjį signalą galime užrašyti taip:

$$\begin{aligned} x^f(t) &= A_c \cos \left[ \omega_c t + 2\pi k_f \int_0^t A_m \cos \omega_m t dt \right] = \\ &= A_c \cos \left[ \omega_c t + \frac{2\pi k_f A_m}{\omega_m} \int_0^t \cos \omega_m t d\omega_m t \right] = \\ &= A_c \cos \left( \omega_c t + \frac{2\pi k_f A_m}{\omega_m} \sin \omega_m t \right) = \\ &= A_c \cos \left( \omega_c t + \frac{f_d}{f_m} \sin \omega_m t \right) = \\ &= A_c \cos(\omega_c t + \beta_f \sin \omega_m t). \end{aligned} \quad (21)$$

Čia:  $f_d = k_f A_m$  – maksimalus momentinio dažnio nuokrypis vadinamas - **deviacija**;  $f_m$  – informacinio signalo dažnis;  $\beta_f = f_d / f_m$  – **deviacijos indeksas**. Dažnio moduliacijos atveju deviacijos indeksas parodo, kiek kartų dažnio deviacija (t. y. maksimalus dažnio nuokrypis) yra didesnė už informacinio signalo dažnį.

Taigi, kai moduliuojantysis signalas harmoninis, DM signalą galime užrašyti taip:

$$x^f(t) = A_c \cos(\omega_c t + \beta_f \sin \omega_m t) \quad (22)$$

Fazės moduliacijos atveju iš (19):

$$x^\varphi(t) = A_c \cos[\omega_c t + 2\pi k_\varphi A_m \cos \omega_m t], \quad (23)$$

arba:

$$x^\varphi(t) = A_c \cos[\omega_c t + \varphi_d \cos \omega_m t]. \quad (24)$$

Čia:  $\varphi_d = 2\pi k_\varphi A_m$  – **fazės deviacija**.

Taigi, abiem atvejais moduluotųjų signalų išraiškos labai panašios. Jei paimtume FM signalą ne  $m(t) = A_m \cos \omega_m t$ , o  $m(t) = A_m \sin \omega_m t$ , tai išraiškos (23) ir (24) taptų identiškoms:

$$x^{f,\varphi}(t) = A_c \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t). \quad (25)$$

$$\text{Čia: } \begin{cases} \beta = \beta_f, & \text{kai DM} \\ \beta = \varphi_d, & \text{kai } \Phi M. \end{cases}$$

Koks gi moduluotos fazės arba moduluoto dažnio signalų spektras? Net ir tada, kai  $m(f)$  harmoninis signalas, gavome (2) 5

$$x^{f,\varphi} \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos 2\pi(f_c + n f_m)t. \quad (26)$$

Čia  $J_n(\beta)$  – n-tosios eilės Beselio funkcija.

Iš (26) aišku, kad moduluoto signalo spektre yra begalybė dažnių  $f_n = f_c \pm n f_m$ , išsidėsčiusių simetriškai nešlio dažnio. Pasirodo, kad kai  $\beta \ll 1$  (taip vadinamoji **siaurajuostė kampo moduliacija**) dažniai  $f_c \pm n f_m$  su  $n > 1$ , turi labai mažas amplitudes ir faktiškai spektre yra tik trys linijos  $f_c$ ,  $f_c + f_m$  ir  $f_c - f_m$ . Kai  $\beta$  didėja, spektro linijos  $f_c \pm n f_m$  su  $n > 1$  vis daugiau ir daugiau įgyja žymias amplitudes. Žymias amplitudes turi linijos, kurių  $|n| \leq \beta + 1$ . Taigi, spektras užima juostą

$$f_c - (\beta + 1)f_m \leq f \leq f_c + (\beta + 1)f_m. \quad (27)$$

Spektro plotis išreiškiamas taip:

$$B \approx 2f_m(\beta + 1). \quad (28)$$

DM signalui galioja toks sąryšis:

$$\beta_f f_m = f_d.$$

Taigi:

$$B^f \approx 2f_m(\beta + 1) = 2f_d + 2f_m. \quad (29)$$

Kuo gi skiriasi moduluoto dažnio ir moduluotos fazės signalų spektrai? Tegu informacinio signalo spektras yra juostoje  $f_{min}-f_{max}$ . Tada deviacijos indeksas DM signalui

$$\beta_f = \frac{k_f A_m}{f_m}$$

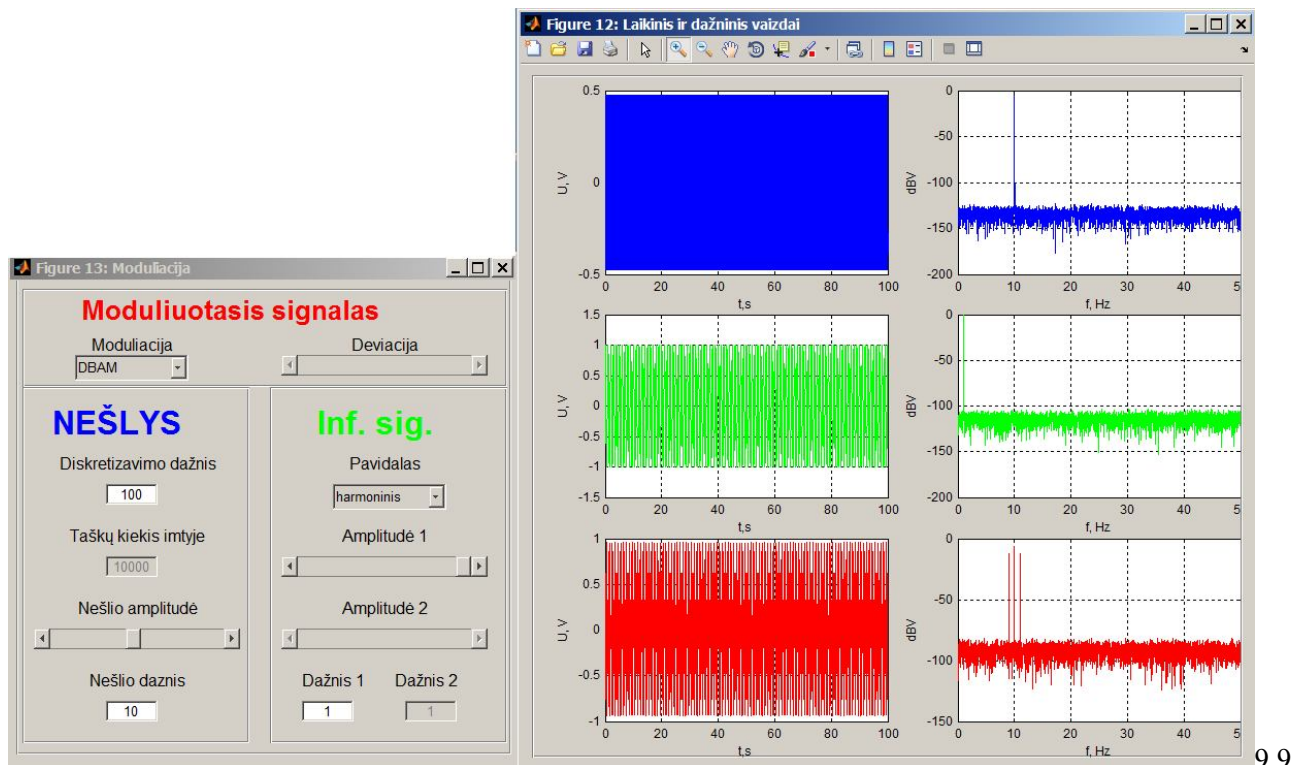
yra didesnis žemo dažnio sandams ir mažesnis aukšto dažnio sandams. Taigi, žemo dažnio informacinio signalo sandai  $f_c \pm n f_m$  „prigamina“ daugiau, o aukšto dažnio - mažiau linijų moduluoto signalo spektre. Tačiau nors žemo dažnio sandai „prigamina“ daugiau linijų moduluoto signalo

spektre, atstumas tarp linijų yra mažesnis, taigi moduluoto signalo spektro plotis moduluojant tiek aukšto, tiek žemo dažnio informaciniu signalu bus maždaug tas pats. Esant fazės moduliacijai,  $\beta=2\pi k_f A_m$  nepriklauso nuo informacinio signalo dažnio. Taigi, tiek žemo dažnio, tiek aukšto dažnio informacinio signalo sandai „pagamina“ vienodą skaičių spektro linijų moduluotojo signalo spektre. Informacija apie ŽD informacinio signalo sandus yra sukaupta siauroje FM signalo juostoje, o apie AD sandus – plačioje.

## 4. Metodiniai nurodymai

### 4.1 Darbas su programa

Paleiskite Matlabo paketą ir teisingai nustatykite darbinį aplanką. Darbinimame lange surinkite komandą „lab5“. Ekrane turi pasirodyti sekantis langas (9 pav.).



9 pav. Laboratorinio darbo langai

Valdymo programa „Moduliacija“ sudaryta iš trijų skydelių. Skydelyje **Nešlys** parenkami nešlio parametrai: diskretizavimo dažnis, amplitudė ir dažnis. Skydelio „**Inf. signalas**“ pagalba nustatomi moduluojančio (informacinio) signalo parametrai: pavidalas, amplitudė ir dažnis. Esant kvadratinėi moduliacijai, abiejų informacinių signalų dažniai ir amplitudės nustatomi atskirai. Parametras dažnis tiesioginę prasme suprantamas tik, kai informacinio signalo pavidalas yra harmoninis; kai šis signalas yra žemadažnis juostinis „dažnis“ atitinka didžiausią dažnį ištisiniame signalo spektre, kai pavidalas „dvilygis“- dažnis atitinka skaitmeninio signalo spartą. Skydelyje „Moduliuotasis signalas“ galima keisti moduliacijos rūšį ir deviaciją (kai moduliacijos rūšis yra DazM ir FazM). Visų trijų signalų laikiniai ir dažniniai vaizdai stebimi lange „Laikinis ir dažninis

vaizdas“. Visada turi būti: diskretizavimo dažnis  $f_d \gg f_n$  ( $f_n$  -nešlio dažnis) ir informacinio signalo dažnis  $f_m \ll f_n$ . Matlabo komandos, simuliuojančios moduliavimą, veikia korektiškai, jei  $f_d > 2f_n$ .

#### **4.2 Įvairių nešlio moduliacijos formų signalų parametrai**

Nustatyti“ diskretizavimo dažnis kelis šimtais Hz, nešlio amplitudė- didžiausia (atitinka 1 V), nešlio dažnis- keliasdešimt Hz, amplitudė 1- didžiausia (atitinka 1 V informacinį signalą), inf. Signalo dažnis – keli Hz.

a) Inf. signalo skydelyje įjungti „Pavidalas“ – „nuolatinė įtampa“ ir išmatuoti moduluoto signalo amplitudę ir dažnį, esant įvairioms moduliacijos rūšims. Esant kvadratūrinei moduliacijai – nustatyti „Amplitudė 2“ didžiausią vertę. Dažninei ir fazinei moduliacijoms nustatyti didžiausią deviacijos vertę. Rezultatus surašyti į lentelę ir paaiškinti.

b) Inf. signalo skydelyje įjungti „Pavidalas“ – „harmoninis“ ir išmatuoti moduluoto signalo spektro linijų dažnius ir amplitudes, esant įvairioms moduliacijos rūšims. Esant kvadratūrinei moduliacijai – nustatyti „Amplitudė 2“ didžiausią vertę ir „Dažnis 2“ – nesutampantį su „Dažnis 1“. Dažninei ir fazinei moduliacijoms nustatyti didžiausią deviacijos vertę. Rezultatus surašyti į lentelę ir paaiškinti.

c) Inf. signalo skydelyje įjungti „Pavidalas“ – „žd. juostinis“ ir išmatuoti moduluoto signalo spektro juostos pločius ir centrinius dažnius, esant įvairioms moduliacijos rūšims. Esant kvadratūrinei moduliacijai – nustatyti „Amplitudė 2“ didžiausią vertę ir „Dažnis 2“ – nesutampantį su „Dažnis 1“. Dažninei ir fazinei moduliacijoms nustatyti didžiausią deviacijos vertę, o juostos plotį matuoti -40 dB lygyje didžiausio spektrinio tankio atžvilgiu. Rezultatus surašyti į lentelę ir paaiškinti.

#### **4.3 DBAM ir GAM signalų parametrų priklausomybės nuo nešlio ir informacinio signalo amplitudės ir dažnio tyrimas**

a) Naudojantis moduluoto signalo laikiniu vaizdu, išmatuoti DBAM signalo didžiausios amplitudės priklausomybę nuo nešlio ir informacinio signalo amplitudžių. Naudoti harmoninį informacinį signalą. Rezultatus pateikti grafike ir paaiškinti.

b) Naudojantis moduluoto signalo laikiniu vaizdu, išmatuoti GAM signalo didžiausios, mažiausios ir gaubtinės amplitudžių priklausomybę nuo nešlio ir informacinio signalo amplitudžių. Naudoti harmoninį informacinį signalą. Rezultatus pateikti grafike ir paaiškinti.

#### **4.4 Nešlio kampo moduliacijos tyrimas**

Išmatuoti, kaip priklauso DazM signalo juostos plotis nuo deviacijos, esant keletui moduluojančio signalo juostos pločių. Ar rezultatai tenkina formulę  $\Delta f = 2f_d + 2f_m$  ?

a) **Moduluotojo signalo juostos pločio priklausomybės nuo informacinio signalo juostos tyrimas.** Nešlio dažnis –dešimtys Hz, diskretizavimo dažnis – šimtai Hz, informacinis signalas- „žd. Juostinis“. Deviacija nustatoma slankikliais „Deviacija“ ir „Amplitude1“. Informacinio signalo aukščiausias dažnis (tuo pačiu ir juostos plotis) užduodamas „Dažnis 1“ langelyje. Išmatuoti moduluoto dažnio ir moduluotos fazės signalų juostos pločio priklausomybę (juostos plotis matuoti -40 dB lygyje, didžiausio spektrinio tankio atžvilgiu) nuo informacinio signalo juostos pločio, esant keletui deviacijos verčių. Deviaciją rekomenduojama pasirinkti didžiausią galimą ( $D_{max}$ ), apie  $D_{max}/3$  ir apie  $D_{max}/10$ . Rezultatus pateikti grafikai ir paaiškinti. Ar rezultatai tenkina formulę  $\Delta f = 2f_d + 2f_m$  ?

***b) Moduluotos fazės ir dažnio bei informacinio signalų spektrų sąsajos tyrimas.***

Nustatymai tpanašūs, kaip a) atveju, tik „Pavidalas“ perjungiamas į padėtį „harmoninis“. Išmatuojama, kaip priklauso  $f_c \pm n f_m$  žymių (žymia spektro linija laikoma ta, kurios dydis ne mažesnis, kaip 1/100 nuo stipriausios linijos) linijų kiekis ir jų užimamas juostos plotis nuo informacinio signalo dažnio abejoms kampo moduliacijos rūšims. Geriausia dažnio deviaciją pasiringti apie 3 Hz, o fazės - apie 1 rad. Jei pritrūksite spektro skiriamosios gebos, padidinkite diskretizavimo dažnį. Moduliuojančio signalo dažnį keisti nuo kelių dešimtųjų Hz iki dešimčių Hz. Rezultatai pateikiami grafiškai ir paaiškinami abiejų moduliacijų spektro susidarymo ypatumai.