

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 3

SEMNALE CU PURTĂTOR ARMONIC, MODULATE ÎN FRECVENȚĂ

3.1. Obiectul lucrării

În această lucrare se va realiza analiza spectrală a oscilațiilor modulate în frecvență, cu semnal modulator sinusoidal, semnal dreptunghiular și semnal tringhiular.

3.2. Aspecte teoretice

Se cunoaște că expresia generală a unei oscilații modulate cu semnal modulator sinusoidal este:

$$x(t) = A(t) \cdot \cos \Phi(t), \quad (1)$$

unde $A(t)$ este amplitudinea oscilației, $\Phi(t)$ este faza instantanee și $\Omega(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$ este frecvența instantanee. În absența unui semnal modulator, $x_m(t)$, parametrii oscilației au expresiile:

$$\begin{aligned} A(t) &= A_0 = \text{const.}, \\ \Omega(t) &= \Omega_0 = \text{const.}, \\ \Phi(t) &= \int \Omega(t) dt + \varphi_0 = \Omega_0 t + \Phi_0, \end{aligned} \quad (2)$$

iar relația (1) se reduce la expresia semnalului purtător:

$$x_0(t) = A_0 \cos(\Omega_0 t + \Phi_0). \quad (3)$$

În cazul semnalului modulat în frecvență, amplitudinea instantanee $A(t)$ este constantă și este egală cu A_0 , frecvența instantanee $\Omega(t)$ variază în jurul frecvenței purtătoare Ω_0 , în ritmul semnalului modulator $x_m(t)$ după o lege liniară:

$$\Omega(t) = \Omega_0 + K_F x_m(t), \quad (4)$$

unde K_F este o constantă specifică modulatorului MF.

Semnale cu purtător armonic, modulate în frecvență

Prin integrarea relației (4) se obține expresia fazei instantanee:

$$\Phi(t) = \Omega_0 t + K_F \int_0^t x_m(\tau) d\tau + \Phi_0. \quad (5)$$

În aceste condiții se obține expresia generală a unui semnal modulată în frecvență cu purtător armonic și semnal modulator oarecare:

$$x_{MF}(t) = A_0 \cos \left[\Omega_0 t + K_F \int_0^t x_m(\tau) d\tau + \Phi_0 \right] \quad (6)$$

În cazul în care semnalul modulator este armonic:

$$x_m(t) = A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m), \quad (7)$$

relațiile(4) și (5) devin:

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \Delta\Omega \cos(\omega_m t + \varphi_m), \quad (8)$$

$$\Phi(t) = \Omega_0 t + \frac{\Delta\Omega}{\omega_m} \sin(\omega_m t + \varphi_m) + \Phi_0, \quad (9)$$

unde $\Delta\Omega = K_F A_m$ se numește *deviație de frecvență* a semnalului MF și reprezintă variația maximă a frecvenței instantanee $\Omega(t)$ față de Ω_0 așa cum este prezentat și în figura 1.

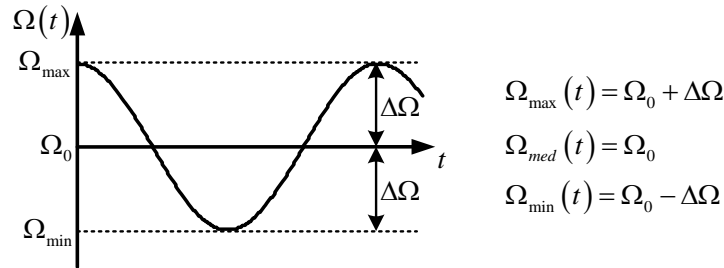


Figura 1. Reprezentarea grafică a frecvențelor instantanee pentru un semnal MF cu purtător armonic și semnal modulator armonic

Raportul

$$\beta = \frac{\Delta\Omega}{\omega_m} = \frac{K_F A_m}{\omega_m} \quad (10)$$

se numește *indice de modulație de frecvență*. Expresia semnalului modulată în frecvență este în acest caz:

$$x_{MF}(t) = A_0 \cos \left[\Omega_0 t + \beta \sin(\omega_m t + \varphi_m) + \Phi_0 \right] \quad (11)$$

În figura 2 se prezintă formele de undă pentru semnalele $x_m(t)$, $x_0(t)$ și $x_{MF}(t)$:

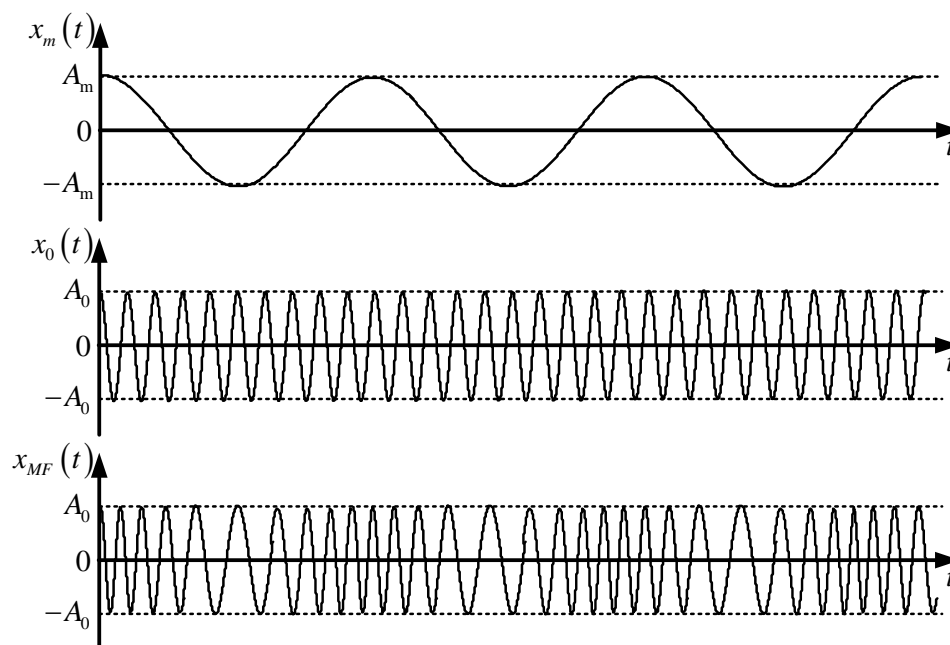


Figura 2. Formele de undă pentru semnalele modulator, purtător și respectiv modulat în frecvență în cazul armonic

Pentru analiza spectrală a semnalului $x_{MF}(t)$ se utilizează relația:

$$e^{j\beta \sin z} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k(\beta) e^{jkz}, \quad (12)$$

unde $J_k(\beta)$ reprezintă funcțiile Bessel de speța întâi, ordin k și argument β . În figura 3 sunt prezentate câteva grafice ale funcțiilor Bessel de speța întâi, ordin k și argument β .

În tabelul 1 sunt prezentate valorile lui β pentru care se obține anularea funcției Bessel de speța întâi, ordin k și argument β .

Tabelul 1 Valorile lui β pentru care $J_k(\beta) = 0$

k	β			
0	2,40	5,52	8,65	11,79
1	3,83	7,02	10,17	13,32
2	5,14	8,42	11,62	14,80
3	6,38	9,76	13,02	16,22
4	7,59	11,06	14,37	17,62

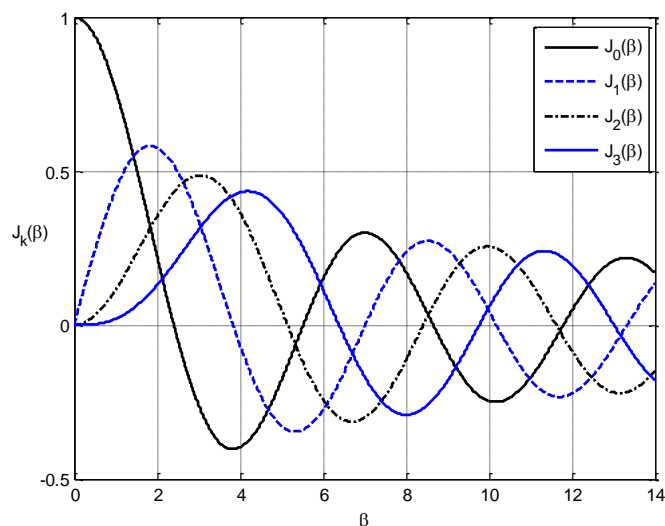


Figura 3. Reprezentarea grafică a funcțiilor $J_0(\beta)$, $J_1(\beta)$, $J_2(\beta)$ și $J_3(\beta)$

Dintre proprietățile cele mai importante ale funcțiilor Bessel de speța întâi, ordin k și argument β menționăm:

$$J_k(\beta) = (-1)^k J_{-k}(\beta), \quad (13)$$

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k^2(\beta) = 1, \quad (14)$$

$$J_{k+1}(\beta) + J_{k-1}(\beta) = \frac{2k}{\beta} J_k(\beta). \quad (15)$$

Utilizând dezvoltarea (12), relația (11) se poate scrie:

$$x_{MF}(t) = A_0 \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k(\beta) \cos[(\Omega_0 + k\omega_m)t + \Phi_0 + k\varphi_m] \quad (16)$$

Reprezentarea grafică a diagramei spectrale de amplitudine pentru semnalul modulat în frecvență este prezentată în figura 4.

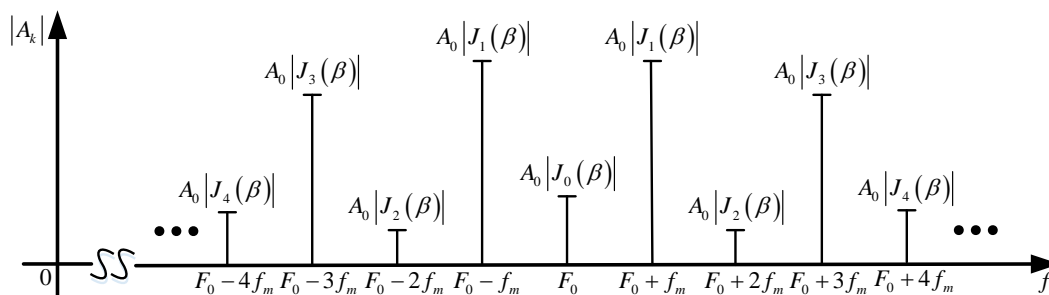


Figura 4. Diagrama spectrală de amplitudine pentru un semnal MF cu purtător armonic și semnal purtător armonic

Semnale cu purtător armonic, modulate în frecvență

Expresia (16) are o infinitate de termeni și banda de semnal este infinită. În practică se limitează la N termeni:

$$x_{MF}(t) \cong A_0 \sum_{k=-N}^{+N} J_k(\beta) \cos[(\Omega_0 + k\omega_m)t + \Phi_0 + k\varphi_m] \quad (17)$$

și din considerente energetice se găsește $N = \beta + \sqrt{\beta} + 1$, adică:

$$B_{MF} = 2(\beta + \sqrt{\beta} + 1)f_m. \quad (18)$$

Dacă $\beta \gg 1$ se poate neglija 1 și $\sqrt{\beta}$ și banda de semnal devine:

$$B_{MF} \cong 2\beta f_m = 2\Delta F. \quad (19)$$

Relația (19) este remarcabilă pentru că pentru $\beta \gg 1$ banda de frecvență nu depinde de frecvență semnalului modulator ci doar de deviația maximă de frecvență.

Relația (11) se mai poate scrie și sub forma:

$$x_{MF}(t) = A_0 \cos(\Omega_0 t + \Phi_0) \cos(\beta \sin(\omega_m t + \varphi_m)) - A_0 \sin(\Omega_0 t + \Phi_0) \sin(\beta \sin(\omega_m t + \varphi_m)).$$

Dacă $\beta \sin(\omega_m t + \varphi_m) \ll \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow \beta < 0,5$ se pot utiliza următoarele aproximări:

$$\begin{cases} \cos(\beta \sin(\omega_m t + \varphi_m)) \cong 1 \\ \sin(\beta \sin(\omega_m t + \varphi_m)) \cong \beta \sin(\omega_m t + \varphi_m) \end{cases} \quad (20)$$

numite și *aproximarea de bandă îngustă*. În acest mod se obține expresia unui semnal MF de bandă îngustă:

$$x_{MF}(t) = A_0 \cos(\Omega_0 t + \Phi_0) - \frac{\beta A_0}{2} \cos[(\Omega_0 - \omega_m)t + \Phi_0 - \varphi_m] + \frac{\beta A_0}{2} \cos[(\Omega_0 + \omega_m)t + \Phi_0 + \varphi_m] \quad (21)$$

Reprezentarea grafică a spectrului de amplitudini este prezentată în figura 5.

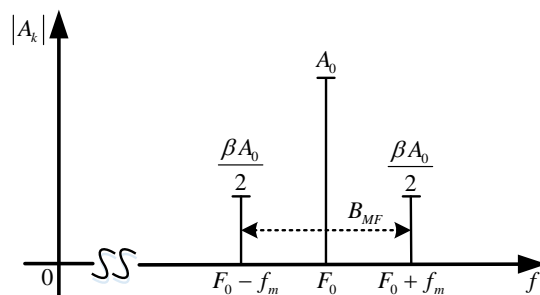


Figura 5. Diagrama spectrală de amplitudine pentru un semnal MF de bandă îngustă

Din figura 5 se observă că banda semnalului MF în acest caz este:

$$B_{MF} = 2f_m, \quad (22)$$

iar în modul componenta laterală superioară este egală cu componenta laterală inferioară.

Puterea disipată de un semnal MF cu semnal modulator sinusoidal pe o rezistență $R = 1 \Omega$ are expresia:

$$P_{MF} = U_{ef}^2 = \left(\frac{A_0}{\sqrt{2}} \right)^2 \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k^2(\beta) = \frac{A_0^2}{2} \quad (23)$$

Din relația de mai sus rezultă că valoarea efectivă a semnalului MF are expresia:

$$U_{ef} = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \quad (24)$$

3.3. Desfășurarea lucrării

Se realizează montajul din figura 6.

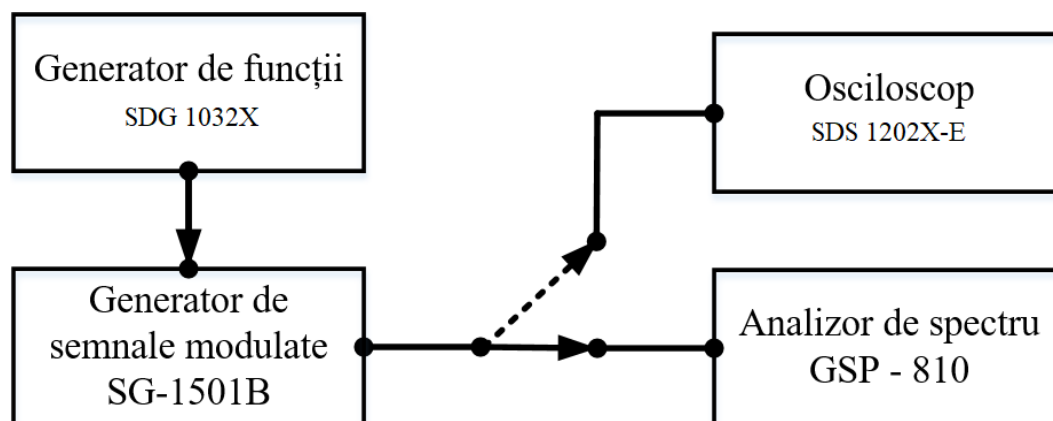


Figura 6. Schema de măsură folosită în lucrare

A) Construirea caracteristicii modulatorului – graficul $\beta(A_m)$ pentru deviația de frecvență egală cu 15 kHz

Caracteristica modulatorului este construită pe baza metodei extincțiilor purtătoarei, aceasta bazându-se pe variația funcției $J_0(\beta)$ (vezi figura 3). În Fig. 4 se poate observa că amplitudinea componentei purtătoare este dată de relația $A_0|J_0(\beta)|$. Valorile lui β pentru care $J_0(\beta)=0$ (componenta purtătoare se anulează) sunt date în tabelul 1, iar patru dintre ele, suficiente pentru ridicarea caracteristicii, au fost selectate și incluse în tabelul 2.

Pentru a trasa caracteristica modulatorului MF se procedează în modul următor:

1. Se reglează parametrii semnalului purtător și ai procesului de modulare astfel: se procedează astfel încât în gruparea de butoane MODULATION a generatorului de semnale modulate să fie activate (LED-uri indicatoare aprinse) numai butoanele FM și EXT. Se setează frecvența purtătoare: se apasă butonul FREQ din gruparea de butoane DATA ENTRY (atenție, butonul FREQ al generatorului de semnale modulate, nu al generatorului de semnale!), se introduce valoarea 1000 folosind tastele numerice alăturate și se apasă tasta kHz. S-a reglat astfel frecvența purtătoare la 1 MHz, iar pe afișajul FREQUENCY se va găsi valoarea 1.000.0 MHz, primul punct jucând rol de punct zecimal, iar al doilea este doar un separator de grupări zecimale pentru a ușura citirea.

2. Se reglează deviația de frecvență (corespunzătoare parametrului $\Delta\Omega$) la 15 kHz astfel: se apasă butonul MOD (aflat mai jos de butonul FREQ folosit anterior), se introduce valoare 15 folosind aceeași tastatură ca la operația anterioară și se apasă butonul ENT care ar trebui să aibă LED-ul aprins.

3. Se conectează ieșirea generatorului de semnale modulate (OUTPUT) la intrarea analizorului spectral (RF INPUT 50 Ω). Se reglează parametrii analizorului spectral: se centrează ecranul în jurul frecvenței purtătoare (1 MHz) prin apăsarea butonului CENTER, introducerea valorii 1 și apăsarea butonului MHz. Se reglează parametrul SPAN la 5 kHz/div prin apăsarea butonului SPAN și folosirea butonului rotativ pentru selectarea valorii dorite din cele posibile. Se

Semnale cu purtător armonic, modulate în frecvență reglează nivelul de referință la 10 dBm prin apăsarea butonului REF LVL și folosirea butonului rotativ pentru selectarea valorii dorite din cele posibile.

4. Se dorește reglarea nivelului componentei purtătoare la 0 dBm. După cum se poate observa în figura 4, amplitudinea componentei purtătoare depinde de $|J_0(\beta)|$ care depinde, evident, de indicele de modulație β care, la rândul său, depinde de amplitudinea semnalului mesaj A_m . Această reglare inițială a amplitudinii componentei purtătoare se face în condițiile $|J_0(\beta)|=1$, deci, conform figurii 3, în condițiile $\beta=0$, adică $A_m=0$. Așadar, pe parcursul acestui subpunct din lucrare, se deconectează generatorul de funcții de la intrarea generatorului de semnale modulate. În continuare se măsoară purtătoarea cu analizorul spectral folosind un cursor prin apăsarea butonului MKR, introducerea valorii 1 și apăsarea butonului MHz. Se modifică nivelul componentei purtătoare de la generatorul de semnale modulate până când acesta devine 0 dBm măsurat cu analizorul spectral (atenție, nu afișat pe generatorul de semnale modulate, ci măsurat cu analizorul!) în felul următor: sub una din cifrele afișate pe un afișaj (EXT MODULATION, FREQUENCY sau OUTPUT LEVEL) va fi aprins un LED verde care va indica faptul că acea cifră este selectată. Se va aduce acel LED în cadranul OUTPUT LEVEL prin apăsarea repetată a unei săgeți duble (de exemplu ►►). Apoi se va selecta cea mai puțin semnificativă cifră din acel cadran prin apăsarea repetată a unei săgeți simple (de exemplu ►). Se va folosi butonul rotativ de sub gruparea de săgeți pentru a modifica nivelul purtătoarei. Se rotește din acest buton până la măsurarea pe analizorul spectral a unui nivel de 0 dBm pentru componenta purtătoare. (Pentru că impedanța de intrare în analizoarele spectrale nu mai este 50 Ω , valoarea afișată pe afișajul OUTPUT LEVEL al generatorului de semnale modulate probabil va diferi de 0 dBm, în general fiind mai mare).

5. Se conectează una din ieșirile principale ale generatorului de funcții la intrarea generatorului de semnale modulate (EXT INPUT AF/L). Se reglează parametrii semnalului mesaj de la generatorul de funcții: forma de undă sinusoidală (butonul Waveforms și apoi butonul de sub ecran corespunzător formei de undă dorite), se reglează frecvența acestuia la 10 kHz (butonul de sub ecran corespunzător lui Frequency se apasă până când Frequency este selectat cu

Semnale cu purtător armonic, modulate în frecvență albastru). Valoarea efectivă (rms) este un parametru care se va varia în cadrul experimentului (se apasă butonul de sub ecran corespunzător lui Amplitudine până când Amplitudine e selectat cu albastru). Se modifică amplitudinea semnalului modulator $A_m [V_{rms}]$ pornind de la zero (sau cea mai mică valoare posibilă) până la valoarea maximă, modificând cea mai puțin semnificativă cifră folosind butonul rotativ. Se notează în tabelul 2 valorile efective ale semnalului mesaj pentru care componenta purtătoare măsurată cu analizorul spectral devine mai mică de -40 dBm (fenomen denumit extincția purtătoarei). Se caută 3 extincții consecutive, iar valorile efective ale semnalului modulator pentru care se întâmplă aceste extincții se trec în tabelul 2. Ținând cont de faptul că generatorul de funcții e proiectat să livreze parametrii afișați într-o impedanță de sarcină de 50Ω , iar impedanța de intrare a generatorului de semnale modulate este $10 k\Omega$, în tabel se vor trece dublul valorile afișate pe ecranul generatorului (mai multe detalii se găsesc în platforma de semnale modulate în amplitudine).

Tabelul 2. Determinarea caracteristicii modulatorului MF

$A_m [V_{rms}]$	0			
β	0	2,40	5,52	8,65

B) Ridicarea caracteristicii modulatorului

Cu rezultatele din tabelul 2 se construiește caracteristica modulatorului $\beta = f(A_m)$. Se determină K_F din grafic ținând seama de relația (10).

C) Construirea caracteristicii modulatorului - graficul $\beta(A_m)$ pentru deviația de frecvență egală cu 60 kHz

Reglând deviația de frecvență, de la generatorul de semnale modulate, la valoarea 60 kHz (procedând ca la punctul A, subpunctul 2) se repetă punctele A și B, desenând noua caracteristică pe același grafic.

Cum interpretați cele două grafice și ce relație există între pantele lor ?

D) Măsurători spectrale pentru semnal modulator sinusoidal și $\beta = 0,3$

Semnale cu purtător armonic, modulate în frecvență

Revenind la valoarea deviației de frecvență de 15 kHz, citiți din graficul caracteristicii modulatorului valoarea tensiunii semnalului modulator $A_m [V_{rms}]$ pentru care se obține $\beta = 0,3$. Fixați jumătate din această valoare la generatorului de funcții și măsurați cu analizorul spectral valorile componentelor spectrale $(C_N = A_0 \cdot |J_N(\beta)|)$ pe analizorul de spectru pentru $N = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$.

Tabelul 3. Determinarea componentelor spectrale pentru semnalul MF

N	-3	-2	-1	0	1	2	3
f [MHz]	0.97	0.98	0.99	1	1.01	1.02	1.03
C_N [dBm]							

E) Măsurători spectrale pentru semnal modulator triunghiular și dreptunghiular în cazul $\beta = 0,3$

Se reia punctul D, modificând cu ajutorul generatorului de funcții forma semnalului modulator. Se vor considera cazurile semnalului triunghiular și dreptunghiular pentru aceleași valori ale lui $A_m [V_{rms}]$ ca în cazul D. Se vor completa în mod asemănător punctului D, tabelele 4 și 5.

F) Măsurători spectrale pentru semnal modulator sinusoidal și $\beta = 1$

Reluați punctul D pentru cazul semnalului modulator sinusoidal și pentru $\beta = 1$ (se va extrage A_m necesar din graficul corespunzător deviației de frecvență de 15 kHz). Se va completa tabelul 6 (date experimentale).

Tabelul 6. Determinarea componentelor spectrale pentru MF cu $\beta = 1$

N	-3	-2	-1	0	1	2	3
f [kHz]							
$C_N^{\text{experimental}}$ [dBm]							
$C_N^{\text{experimental}}$ [V]							
C_N^{teoretic} [V]							

G) Măsurători spectrale pentru semnal modulator sinusoidal și $\beta = 4$.

Reluați punctul F pentru cazul $\beta = 4$. Se va completa în mod similar tabelul 7.

Tabelul 7. Determinarea componentelor spectrale pentru MF cu $\beta = 4$

N	-8	-7	-6	...	6	7	8
f [kHz]							
C_N [dBm]							

H) Măsurători spectrale pentru semnal modulator sinusoidal și $\beta = 9$

Pentru cazul $\beta = 9$ măsurați cu ajutorul analizorului de spectru componentele spectrale C_N pentru $N = -14, -13, 12, 0, 12, 13, 14$ și notați rezultatele în tabelul 8.

Tabelul 8. Determinarea componentelor spectrale pentru MF cu $\beta = 9$

N	-14	-13	-12	0	12	13	14
f [kHz]							
C_N [dBm]							

I) Se măsoară banda de frecvență a generatorului de semnale modulate în frecvență.

Pentru aceasta se fixează de la generatorul de funcții semnalul sinusoidal cu frecvența modulatoare $f_m = 10\text{kHz}$. De la generatorul de semnale modulate se fixează o deviație de frecvență 60 kHz. Pe analizorul de spectru se fixează frecvența centrală (CENTER) pe 1 MHz, valoarea SPAN la 100 kHz/div cu ajutorul tastei SPAN și apoi cu ajutorul tastei RBW se fixează rezoluției benzii de frecvență pe 30 kHz. Se crește nivelul semnalului modulator A_m până când se observă pe analizorul de spectru că banda semnalului MF nu se mai modifică. Cu ajutorul cursorilor se determină frecvențele F_1 și F_2 corespunzătoare marginilor benzii generatorului de semnale MA- MF.

J) Investigarea benzii radio FM cu ajutorul analizorului spectral

Se cere cadrului didactic o antenă. Se conectează antena la intrarea analizorului spectral (RF INPUT 50Ω). Se reglează următorii parametri pentru vizualizarea benzii radio FM (88 MHz – 108 MHz): CENTER 90 MHz, SPAN 5 MHz/div, se apasă butonul MKR, se introduce valoarea 88 și se apasă tasta MHz. Se apasă tasta ENTER, se introduce valoarea 108 și se apasă tasta MHz. Între cei doi cursori, pe ecranul analizorului, este încadrată banda radio FM. Cu unul din cei doi cursori se determină frecvențele la care valoarea amplitudinii componentelor spectrale este mai mare decât -35 dBm (circa 4 componente). Se investighează folosind Internetul ce posturi radio emit pe frecvențele determinate.

Se reglează centrul la una din frecvențele determinate (se recomandă 89 MHz sau 102 MHz). Se activează demodulatorul FM apăsând tasta SHIFT și apoi tasta CENTER. Se selectează DEMOD TYPE: WIDE folosind butonul rotativ. Se ridică nivelul sonor folosind potențiometrul VOL aflat sub ecranul analizorului spectral. Se modifică ușor valoarea frecvenței centrale (apăsarea butonului CENTER, apăsarea tastei ► a analizorului până la selectarea cifrei corespunzătoare zecilor de kHz și folosirea butonului rotativ pentru a o modifica). Ce se observă?

K) Se va reprezenta grafic pe hârtie milimetrică spectrul de frecvență și se va determina banda de frecvență a semnalului MF folosind datele de la punctul D.

L) Utilizând valoarea componentei spectrale a purtătoarei măsurată la punctul D determinați A_0 știind că $C_0 = A_0 \cdot J_0(0,3)$.

Cu valoarea A_0 determinată anterior calculați: C_1^{teoretic} , C_2^{teoretic} și C_3^{teoretic} știind că:

k	0	1	2	3
$J_k(0,3)$	0,9776	0,1483	0,0112	0,000559

Semnale cu purtător armonic, modulate în frecvență

M) Se va reprezenta grafic pe hârtie milimetrică spectrul de frecvență pentru cele două semnale modulatorie investigate în cadrul punctului E și se va determina banda de frecvență a semnalelor MF. Cum explicați rezultatele obținute la punctele D și K ?

N) Pentru calculul $C_N^{\text{experimental}}$ [V] utilizați datele din tabelul 6 și relația:

$$C_N^{\text{experimental}} [\text{V}] = U_{\text{ref}} \cdot 10^{\frac{A_N^{\text{experimental}} [\text{dBm}]}{20}}, \quad (25)$$

unde U_{ref} este valoarea efectivă a tensiunii de referință $U_{\text{ref}} = 0,2236 \text{ V}$.

Utilizând valoarea componentei spectrale a purtătoarei ($C_0 = A_0 \cdot |J_0(1)|$) măsurată în cadrul punctului F și cunoscând că $J_0(1) = 0,7652$ și $J_1(1) = 0,4401$ determinați A_0 . Pornind de la valoarea A_0 determinată anterior și utilizând relația de recurență între funcțiile Bessel de speța întâi (15) determinați C_N^{teoretic} cu relația:

$$C_N^{\text{teoretic}} = A_0 \cdot |J_N(1)|$$

Cât este banda semnalului MF? Comparați banda obținută cu cea teoretică obținută cu ajutorul relației (18).

O) Cu ajutorul valorilor determinate la punctul F calculați puterea semnalului modulat MF și apoi verificați relația (23) luând doar componentele spectrale măsurate în tabelul 6.

P) Determinați lărgimea de bandă a semnalului modulat studiat la punctul G. Cum explicați rezultatele obținute.

R) Cât este lărgimea de bandă a semnalului modulat studiat la punctul H?

3.4. Întrebări

- a) Cum trebuie să arate caracteristica ideală $\beta(A_m)$ și ce semnificație are abaterea de la forma ideală ?
- b) Cum se modifică lărgimea de bandă ocupată de spectrul MF dacă se menține A_m constant și se variază f_m ?
- c) Prin ce procedee se poate pune în evidență că un generator MF produce și o modulație de amplitudine parazită ?

3.5. Aplicații

- a) Construind caracteristica unui modulator MF cu metoda extincției purtătoarei, se găsește prima anulare a purtătoarei la $A_m = 1 \text{ V}$. Se reduce A_m la $0,1 \text{ V}$. Să se reprezinte spectrul semnalului știind că $A_0 = 0 \text{ dB}$ și $U_{ref} = 0,223 \text{ V}$.
- b) Să se calculeze parametrii unui semnal MF cu purtător armonic și semnal modulator armonic dacă $A_0 = 0 \text{ dB}$, $F_0 = 1000 \text{ kHz}$, $f_m = 10 \text{ kHz}$, $\Delta F = 10 \text{ kHz}$. Să se calculeze și să se reprezinte grafic diagramele spectrale de amplitudini pentru acest semnal.
- c) Să se calculeze parametrii unui semnal MF cu purtător armonic și semnal modulator armonic dacă $A_0 = 0 \text{ dB}$, $F_0 = 1000 \text{ kHz}$, $f_m = 10 \text{ kHz}$, $\Delta F = 3 \text{ kHz}$. Să se calculeze și să se reprezinte grafic diagramele spectrale de amplitudini pentru acest semnal.