

9-ДӘРІС

Мақсаты: Студенттерге амплитудалық модуляция (АМ) ұғымын, оның түрлерін (балансталған АМ, бір жақты спектрлі АМ) және олардың сигнал спектрлеріне, қуаттың таралуына, модуляциялаудың ерекшеліктеріне әсерін түсіндіру. Сонымен қатар, модуляторлар схемаларын және модуляцияның статикалық сипаттамасын меңгеру.

Кіріспе

Байланыс жүйелерінде ақпаратты тасымалдау үшін жиі қолданылатын әдістердің бірі — модуляция. Амплитудалық модуляция (АМ) — тасушы гармониялық сигналдың амплитудасын ақпараттық сигнал арқылы өзгерту процесі. Бұл әдіс арқылы сигналдың спектрі кеңейеді, ал ақпарат тасушы жиіліктің айналасында орналасады. АМ-ның балансталған және бір жақты спектрлі түрлері спектр тиімділігін арттырып, қажетсіз энергия жоғалуын азайтады. Дәрісте АМ сигналдарының спектрлік сипаттамалары, қуат таралуы және практикалық модуляциялау схемалары қарастырылады.

1. Гармониялық тербелістердің амплитудалық модуляциясы (АМ) және оның түрлері — балансталған АМ (БАМ), бір жақты спектрлі АМ (БЖС АМ).

Моногармониялық сигналмен және кездейсоқ процесс арқылы тасушы тербелісті модуляциялау кезіндегі АМ сигналдарының спектрлері. Екілік сигналдармен модуляциялаудың ерекшеліктері. АМ сигналындағы қуаттың таралуы. Сызықтық емес және параметрлік элементтерге негізделген модулятор сұлбалары. Статикалық модуляциялық сипаттама.

АМ сигналы жалпы түрде төмендегідей көрсетілуі мүмкін: $U(t) \geq 0$ амплитудалық қоршаушысы мен жоғары жиілікті гармониялық тасушының көбейтіндісі түрінде.

$$u_{AM}(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

мұндағы ω_0 — тасушының жиілігі, φ_0 — тасушының бастапқы фазасы.

Қарапайым АМ. Кәдімгі АМ кезінде

$$U(t) = U_m + k \cdot x(t) \\ u_{AM}(t) = (U_m + k x(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

мұндағы k -тұрақты коэффициент, $x(t)$ - модуляциялық сигнал, U_m - тасымалдаушының амплитудасы. Модуляциялық сигналды нормалау кезінде

$$b(t) = x(t) / |x(t)|_{\max} \\ u_{AM}(t) = U_m (1 + m \cdot b(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

мұнда

$$m = \frac{\Delta U}{U_m} = \frac{k \cdot |x(t)|_{\max}}{U_m} -$$

амплитудалық модуляция индексі, $0 \leq m \leq 1$.

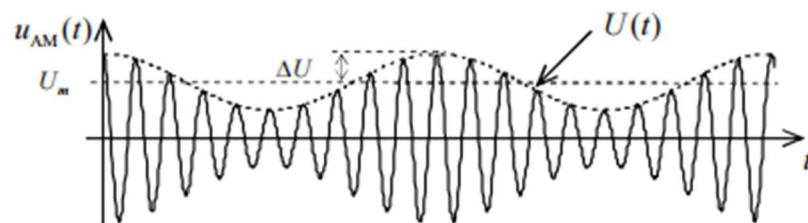
$m > 1$ кезінде модуляция пайда болады, нәтижесінде мүмкін болмайды қабылдағышта модуляциялық сигналды бұрмалаусыз қалпына келтіріңіз. Моногармониялық (монотонды) модуляциялық сигналда

$$x(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t)$$

$$b(t) = \cos(\Omega t),$$

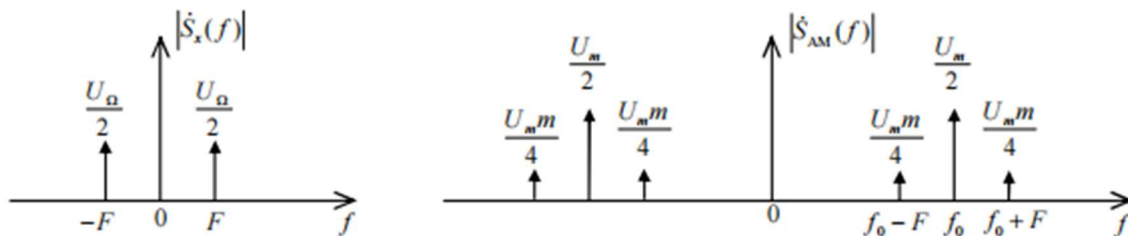
$$\begin{aligned} u_{\text{AM}}(t) &= U_m (1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{U_m m}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0) + \frac{U_m m}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0) \end{aligned}$$

мұнда $\Omega = 2\pi F$.



Сурет 1 - АМ моногармониялық модуляциялық сигналдағы сигнал.

Бір тонмен модуляцияланған кезде сигналдың АМ спектрі келесі суретте көрсетілген.

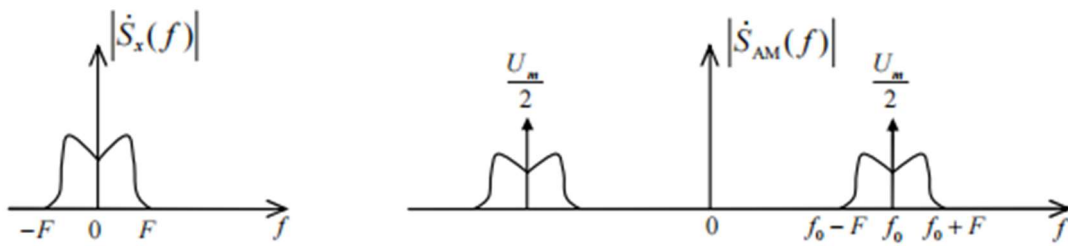


Сурет 2 - Бір тонмен модуляцияланған кезде АМ-ға дейінгі және кейінгі сигналдар спектрлері.

Егер модуляциялық сигнал неғұрлым күрделі болса, онда оның спектрі

$$\dot{S}_{\text{AM}}(f) = \frac{1}{2} \left(U_m \delta(f - f_0) + U_m \delta(f + f_0) + k \dot{S}_x(f - f_0) + k \dot{S}_x(f + f_0) \right) e^{j\varphi_0}.$$

Сигналдың АМ спектрінің ені спектрдің жоғарғы жиілігінің екі еселенген мәніне тең модуляциялық сигнал $\Delta f_{\text{AM}} = 2F$ сурет 3- қараңыз.



Сурет 3 - Ерікті модуляциялық сигнал кезінде АМ-ға дейінгі және кейінгі сигнал спектрлері.

Монотонды модуляция кезінде сигналдың орташа қуатын табамыз:

$$P_{AM} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u_{AM}^2(t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} U_m^2 (1 + m \cos(\Omega t))^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) dt =$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \frac{U_m^2}{2} (1 + m \cos(\Omega t))^2 dt = \frac{U_m^2}{2} + \frac{U_m^2}{2} \frac{m^2}{2} = P_{нес} + P_{ползн}.$$

Мұнда f_0 кезінде

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \cos(2\pi f_0 t) dt = 0.$$

Сигналдың пайдалы құрамдас бөлігінің қуатының орташа қуатқа қатысты үлесі сигналдың жалпы саны

$$\frac{P_{ползн.}}{P_{AM}} = \frac{\frac{m^2}{2} P_{нес}}{P_{нес} + \frac{m^2}{2} P_{нес}} = \frac{m^2}{2 + m^2},$$

ал тасымалдаушының орташа қуатына қатысты

$$\frac{P_{ползн.}}{P_{нес}} = \frac{\frac{m^2}{2} P_{нес}}{P_{нес}} = \frac{m^2}{2}.$$

Модуляция индексінің максималды мәні – $m=1$. Сондықтан

$$P_{ползн.} / P_{AM} = 1/3 = 0,33 = 33\%, P_{нес} / P_{AM} = 2/3 = 0,66 = 66\%$$

$$P_{ползн.} / P_{нес} = 0,5 = 50\%.$$

Демек, пайдалы сигналдың максималды қуат үлесі (екі бүйірлік жолақ спектр) сигналдың АМ қуатының тек 33% құрайды. Іс жүзінде емес қайта модуляция пайда болды, m мәні 0,5 құрайды...0,7. Сондықтан таратқыштың қуаты АМ сигнал тиімсіз қолданылады. Сондай-ақ, АМ кемшіліктеріне мыналар жатады модуляциялық сигнал болмаған кезде таратқыш тасымалдаушының сәулеленуіне қуат жұмсайды. Сигналдың АМ қуатының негізгі бөлігі

(66%) тасымалдаушыға түсетіндіктен, онда үлкен тиімділік үшін осы түрдің басылған тасымалдаушысы бар сигнал қалыптасады модуляциялар баланстық амплитудалық модуляция (БАМ) деп аталады.

Баланстық АМ. Баланстық АМ кезінде

$$U(t) = k x(t)$$

$$u_{\text{БАМ}}(t) = k x(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_m m b(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

БАМ сигналы сигнал мен тасымалдаушыны жай көбейту арқылы қалыптасады. Монотонды баланстық АМ сигналы келесі түрге ие.

$$u_{\text{БАМ}}(t) = U_m m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{U_m m}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0) + \frac{U_m m}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0).$$

БАМ сигналының спектрі сигналдың АМ спектрімен бірдей, тек Бам спектрінде тасымалдаушы компонент жоқ.

Бір жақты спектрлі амплитудалық модуляция (БЖС АМ)

Жиілік жолағын тиімді пайдалану үшін, екі жақты спектрдің біреуі (жоғарғы немесе төменгі) басылады, себебі олар бір ақпаратты тасымалдайды. Бұл кезде сигналдың жиілік жолағы кәдімгі АМ сигналымен салыстырғанда екі есе азаяды. Мұндай модуляция түрі **бір жақты спектрлі амплитудалық модуляция (БЖС АМ)** деп аталады.

БЖС АМ сигналы келесі түрде жазылады:

$$u_{\text{БЖС}}(t) = \frac{1}{2} U_0(t) [\tilde{x}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - x(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)]$$

Егер модуляциялаушы сигнал — біртекті (бір жиілікті) болса, онда:

$$u_{\text{БЖС}}(t) = \frac{U_m}{2} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0)$$

немесе

$$u_{\text{БЖС}}(t) = \frac{U_m}{2} [\cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \sin(\Omega t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)]$$

Мұндай сигналдың қоршаушысы (огибающая) модуляциялаушы сигналға бейсызықты (нелинейно) тәуелді болады:

$$U(t) = U_m \sqrt{\left(\left(1 + \frac{m}{2} \cos(\Omega t) \right)^2 + \frac{m^2}{4} \sin^2(\Omega t) \right)} = U_m \sqrt{1 + \frac{m^2}{4} + m \cos(\Omega t)}.$$

Таратқыш қуатын тиімдірек пайдалану үшін БЖС АМ сигналында тасушы жиілікті ішінара немесе толықтай басуға болады.

АМ сигналын қалыптастыру

АМ сигналын модуляциялаушы сигнал мен гармониялық тасушыны сызықты емес элементке беру арқылы алуға болады:

$$u(t) = E_{\text{см}} + x(t) + U_m \cos(\omega_0 t)$$

Егер бұл элемент екінші дәрежелі полиноммен аппроксимацияланса:

$$i(t) = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$$

онда шығыс тогы тең болады:

$$i(t) = a_0 + a_1(E_{\text{см}} + x(t) + U_m \cos(\omega_0 t)) + a_2(E_{\text{см}} + x(t) + U_m \cos(\omega_0 t))^2$$

Егер шығыстағы токтан жиілік жолағы $f \in (f_0 - F_B, f_0 + F_B)$ болатын бөлікті сүзгімен (фильтрмен) бөліп алсақ, онда шығыс кернеуі:

$$u_{\text{вых}}(t) = U_R \left[a_1 a_2 E_{\text{см}} x(t) + \frac{a_2}{2} x(t) U_m \cos(\omega_0 t) \right]$$

Егер $x(t) = 1 + m \cos(\Omega t)$, онда біз АМ сигналын аламыз.

Модуляциялық сипаттамалар

Жұмыс нүктесін таңдау және кіріс сигналының динамикалық диапазонын анықтау үшін **статикалық (СМХ)** және **динамикалық (ДМХ)** модуляциялық сипаттамалар есептеледі:

- **СМХ** — бұл $I_1 = f(E_{\text{см}})$, мұнда $x(t) = 0$
- **ДМХ** — бұл модуляция индексінің модуляциялаушы сигнал амплитудасынан тәуелділігі, яғни $m = f(U_\Omega)$, мұнда $x(t) = U_\Omega \cos(\Omega t)$

Егер сипаттама екінші дәрежелі полиноммен аппроксимацияланған болса, онда СМХ және ДМХ сызықтық болады:

$$I_1 = a_1 E_{\text{см}} + a_2 E_{\text{см}}^2, \quad m = \frac{2U_m a_2}{a_1 + 2a_2 E_{\text{см}}}$$

Бақылау сұрақтары

1. Амплитудалық модуляция дегеніміз не және оның қандай негізгі түрлері бар?
2. Бір жақты спектрлі АМ (БЖС АМ) мен екі жақты спектрлі АМ-ның айырмашылығы неде?
3. Неліктен АМ сигналындағы бір боковикалық (боковая полоса) спектрді басуға болады?
4. АМ сигналында қуат қалай бөлінеді?

5. Нелинейлі элемент дегеніміз не және оның АМ сигналын қалыптастырудағы рөлі қандай?
6. Статикалық және динамикалық модуляциялық сипаттамалар қалай анықталады?
7. АМ сигналының огибающаясы (қоршаушысы) қандай жағдайларда бейсызықты болады?
8. Тасушы жиіліктің амплитудаға және фазаға әсері қандай?

Есептер

Есеп 1

Модуляция индексі $m=0.9$, тасушы жиілігі $f_0=1$ МГц, модуляциялаушы сигнал жиілігі $f_m=10$ кГц, ал тасушының амплитудасы $U_0=10$ В.

Тапсырма:

- а) АМ сигналының толық спектрін сыз.
- б) Сигналдың жалпы қуатын есепте.
- в) Жиілік жолағының ені қандай болады?

Есеп 2

АМ сигналын құру үшін $u(t)=E_{cm}+x(t)+U_m\cos(\omega_0 t)$ түрінде сигнал беріледі. Нелинейлі элемент мынадай теңдеумен сипатталады: $i(t)=a_0+a_1u+a_2u^2$

Берілгендер:

- $a_0=0, a_1=1, a_2=0.5$
- $E_{cm}=2$ В, $x(t)=3\cos(2\pi \cdot 10^3 t)$, $U_m=4$

Тапсырма:

- а) $i(t)$ -нің толық өрнегін жаз.
- б) Шығыс сигналының құрамындағы жиіліктерді талда.
- в) $i(t)$ үшін сүзгіден кейінгі АМ сигналын анықта.

Есеп 3

АМ сигналы бір жақты спектрмен беріледі. Сигналдың өрнегі:

$$u(t)=U_m/2[\cos(\Omega t)\cos(\omega_0 t)+\sin(\Omega t)\sin(\omega_0 t)]$$

Берілгендер:

- $U_m=5, \Omega=2\pi \cdot 5 \cdot 10^3, \omega_0=2\pi \cdot 1 \cdot 10^6$

Тапсырма:

- а) Бұл сигналдың қоршаушысын $U(t)$ есепте.
- б) Сигнал спектрін Фурье қатары арқылы өрнекте.
- в) Сигналды синхронды детектор арқылы қалпына келтіру алгоритмін жаз.

