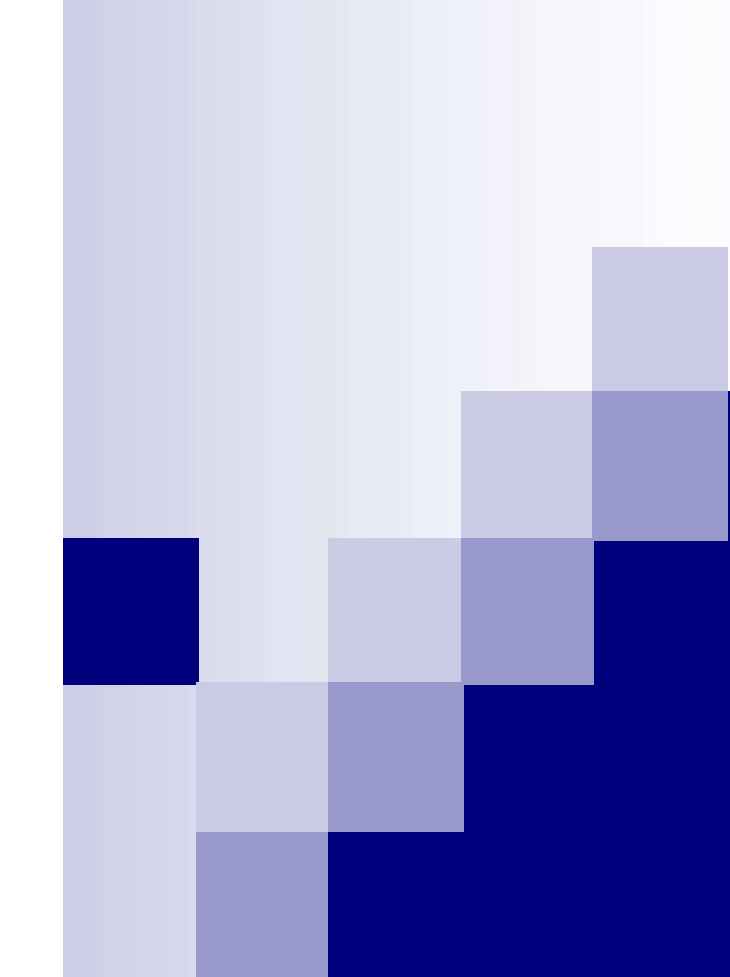




Амплитудалық модуляция

Амплитудалық және басқа модуляция түрлерінің салыстырмалы талдауы

Параметр	АМ (Amplitude Modulation)	ЖМ (Frequency Modulation - FM)	ФМ (Phase Modulation - PM)
Кедергілерге тұрақтылық	Төмен	Жоғары	Жоғары
Спектр тиімділігі	Орташа	Төмен	Орташа
Байланыс қашықтығы	Ұзақ	Қысқа	Қысқа
Аппаратура күрделілігі	Қарапайым	Орташа	Орташа

- Амплитудалық модуляция (АМ) – тасымалдаушы амплитудасы берілетін (модуляциялаушы) сигнал заңына сәйкес өзгереді.
- Модуляциялаушы сигнал жиілігі Ω гармоникалық тербеліс түрінде болады деп есептейміз:

$$u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t,$$

тасымалдаушы тербеліс жиілігі әлдеқайда төмен.

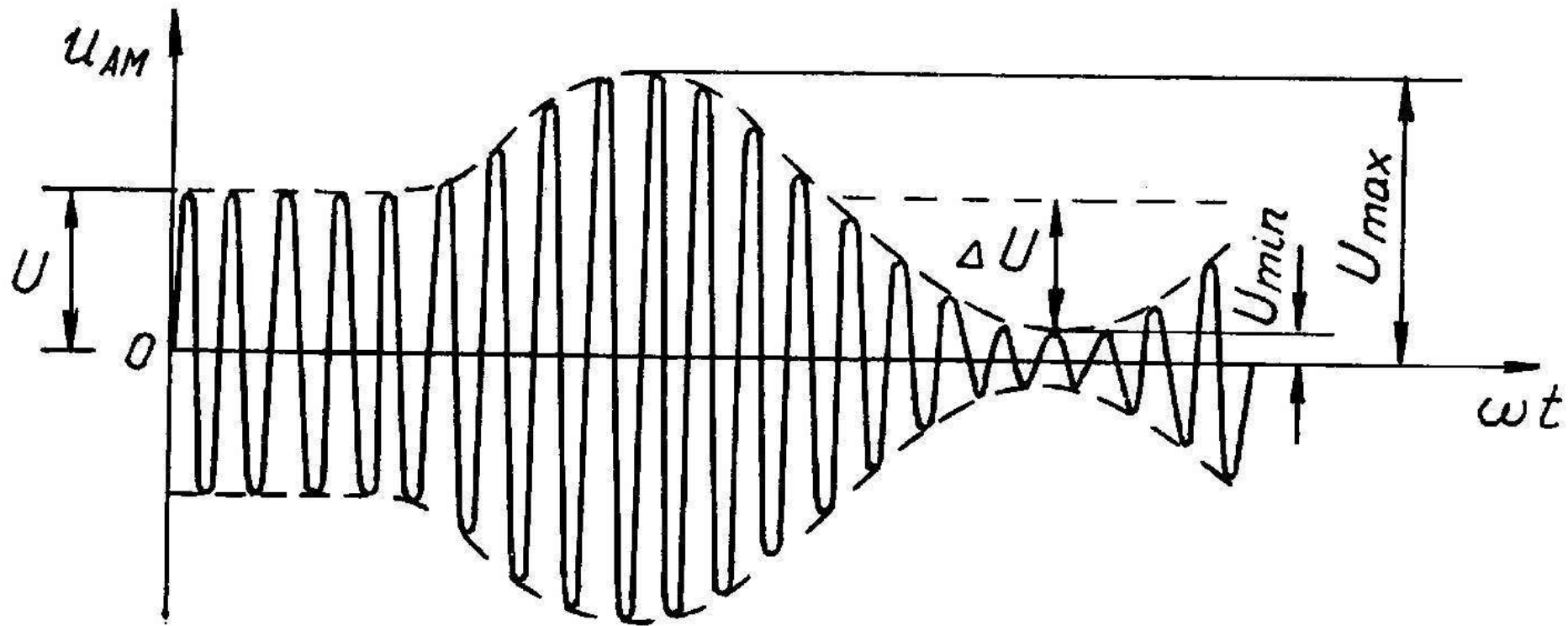
Модуляция нәтижесінде тасымалдаушы тербелістің кернеу амплитудасы модуляциялаушы сигналдың кернеуіне u пропорционалды түрде өзгеруі керек.

$$U_{AM} = U + kU_{\Omega} \cos \Omega t = U + \Delta U \cos \Omega t,$$

Амплитудалық модуляция сұлбасы

$$u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$$

$$\Delta U = k U_{\Omega}$$

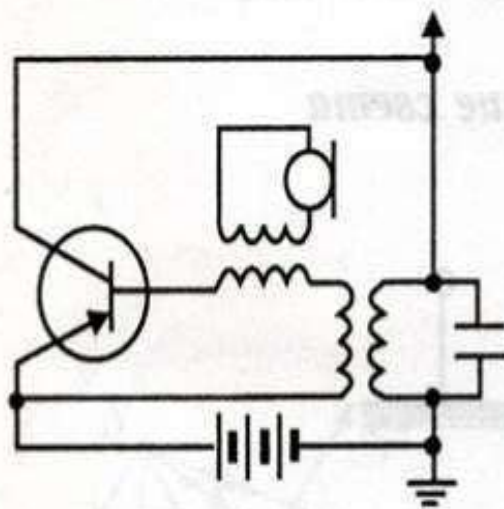
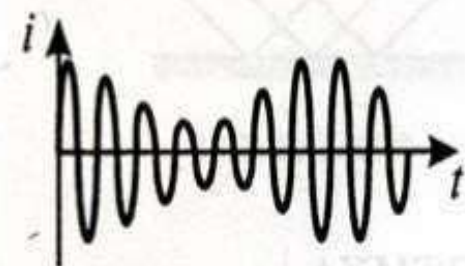
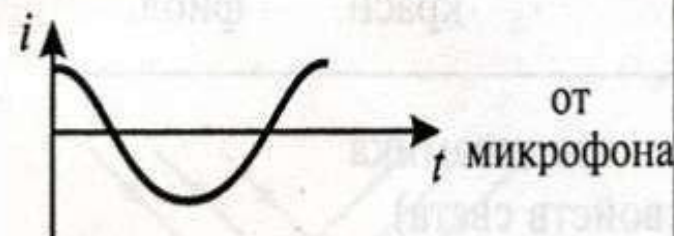
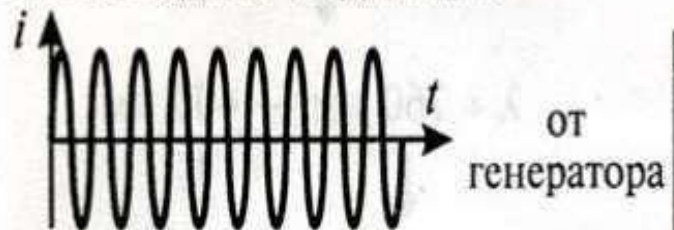


$$U_{AM} = U + k U_{\Omega} \cos \Omega t = U + \Delta U \cos \Omega t$$

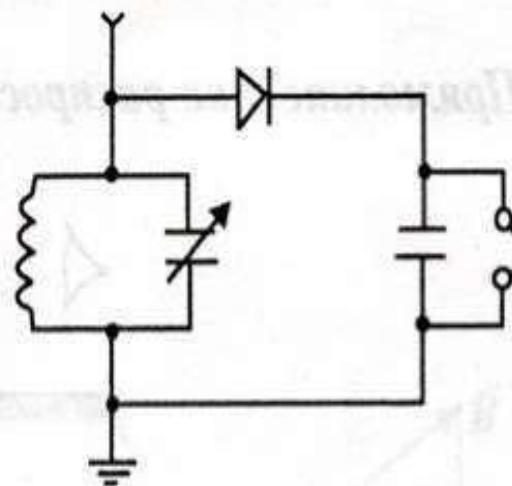
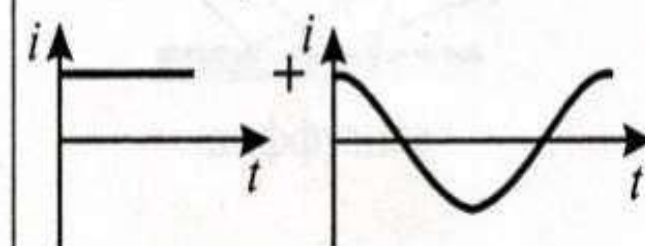
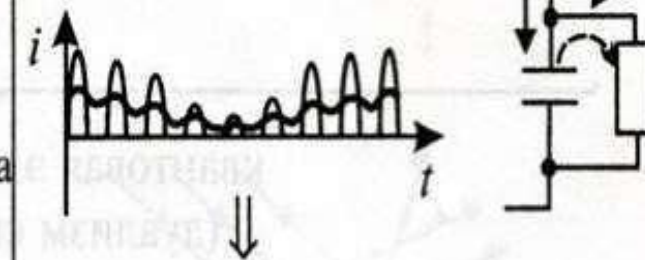
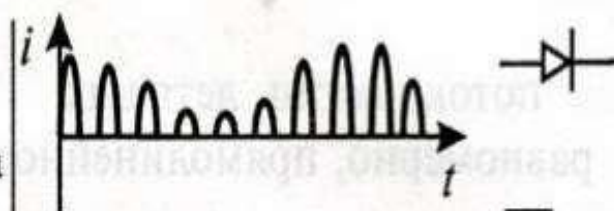
$$u_{AM} = U_{AM} \cos \omega t = (U + \Delta U \cos \Omega t) \cos \omega t = U(1 + \Delta U/U \cos \Omega t) \cos \omega t$$

$$m = \frac{\Delta U}{U} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

Амплитудная модуляция



ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

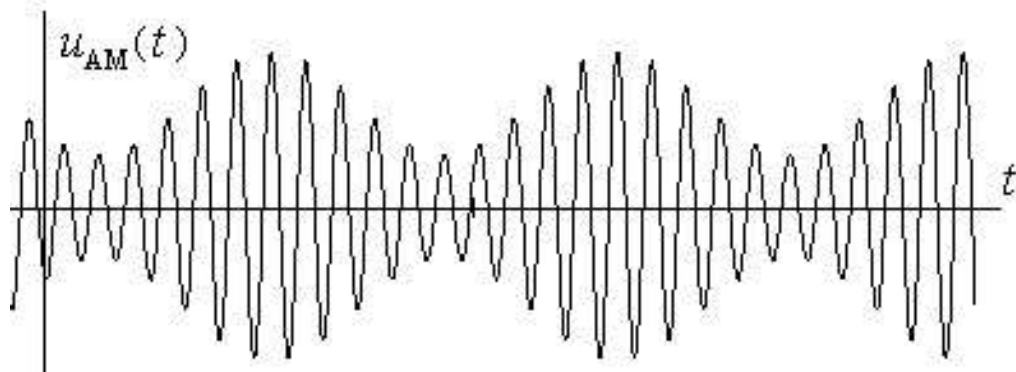


1. Қарапайым амплитудалық модуляция тербелістерінің уақытша және спектрлік сипаттамасы

$$u_H(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \phi)$$

Тональды амплитудалық модуляцияланған тербеліс

$$u_{AM}(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \phi) = U_m [1 + M \cos(\Omega t + \psi)] \cos(\omega_0 t + \phi)$$



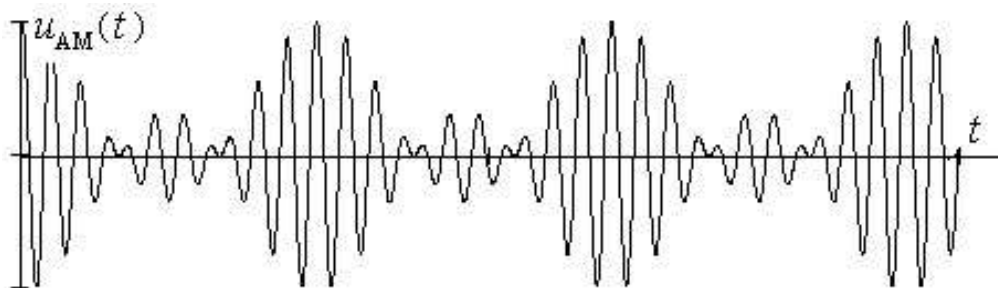
$$\left. \begin{aligned} u_{\max} + u_{\min} &= 2U_m \\ u_{\max} - u_{\min} &= 2U_m M \end{aligned} \right\}$$

$$\cos(\Omega t + \psi) = 1 \Rightarrow u_{\max} = U_m (1 + M)$$

$$\cos(\Omega t + \psi) = -1 \Rightarrow u_{\min} = U_m (1 - M)$$

$$M = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{u_{\max} + u_{\min}}$$

Модуляция индексі
немесе тереңдігі



$M > 1$ «асқын модуляция» болады

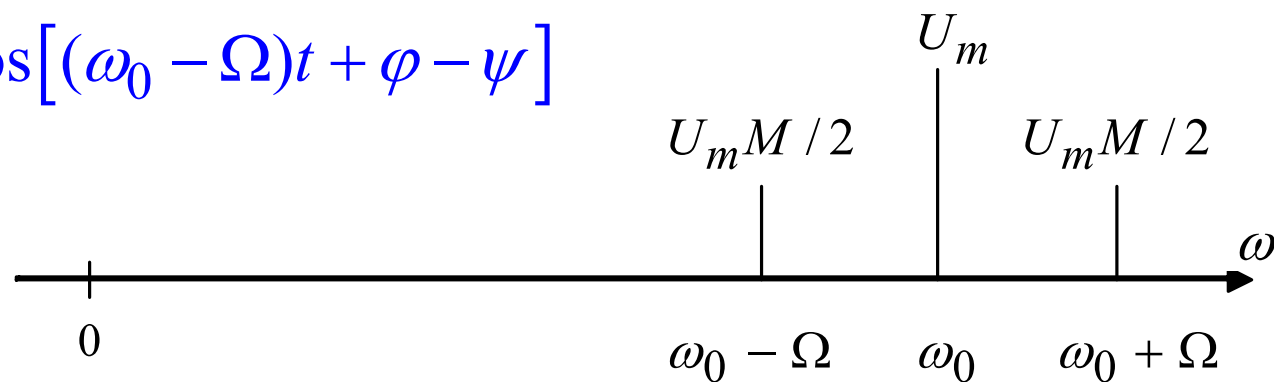
$$m = \frac{\Delta U}{U_m} = \frac{k \cdot |x(t)|_{\max}}{U_m} \quad 0 \leq m \leq 1.$$

$$m = M = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{u_{\max} + u_{\min}}$$

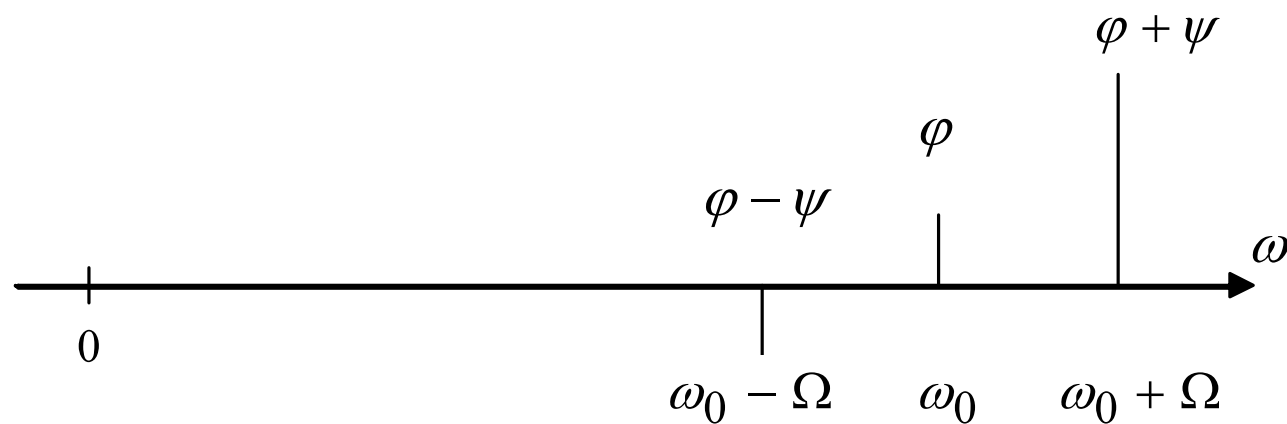
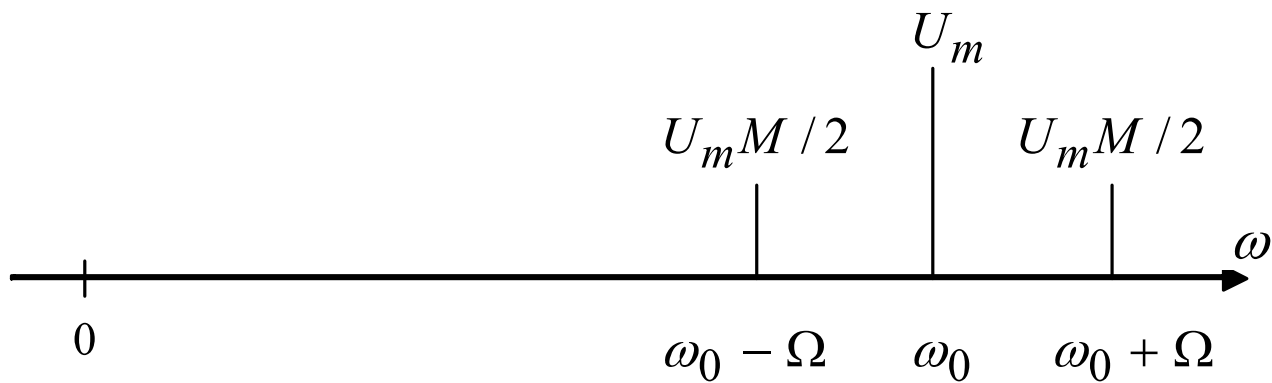
$$u_{\text{AM}}(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \phi) = U_m [1 + M \cos(\Omega t + \psi)] \cos(\omega_0 t + \phi)$$

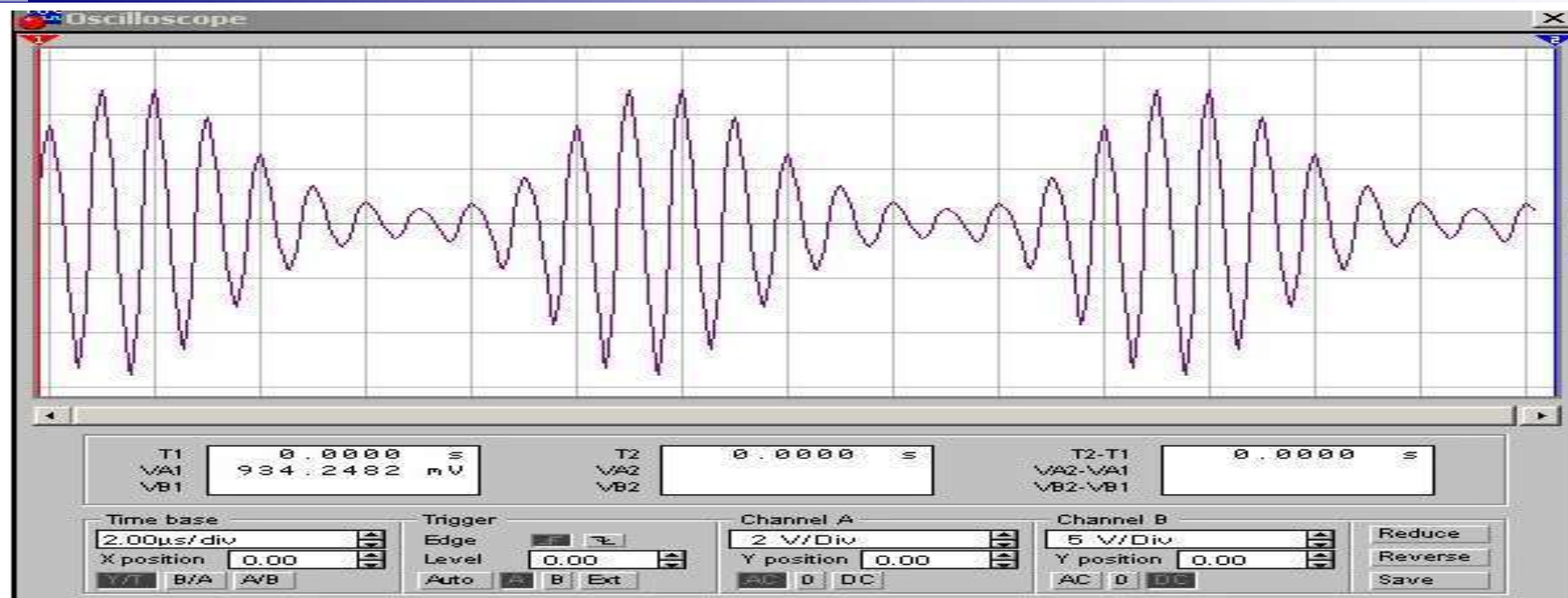
$$u_{\text{AM}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \phi) + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \phi + \psi] +$$

$$+ \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \phi - \psi]$$



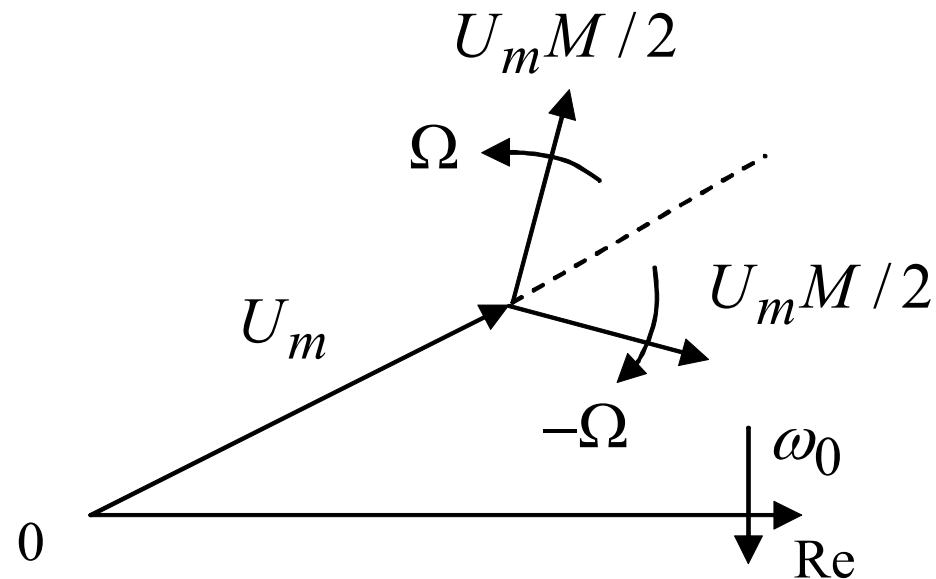
$$u_{\text{AM}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi + \psi] + \\ + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi - \psi]$$





$$u_{AM}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi + \psi] + \\ + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi - \psi]$$

Біртональдi амплитудасының модуляцияланған толқын формасының векторлық диаграммасы

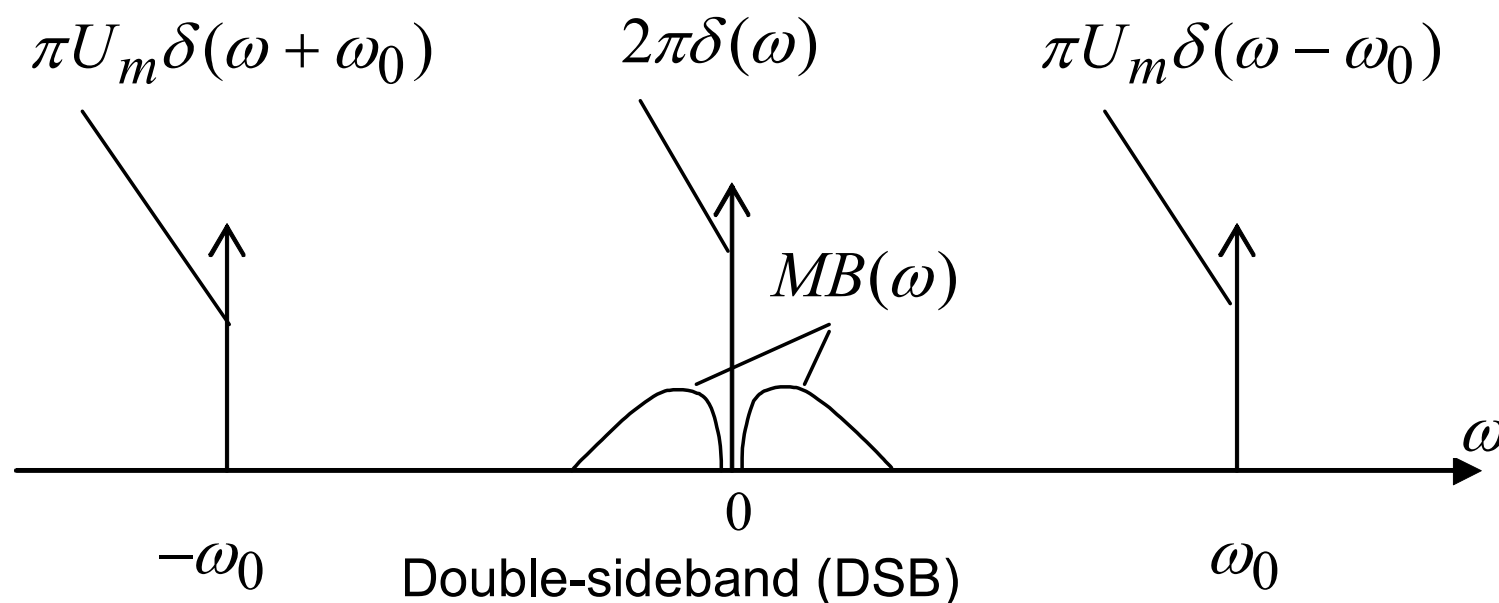


Амплитудалық модуляцияның ерікті заңы үшін спектрлік диаграмма

$$[1 + Mb(t)]U_m \cos \omega_0 t \quad \text{көбейтінді болып табылады}$$

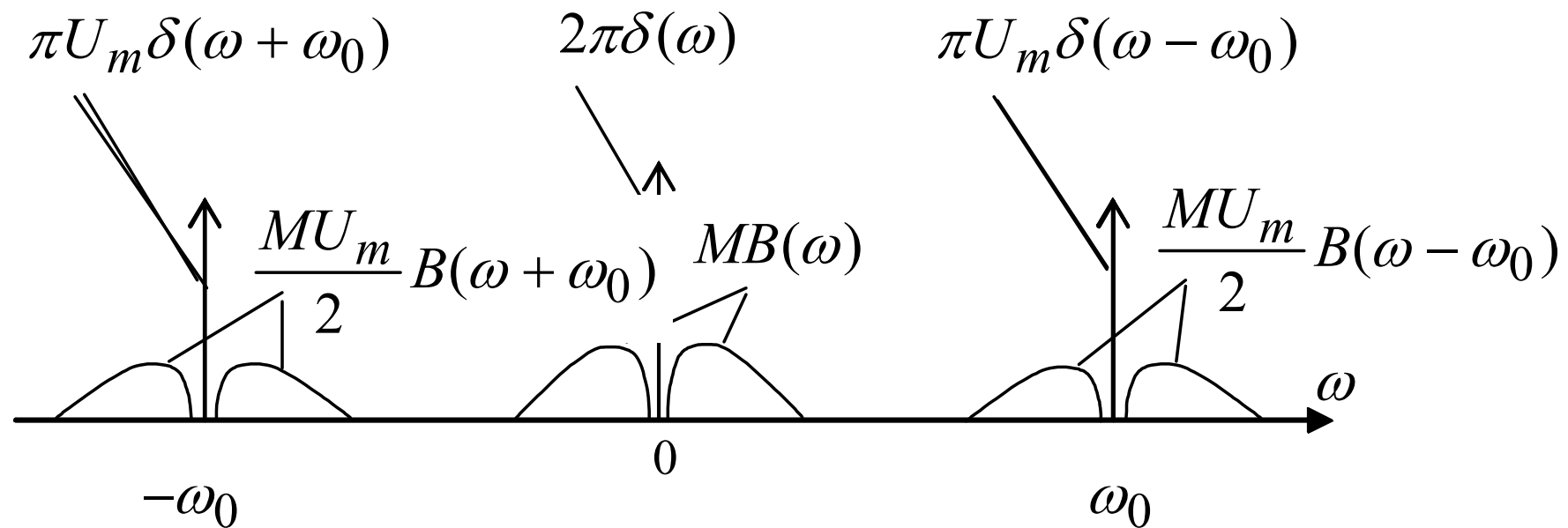
Содан кейін оның спектрлік тығыздығы конволюцияға $2\pi\delta(\omega) + MB(\omega)$ тең болады

және
$$2\pi U_m \frac{\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)}{2} = \pi U_m [\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)]$$



Конволюция нәтижесі

$$U_{AM}(\omega) = \pi U_m \delta(\omega - \omega_0) + \frac{MU_m B(\omega - \omega_0)}{2} + \\ + \pi U_m \delta(\omega + \omega_0) + \frac{MU_m B(\omega + \omega_0)}{2}$$



$$\Delta f_{AM} = 2F$$

Бір тонды амплитудалық модуляциямен
сигналының орташа қуатын табайық:

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

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

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

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

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

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

$$P_{полезн.} / P_{нес} = 0,5 = 50\%, \quad m = 0,5 \dots 0,7.$$

2. Амплитудалық модуляция сигнал қуатының негізгі бөлігі (66%) тасымалдаушыға түсетіндіктен, жоғары тиімділік үшін басылған тасымалдаушымен АМ сигналы қалыптасады. Модуляцияның бұл түрі **балансталған амплитудалық модуляция (БАМ)** деп аталады.

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

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

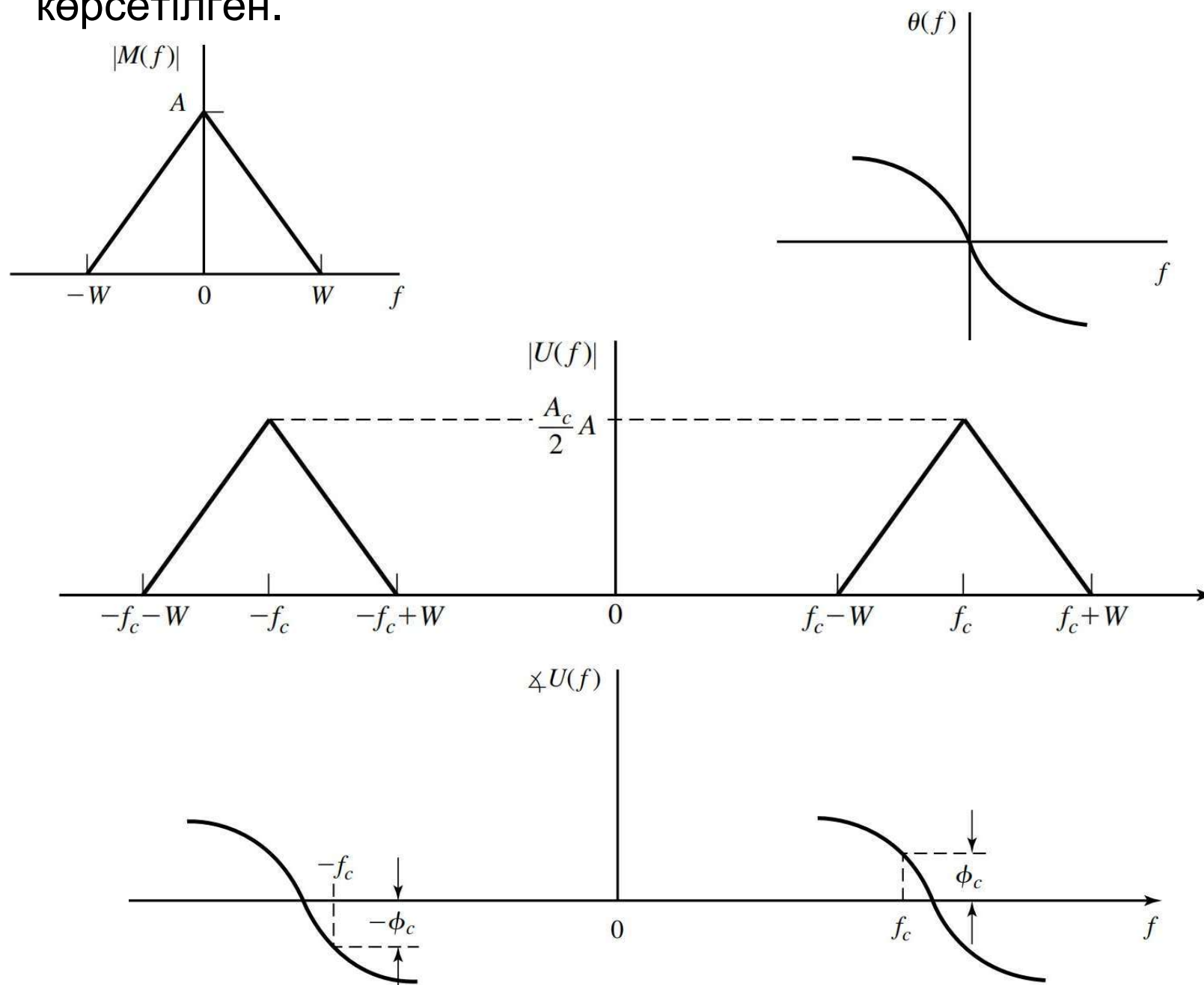
БАМ сигналы сигнал мен тасымалдаушыны жай ғана көбейту арқылы қалыптасады. Бір тонды теңдестірілген АМ сигналы келесі пішінге ие

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

БАМ спектрінде тасымалдаушы компонент жоқ.

A double-sideband, suppressed carrier (DSB-SC)

Суретте $M(f)$ және $U(f)$ шамалары мен фазалық спектрлері көрсетілген.

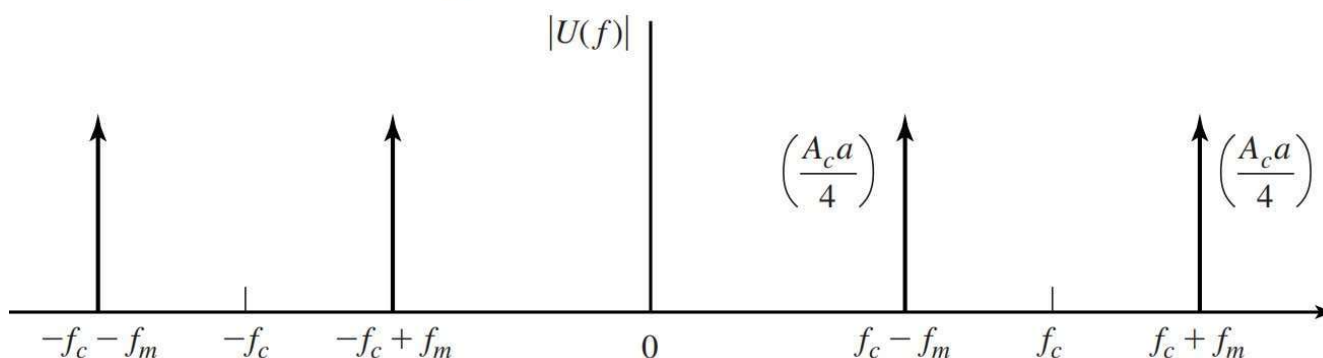


$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t \quad f_m \ll f_c$$

$$\begin{aligned} u(t) = m(t)c(t) &= A_c a \cos 2\pi f_m t \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \\ &= \frac{A_c a}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t + \phi_c] + \frac{A_c a}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t + \phi_c] \end{aligned}$$

Біртональді модуляцияланған сигнал

$$\begin{aligned} U(f) &= \frac{A_c a}{4} [e^{j\phi_c} \delta(f - f_c + f_m) + e^{-j\phi_c} \delta(f + f_c - f_m)] \\ &+ \frac{A_c a}{4} [e^{j\phi_c} \delta(f - f_c - f_m) + e^{-j\phi_c} \delta(f + f_c + f_m)] \end{aligned}$$



$$P_u = \frac{A_c^2}{2} P_m$$

$$P_{us} = P_{ls} = \frac{A_c^2 a^2}{8}$$

3. Бір жақты жолақты жолағы бар амплитудалық модуляция

Жиілік жолағын тиімдірек пайдалану үшін бүйірлік жолақтардың бірі басылады, себебі олар бірдей ақпаратты тасымалдайды. Бұл жағдайда мұндай сигналдың өткізу қабілеттілігі амплитудалық модуляция сигналының өткізу қабілетінің жартысына айналады. Модуляцияның бұл түрі **бір жақты жолақты (ОБП - одной боковой полосой немесе single-sideband (SSB)) амплитудалық модуляция** деп аталады. Оның теңдеуі

$$u_{\text{ОБП}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{k}{2} (x(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - \tilde{x}(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)).$$

Бір тонды модуляциялаушы сигналмен

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

Гильберт түрлендіруі қолданылады

Импульстік сипаттамасы

Жиіліктік сипаттамасы

$$h(t) = 1/\pi t$$

$$H(f) = \begin{cases} -j, & f > 0 \\ j, & f < 0 \\ 0, & f = 0 \end{cases}$$

Бақылау сұрақтары

- 1. Қарапайым амплитудалық модуляция теңдеуін жазыңыз**
- 2. Біртональді амплитудасының модуляцияланған толқын формасының векторлық диаграммасы**
- 3. Қарапайым амплитудалық модуляция спектрі**
- 4. Амплитудалық модуляцияның ерікті заңы үшін спектрлік диаграммасы**
- 5. Бір тонды амплитудалық модуляциямен сигналының орташа қуаты**
- 6. Балансталған амплитудалық модуляция**
- 7. Балансталған амплитудалық модуляция спектрі**
- 8. Біртональді балансталған амплитудалық модуляция және оның спектрі**
- 9. Техникадағы қарапайым амплитудалық модуляцияны жасау жолдары және оны детектирлеу әдістері**
- 10. Балансты модуляцияның техникасы және оның демодуляциясы**
- 11. Біржолақты модуляция техникасы және оның демодуляциясы**