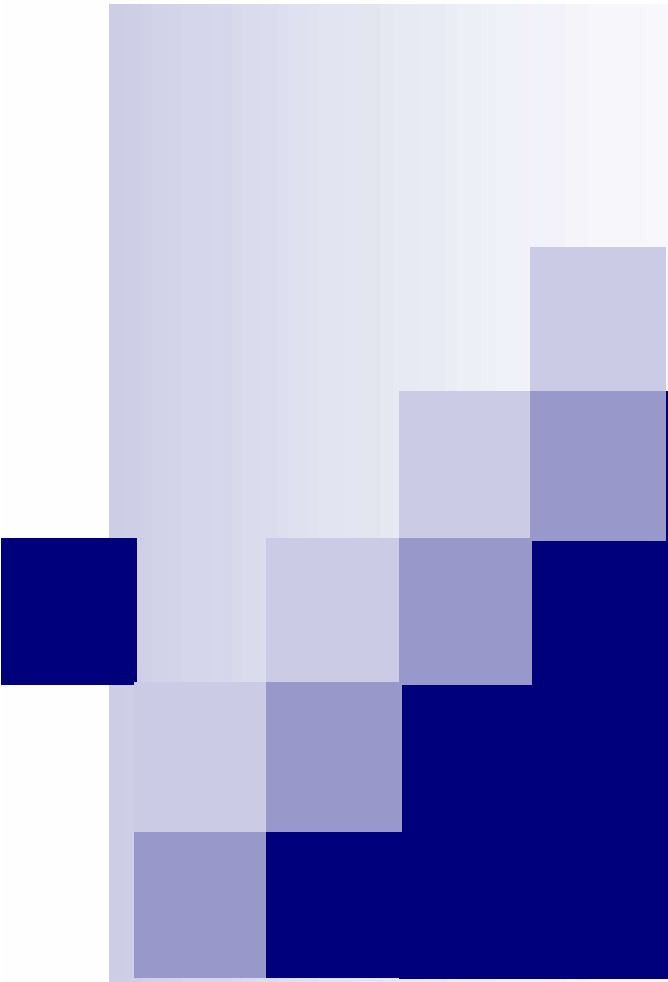
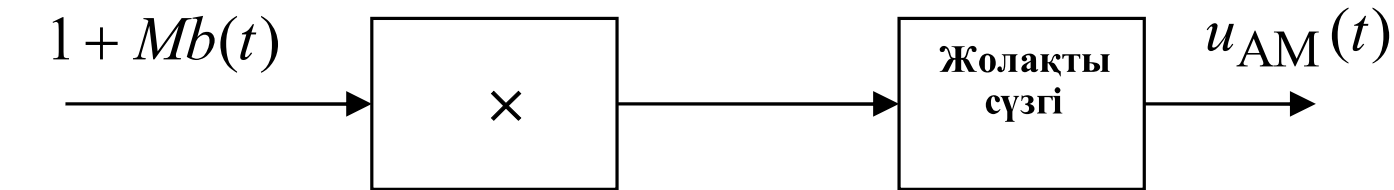


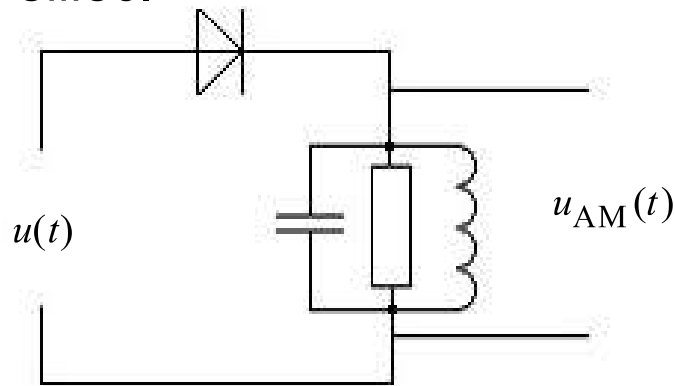


Модуляция және Детектирлеу теориясының негіздері

1. Техникада амплитудалық модуляцияны алу



Егер көбейткіш идеал болса, онда жолақты сүзгі қажет емес.



$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$$

$$u(t) = U_{m1} \cos \omega_0 t + U_{m2} \cos \Omega t$$

Онда

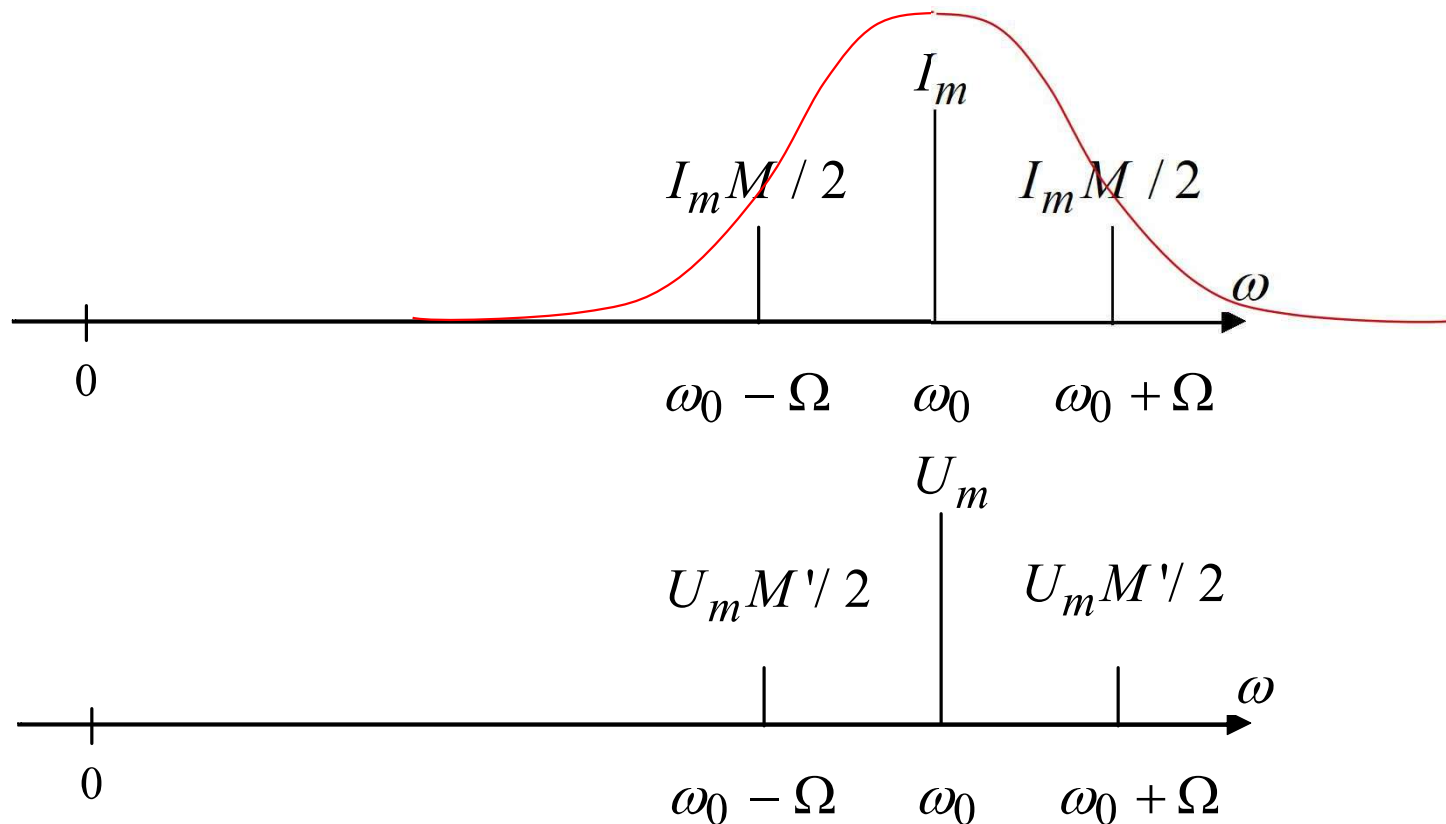
$$M = 2 \frac{a_2}{a_1} U_{m2}$$

$$i_{AM}(t) = a_1 U_{m1} \cos \omega_0 t + a_2 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + \\ + a_2 U_{m1} U_{m2} \cos(\omega_0 - \Omega)t = a_1 U_{m1} [1 + M \cos \Omega t] \cos \omega_0 t$$

Модуляция сызықты (АМ ораушысының бастапқы сигналға сызықтық тәуелділігін білдіреді; бірақ, әрине, сызықты емес).

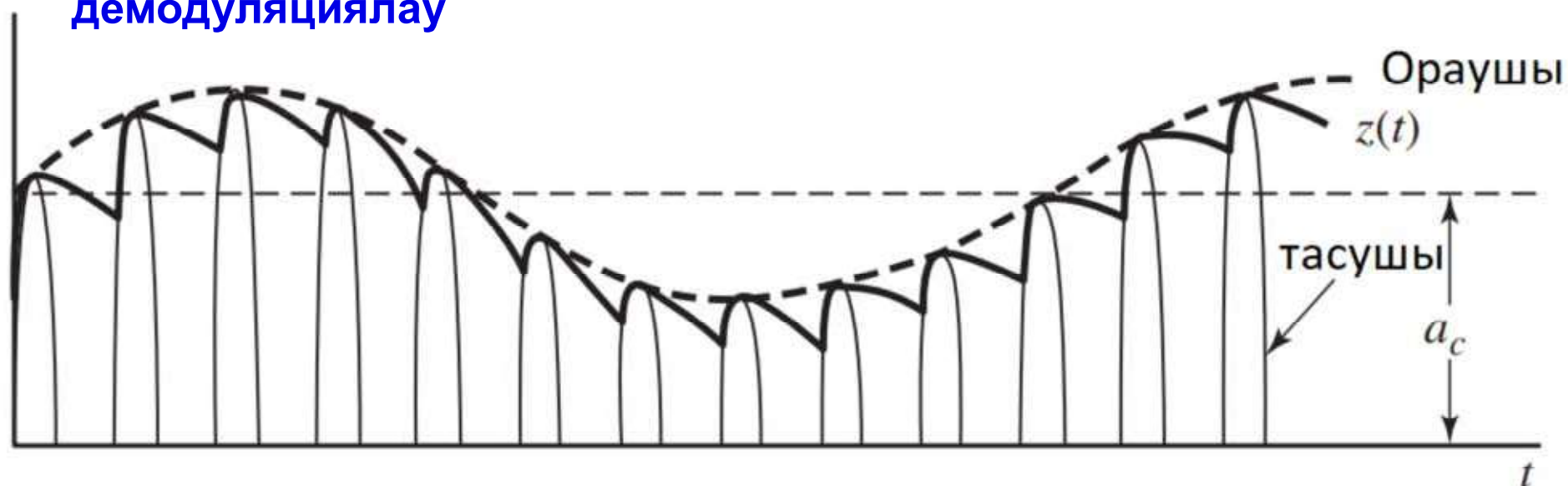
$$M = 2 \frac{a_2}{a_1} U_{m2}$$

Синхронды демодулятордың қажеті жоқ.

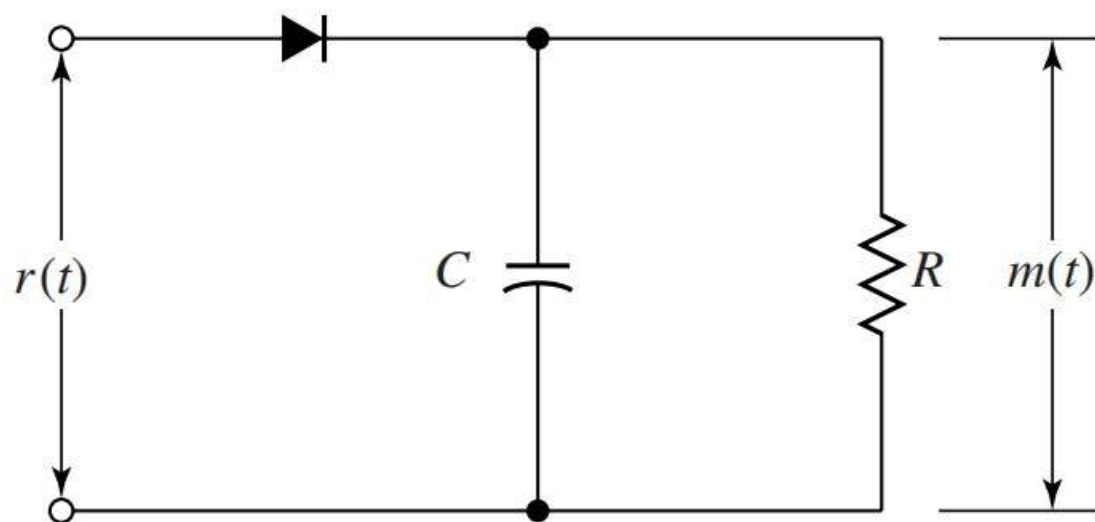


«жүктеме арқылы демодуляциясы»

Техникада қарапайым амплитудалық модуляцияланған сигналды демодуляциялау



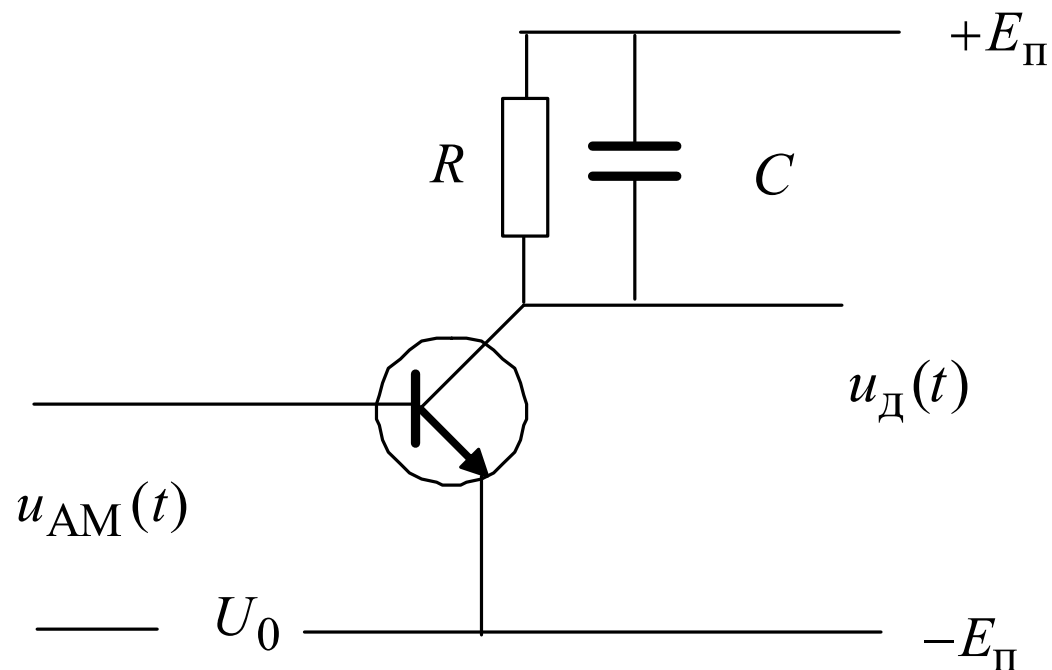
$$d(t) = g_1 + g_2 m(t)$$



Тасымалдаушы-модуляцияланған сигнал ораушысындағы өзгерістерді бақылайтындай RC уақыт тұрақтысын мынадай таңдау керек.

$$\frac{1}{f_c} \ll RC \ll \frac{1}{W}$$

«Сызықты» детектор

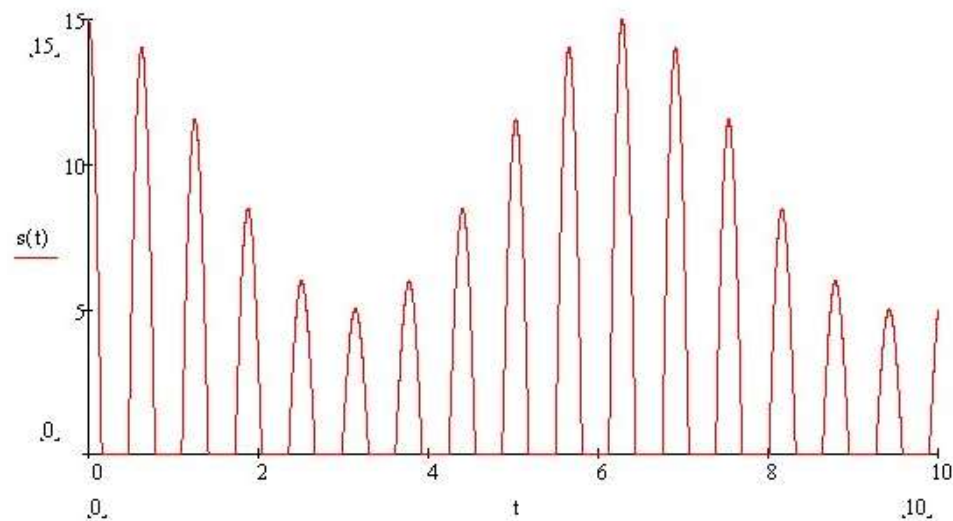


Күшті сигналмен сипаттаманың бөліктік сызықтық жуықтауын қолдануға болады

$$i_K(u) = \begin{cases} 0 & , u < U_H \\ S(u - U_H) & , u \geq U_H \end{cases}$$

$$U_0 = U_H \quad \Longrightarrow \quad \theta = 90^\circ$$

$$I_m = SU_m (1 + M \cos \Omega t)$$



$$I_0(t) = \gamma_0(\theta)SU_m(1 + M \cos \Omega t) = 0.318SU_m(1 + M \cos \Omega t)$$

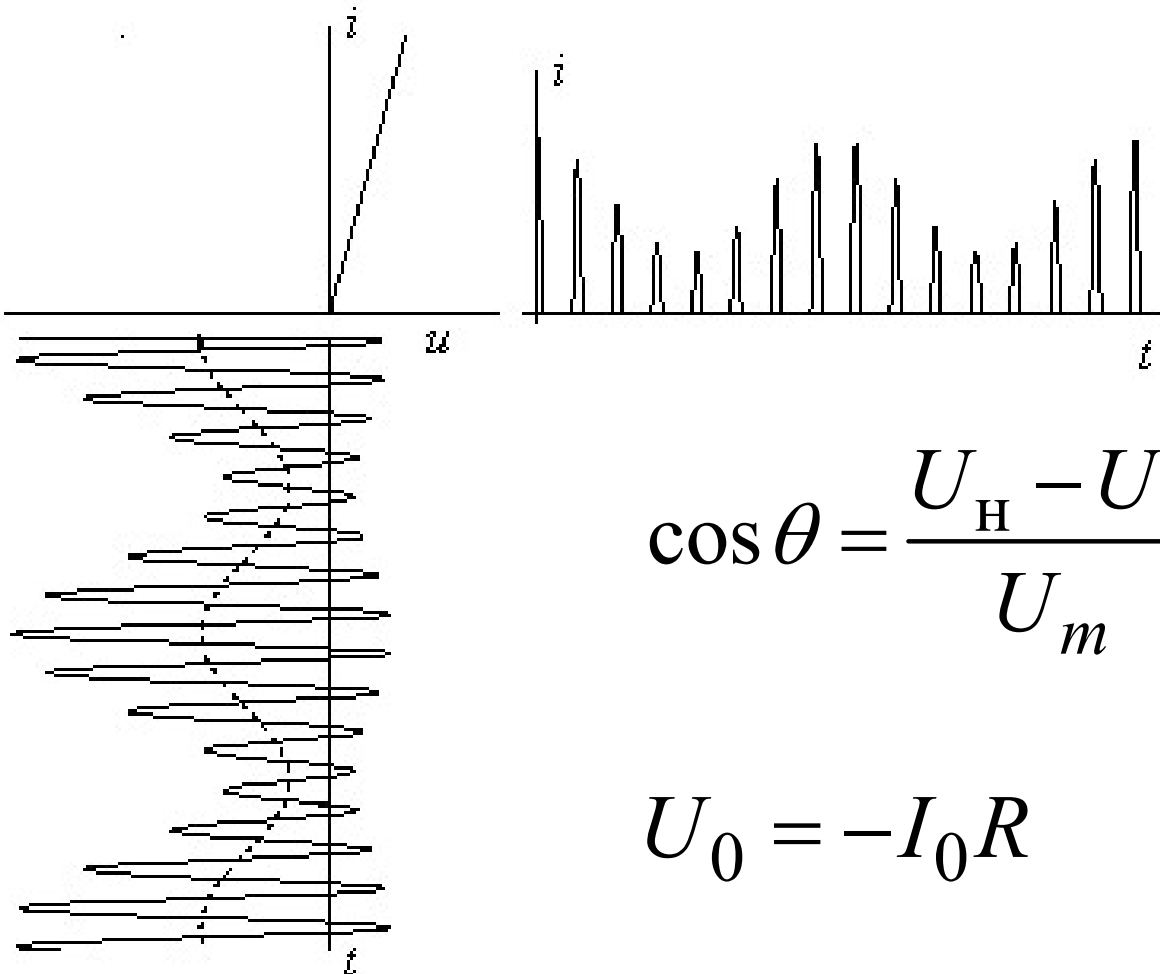
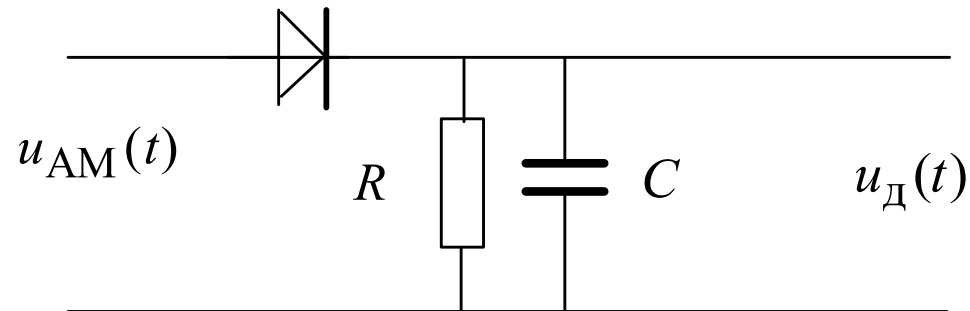
$$u_H(t) = 0.318SU_mR(1 + M \cos \Omega t)$$

Детекторлар детектирлеу коэффициентімен сипатталады

$$k_D = \frac{U_{m\text{ВЫХ}}}{MU_{m\text{ВХ}}}$$

$$k_D = \frac{0.318SU_mRM}{MU_m} = 0.318SR$$

Диодты детектор



$$\cos \theta = \frac{U_H - U_0}{U_m}$$

$$\cos \theta = \frac{-U_0}{U_m}$$

$$U_0 = -I_0 R$$

$$\cos \theta = \frac{I_0 R}{U_m}$$

$$\cos \theta = \frac{I_0 R}{U_m}$$

$$I_0 R = S U_m \gamma_0(\theta) R = U_m \cos \theta$$

$$\gamma_0(\theta) = (1 - \cos \theta) \alpha_0(\theta)$$

$$\alpha_0(\theta) = \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)}$$

$$\frac{SR}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) = \cos \theta$$

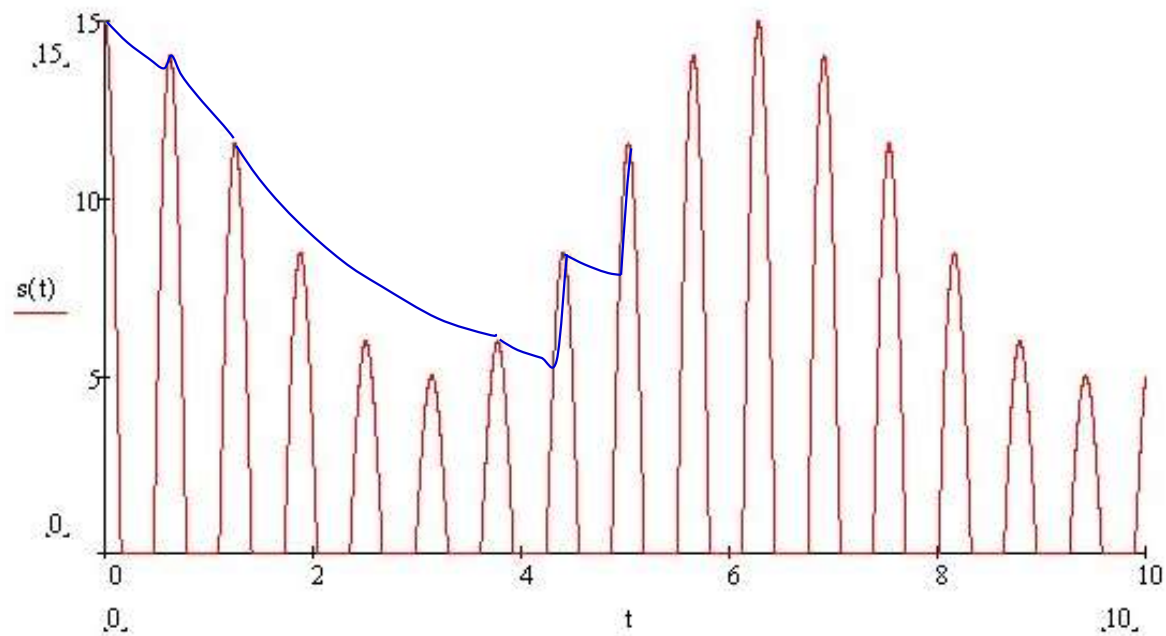
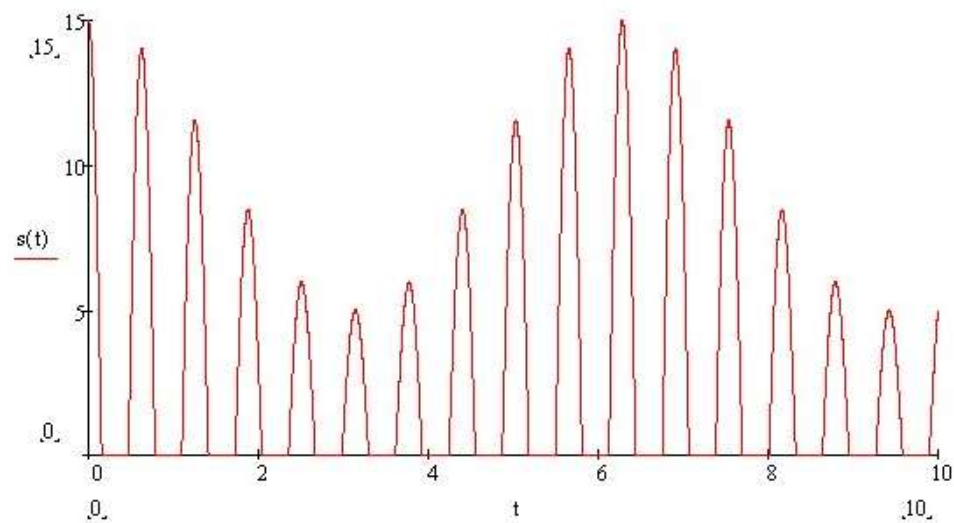
$$\frac{SR}{\pi} (tg \theta - \theta) = 1$$

$$tg \theta \approx \theta + \frac{1}{3} \theta^3 \longrightarrow \frac{SR}{\pi} \frac{\theta^3}{3} = 1 \longrightarrow \theta \approx \sqrt[3]{\frac{3\pi}{SR}}$$

$$I_0 = \frac{U_m}{R} \cos \theta \implies k_{\text{д}} = \cos \theta = \cos \left(\sqrt[3]{3\pi / (SR)} \right)$$

Төмен өткізгіш сүзгінің параметрлерін таңдау

$$\frac{1}{\omega_0 C} \ll R \ll \frac{1}{\Omega C}$$



Квадраттық жауап беретін сызықты емес детекторы

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$$

$$i(t) =$$

$$= a_0 + a_1 U_m [1 + M \cos \Omega t] \cos \omega_0 t + a_2 U_m^2 [1 + M \cos \Omega t]^2 \cos^2 \omega_0 t =$$

$$= a_0 + a_1 U_m [1 + M \cos \Omega t] \cos \omega_0 t +$$

$$+ a_2 U_m^2 \left[1 + 2M \cos \Omega t + \frac{M^2}{2} + \frac{M^2}{2} \cos 2\Omega t \right] \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\omega_0 t \right) =$$

$$= a_0 + \frac{a_2 U_m^2}{2} + \frac{a_2 U_m^2 M^2}{4} + \boxed{a_2 U_m^2 M \cos \Omega t} + \boxed{\frac{a_2 U_m^2 M^2}{4} \cos 2\Omega t} + \text{ВЧ}$$

Осылайша, квадраттық анықтау сызықтық емес бұрмаланулармен бірге жүреді. Сызықты емес бұрмалануларды гармоника коэффициентімен (сызықты емес бұрмаланулар) сипаттау әдеттегідей.

Гармоникалар коэффициенті

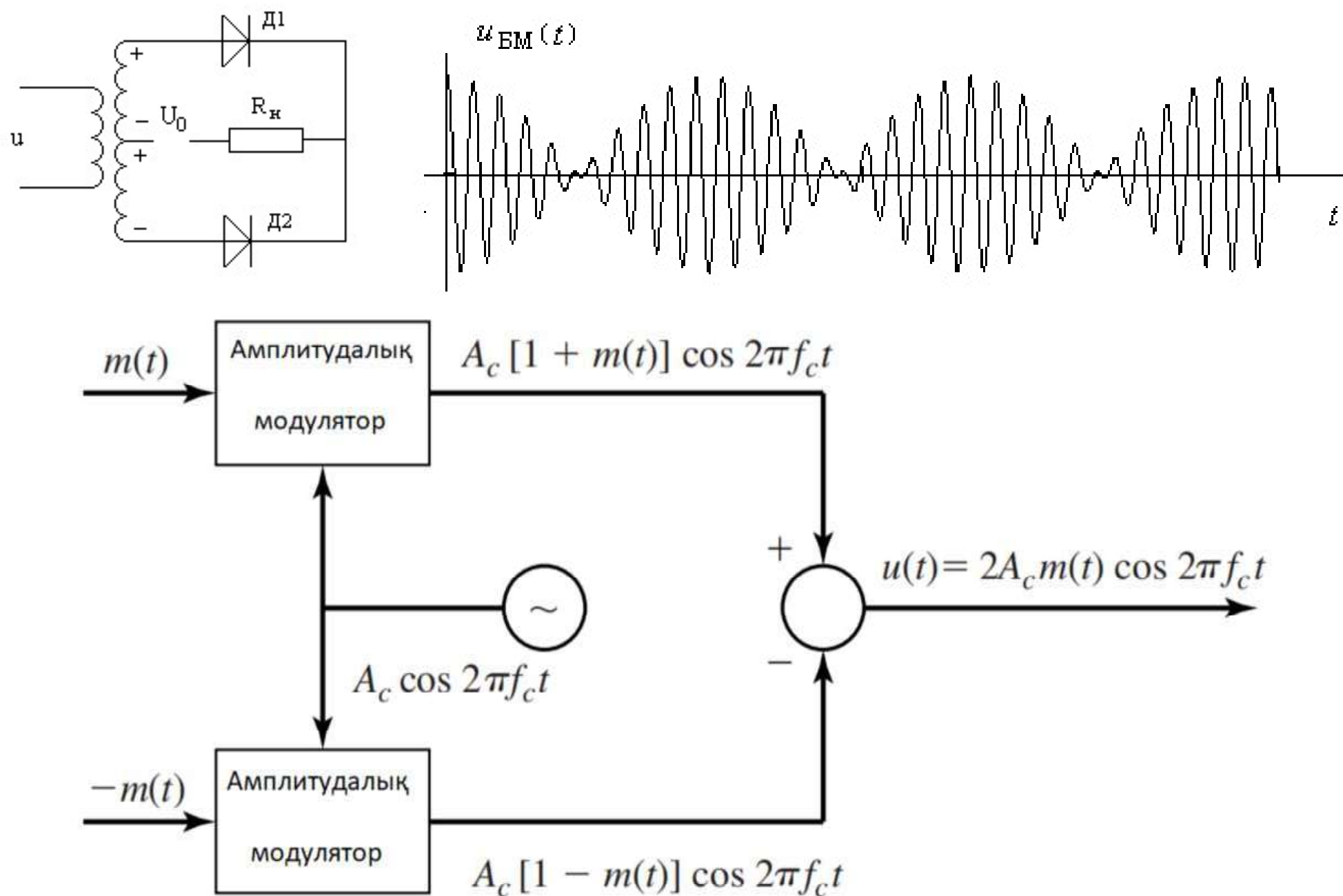
$$k_{\Gamma} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}$$

$$i(t) =$$

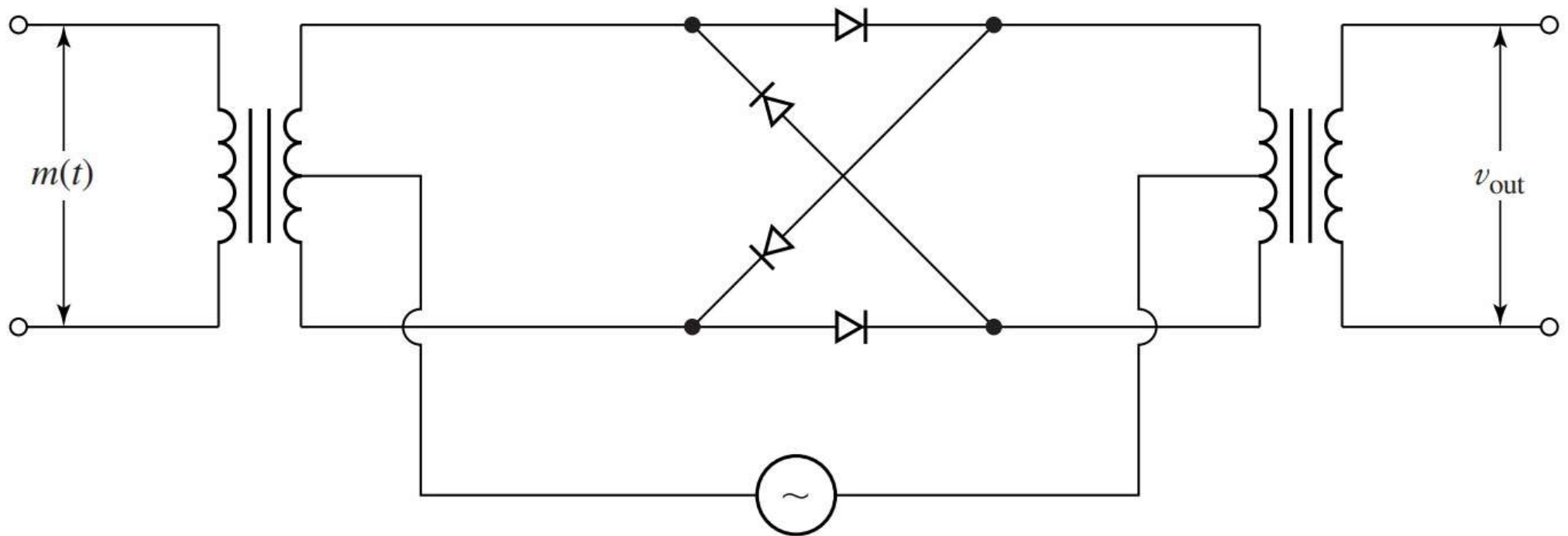
$$= a_0 + \frac{a_2 U_m^2}{2} + \frac{a_2 U_m^2 M^2}{4} + \boxed{a_2 U_m^2 M \cos \Omega t} + \boxed{\frac{a_2 U_m^2 M^2}{4} \cos 2\Omega t} + \text{БЧ}$$

$$k_{\Gamma} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{M}{4} \leq 25 \%$$

2. Балансты модуляцияның техникасы



Сақиналы модулятор



$$v_0(t) = m(t)c(t) \quad c(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos[2\pi f_c(2n-1)t]$$

2. Балансты модуляцияның демодуляциясы

Шу болмаған жағдайда және идеалды арнаны болжағанда қабылданған сигнал модуляцияланған сигналға тең болады.

$$r(t) = u(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$

$$\begin{aligned} r(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) &= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \cos(2\pi f_c t + \phi) \\ &= \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi) + \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(4\pi f_c t + \phi + \phi_c) \end{aligned}$$

өнім сигналын өткізу қабілеттілігі W бар идеалды төмен жиілікті сүзгіден өткізгеннен соң.

$$y_\ell(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi)$$

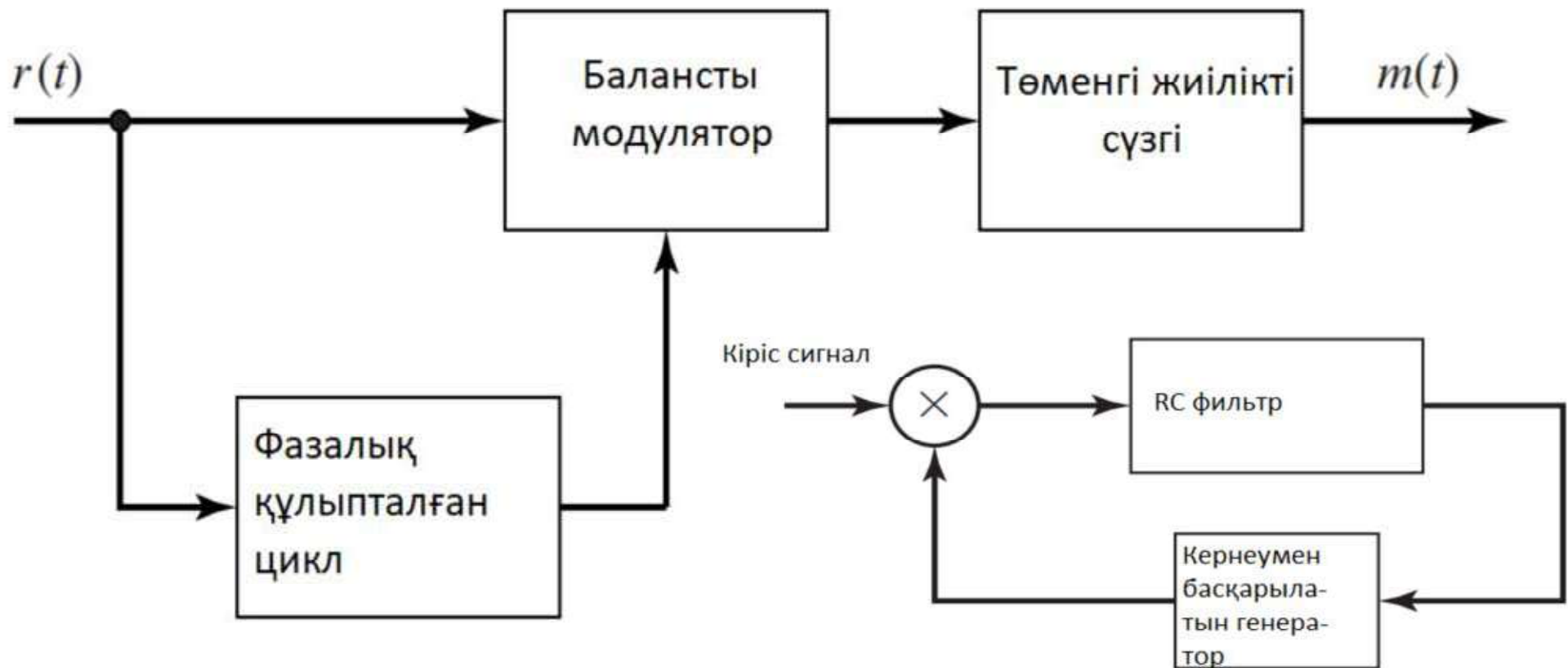
Осылайша, қажетті сигнал қабылданған сигналдағы тасымалдаушының ϕ_c фазасы мен жергілікті генерацияланған синусоидтың ϕ фазасы арасындағы фазалар айырмашылығына тәуелді.

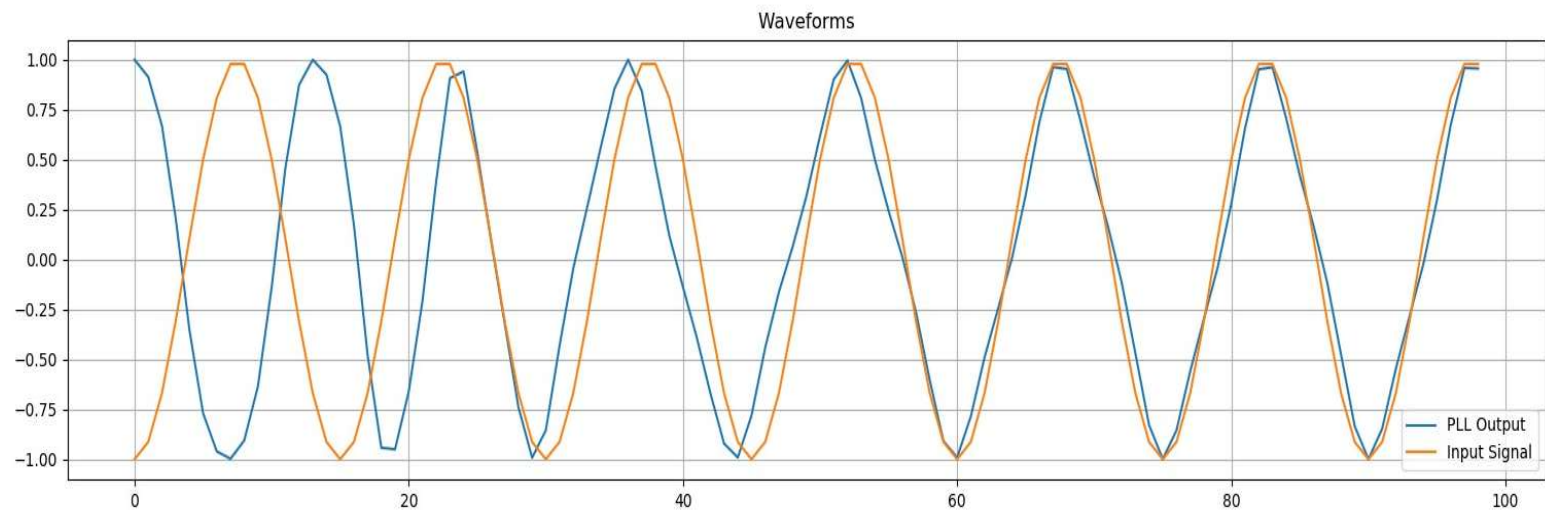
$$\varphi_\Gamma = \varphi_0 \pm 2\pi \quad \text{кезінде максимал}$$

$$\varphi_\Gamma = \varphi_0 \pm \pi/2 \quad \text{кезінде нөлге тең.}$$

2. Балансты модуляцияның демодуляциясы

Синхронды детекторда қабылданған АМ сигналының тасымалдаушы жиілігін ғана емес, сонымен қатар тасымалдаушының **бастапқы фазасын** білу маңызды. Сондықтан жергілікті осциллятор қабылданған модуляцияланған сигналдың бастапқы фазасы шегінде синхронды түрде жұмыс істеуі керек. Мұндай детектор **синхронды немесе когерентті сызықтық детектор** деп аталады.

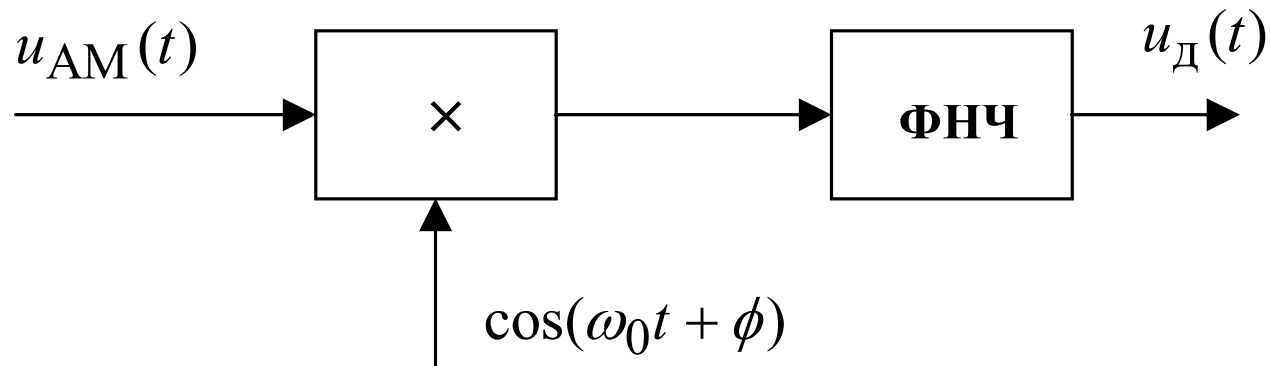




Синхронды немесе когерентті сызықтық детектор шығысындағы сигнал

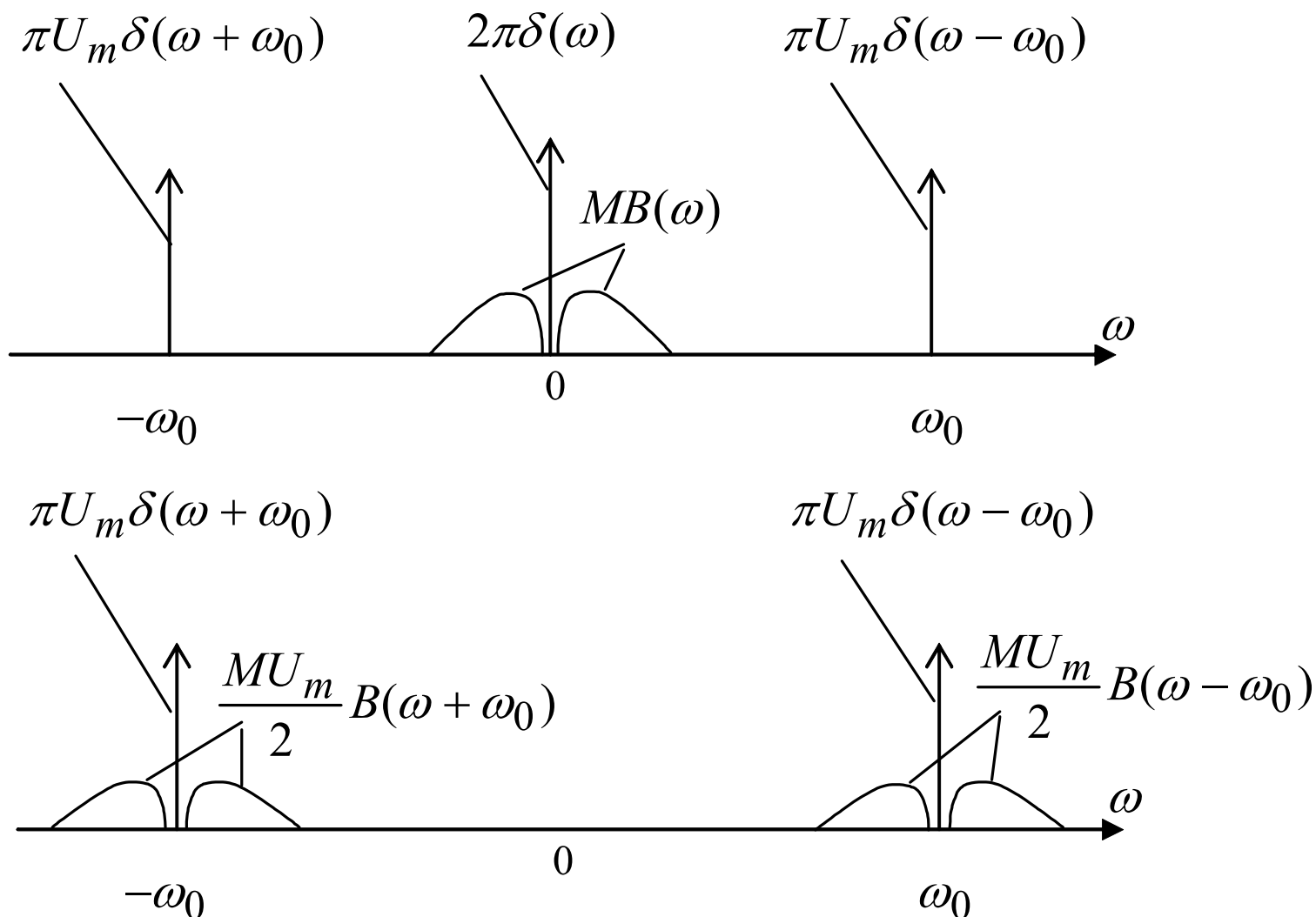
Синхронды (когерентті) детектор

Амплитудалық модуляция - спектрдің берілуі. Демодуляция спектрдің бірдей мөлшерде кері тасымалдануына сәйкес келеді.



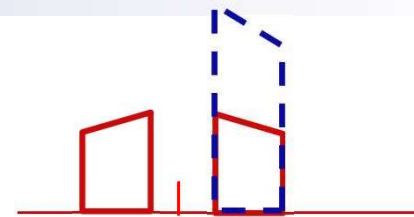
$$\begin{aligned} u_{AM}(t) \cos(\omega_0 t + \phi) &= U(t) \cos(\omega_0 t + \phi) \cos(\omega_0 t + \phi) = \\ &= \frac{U(t)}{2} \cos(2\omega_0 t + \varphi + \phi) + \frac{U(t)}{2} \cos(\varphi - \phi) \end{aligned}$$

3. Біржолақты модуляция техникасы



Бастапқы сигнал спектрінің симметриясын ескере отырып, бір бүйірлік жолағы (SSB сигналы) бар АМ сигналын генерациялау арқылы қажетті арна өткізу қабілеттілігін екі есе азайтуға болады. (SSB)

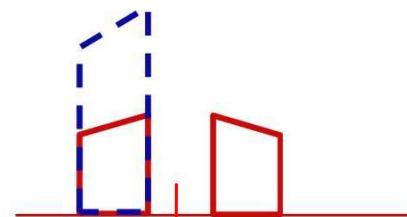
$$b(t) \longrightarrow \dot{b}(t) = b(t) + j\hat{b}(t)$$



$$\dot{b}(t)e^{j\omega_0 t} = [b(t) + j\hat{b}(t)][\cos \omega_0 t + j \sin \omega_0 t]$$

$$u_{\text{ОБП}}(t) = \text{Re}\{\dot{b}(t)e^{j\omega_0 t}\} = b(t)\cos \omega_0 t - \hat{b}(t)\sin \omega_0 t$$

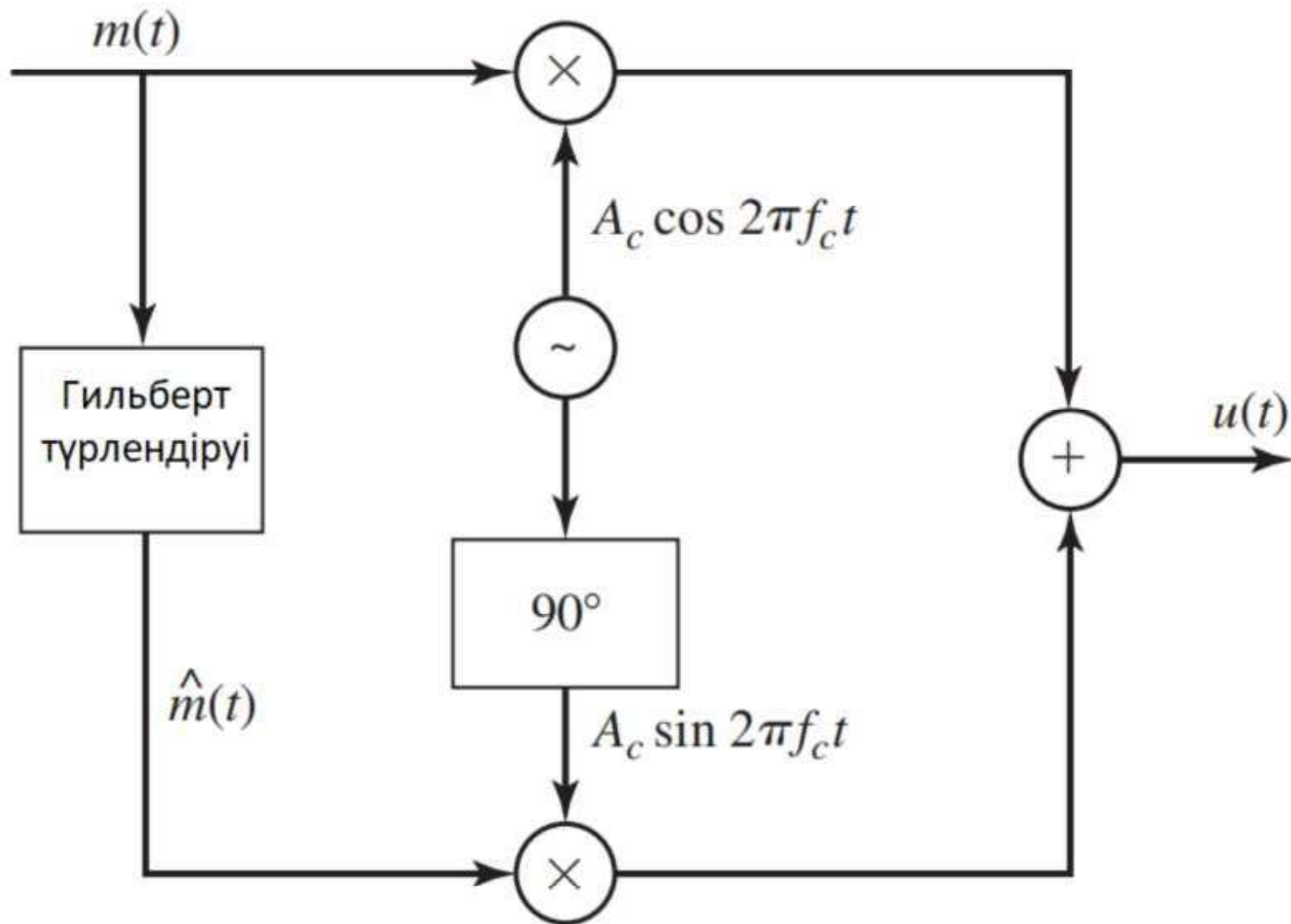
$$\dot{b}^*(t) = b(t) - j\hat{b}(t)$$



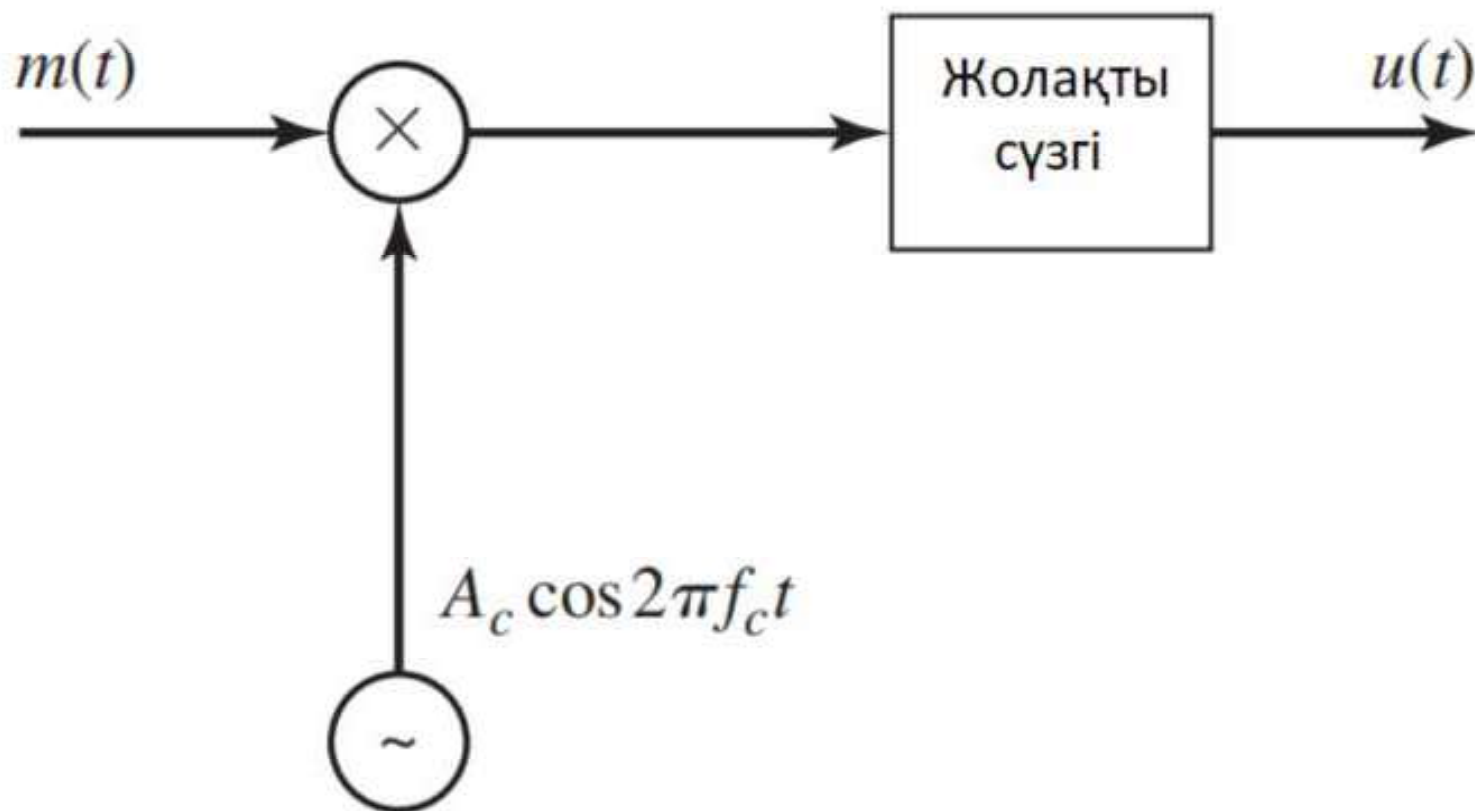
$$u_{\text{ОБП}}(t) = \text{Re}\{\dot{b}^*(t)e^{j\omega_0 t}\} = b(t)\cos \omega_0 t + \hat{b}(t)\sin \omega_0 t$$

Сүзу арқылы бір бүйірлік жолақты басуға болады

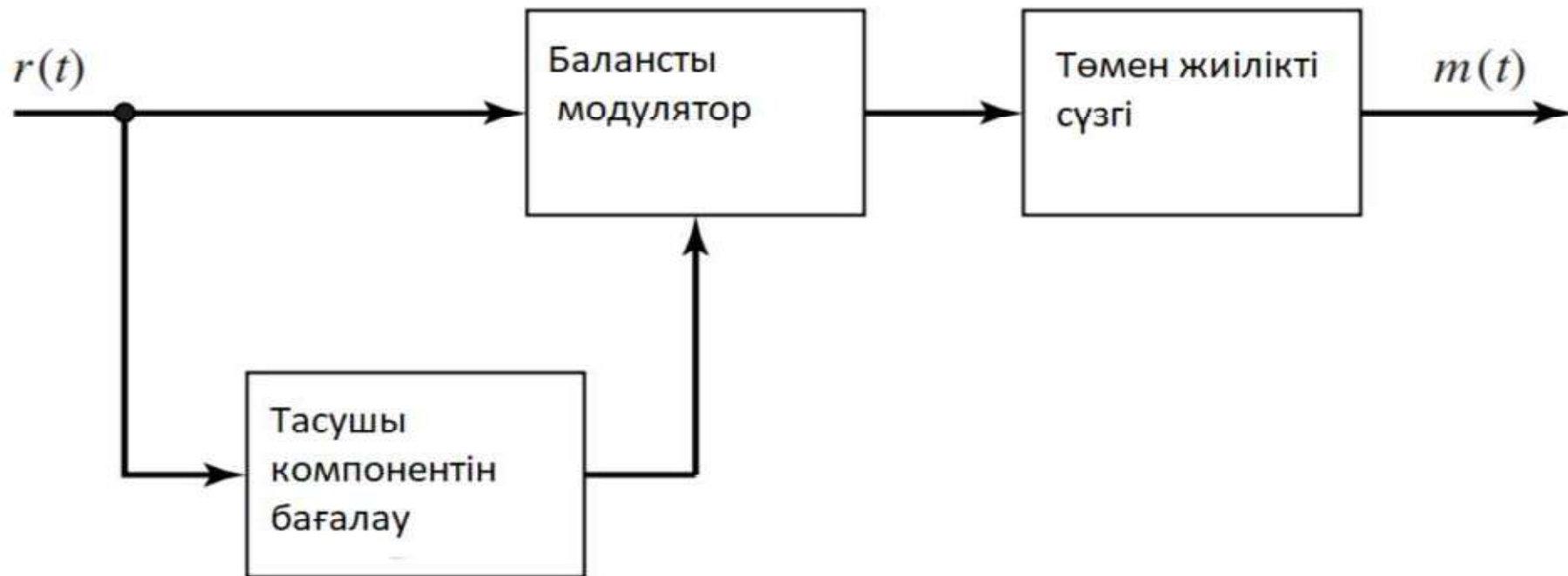
3. Біржолақты модуляция техникасы



3. Біржолақты модуляция қосымша әдісі



3. Демодуляциясы



$$\begin{aligned} r(t) \cos 2\pi f_c t &= u(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \\ &= \frac{1}{2} A_c m(t) \cos \phi + \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin \phi \end{aligned}$$

$$y_\ell(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos \phi + \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin \phi$$

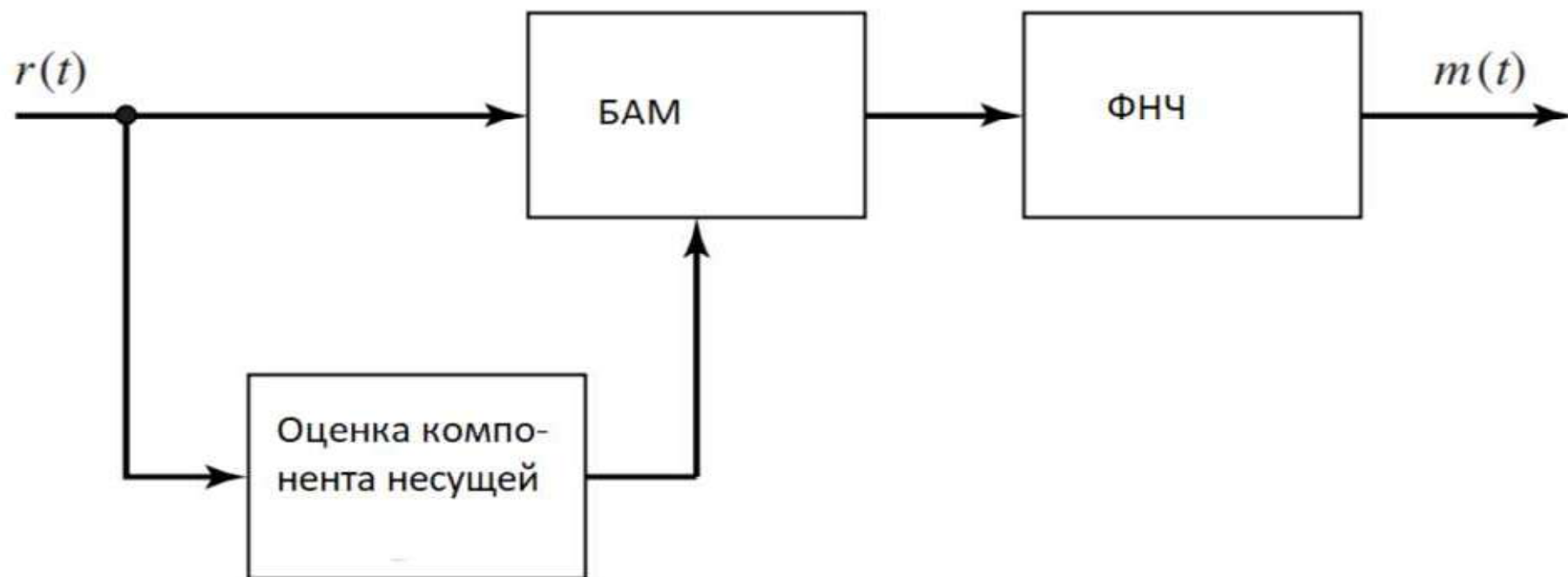
Сипаттама	АМ (Амплитудалық модуляция)	DSB (Қос бүйірлік модуляция)	SSB (Бір бүйірлік модуляция)
Анықтамасы	Ақпараттық сигнал тасымалдаушының амплитудасын өзгертеді.	Тасымалдаушы сигналдың екі симметриялық бүйірлік спектрі болады.	Тек бір бүйірлік спектрі ғана қолданылады, екіншісі жойылады.
Тасымалдаушы жиілік	Сигнал құрамында тасымалдаушы жиілік сақталады.	Тасымалдаушы жиілік әдетте жойылады.	Тасымалдаушы жиілік жойылады.
Жиілік жолағының тиімділігі	Төмен, себебі толық спектрді пайдаланады.	Орташа, екі жақты спектрлік компоненттерді пайдаланады.	Жоғары, тек бір жақты компонент қолданылады.
Энергетикалық тиімділігі	Төмен, тасымалдаушы сигнал мен артық спектрлік компоненттер энергияны ысырап етеді.	Жоғары, себебі тасымалдаушы жиілік жойылады.	Ең жоғары, тек қажетті ақпараттық спектр сақталады.
Кедергілерге төзімділігі	Төмен, кедергілерге осал.	Жақсы, бірақ екі жақты спектрдің артықтығы бар.	Өте жоғары, кедергілер минималды әсер етеді.

Қолдану салалары	АМ радио, аналогтық телехабар тарату.	Радиобайланыс, бейне тарату, жерсеріктік байланыс.	Әскери байланыс, ұзақ қашықтыққа берілетін радиосигналдар, телеграфия.
Артықшылығы	Жүйесі қарапайым, қабылдағыштары арзан.	Жақсы энергия тиімділігі және кең қолданыс табады.	Жиілік жолағы тиімді қолданылады, байланыс сапасы жоғары.
Кемшілігі	Тиімсіз жиілік пен энергия пайдалану, кедергілерге осал.	Қабылдағыш күрделірек және синхрондау қажет.	Қабылдау жүйесі өте күрделі, арнайы қабылдағыш қажет.

- Есептер
- Егер тасымалдаушы сигналдың қуаты $P_c = 100$ Вт, ал модуляция индексі $m = 0.6$ болса, АМ сигналдың жалпы қуатын есептеңіз.
- Модуляция индексі 0.8, ал тасымалдаушы сигналдың қуаты 50 Вт. Бүйірлік жолақтардың қуатын анықтаңыз.
- Егер тасымалдаушы жиілік 500 кГц, ал модуляция жиілігі 5 кГц болса, АМ спектріnde қандай жиіліктер пайда болады.
- Модуляция жиілігі 4 кГц болса, АМ сигналдың жиілік жолағының енін есептеңіз.
- Егер толық амплитудалық модуляцияланған сигналдың жиілік жолағы 10 кГц болса, SSB (бір жақты жолақты) модуляциясында жиілік жолағы қандай болады

- Егер амплитудалық модуляцияланған сигналдың тасымалдаушы амплитудасы 10 В, ал модуляцияланған сигналдың максималды амплитудасы 14 В болса, модуляция индексі (m) есептеңіз.
- Ақпараттық сигнал $m(t) = 2 \cos(2\pi 2000t)$ және тасымалдаушы $c(t) = 5 \cos(2\pi 10000t)$. DSB-SC модуляцияланған сигналды анықтаңыз және оның спектрін сипаттаңыз.
- AM, DSB және SSB үшін тасымалдаушы қуаты 100 Вт, ал модуляция индексі 0.8 болған жағдайда, әрқайсысы үшін жалпы қуатты есептеңіз.

3. Демодуляция



$$\begin{aligned} r(t) \cos 2\pi f_c t &= u(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \\ &= \frac{1}{2} A_c m(t) \cos \phi + \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin \phi \end{aligned}$$

$$y_\ell(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos \phi + \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin \phi$$