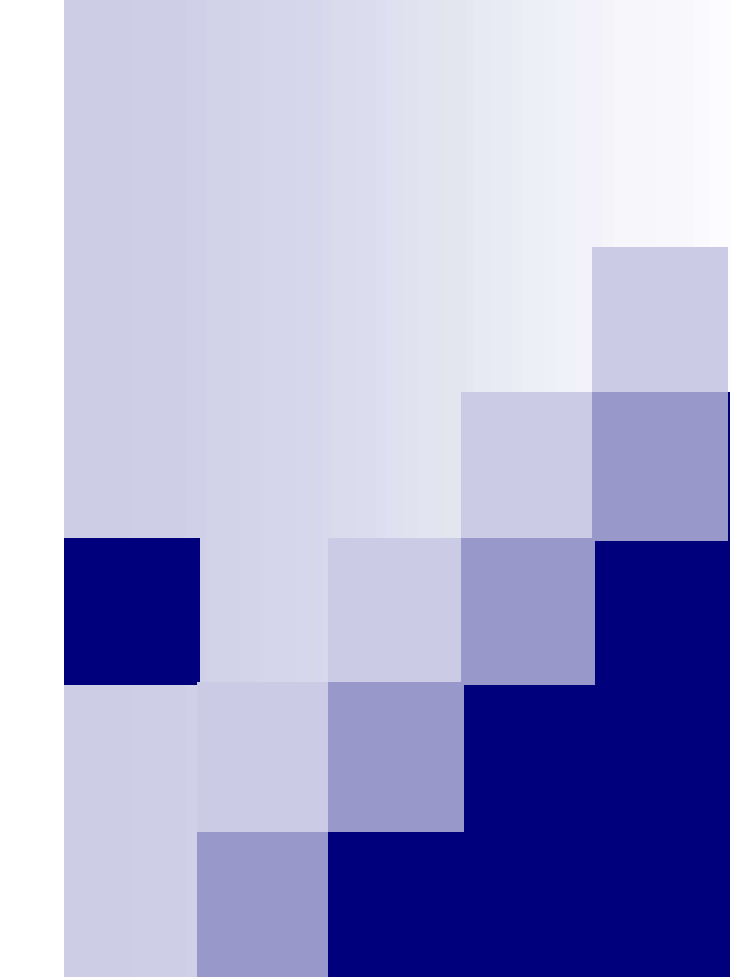




Бұрыштық (жиіліктік және фазалық) модуляция

Бұрыштық модуляция және олардың түрлері- ФМ және ЖМ.

Сигналдың толық фазасы. Фазалық модуляция.

$$S_{\text{фм}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0] = U_n \cos[\Psi(t)]$$

Сигналдың толық фазасы $\Psi(t) = \omega_0 t + k s(t)$ k — фаза девиациясы — фазалық модуляция индексі (β)

ФМ сигналының математикалық моделі

$$S_{\text{фм}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + k s(t)]$$

Сигналдың лездік жиілігі. Жиіліктік модуляция.

Бұрышпен модуляцияланған сигналдың лездік жиілігі - жалпы фазаның уақыт туындысы болып табылады:

Керісінше

$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^t \omega(\tau) d\tau + \varphi_0$$

$$\omega(t) = d\Psi/dt$$

$\omega(t)$ лездік жиілікті модуляциялаушы сигналға қатынасы бойынша байланысты деп алайық. $\omega(t) = \omega_0 + k s(t)$.

ω_0 жиіліктен жоғары немесе төмен жиіліктің максималды өсімі жиілік ауытқуы деп аталады - $\Delta\omega = k s_{\text{max}}$

Сонда ЖМ кезінде фазалық бұрыш заңға сәйкес өзгереді

$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^t [\omega_0 \tau + k s(\tau)] d\tau = \omega_0 t + k \int_{-\infty}^t s(\tau) d\tau + \varphi_0$$

ЖМ математикалық моделі

$$S_{\text{жм}}(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + k \int_{-\infty}^t s(\tau) d\tau + \varphi_0\right)$$

Екі сигналдың негізгі айырмашылығы ФМ сигналы мен модуляцияланбаған сигнал арасындағы фазалық ығысу модуляциялаушы сигналға пропорционалды, ал ЖМ сигналы мен модуляцияланбаған сигнал арасындағы фазалық ығысу модуляциялаушы сигналдың интегралына пропорционалды

Біртоналді-модулирленген ЖМ және ФМ сигналдары.

Тасымалдаушы тербелістің лездік жиілігі гармоникалық заңға сәйкес өзгертін: $\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \psi)$

Содан кейін мұндай сигналдың жалпы фазасы $\Psi(t) = \omega_0 t + [\Delta\omega/\Omega] \sin(\Omega t + \psi) + \varphi_0$

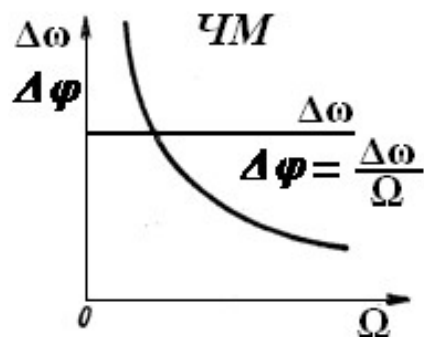
$m = \Delta\omega/\Omega = \beta$ шамасы - бұрыштық модуляция индексі және өзінің физикалық мағынасында мұндай сигналдың **фазалық девиациясын немесе ауытқуын** білдіреді.

Бастапқы ψ және φ_0 фазаларының тұрақты мәндерін нөлге тең деп алып, бір тонды модуляциясы бар ЖМ сигналының математикалық моделін жазайық. $u_{\text{ЖМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + m \sin(\Omega t)]$

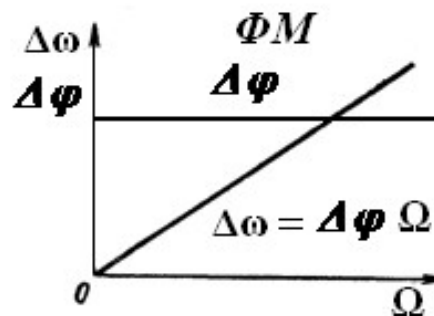
Бірақ бір тонды модуляциясы бар ФМ сигналы дәл осындай өрнекке ие. $u_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + m_\phi \sin(\Omega t)]$

Жалпы фазаның дифференциациясынан кейін мұндай сигналдың лездік жиілігі $\omega(t) = \omega_0 + m_\phi \Omega \cos \Omega t$

ФМ сигналында жиіліктің ауытқуы амплитудамен анықталады және модуляциялаушы сигналдың жиілігіне тәуелді емес. ФМ сигналында модуляция индексі жиілікке қарамастан модуляциялық сигналдың амплитудасына пропорционал болады. Сондықтан ФМ сигналындағы жиіліктің ауытқуы жиіліктің жоғарылауымен сызықты түрде артады.



$$S_{\chi i}(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t) + \varphi_0\right)$$



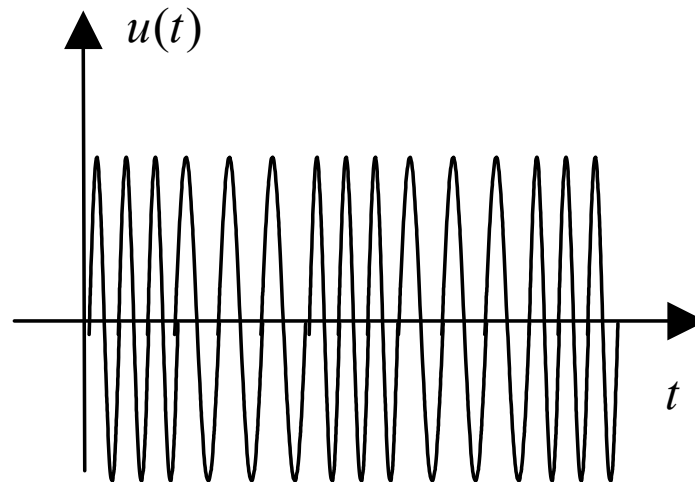
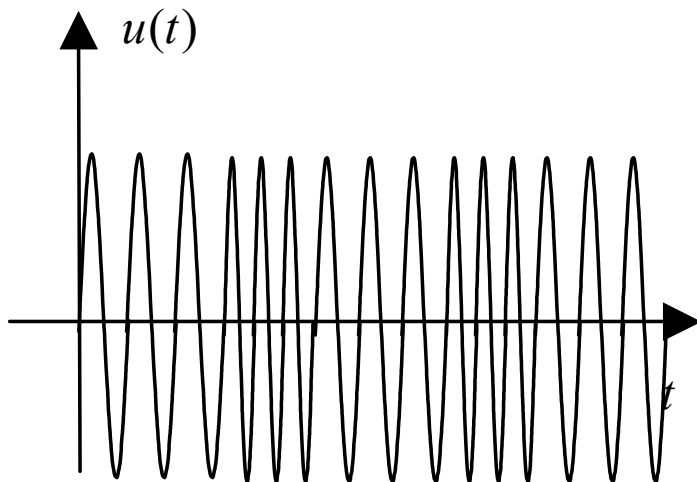
$$S_{\phi i}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\phi \cos(\Omega t))$$

$$\phi(t) = \text{const} \Rightarrow \omega(t) = \omega_0$$

Фазалық модуляция (ФМ, FM) кезінде бастапқы фаза бастапқы сигнал заңына сәйкес өзгереді, демек, лездік жиілік оның туынды заңына сәйкес өзгереді.

Жиілік модуляциясымен (ЖМ, PM) бастапқы сигналға сәйкес лездік жиілік өзгереді, яғни бастапқы фаза бастапқы сигналдың интегралы ретінде өзгереді.

Кез келген жағдайда, бұрыштық модуляция кезінде модуляция заңы белгісіз болса, модуляция түрін (FM немесе PM) модуляцияланған сигнал түрінен анықтау мүмкін емес.



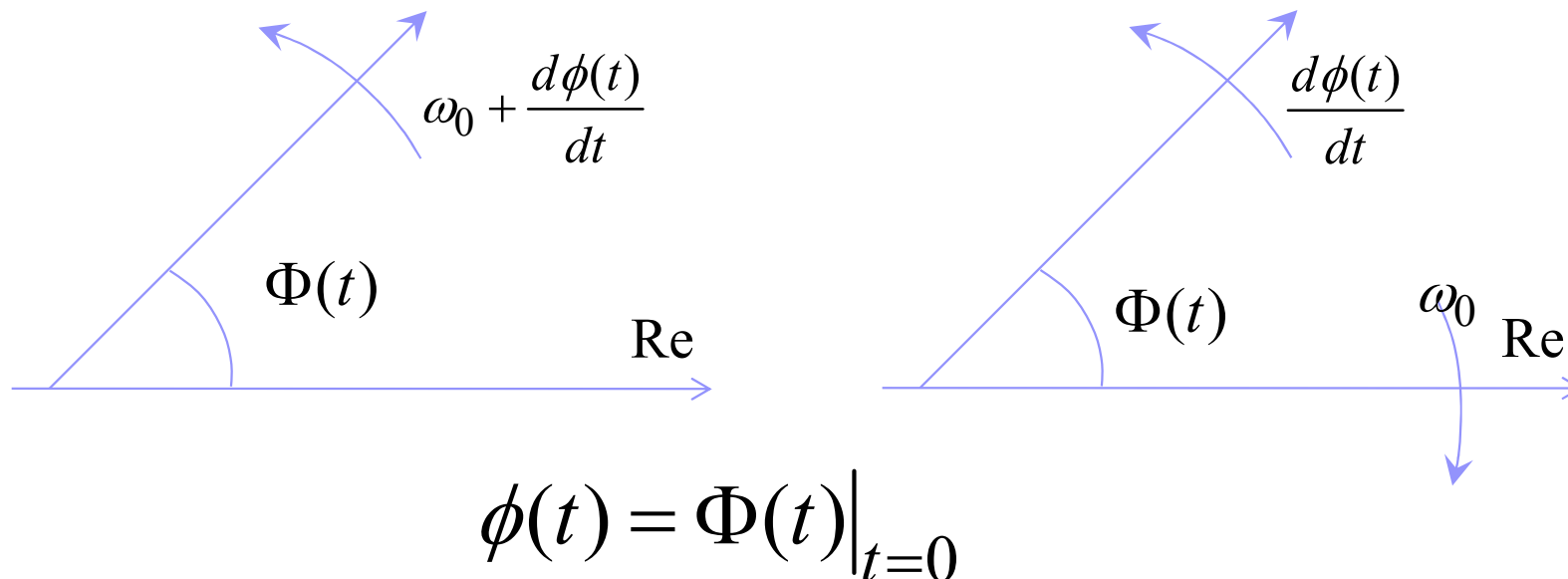
Бұрыштық модуляция (БМ) тербелістерінің сипаттамасы

$$u_{\text{БМ}}(t) = U_m \cos \Phi(t) = U_m \cos[\omega_0 t + \phi(t)]$$

$\Phi(t)$ – тербеліс фазасы, $\phi(t)$ – бастапқы фаза

Лездік жиілік

$$\omega(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega_0 + \frac{d\phi(t)}{dt}$$



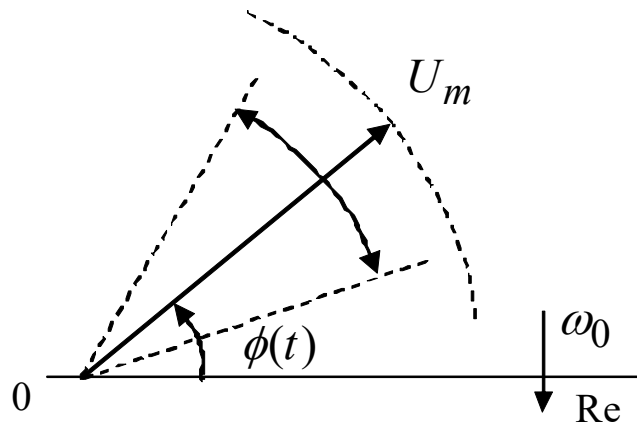
Гармоникалық жиілікті модуляция

$$\omega(t) = \omega_0 + \omega_D \cos \Omega t$$

$$\omega_D - \text{жиілік девиациясы} = \Delta\omega = k |x(t)|_{\max}$$

$$\begin{aligned}\Phi(t) &= \int_0^t \omega(t) dt + \phi_0 = \omega_0 t + \frac{\omega_D}{\Omega} \sin \Omega t + \phi_0 \\ &= \omega_0 t + m \sin \Omega t + \phi_0\end{aligned}$$

$$m - \text{модуляция индексі (фаза девиациясы)} = \Delta\phi = k |x(t)|_{\max}$$



Гармоникалық модуляция заңымен өзгергенде

$$m = \frac{\omega_D}{\Omega}$$

Гармоникалық заң бойынша БМ бар тербеліс спектрі

$$u_{\text{БМ}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t) =$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \beta \sin \alpha$$

$$= U_m \cos(m \sin \Omega t) \cos \omega_0 t - U_m \sin(m \sin \Omega t) \sin \omega_0 t$$

Модуляция заңы сызықты емес түрлендірулерге ұшырайды!

$$\boxed{m < 1} \begin{cases} \rightarrow \cos(m \sin \Omega t) \approx 1 \\ \rightarrow \sin(m \sin \Omega t) \approx m \sin \Omega t \end{cases}$$

$$u_{\text{БМ}}(t) = U_m \cos \omega_0 t - U_m m \sin \Omega t \sin \omega_0 t =$$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$$

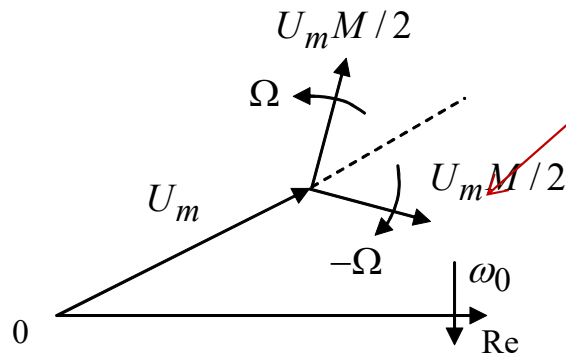
$$= U_m \cos \omega_0 t + \frac{U_m m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t - \frac{U_m m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t$$

Бұрыштық модуляцияның индексінің аз мәнінде

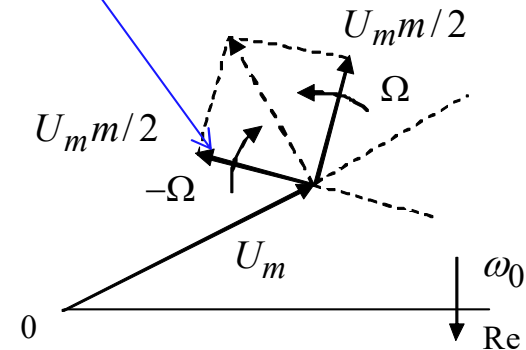
$$u_{\text{БМ}}(t) = U_m \cos \omega_0 t + \frac{U_m m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t - \frac{U_m m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t$$

Салыстыру үшін, АМ тербелісі

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



Толық вектордың соңы тербеліс векторы жатқан түзу бойымен қозғалады



Толық вектордың соңы тербеліс векторына перпендикуляр түзу бойымен қозғалады

Төменгі модуляция индекстеріндегі бұрыштық модуляция сигналдарының спектрі АМ спектрімен сәйкес келеді, бірақ бүйірлік сигналдар бір-біріне қатысты фаза бойынша π ығысады.

Үлкен индексі бар БМ тербелістерінің спектрі

$$u_{\text{УМ}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t) = \\ = U_m \operatorname{Re} \left\{ e^{j\omega_0 t} e^{jm \sin \Omega t} \right\}$$

Қатарға жіктеу арқылы
белгілі

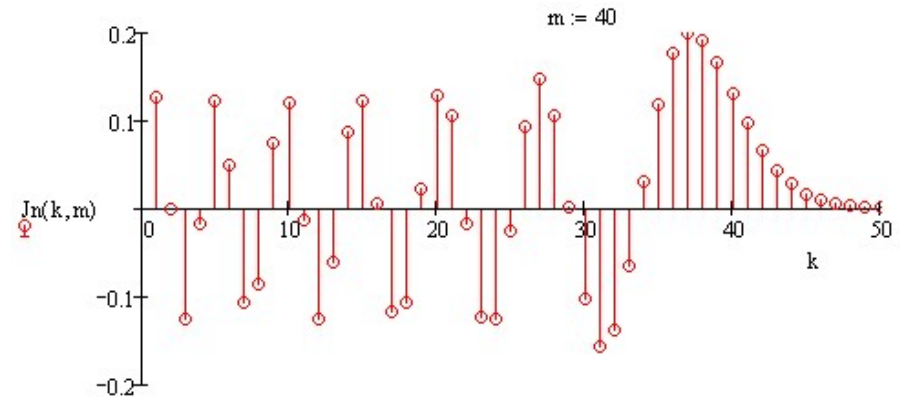
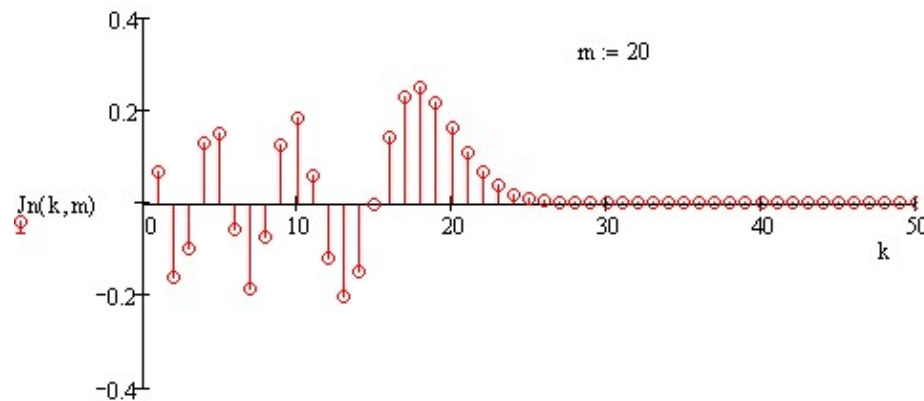
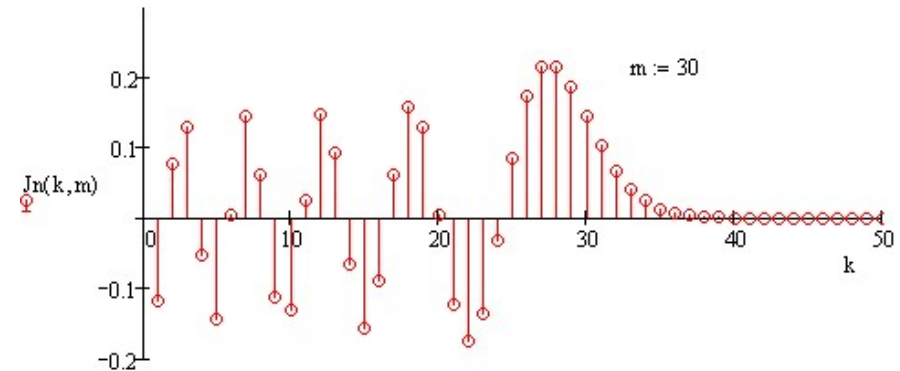
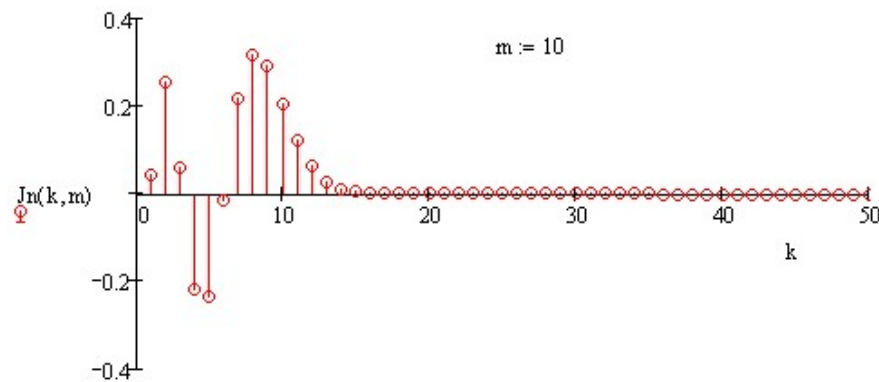
$$e^{jm \sin x} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) e^{jkx}$$

$J_k(\cdot)$ – k-ші ретті 1-ші түрдегі Бессель функциясы

$$u_{\text{УМ}}(t) = U_m \operatorname{Re} \left\{ e^{j\omega_0 t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) e^{jk\Omega t} \right\} =$$

$$= U_m \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) \cos(\omega_0 + k\Omega)t$$

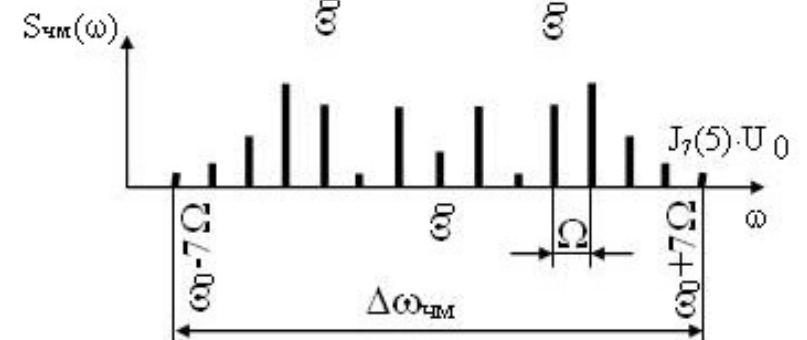
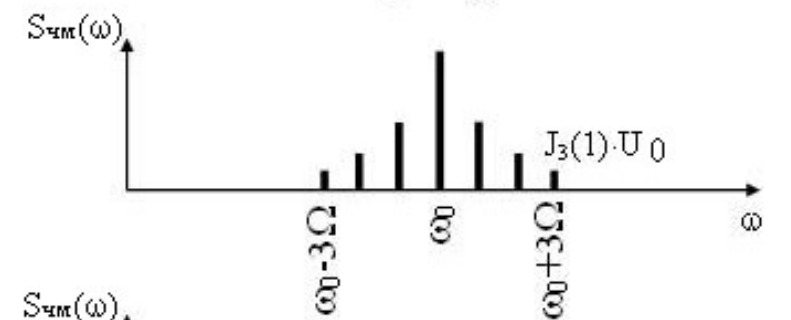
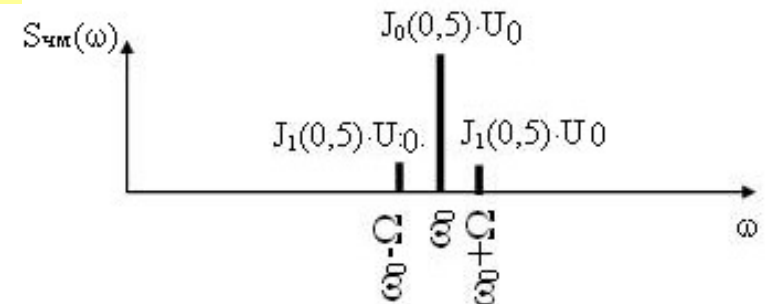
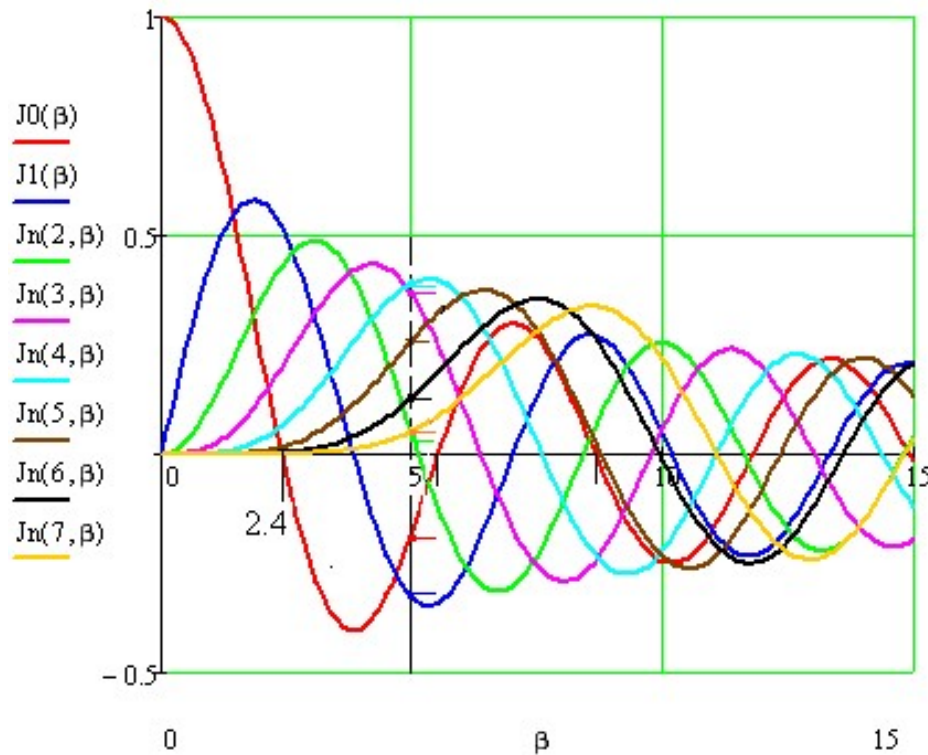
Осылайша, тональды модуляция кезінде де УМ тербеліс спектрінде шексіз көп компоненттер бар, олардың амплитудалары берілген m мәні үшін k гармоникалық санының функциясы ретінде қарастырылатын Бессель функциясының $J_k(m)$ мәндерімен анықталады.



$$S_{YI}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \beta \sin(\Omega t) + \varphi_0) = \operatorname{Re} \left[e^{j[\omega_0 t + \beta \sin(\Omega t) + \varphi_0]} \right] = \operatorname{Re} \left[e^{j[\omega_0 t + \varphi_0]} e^{j[\beta \sin(\Omega t)]} \right]$$

$$e^{j[\beta \sin(\Omega t)]} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta) e^{jk\Omega t}$$

$$S_{YI}(t) = U_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta) \cos(\omega_0 + k\Omega)t + \varphi_0)$$

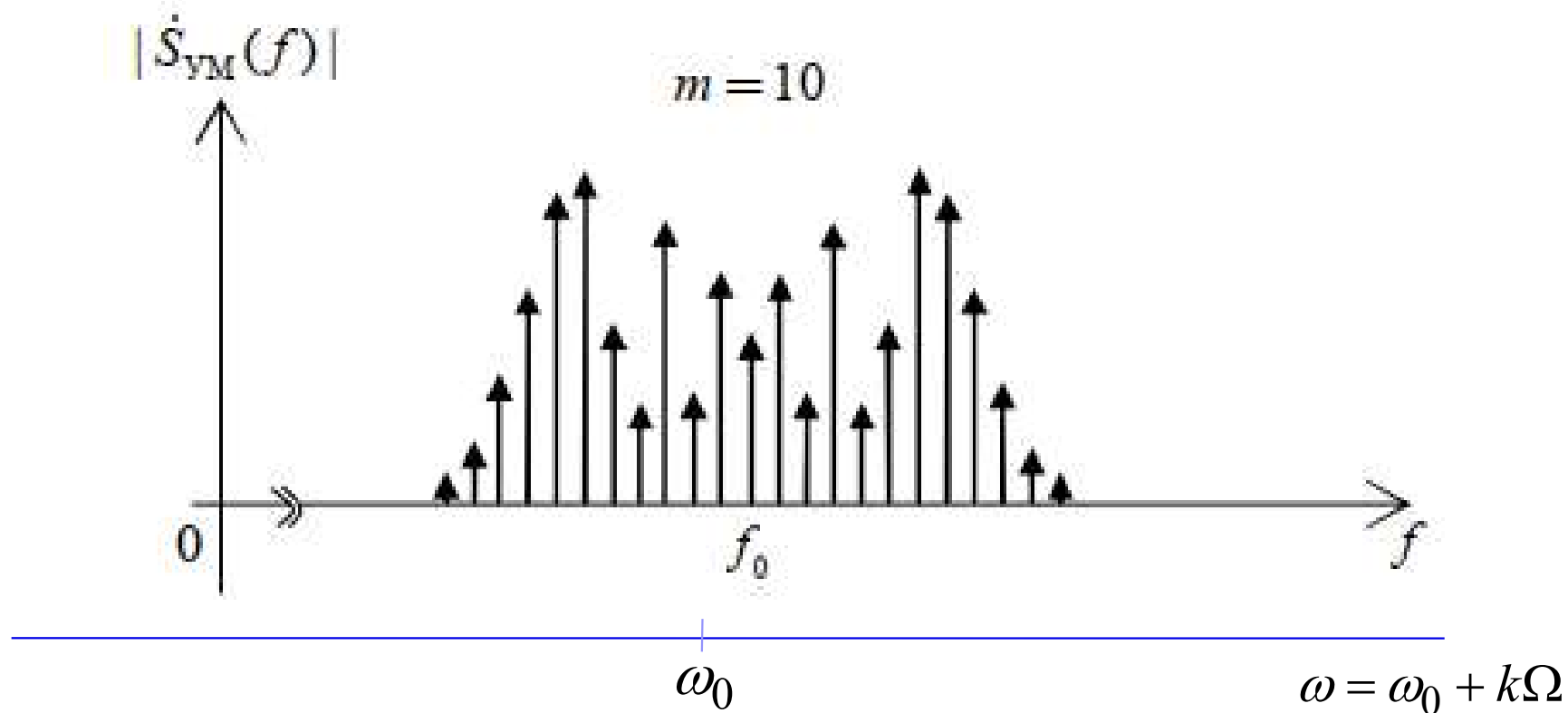


Спектр жолағы $\Delta\omega_{\text{чм}} = 2(1+\beta)\Delta\Omega$

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - \alpha^2)y = 0, \quad y(x) = C_1 J_\alpha(x) + C_2 Y_\alpha(x).$$

$$J_\alpha(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(m + \alpha + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m + \alpha} \quad Y_\alpha(x) = \frac{J_\alpha(x) \cos(\alpha\pi) - J_{-\alpha}(x)}{\sin(\alpha\pi)}, \quad J_\alpha(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i(\alpha\tau - x \sin \tau)} d\tau$$

Осылайша, БМ тербеліс спектрі мынадай пішінге ие

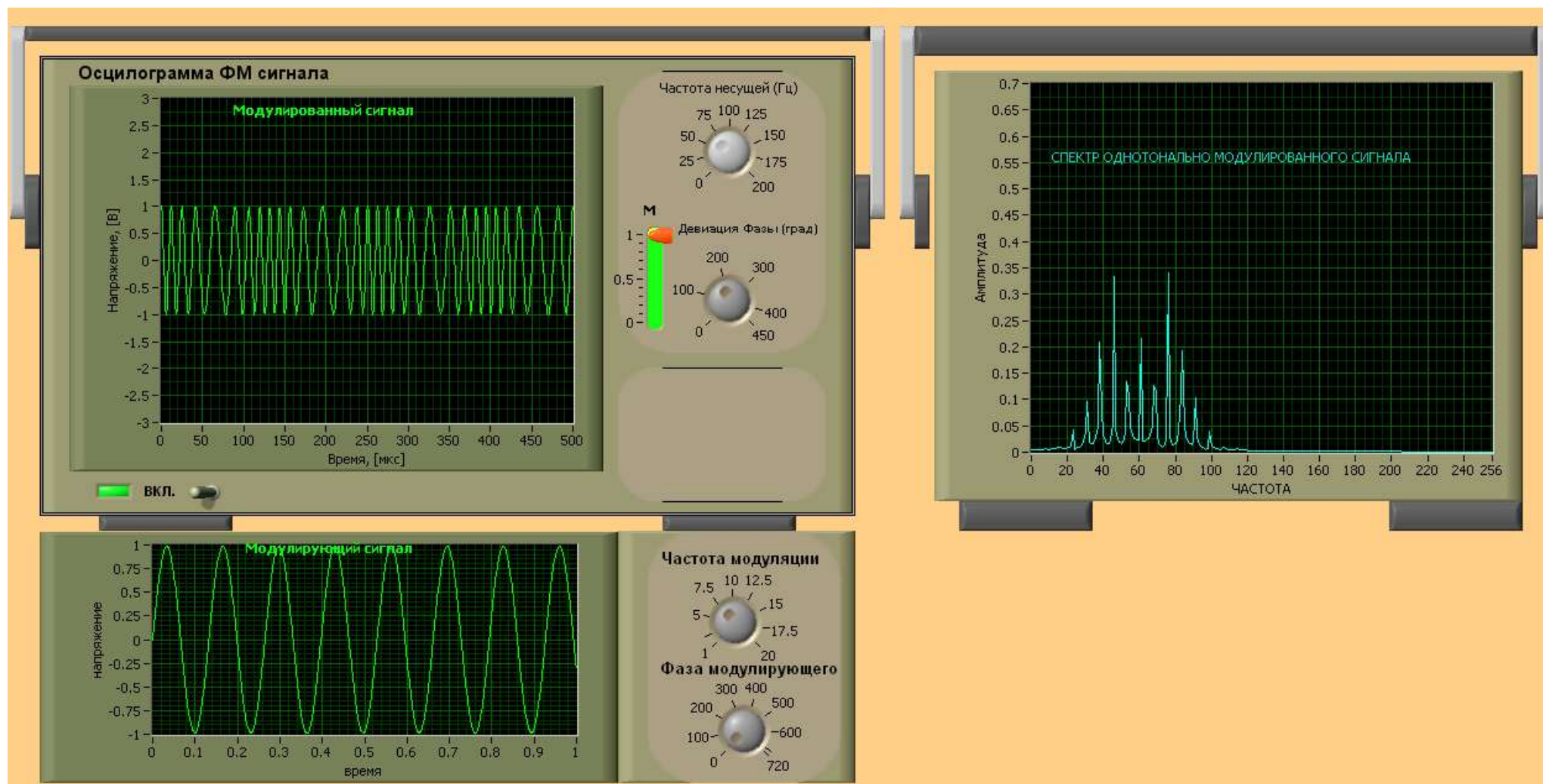


Спектрдің тиімді ені

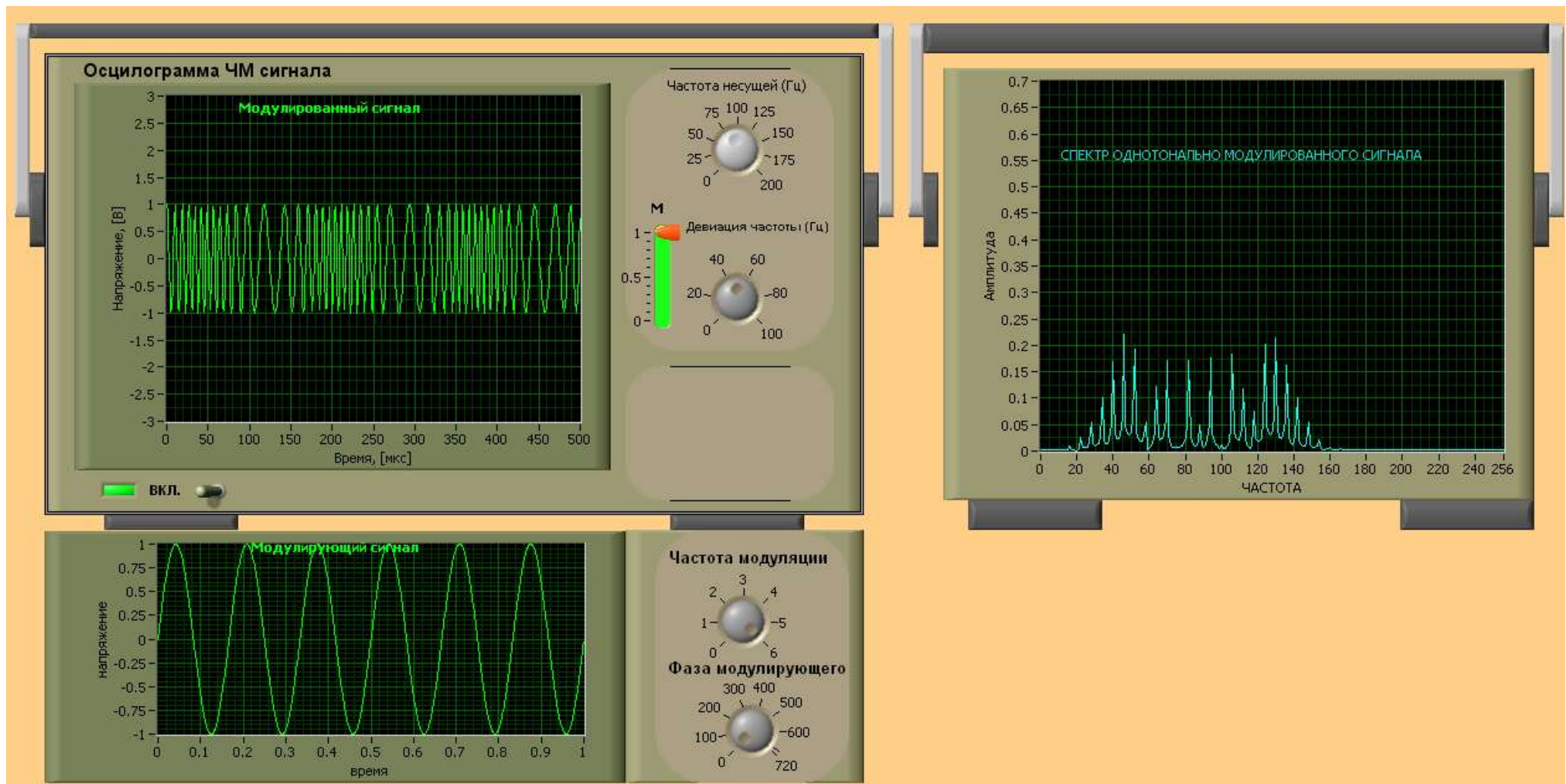
Үлкен модуляция индекстері үшін

$$2(m+1)\Omega \approx 2m\Omega = 2\omega_{\text{Д}} \quad k > m+1.$$

Фазалық модуляцияланған сигнал және спектрі.



Жиіліктік модуляция



Жиілікті және фазалық модуляция байланысы

- ЖМ үшін жиілік ауытқуы $\Delta f = kU$ модуляциялаушы сигналдың амплитудасына пропорционал және оның жиілігіне тәуелді емес.
- ФМ үшін $\Delta f = kU\Omega$ жиілік ауытқуы модуляциялаушы сигналдың амплитудасына да, жиілігіне де пропорционал. Кәдімгі АМ-мен салыстырғанда, ЖМ немесе ФМ сигналы өткізу қабілеттілігінен m есе көп талап етеді. Сонымен қатар, бұл кең жолақты көбірек қамтамасыз етеді. Ол таратқыштарда жоғары тиімділігі бар қуат күшейткіштерін пайдалануға мүмкіндік береді.



Жалпы бұрыштық модуляцияланған сигналды былай жазуға болады

$$u(t) = A_c \cos(\theta(t))$$

$\theta(t)$ - сигналдың фазасы, және оның лездік жиілігі $f_i(t)$ арқылы беріледі

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t)$$

$u(t)$ жолақты сигнал болғандықтан, ол мына түрде ұсынылуы мүмкін

$$u(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$$


$$f_i(t) = f_c + \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t)$$

Егер $m(t)$ хабар сигналы болса, онда бізде РМ жүйесінде

$$\phi(t) = k_p m(t)$$

және FM жүйесінде

$$f_i(t) - f_c = k_f m(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t)$$

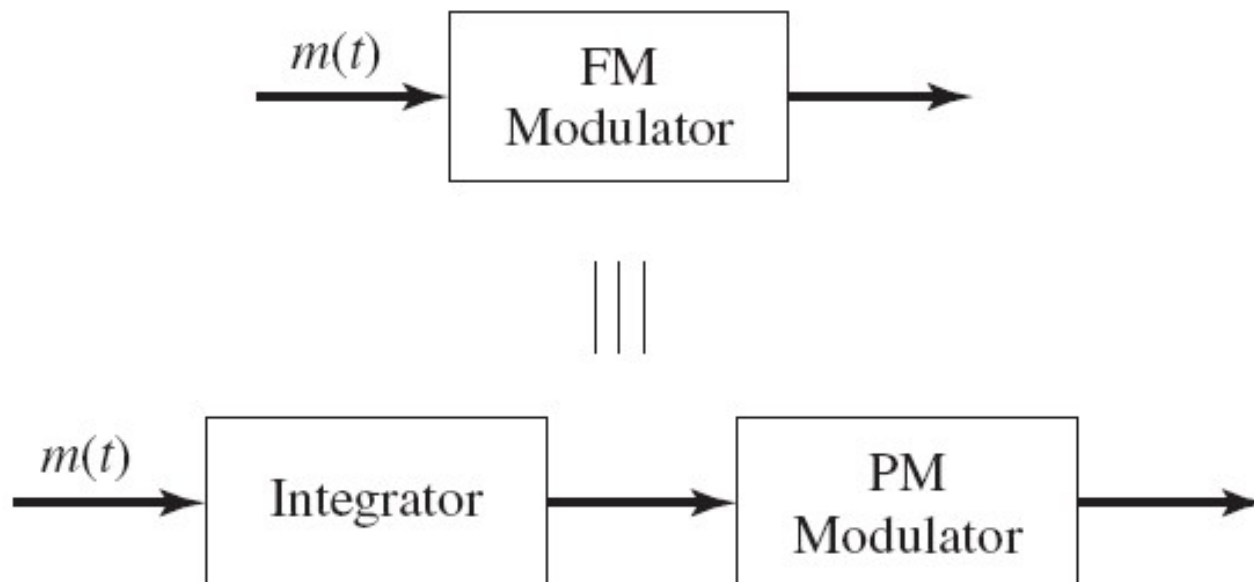
мұнда k_p және k_f - фазалық және жиіліктік девиация (ауытқу) тұрақтылары. Жоғарыда айтылған қарым - қатынастардан

$$\phi(t) = \begin{cases} k_p m(t), & \text{РМ} \\ 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau, & \text{FM} \end{cases}$$

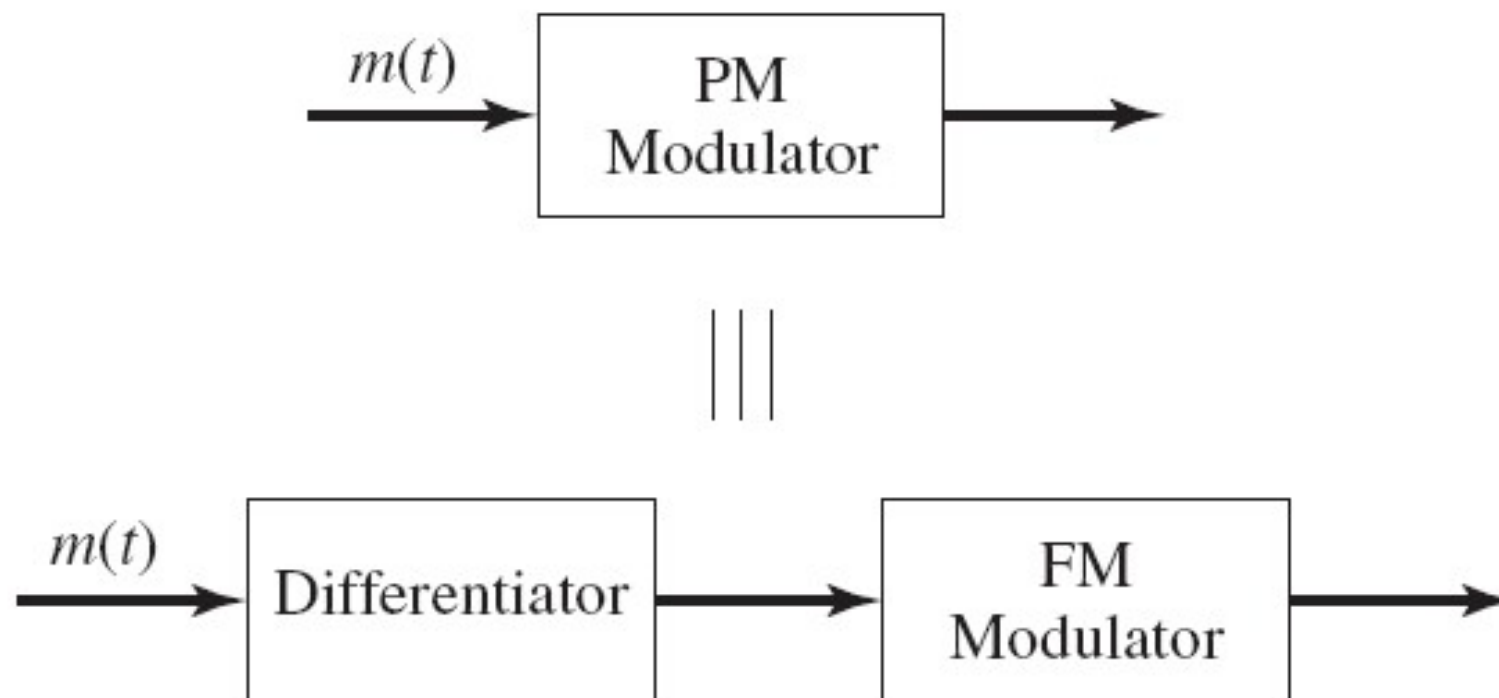
Екінші жағынан, бұл теңдеуінде қатынасты былай өрнектеуге болады

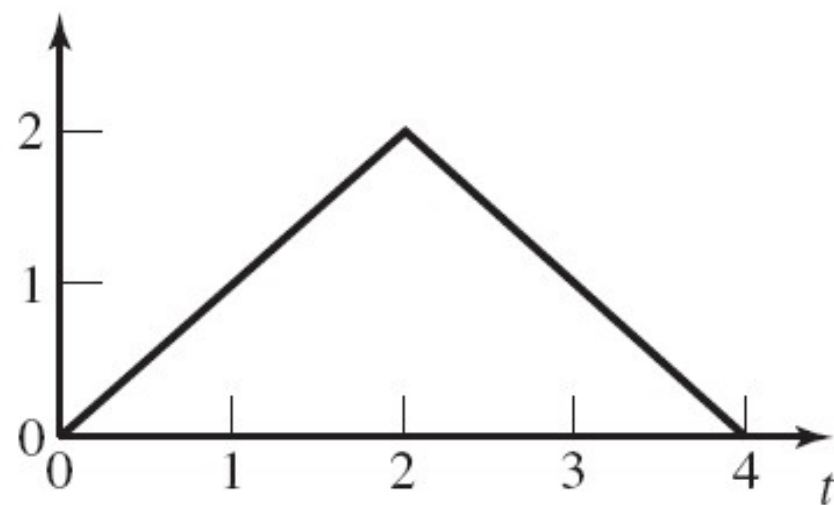
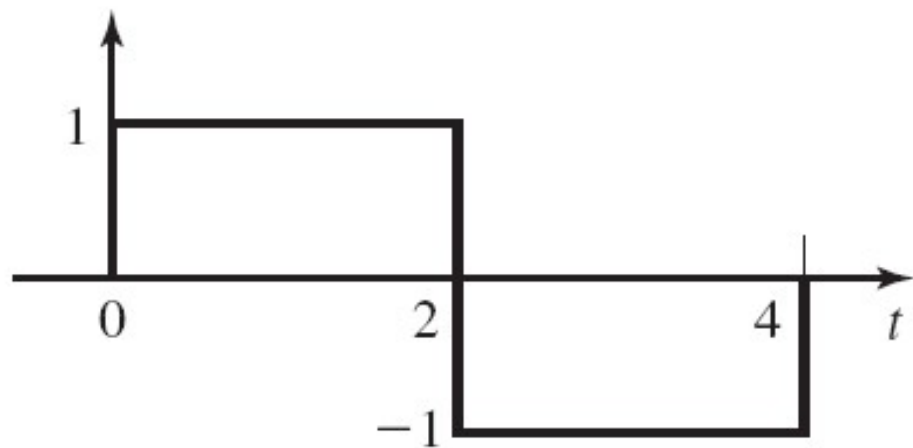
$$\frac{d}{dt}\phi(t) = \begin{cases} k_p \frac{d}{dt}m(t), & \text{PM} \\ 2\pi m(t), & \text{FM} \end{cases}$$

FM Modulator

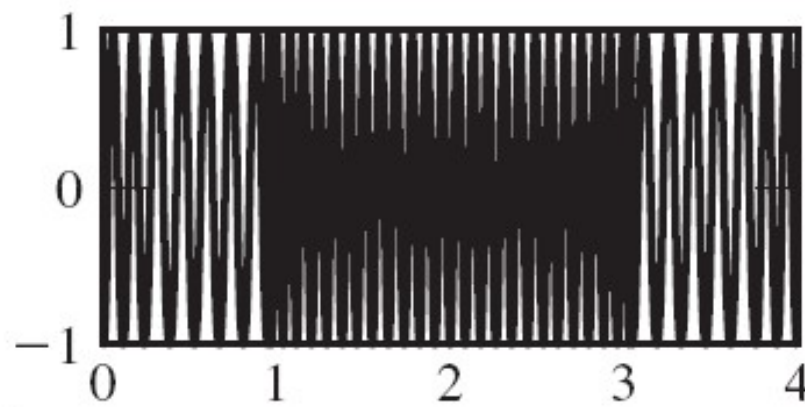
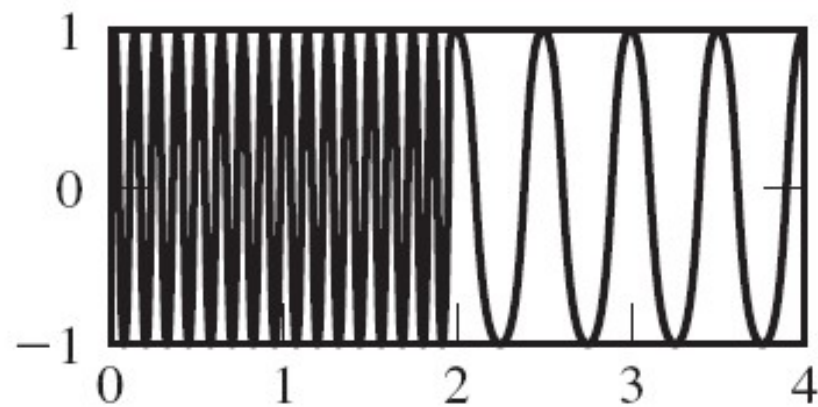


PM Modulator



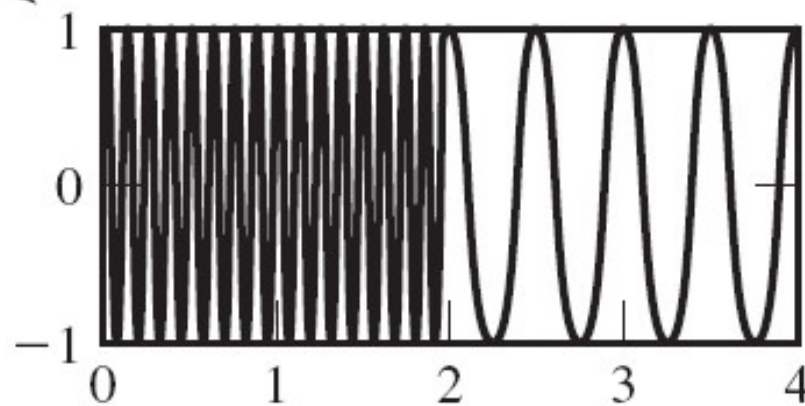
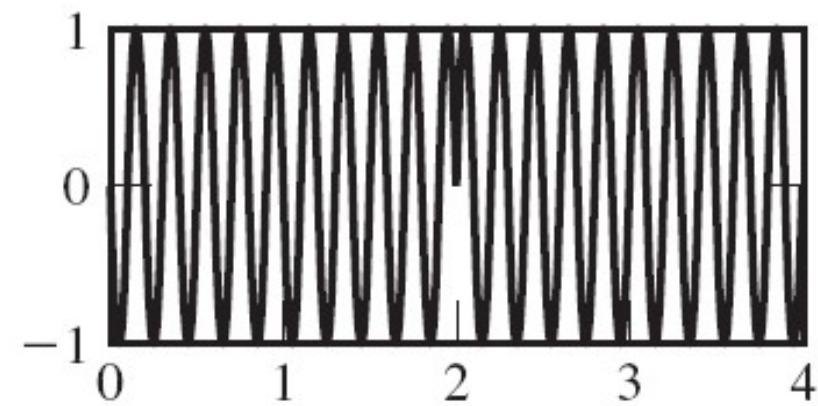


FM
signal



Equivalent

PM
signal



- РМ жүйесіндегі фазалық ауытқудың максимумы берілген $\Delta\phi_{\max} = k_p \max[|m(t)|]$
- және FM жүйесіндегі максималды жиілік-ауытқу арқылы беріледі $\Delta f_{\max} = k_f \max[|m(t)|]$

Кіші модуляция индекстеріндегі БМ сигналдарының тиімді спектрінің ені $\beta \ll 1$ модуляциялық сигналдың екі есе жиілік жолағына тең.

$$\Delta \omega_{\text{УМ}} = 2 \Omega (1 + \beta) = 2 \Omega$$

Үлкен модуляция индекстеріндегі БМ сигналдарының тиімді спектр ені $\beta \gg 1$ жиіліктің екі есе ауытқуына тең

$$\Delta \omega_{\text{УМ}} = 2 \Omega (1 + \beta) = 2 \Omega \beta = 2 \frac{\Delta \omega}{\Omega} \Omega = 2 \Delta \omega$$

ЖМ негізгі артықшылығы:

- жоғары шуға төзімділік;
- таратқыштың қуатын тиімдірек пайдалану;
- модуляцияланған сигналдарды алудың салыстырмалы қарапайымдылығы.

Бұл модуляцияның негізгі кемшілігі модуляцияланған сигнал спектрінің үлкен ені болып табылады.

Жиілік модуляциясы қолданылады:

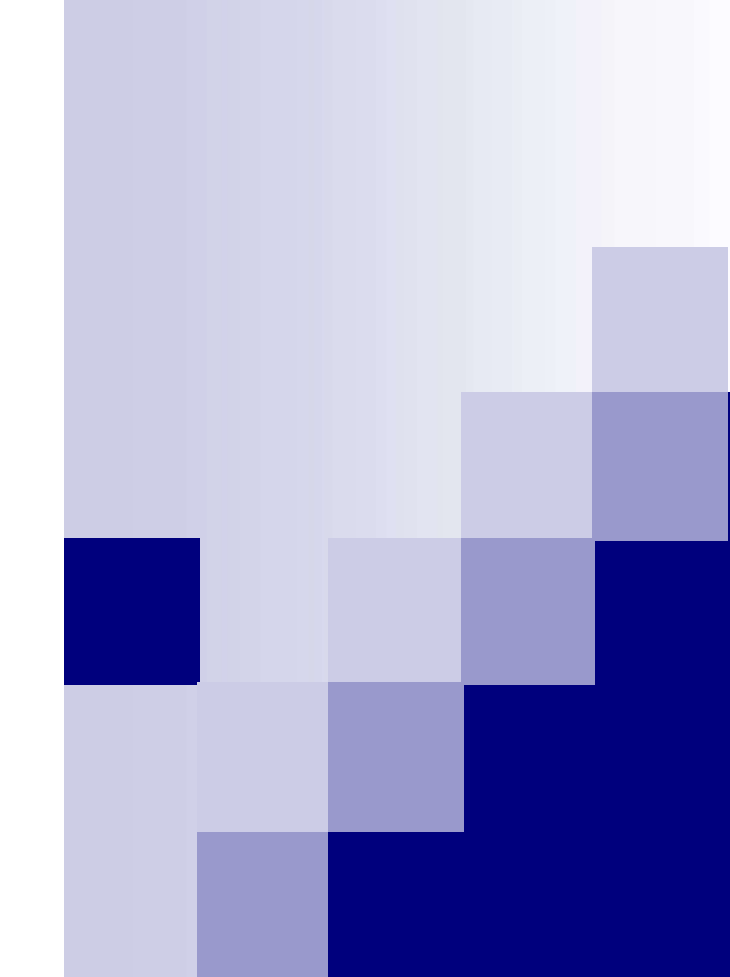
- телехабар тарату жүйелерінде (дыбыстық сигналдарды беру үшін);
- спутниктік телерадио хабарларын тарату жүйелері;
- жоғары сапалы стерео хабар тарату жүйелері (FM диапазоны);
- радиорелелік желілер (РРЖ);
- ұялы телефон байланысы.

Фазалық модуляцияның артықшылықтары:

жоғары шуға төзімділік;
таратқыш қуатын тиімдірек пайдалану.

Фазалық модуляцияның кемшіліктері:

үлкен спектр ені;
модуляцияланған сигналдарды алудың салыстырмалы қиындығы
және оларды анықтау



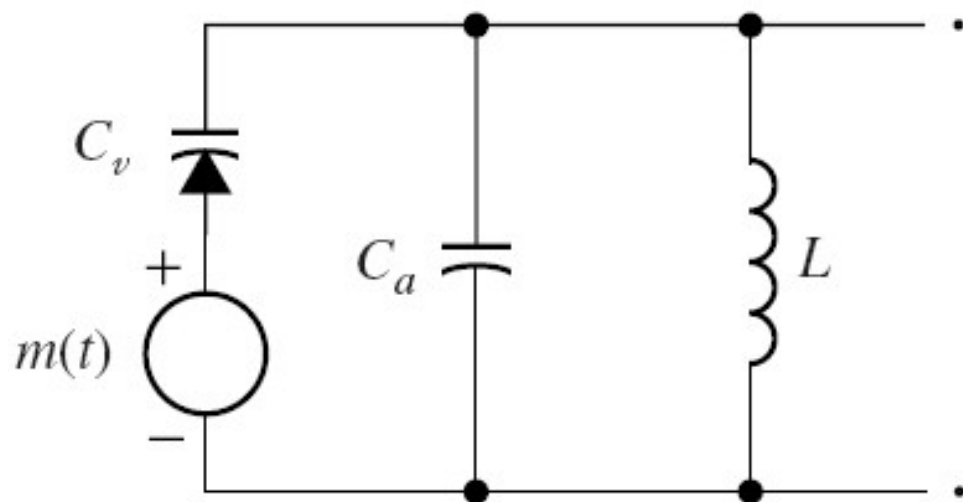
Бұрыштық
модуляторларды және
демодуляторларды
құрылғысын орындау



Модуляторды (және демодуляторды) сызықтық уақыт инвариантты жүйе ретінде модельдеуге болмайды, себебі сызықтық уақыт инвариантты жүйе кіріс сигналында жоқ жиіліктегі компоненттерді шығара алмайды. Бұрыштық модуляторлар, әдетте, уақыт бойынша өзгертін және сызықты емес жүйелер. FM сигналын тікелей шығарудың бір әдісі - кіріс кернеуіне байланысты жиілігі өзгертін осцилляторды құрастыру. Кіріс кернеуі нөлге тең болғанда, осциллятор f_c жиілігімен синусоиды генерациялайды, ал кіріс кернеуі өзгергенде, сәйкесінше бұл жиілік өзгереді. Әдетте **кернеу арқылы басқарылатын осциллятор VCO** деп аталатын осцилляторды жобалаудың екі әдісі бар. Бір әдіс - варакторлы диодты қолдану.

Варакторлы диод - сыйымдылығы қолданылатын кернеуге байланысты өзгертін конденсатор. Сондықтан, егер бұл конденсатор осциллятордың реттелген схемасында қолданылса және оған хабар сигналы берілсе, онда реттелген тізбектің жиілігі мен осциллятор хабар сигналына сәйкес өзгереді. Суреттің реттелген тізбегіндегі индуктивтіліктің индуктивтілігі L_0 және варакторлық диодтың сыйымдылығы берілген

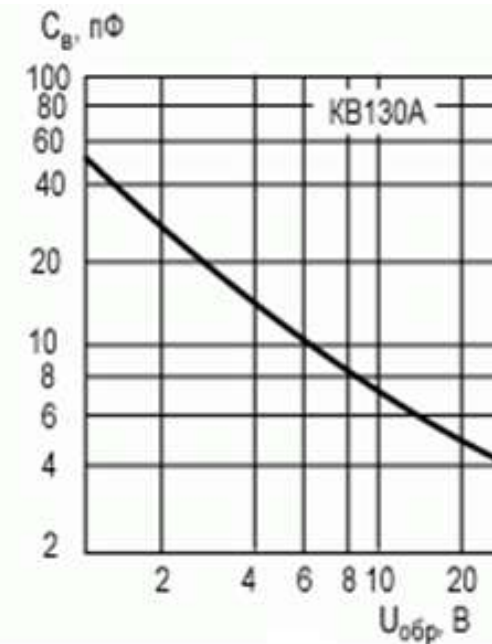
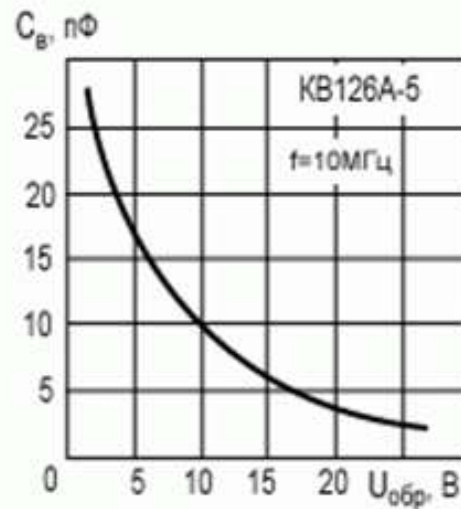
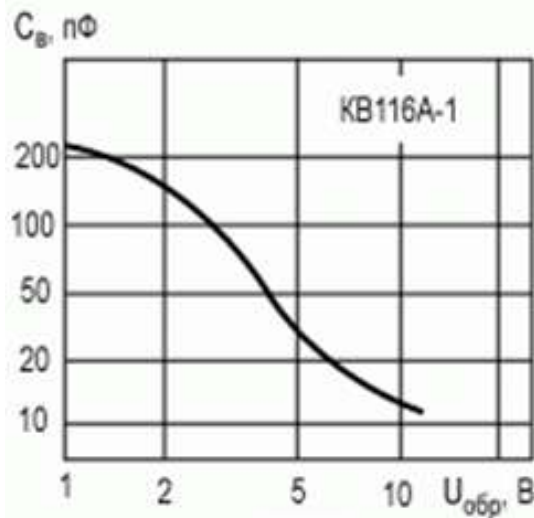
$$C(t) = C_0 + k_0 m(t)$$



Бұрыштық модуляциямен тербелістерді алу

Бастапқы сигналға сәйкес, гармоникалық тербелістің лездік жиілігіне немесе бастапқы фазасына әсер ететін тізбектің параметрлері өзгереді.

FM: варикап көмегімен генератордың жиілікті орнату тізбегінің параметрлерін өзгерту



Кейбір варикаптардың вольт-фарад сипаттамалары

$m(t) = 0$ болғанда, реттелген тізбектің жиілігі арқылы беріледі

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0C_0}}.$$

Жалпы алғанда. нөлдік емес $m(t)$ үшін

$$\begin{aligned} f_i(t) &= \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0(C_0 + k_0m(t))}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0C_0}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{k_0}{C_0}m(t)}} \\ &= f_c \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{k_0}{C_0}m(t)}} \\ \epsilon = \frac{k_0}{C_0}m(t) \ll 1 \quad \sqrt{1 + \epsilon} &\approx 1 + \frac{\epsilon}{2} \quad \frac{1}{1 + \epsilon} \approx 1 - \epsilon, \end{aligned}$$

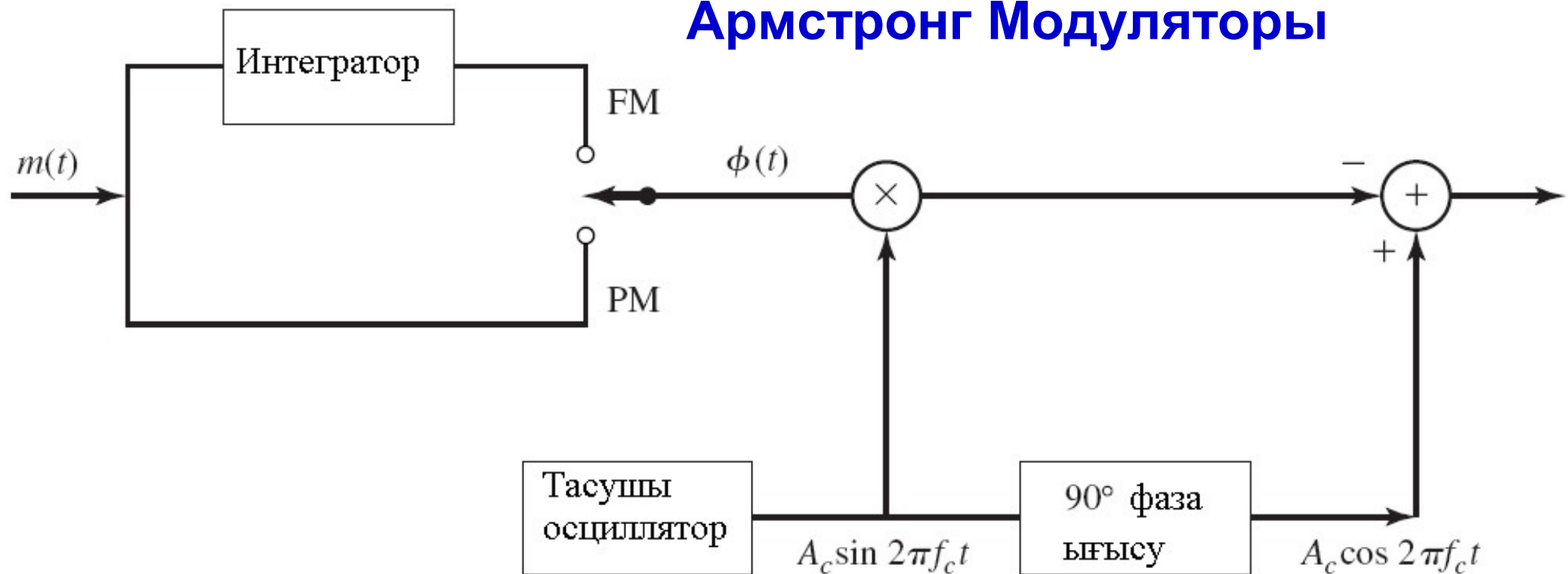
$$f_i(t) \approx f_c \left(1 - \frac{k_0}{2C_0}m(t) \right)$$



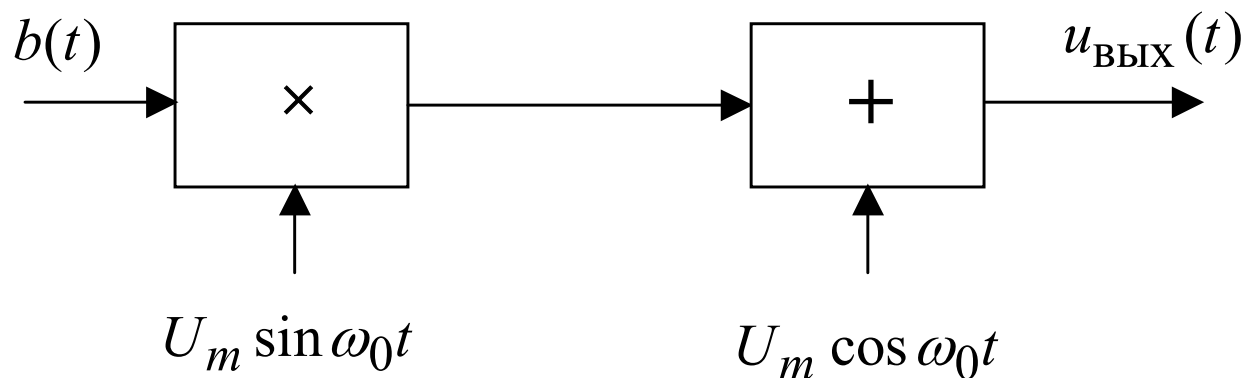
Бұрыштық модуляцияланған сигналды шығарудың тағы бір әдісі-алдымен тар жолақты бұрыштық модуляцияланған сигналды құру, содан кейін оны кең жолақты сигналға өзгерту. Бұл әдіс әдетте FM және PM сигналдарын генерациялаудың жанама әдісі ретінде белгілі. Кәдімгі AM сигналдарының ұқсастығына байланысты, тар жолақты бұрыштық модуляцияланған сигналдарды генерациялау қарапайым.

Суретте тар жолақты бұрыштық модулятордың блок -схемасы көрсетілген. Келесі қадам-кең жолақты бұрыштық модуляцияланған сигналды құру үшін тар жолақты бұрыштық модуляцияланған сигналды қолдану.

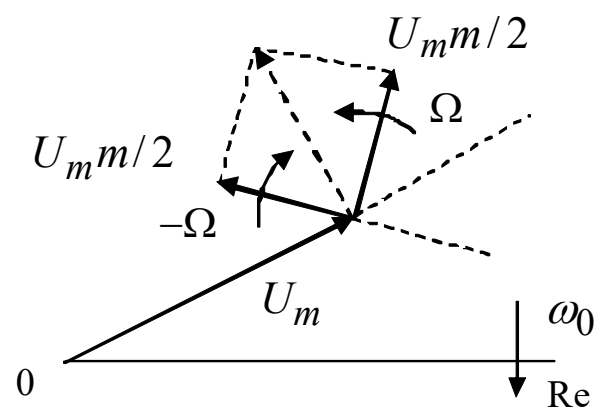
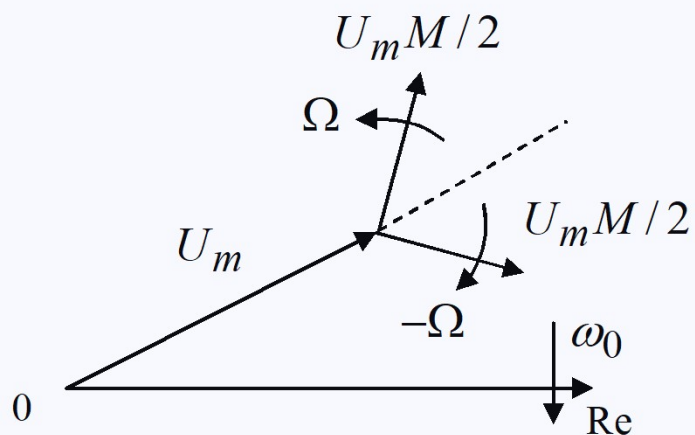
Армстронг Модуляторы



Армстронг Модуляторы



Егер сол тербеліс қосқышқа қолданылса:



Фазалық модуляция кезінде

$$u_{шығ}(t) = U_m \cos[\omega_0 t - b(t)] =$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \beta \sin \alpha$$

$$= U_m \cos b(t) \cos \omega_0 t + U_m \sin b(t) \sin \omega_0 t$$

шағын модуляция индексімен

$$\cos b(t) \approx 1 \quad \sin b(t) \approx b(t)$$

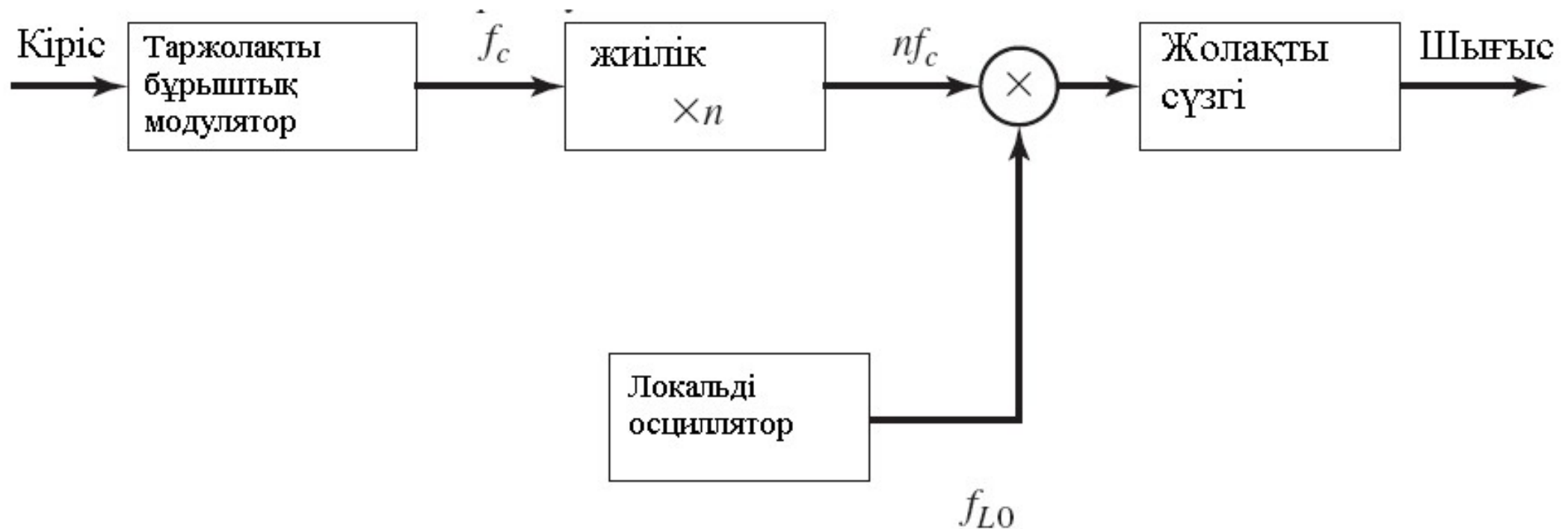
сондықтан

$$u_{шығ}(t) = U_m \cos \omega_0 t + U_m b(t) \sin \omega_0 t$$

Бұл Армстронг схемасына сәйкес келеді

Модуляция индексі жиілікті көбейту арқылы артады

Суретте тар жолақты бұрыштық модуляцияланған сигналдардан кең жолақты бұрыштық модуляцияланған сигналдарды шығаратын жүйенің блок-схемасы көрсетілген. Мұндай жүйенің бірінші кезеңі, әрине, тар жолақты бұрыштық-модулятор





Тар жолақты бұрыштық модуляцияланған сигнал кірістің лездік жиілігін кейбір тұрақты n -ге көбейтетін жиілік мультипликаторына енеді. Бұл әдетте кіру сигналын сызықты емес элементке қолдану арқылы, содан кейін оның шығуын қалаған орталық жиілікке реттелген өткізу жолағы сүзгісі арқылы беру арқылы жүзеге асады. Егер тар жолақты модуляцияланған сигнал былай ұсынылса

$$u_n(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$$

жиілік мультипликаторының шығысы (жолақ сүзгісінің шығысы) арқылы беріледі

$$y(t) = A_c \cos(2\pi n f_c t + n\phi(t))$$



Модулятордың соңғы сатысы модуляцияланған сигналды қажетті орталық жиілікке ауыстыру үшін жоғары немесе төмен түрлендіруді орындайды. Бұл кезең араластырғыш пен жолақты сүзгіден тұрады. Егер араластырғыштың жергілікті осцилляторының жиілігі f_{L0} болса және біз төмен түрлендіргішті қолданатын болсақ, кең жолақты бұрыштық модуляцияланған соңғы сигнал

$$u(t) = A_c \cos(2\pi (nf_c - f_{L0})t + n\phi(t))$$

Біз n және f_{L0} еркін таңдай алатындықтан, біз осы әдіспен кез келген қажетті тасымалдаушы жиілікте кез келген модуляция индексін жасай аламыз.



FM демодуляторлары амплитудасы FM сигналының лездік жиілігіне пропорционалды амплитудалық модуляция сигналын генерациялау арқылы жүзеге асады, содан кейін хабар сигналын қалпына келтіру үшін амплитудалық модуляция демодуляторын қолдану арқылы жүзеге асады. Бірінші қадамды жүзеге асыру үшін; яғни, FM сигналын амплитудалық модуляция сигналына айналдыру үшін, FM сигналын жиіліктік реакциясы FM сигналының жиілік диапазонында шамамен түзу болатын LTI жүйесі арқылы беру жеткілікті. Егер мұндай жүйенің жиілік реакциясы арқылы берілсе

$$|H(f)| = V_0 + k(f - f_c) \quad \text{for } |f - f_c| < \frac{B_c}{2}$$

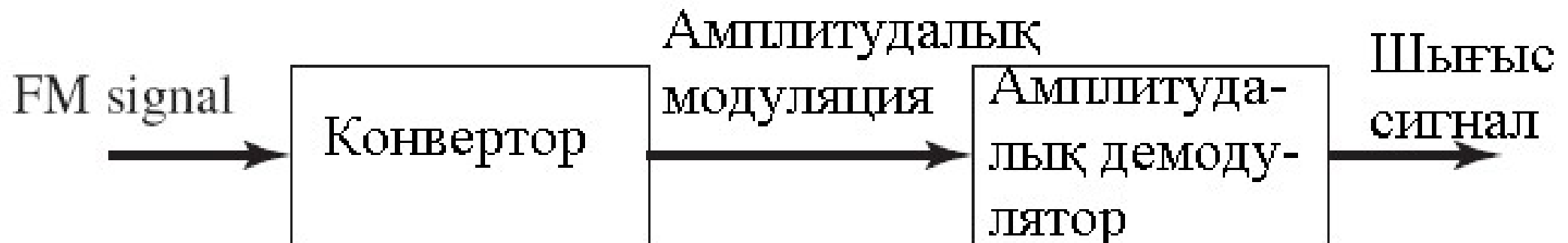
Жүйеге кірісі

$$u(t) = A_c \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right),$$

Ал шығысы

$$v_o(t) = A_c (V_0 + k k_f m(t)) \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right)$$

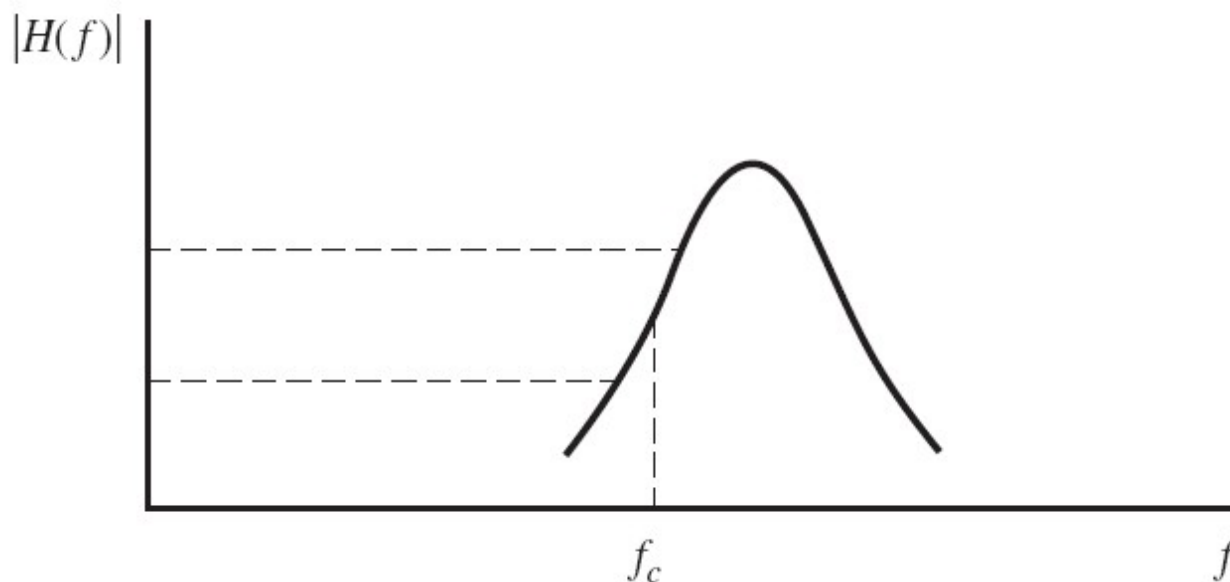
Келесі қадам - $m(t)$ хабарламасын қалпына келтіруге болатын $A_c(V_0 + k k_f m(t))$ алу үшін осы сигналды демодуляциялау.



FM демодуляторының бірінші кезеңін іске асыру үшін қолдануға болатын көптеген схемалар бар; яғни FM - ден AM -ге түрлендіру. Осындай кандидаттардың бірі - қарапайым дифференциалдаушы

$$|H(f)| = 2\pi f$$

Басқа үміткер - суретте көрсетілгендей реттелген тізбектің жиілік сипаттамаларының жартысы

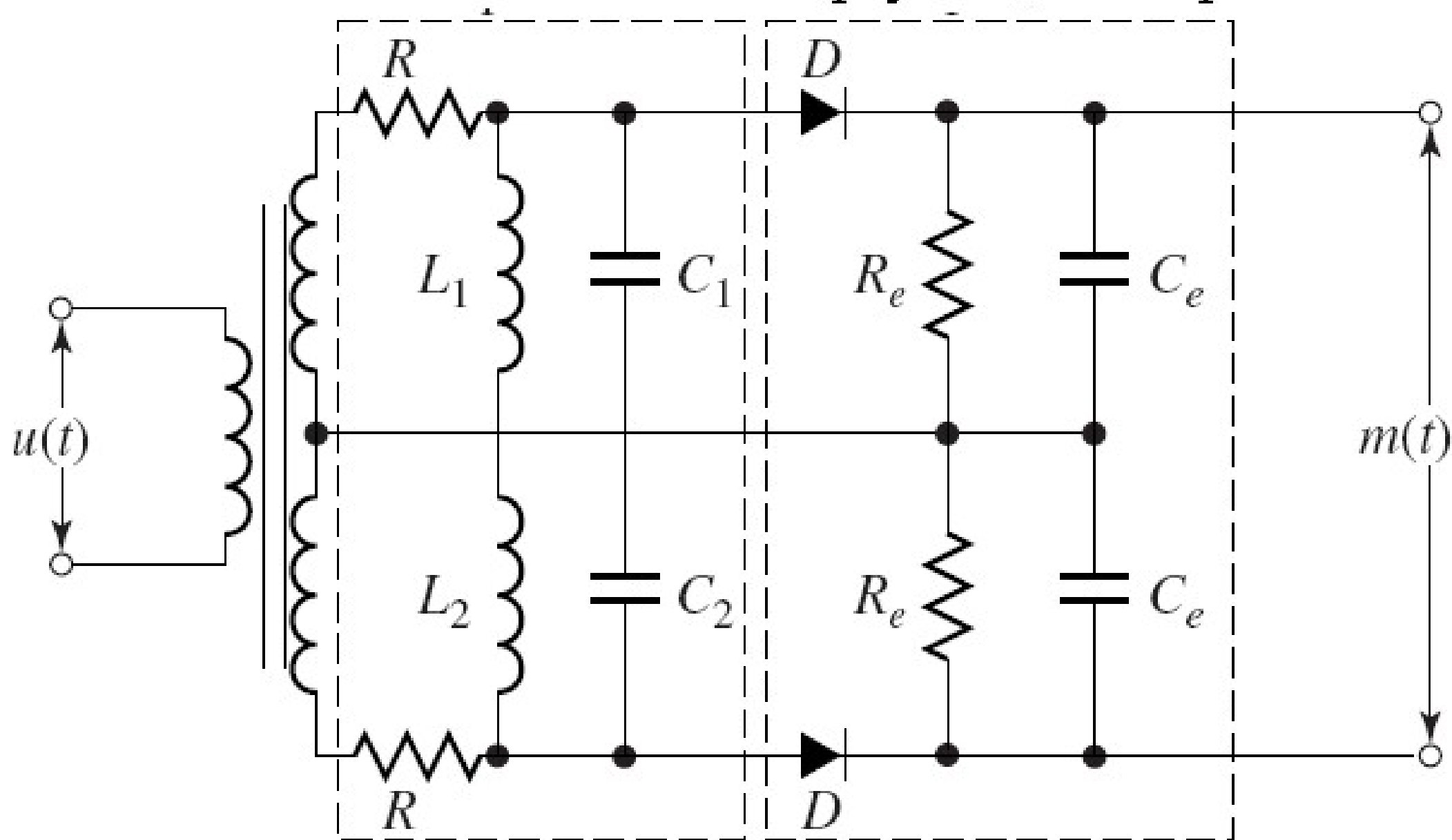


Мұндай схеманы оңай енгізуге болады, бірақ әдетте жиілік сипаттамасының сызықтық аймағы жеткілікті кең болмауы мүмкін. Кең жиілік диапазонында сызықтық сипаттаманы алу үшін әдетте f_1 және f_2 екі жиілікте реттелген екі схема теңдестірілген дискриминация ретінде белгілі конфигурацияда қосылады. Сәйкес жиілік сипаттамалары бар теңдестірілген кемсіту суретте көрсетілген



Жолақты сүзгі

Ораушы детектор



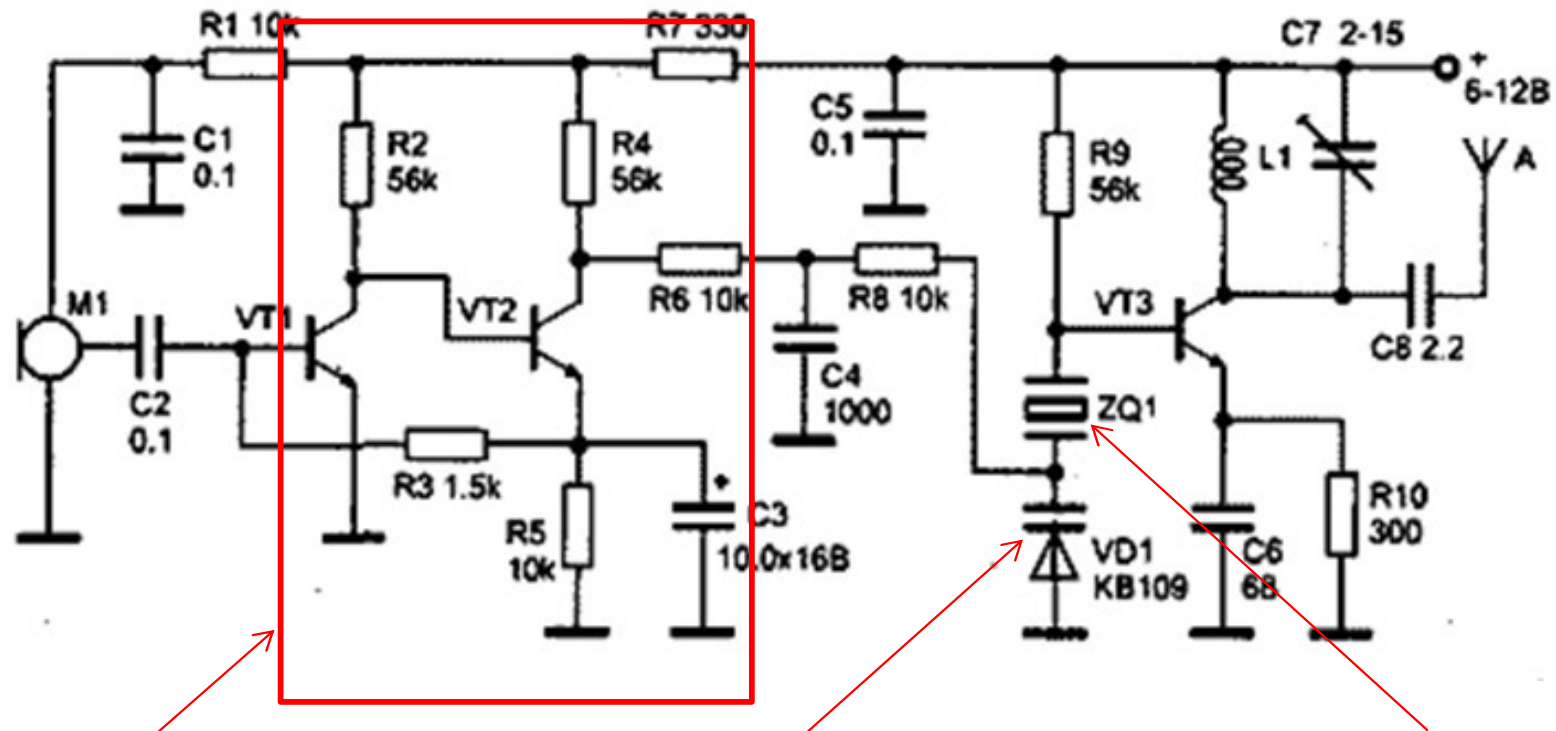


FM радио хабарлары

Коммерциялық FM радио хабарлары дауыстық және музыкалық сигналдарды беру үшін 88–108 МГц жиілік диапазонын пайдаланады. Тасымалдаушы жиіліктері 200 кГц-пен ажыратылады және шекті ауытқу 75 кГц-те бекітіледі.

FM радиохабарында жиі қолданылатын қабылдағыш - супергетеродин түрі. Мұндай қабылдағыштың блок -схемасы келесі суретте көрсетілген

FM - таратқыш



Дыбысты
күшейткіш

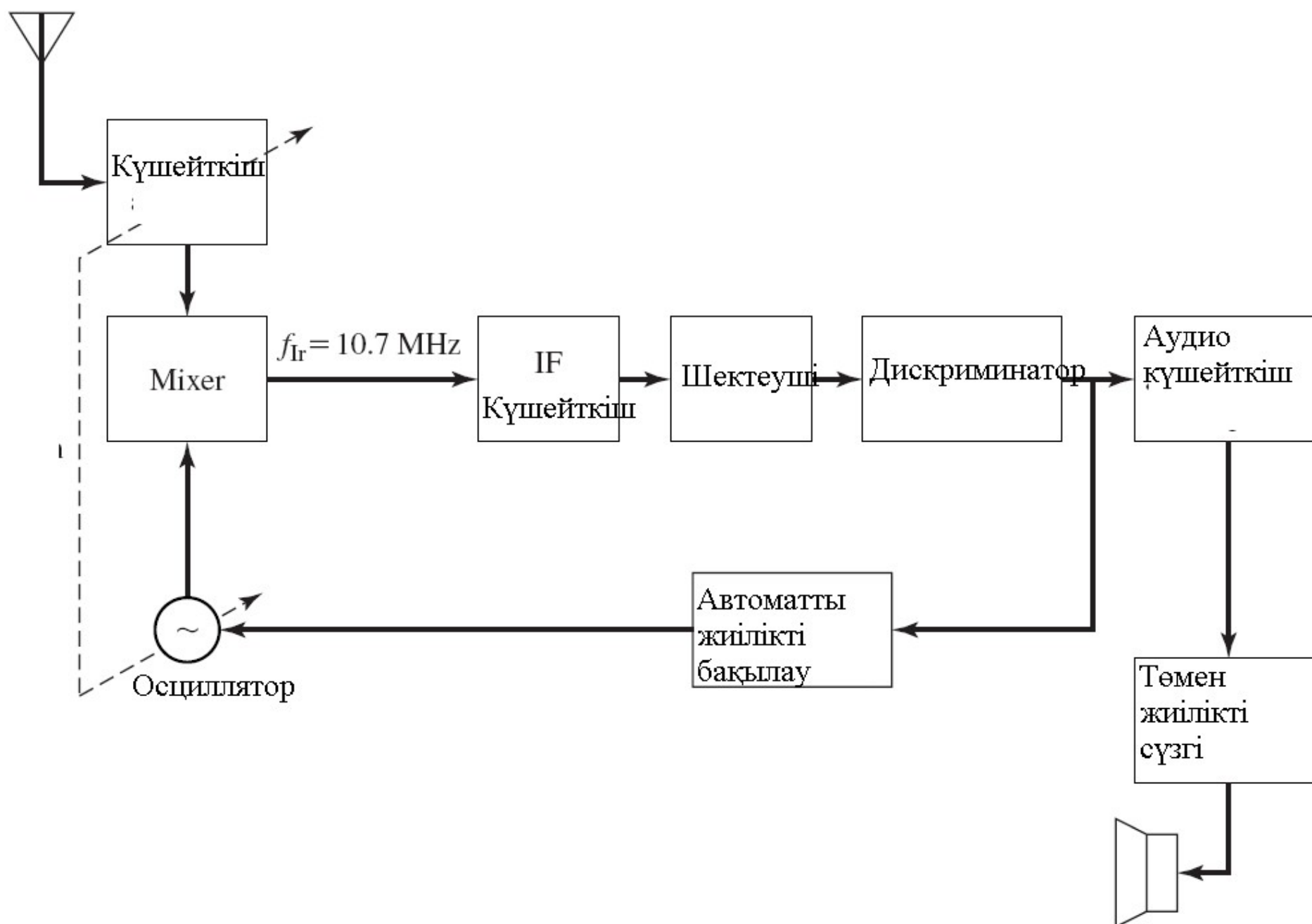
Варикап

Кварцты резонатор

$$u_{\text{ЖМ}}(t) = U_m \cos \left\{ \omega_0 t + k \int b(t) dt + \varphi \right\}$$

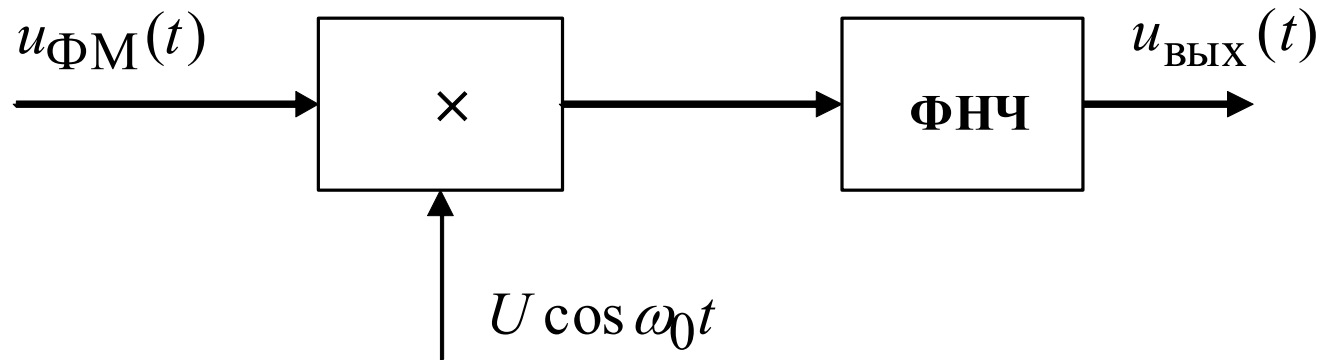
k - тіктігі

FM қабылдағыш



БМ тербелістерін детектирлеу әдістері

PM тербелістерін синхронды анықтау



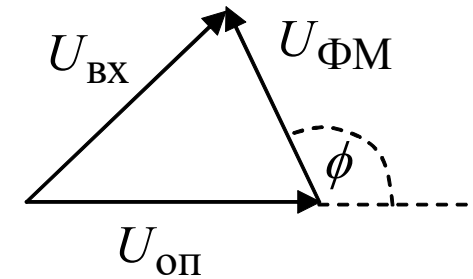
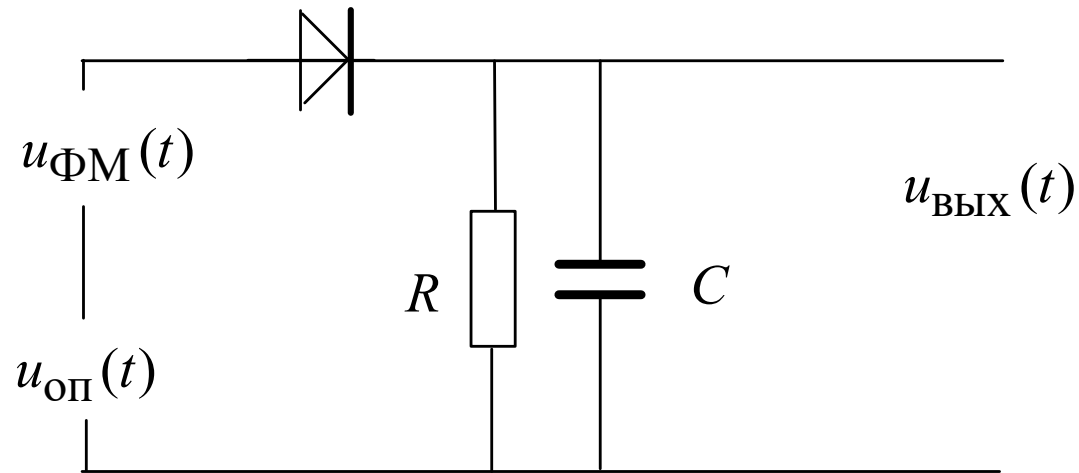
$$u_{\Phi M}(t) = U_m \sin[\omega_0 t + b(t)]$$

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{U_m U}{2} \sin[b(t)] + \frac{U_m U}{2} \sin[2\omega_0 t + b(t)]$$

$m \leq 20 \dots 30^\circ$ шарты бойынша қабылдауға болады

$$\sin[b(t)] \approx b(t) \quad u_{\text{ВЫХ}}(t) \approx \frac{U_m U}{2} b(t)$$

PM сигналдарын диодтық анықтау



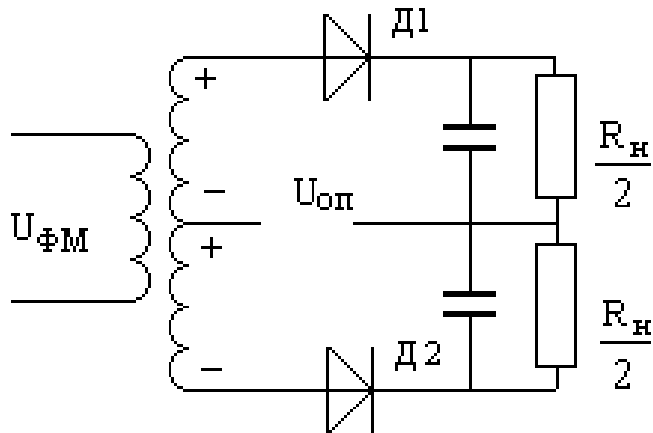
$$u_{\text{ОП}}(t) = U_{\text{ОП}} \cos \omega_0 t$$

$$u_{\Phi M}(t) = U_m \sin[\omega_0 t + b(t)] = U_m \cos[\omega_0 t - \pi / 2 + b(t)]$$

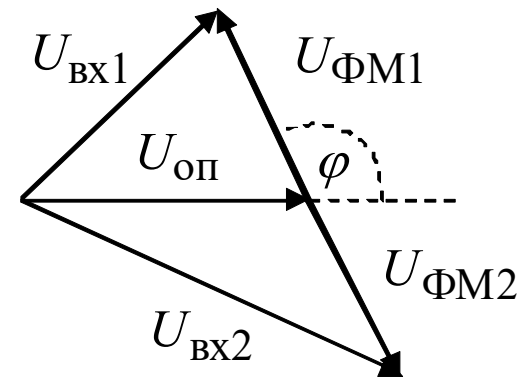
$$U_{\text{ВХ}} = \sqrt{U_{\Phi M}^2 + U_{\text{ОП}}^2 + 2U_{\Phi M}U_{\text{ОП}} \cos \phi}$$

$\phi \approx \pm 90^\circ$ сипаттамасы сызықтыққа жақын

Балансты фазалық детектор



қайталама ораманың учаскелеріндегі кернеу

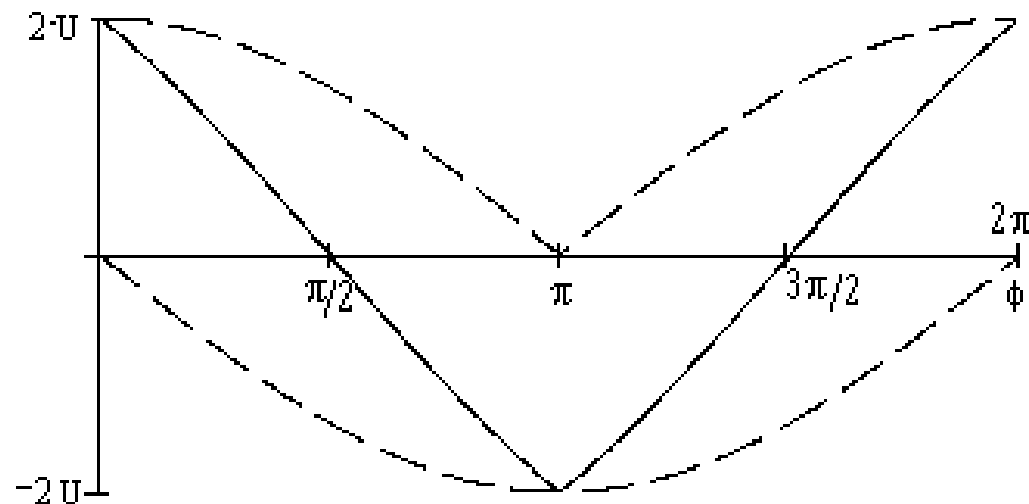


$U_{\Phi M1}$ және $U_{\Phi M2}$

$$U_{BX1} = \sqrt{U_{\Phi M1}^2 + U_{оп}^2 + 2U_{\Phi M1}U_{оп} \cos \phi}$$

$$U_{BX2} = \sqrt{U_{\Phi M2}^2 + U_{оп}^2 - 2U_{\Phi M2}U_{оп} \cos \phi}$$

Детектордың шығыс кернеуі айырмашылыққа пропорционал $U_{BX1} - U_{BX2}$



Бақылау сұрақтары

- Бұрыштық модуляция және олардың түрлерін, математикалық модельдерін жазыңыз
- Біртоналді-модулирленген ЖМ және ФМ сигналдары туралы жазыңыз
- Бұрыштық модуляция әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін жазыңыз.
- Бұрыштық модуляция (БМ) тербелістерінің сипаттамаларын келтіріңіз
- Гармоникалық жиілікті модуляция туралы түсіндіріңіз
- Үлкен индексі бар БМ тербелістерінің спектрінің өзгерісін түсіндіріңіз
- Жиілікті және фазалық модуляция байланысын көрсетіңіз
- Тікбұрышты және үшбұрышты сигналдың жиіліктік және фазалық модуляцияланған сигналы сызыңыз
- Армстронг модуляторының жұмысын түсіндіріңіз
- БМ тербелістерін детектирлеу әдістері туралы жазыңыз

Есептер

- Фазалық модуляция (РМ) кезінде сигналдың **мгновенная фаза** өрнегін жазыңыз, егер тасымалдаушы жиілік **1 МГц**, ал модуляциялаушы сигнал **1 кГц жиіліктегі және 2 В амплитудадағы** гармониялық сигнал болса.
- Егер жиіліктік ауытқу 75 кГц болса, тасымалдаушы сигналдың максималды жиілік өзгерісін есептеңіз.
- Тасымалдаушы жиілігі 100 кГц, жиіліктік ауытқу 10 кГц, ал модуляциялаушы сигнал 1 кГц жиілікті синусоидалық сигнал болса, жиіліктік модуляцияланған (ЧМ) сигналдың теңдеуін жазыңыз.
- Егер фазалық модуляцияның индексі артса, сигналдың спектрі қалай өзгереді?
- Егер модуляциялаушы сигналдың амплитудасы 5 В, ал модуляция сезімталдығы 10 кГц/В болса, жиіліктік модуляцияның модуляция индексін анықтаңыз.
- Егер модуляция жиілігі 2 кГц, ал максималды жиілік ауытқуы 20 кГц болса, ЧМ-сигналдың модуляция индексін (β) есептеңіз.

- Егер модуляция индексі 5, ал модуляция жиілігі 3 кГц болса, максималды жиілік ауытқуын есептеңіз.
- Егер модуляция индексі 4, ал модуляция жиілігі 5 кГц болса, Карсон ережесі бойынша ЧМ-сигналдың спектрлік жолағының енін анықтаңыз.
- Егер жиіліктік ауытқу 50 кГц, ал модуляция жиілігі 5 кГц болса, ЧМ-сигналдың спектрін құрыңыз.
- Неге фазалық модуляция (PM) жиіліктік модуляцияға (FM) қарағанда модуляциялаушы сигналдың баяу өзгерістеріне азырақ сезімтал?
- Егер тасымалдаушының қуаты 10 Вт, ал модуляция индексі $\beta = 2$ болса, ЧМ-сигналдың жалпы қуатын есептеңіз. Бокстық жиіліктердің қуатын анықтау үшін Бессель функциясын қолданыңыз.
- Егер модуляциялаушы сигнал үшбұрышты функция болып, амплитудасы 3 В, жиілігі 1 кГц болса, ЧМ-сигналдың математикалық өрнегін жазыңыз.
- Егер модуляция индексі 5, ал тасымалдаушы сигналдың бастапқы SNR = 20 дБ болса, Карсон теңдеуін қолданып, FM-жүйенің сигнал/шу қатынасын (SNR) есептеңіз.