

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты
«Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар» кафедрасы



SATBAYEV
UNIVERSITY

№10 ДӘРІС

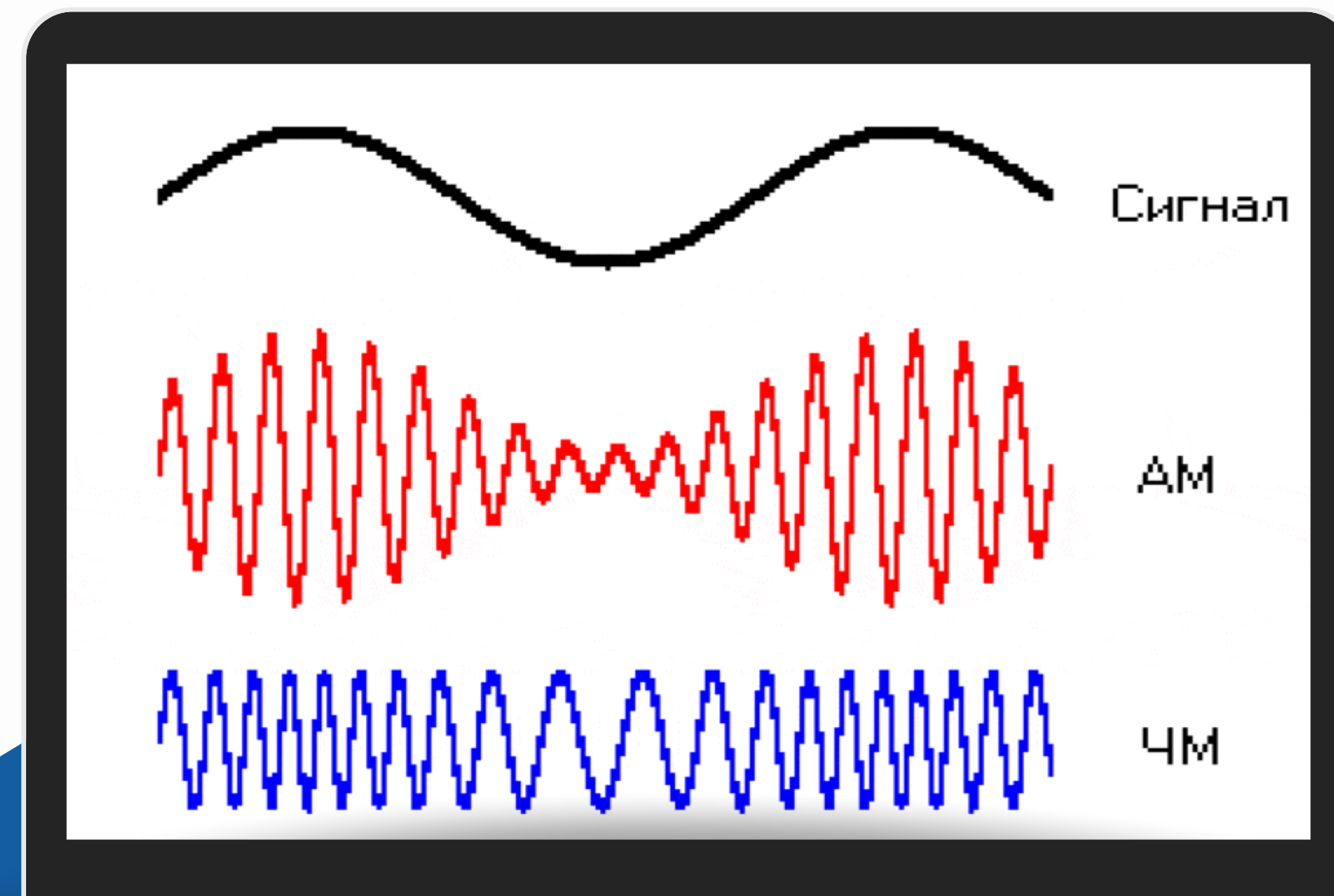
Тақырыбы: «Фазалық автоматты жиілікті реттеу. Принциптері, режимдері және қолданылуы»

Оқытушы: Хабай А.

ELC5511 «Электроника және схемотехника»

Алматы 2025 ж.

Фазалық автоматты жиілікті реттеу. Принципі, режимдері және қолданылуы



Дәрістің мақсаты мен міндеттері



1. ФАЖР жүйесінің құрылымын және жұмыс принципін түсіндіру;
2. ФАЖР-дың негізгі режимдері (еркін тербеліс, түсіру, ұстау) туралы білім қалыптастыру;
3. ФАЖР жүйесінің параметрлерін (түсіріп алу жолағы, ұстау жолағы, құлыпталу уақыты) түсіндіру;
4. ФАЖР-дың телекоммуникацияда қолданылуын көрсету;
5. Жиілік синтезаторларының жұмысын қарастыру.

Мазмұны

1. Кіріспе
2. ФАЖР циклінің құрылымдық диаграммасы
3. ФАЖР схемасының жұмысы
4. Фазалық авто реттеу жүйесінің (ФАЖР) ілмегін ұстау және ұстау жолағы
5. ФАЖР моделі
6. Типтік фазалық автотенестіру ілмегі (PLL) жүйесінің негізгі теңдеуі
7. Қорытынды
8. Бақылау сұрақтары

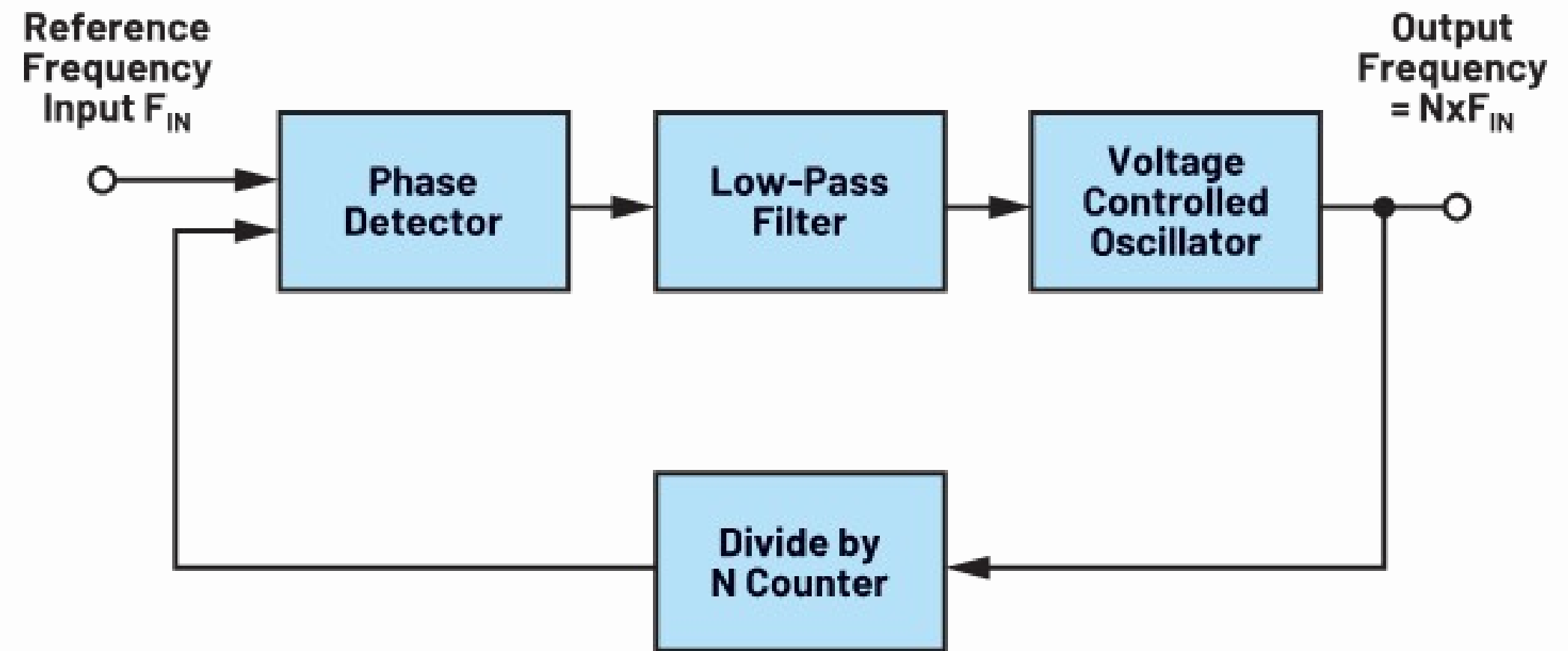
Кіріспе

Фазалық автоматты жиілікті реттеу (ФАЖР немесе PLL – Phase Locked Loop) қазіргі заманғы телекоммуникация жүйелерінде аса маңызды рөл атқарады. Ол модуляция, демодуляция, жиілік генерациясы, синтезі, тасымалдаушы және тактілік жиілікті қалпына келтіру сияқты негізгі функцияларды орындайды. ФАЖР интегралдық схемалары радиоэлектроникада, байланыс арналарында, цифрлық жүйелерде және радарларда кеңінен қолданылады.

Фазалық жиілікті автоқұрастыру әртүрлі функцияларды орындау үшін заманауи телекоммуникация жүйелерінде кеңінен қолданылады, соның ішінде модуляция, демодуляция, жиілік генерациясы, жиілік синтезі, тасымалдаушы және тактілік жиілікті қалпына келтіру және т. б. таратқыштар мен қабылдағыштарда, аналогтық және цифрлық модуляцияда және сандық сигналдарды беру. Бүгінгі таңда ФАЖР тегральды схемаларының кең ассортименті әртүрлі қосымшалар үшін қол жетімді.

ФАЖР циклінің құрылымдық диаграммасы

ФАЖР-бұл кері байланыс циклі бар басқару жүйесі реттеу параметрлері сигналдың жиілігі немесе фазасы болып табылады және оның кернеуі немесе тогының шегі емес. ФАЖР құрылымдық схемасы көрсетілген сурет.7.1. ФАЖР жүйесінде төрт негізгі блок бар: 1) фазалық компаратор немесе фазалық детектор; 2) төмен жиілікті сүзгі; 3) күшейткіш; 4) кернеумен басқарылатын генератор (КБГ) кернеумен басқарылатын генератор.



7.1-сурет ФАЖР құрылымдық схемасы

ФАЖР схемасының жұмысы

ФАЖР схемасының жұмысы реттелетін және тірек генераторының бақылау сигналын фазалық синхрондауға негізделген. Егер қондырғы синхрондау пайда болмас бұрын, ФАЖР тізбегі Cha Stote арқылы синхрондалуы керек. Жиілікті түсіру орын алғаннан кейін, фазалық шығуда компаратор арасындағы фазалық айырмашылыққа пропорционалды кернеу пайда болады. Бұл кернеу кернеумен басқарылатын генератордың (КБГ) шығысындағы сигнал мен сыртқы анықтамалық сигнал арасындағы айырмашылыққа сәйкес келеді.

Сыртқы анықтамалық сигнал болмаған кезде немесе кері байланыс циклі ашық болған жағдайда, КБГ алдын ала баптау жиілігінде жұмыс істейді, яғни f_n — КБГ-ның табиғи жиілігі немесе табиғи тербеліс жиілігі. ФАЖР жүйесінің кірісіне сыртқы кіріс сигналы түскенде, жиілігі f_s , компаратор сыртқы сигнал жиілігін КБГ шығыс сигналының жиілігімен салыстырады. Фазалық компаратордың шығуында айырмашылыққа пропорционалды фазалық қателік кернеуі (U_d) пайда болады.

Қате кернеуі сүзгі арқылы өтеді, бұл оның төменгі жиіліктерін бөліп алып, күшейткіш арқылы КБГ басқаруына әсер етуге мүмкіндік береді. Егер КБГ-ның табиғи жиілігі сыртқы жиілікке (f_s) жеткілікті жақын болса, онда кері байланыстың әсерінен КБГ сыртқы кіріс сигналына синхрондалады. Бұл кезде КБГ шығысының жиілігі оның табиғи жиілігі мен сыртқы тірек жиілігі арасындағы айырмашылықтың немесе қосындысының нәтижесінде анықталады.

$$f_0 = f_n \pm \Delta f \quad (7.1)$$

Фазалық авто реттеу жүйесінің (ФАРЖ) ілмегін ұстау және ұстау жолағы



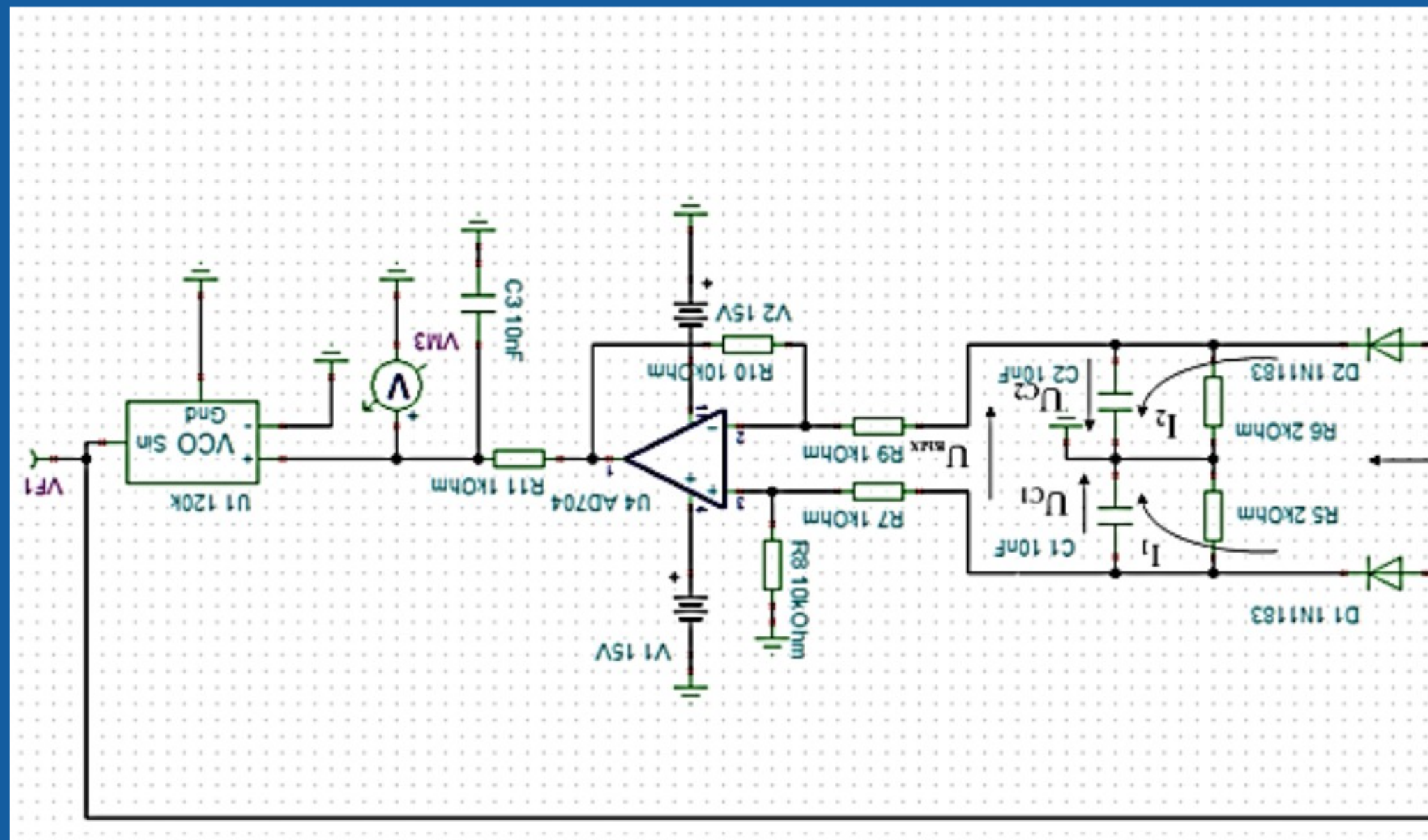
7.2-сурет. ФАРЖ түсіру және ұстау аймақтары

ФАРЖ жүйесінің түсіру және ұстау (қадағалау) жолағы оның жұмыс диапазонын сипаттайтын маңызды параметрлер болып табылады. Түсіру жолағы — бұл кернеумен басқарылатын генератордың (КБГ) табиғи жиілігі f_n айналасындағы жиілік диапазоны. Осы диапазонда ФАРЖ жүйесі сыртқы кіріс сигналымен синхрондалу режиміне енуі және жиілікті түсіруді жүзеге асыра алады. Түсіру аймағының шекаралары төменгі жиілік $f_{зн}$ және жоғарғы жиілікпен $f_{ун}$ анықталады. Ұстау (қадағалау) жолағы — бұл ФАРЖ жүйесінің сыртқы анықтамалық сигналмен синхрондалу күйін сақтай алатын жиілік диапазоны. Бұл диапазон КБГ табиғи жиілігі f_n айналасында орналасады. Ұстау аймағының шекаралары төменгі ұстау жиілігі $f_{ув}$ және жоғарғы ұстау жиілігі $f_{зв}$ арқылы анықталады.

Түсіру және ұстау аймақтарының мөлшері ФАРЖ жүйесінің кері байланыс цикліне байланысты. Олар циклдің тұрақты ток күшейту коэффициентіне тікелей пропорционалды. Ұстау жолағы әрдайым түсіру жолағынан тар болады. Бұл ерекшелік ФАРЖ жүйесінің синхрондалу күйін ұстап тұруға қарағанда, синхрондалуға кіру қиындығымен түсіндіріледі. Жиілік диапазондарының айырмашылығы ФАРЖ жүйесінің динамикалық сипаттамаларын және оның сыртқы сигналдарға бейімделу мүмкіндігін анықтайды. (7.2 -сурет) түсіру және ұстау жолағының графикалық түсіндіруі олардың шекараларын көрсетеді.

Бұл схема ФАРЖ жүйесінің типтік құрылымын көрсетеді. Ол фазалық синхрондау режимін қамтамасыз ету үшін фазалық компараторлар, кері байланыс және КБГ элементтерін пайдаланады. Сұлбаның негізгі артықшылығы — кіріс сигналымен автоматты түрде синхрондалу және сыртқы сигналдың ауытқуларына бейімделу қабілеті

ФАЖР моделі



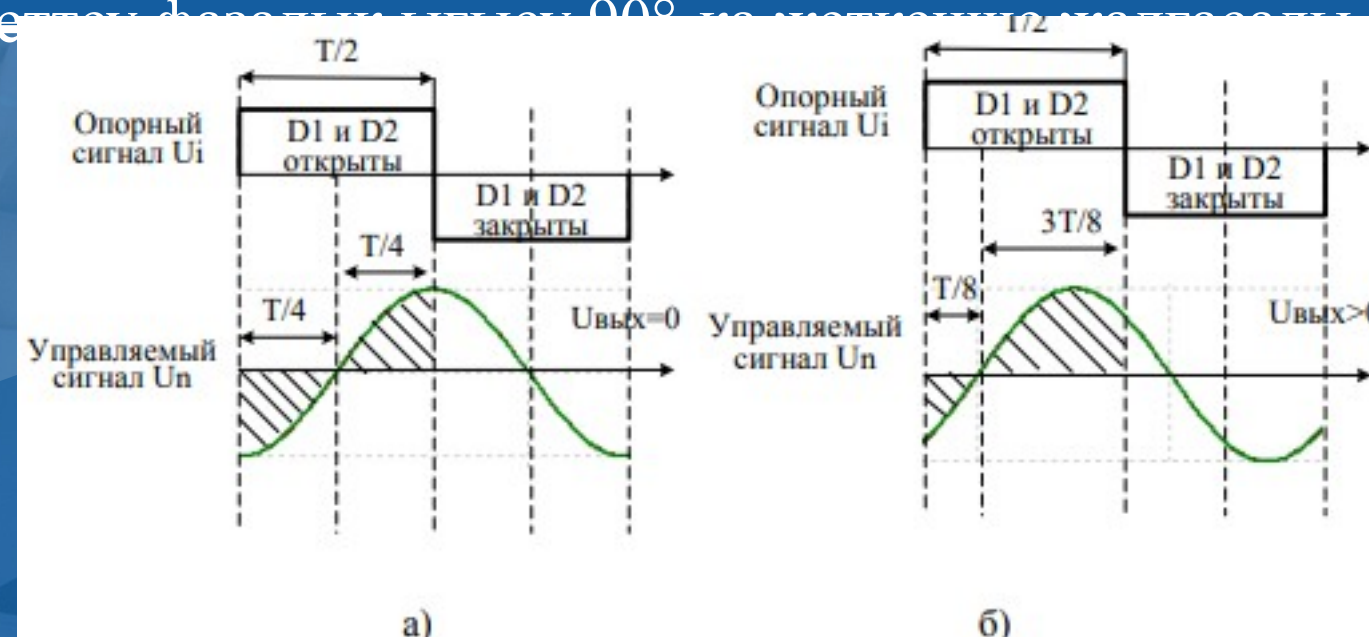
7.3-сурет. ФАЖР моделінің схемасы

Басқарылатын сигналдың фазалық ығысуы 90° (7.4а-сурет). Сұлба жұмысының сипаттамасы периодтың бірінші ширегінде D1 және D2 диодтары ашық күйде болады. D1 диодына берілетін кернеу: $U_{D1}=U_{in}+U_{C1}$ мұндағы C1 сыйымдылығы зарядталады. D2 диодына берілетін кернеу: $U_{D2}=U_{in}-U_{C2}$ мұндағы C2 сыйымдылығы разрядталады.

Периодтың екінші ширегінде: C1 сыйымдылығы разрядталады, ал C2 сыйымдылығы зарядталады. Сонымен қатар, екі конденсатордағы зарядтардың өзгеруі бірдей болады, ал шығыстағы кернеу тең: $U_{out}=U_{C1}+U_{C2}$ бұл кезде V_{CO1} жиілігі өзгермейді, себебі анықтамалық сигнал мен басқарылатын сигнал арасындағы фазалық айырмашылық тұрақты, яғни 90° . Диодтар жабылған кезде C1 және C2 сыйымдылықтары баяу разрядталады. Бұл процесс төмен жиілікті сүзгі резисторлары арқылы жүреді. Анықтамалық жиіліктен кейінгі V_{CO1} жиілігін реттеу компаратордың шығысында жаңа кернеу пайда болуы керек. Бұл кернеу анықтамалық сигнал мен басқарылатын сигнал арасындағы фазалық ығысу 90° -тан өзгеше болған кезде қалыптасады.

Фазалық ығысу мысалы 7.4б-суретте анықтамалық сигнал басқарылатын сигналдан 45° алда бұл жағдайда C1 сыйымдылығының зарядтау уақыты C2 сыйымдылығының зарядтау уақытынан ұзағырақ болады. Шығыста сәйкессіздік кернеуі пайда болады: $U_{out}=U_{C1}+U_{C2}$ нәтижесінде V_{CO1} жиілігі артады, ал фазалық ығысу 45° деңгейінде сақталады.

Автоматты реттеу бұл процесс анықтамалық жиілікке сәйкес жиілікті автоматты түрде реттеу үшін қажет. Егер жүйе ұстау аймағынан шығып кетнесе, реттеу фазалық ығысуы 0° немесе 180° деңгейіне оралады.



7.4-сурет. Фазалық компаратордағы сигналдар:

Типтік фазалық автотенестіру ілмегі (PLL) жүйесінің негізгі теңдеуі

Фазалық компаратордың және төмен жиілікті сүзгінің барлық мүмкін сипаттамалары үшін жарамды PLL жүйесінің негізгі дифференциалдық теңдеуін құрайық. Бастапқы сәтте басқарылатын V_{CO1} генераторының кірісіндегі кернеу нөлге тең деп алайық. Бұл жағдайда басқарылатын генератордың эталондық генераторға қатысты бастапқы реттеуі мынаған тең:

$$\Omega_H = \omega_n - \omega_i \quad (7.9)$$

Мұндағы: ω_n – басқарылатын генератордың табиғи бұрыштық жиілігі, ω_i – эталондық генератордың бұрыштық жиілігі PLL басқару контуры жабылған кезде, басқарылатын генератордың кірісінде басқару кернеуі пайда болады және жиілік басталады. Өзгерту детунинг мөлшері бойынша $\Delta\omega_n$

$$\omega = \omega_n - \Delta\omega_n \quad (7.10)$$

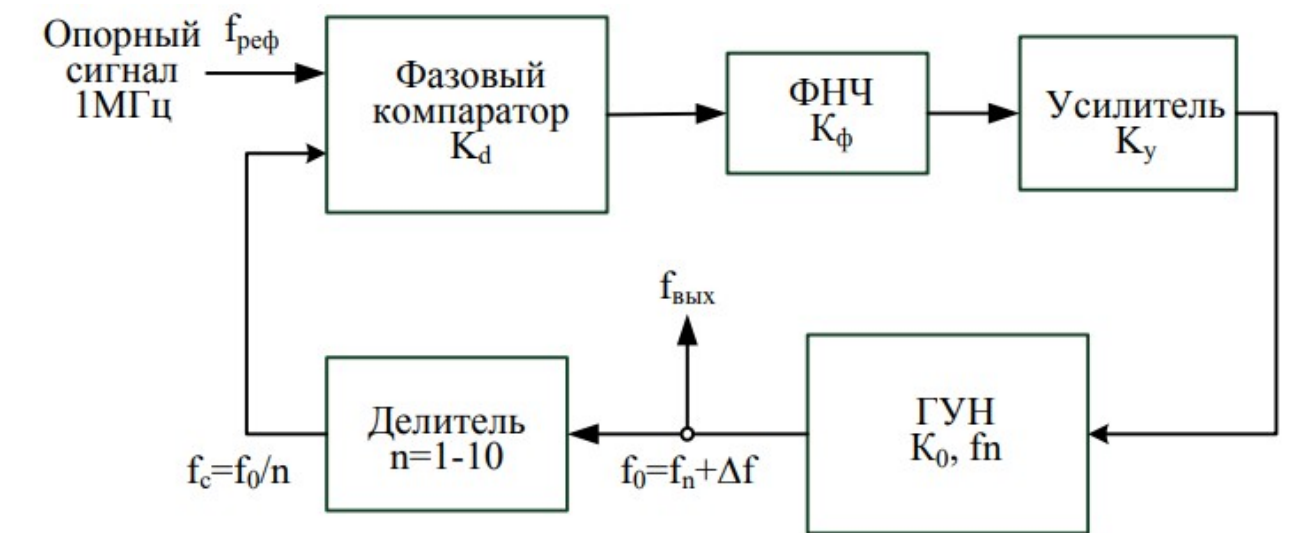
(7.4) формуланы пайдаланып, бұрыштық жиіліктің өзгеруін келесі түрде көрсетеміз:

$$\begin{aligned} \Delta\omega_n &= 2\pi K_d \cdot \frac{\pi}{2} \cdot k_{dn}(\varphi) K_\varphi(p) K_y K_n = \\ &= \omega_y k_{dn}(\varphi) K_\varphi(p) \end{aligned} \quad (7.11)$$

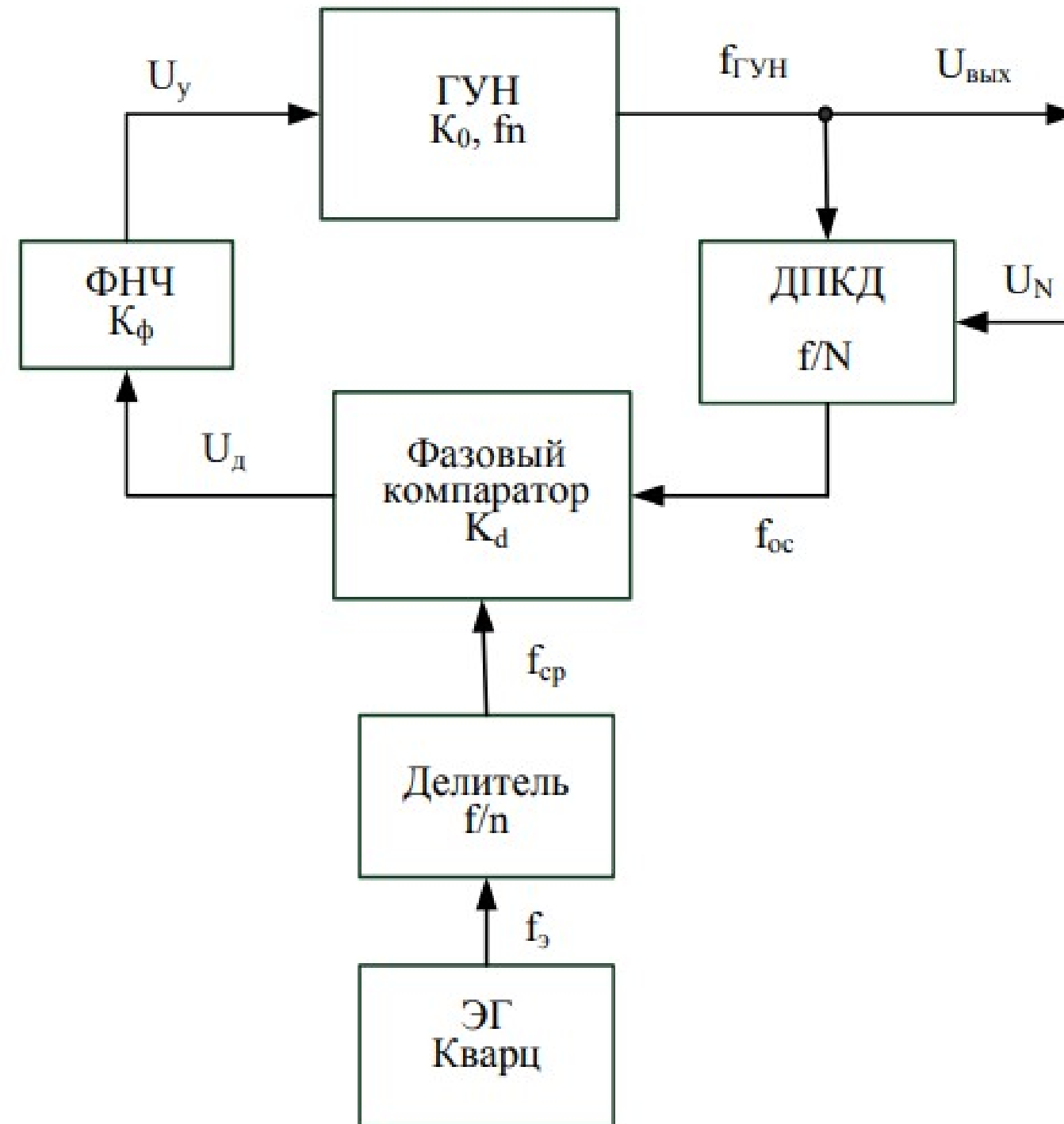
ФАЖР негізіндегі жиілік синтезаторлары

ФАЖР негізіндегі жиілікті синтездеу әдісі өте танымал. Суретте.7.17 бір топсалы ФАЖР негізіндегі қарапайым жиілік синтезаторының құрылымдық схемасы көрсетілген. Тұрақты көзі ретінде анықтамалық жиілік 1 МГц жиілікте кварц тұрақтандыруы бар генератор қолданылады. Түзілетін жиілік диапазоны және синтезатордың ажыратымдылығы бөлгіш тізбегіне және ашық цикл кезінде пайда болуына байланысты. Бөлгіш-кіріс сигналының жиілігін бөлетін тізбек кез келген Сан. Бөлгіш Шығыс жиілігі бар бағдарламаланатын сандық кері есептегіш болуы мүмкін $f_c = f_0 / n$, қайда f_0 -КБГның шығу жиілігі. Бұл схемада сигнал түсірілген жағдайда $f_c = f_{\text{реф}}$ демалыс КБГ мен синтезатордың жиілігі $f_0 = n f_{\text{реф}}$. Осылайша, синтезатор жиілік мультипликаторы ретінде жұмыс істейді. Жиілік бөлгіш азайтады ашық циклды күшейту n . Сондықтан, қалған элементтер бұл әлсіреудің орнын толтыруы керек. Жиілік синтезаторы үшін ашық циклдің жалпы кірісі (сурет.7.17) келесідей есептеледі:

$$K_v = \frac{K_d K_y K_0}{n} \quad (7.18)$$



7.17-сурет. Бөлгіші бар ФАЖР-тағы қарапайым жиілік синтезаторының схемасы



7.18-сурет. Екі жиілік бөлгіші бар синтезатордың функционалды схемасы

Қорытынды:

- ФАЖР – кері байланыс принципіне негізделген фазалық синхрондау жүйесі.
- Ол үш негізгі режимде жұмыс істейді: еркін тербеліс, түсіріп алу, ұстау (қадағалау).
- ФАЖР жүйесінің негізгі сипаттамаларына түсіріп алу жолағы, ұстау жолағы және құлыпталу уақыты жатады.
- ФАЖР телекоммуникацияда тасымалдаушыны қалпына келтіру, цифрлық синхронизация, жиілікті синтездеу, модуляция/демодуляция мақсаттарында қолданылады.
- ФАЖР негізіндегі жиілік синтезаторлары – қазіргі радиоқабылдағыштар мен байланыс жүйелерінің негізгі элементі.

Бақылау сұрақтары

1. Фазалық автоматты жиілікті реттеу (ФАЖР/PLL) дегеніміз не?
2. ФАЖР құрылымдық схемасында қандай негізгі блоктар бар?
3. Фазалық компаратордың атқаратын қызметін түсіндіріңіз.
4. Түсіріп алу (capture) және ұстау (lock) жолағының айырмашылығы неде?
5. Құлыпталу (lock-in) уақыты дегеніміз не және ол нені сипаттайды?
6. ФАЖР жүйесінің үш жұмыс режимін атаңыз.
7. Төмен жиілікті сүзгінің ФАЖР жұмысындағы рөлі қандай?
8. ФАЖР негізіндегі жиілік синтезаторы қалай жұмыс істейді?
9. ФАЖР қай салаларда қолданылады?
10. ФАЖР жүйесінде жиілікті демодуляция қалай жүзеге асады?

Назарларыңызға рақмет!

