

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

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



SATBAYEV
UNIVERSITY

№8 ДӘРІС

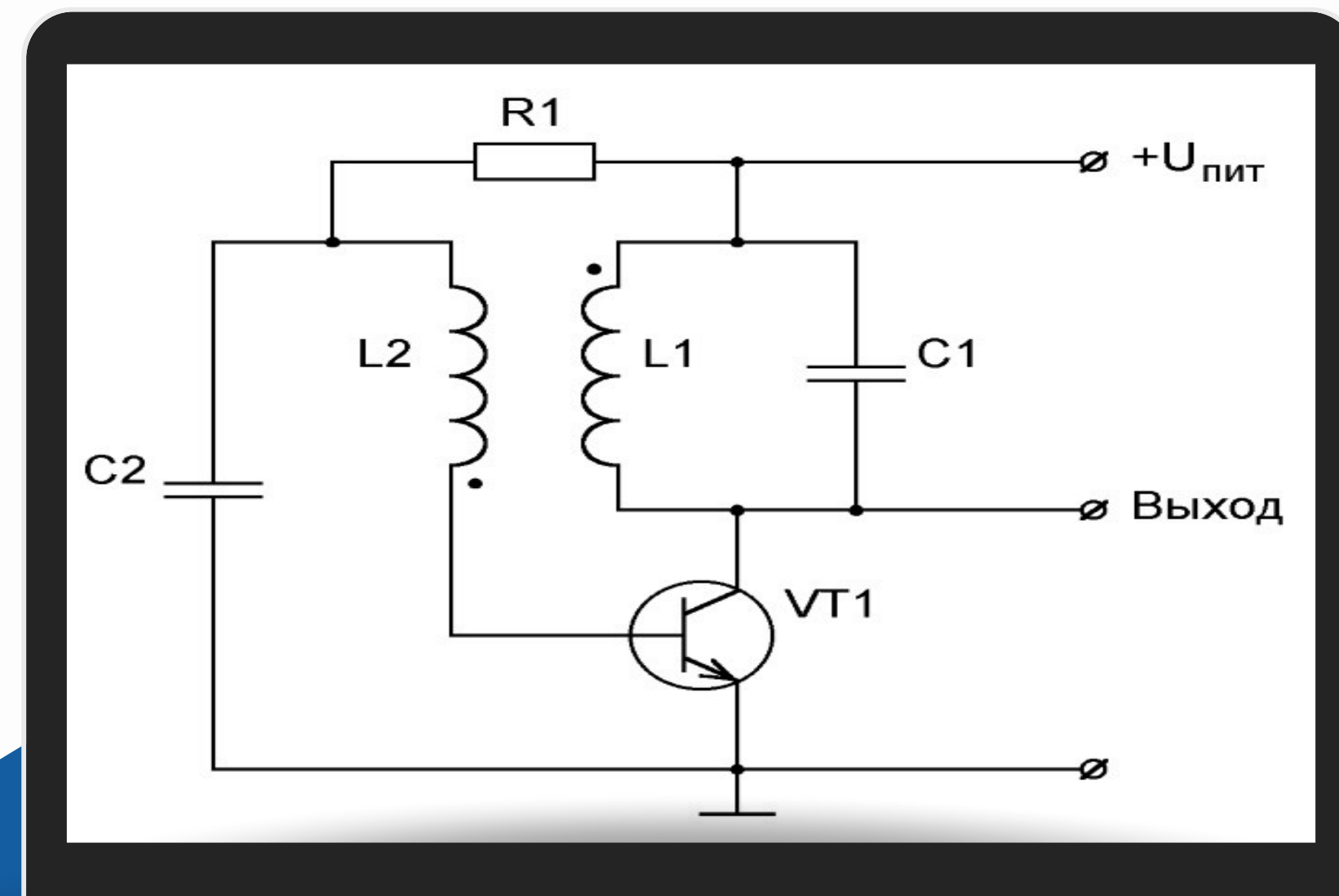
Тақырыбы: «Кері байланыс және автогенераторлар: теориясы мен қолданылуы»

Оқытушы: Хабай А.

ELC5511 «Электроника және схемотехника»

Алматы 2025 ж.

Кері байланыс және автогенераторлар: теориясы мен қолданылуы



Дәрістің мақсаты мен міндеттері



- Кері байланыстың ұғымын және түрлерін түсіндіру;
- Кері байланысы бар күшейткіштердің қасиеттерін талдау;
- Теріс кері байланыс артықшылықтарын көрсету;
- Оң кері байланыстың автогенераторларда қолданылу принципін қарастыру;
- Автогенераторлардың негізгі түрлерін (LC генераторы, трансформаторлық, үш нүктелі, Шарап көпірлі, кварцты, мультивибратор) түсіндіру;
- Генераторлардың тұрақты тербелістер алу шарттарын түсіндіру (амплитудалық және фазалық тепе-теңдік шарттары).

Мазмұны

1. Кіріспе
2. Кері байланыс ұғымы
3. Ілмек қосу түрлері
4. Тұрақтылыққа қол жеткізу
5. Теріс КБ артықшылықтары
6. Автогенераторлардағы оң кері байланыс
7. Трансформаторлық кері байланыс автогенераторы
8. Қорытынды
9. Бақылау сұрақтары

Кіріспе

Электрондық күшейткіштердің жұмысында кері байланыстың рөлі ерекше маңызды. Кері байланыс күшейткіштің шығысындағы сигналдың бір бөлігін кіріске қайта беру арқылы жүзеге асырылады. Ол жүйенің тұрақтылығын арттыруға, бұрмалануларды азайтуға және параметрлерді тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Теріс кері байланыс күшейткіштің сапасын жақсартса, оң кері байланыс автогенераторларда гармоникалық тербелістерді өздігінен туғызу үшін қолданылады.

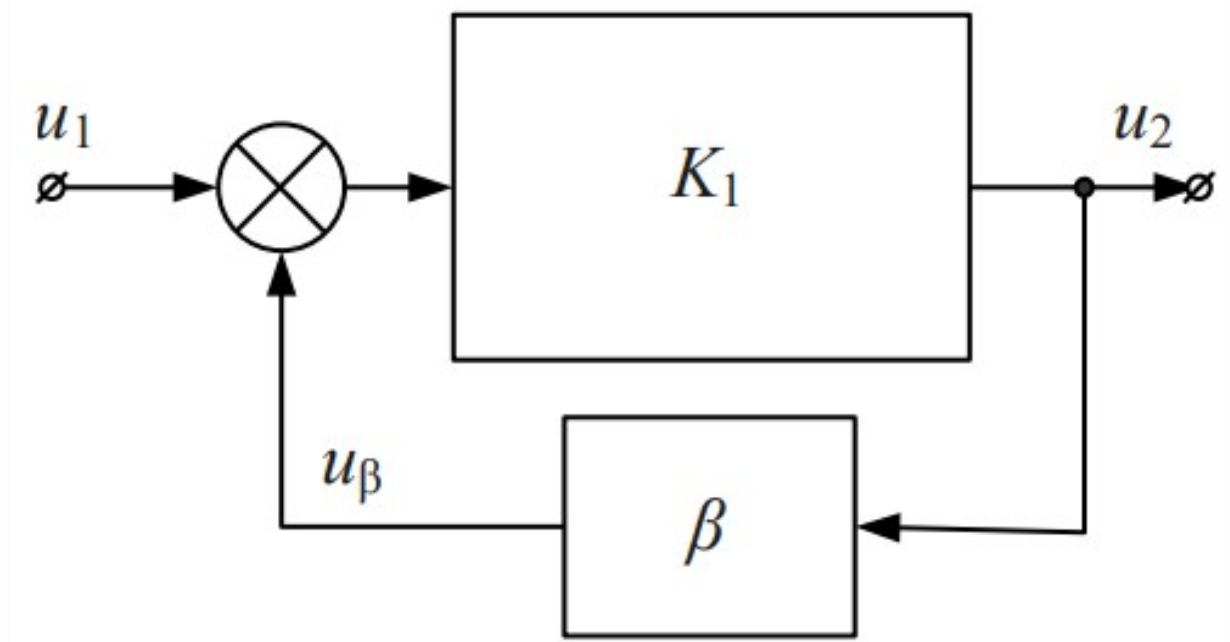
Автогенераторлар тұрақты ток көзінің энергиясын гармоникалық сигналдарға айналдыратын құрылғылар болып табылады және радиотехникада, байланыс жүйелерінде, өлшеу аспаптарында, сондай-ақ цифрлық құрылғыларда кеңінен қолданылады.

Кері байланыс ұғымы

Кері байланыс (КБ) — бұл күшейтілген тербелістердің күшейткіштің шығуынан (немесе оның жеке сатысынан) кіріске берілуі. Алдыңғы тарауда біз операциялық күшейткіштердегі кері байланысты қолдану мәселесін талқыладық. Кері байланысы бар күшейткіштің жалпыланған диаграммасы 5.1-суретте көрсетілген. Кері байланыссыз күшейткіштің күшейту коэффициенті K_1 шамасына тең. Шығыс сигналының u_2 бөлігі кері байланыс тізбегі арқылы өтіп, β ив түрінде қайтадан күшейткіштің кірісіне оралады. Бұл сигнал кіріс сигналы u_1 миксерде (араластырғышта) біріктіріледі.

Кері байланыс шығу тегі бойынша үшке бөлінеді. Ішкі кері байланыс күшейткіштің өз ішіндегі элементтерден (мысалы, транзисторлардың u_{12} немесе h_{12} параметрлері арқылы) туындайтын кері байланыс. Жасанды кері байланыс жүйеге арнайы қосылатын сыртқы кері байланыс, оның параметрлерін басқару үшін енгізіледі. Паразиттік кері байланыс жүйенің нашар жобалануы немесе құрастырудағы кемшіліктер салдарынан өздігінен пайда болатын кері байланыс

Кері байланыстың түрлері (сипатына қарай). Оң кері байланыс шығыс сигналының бөлігі кіріске бастапқы сигналмен бірдей фазада беріледі. Бұл сигналдың күшеюін қамтамасыз етеді және көбінесе генераторларда қолданылады. Теріс кері байланыс. Шығыс сигналының бөлігі кіріске бастапқы сигналмен қарама-қарсы фазада беріледі. Бұл тұрақтылықты арттыру, бұрмалануларды азайту және күшейткіштің параметрлерін тұрақтандыру үшін қолданылады.



5.1-сурет. Кері байланысы бар күшейткіштің жалпылама диаграммасы

Ілмек қосу түрлері

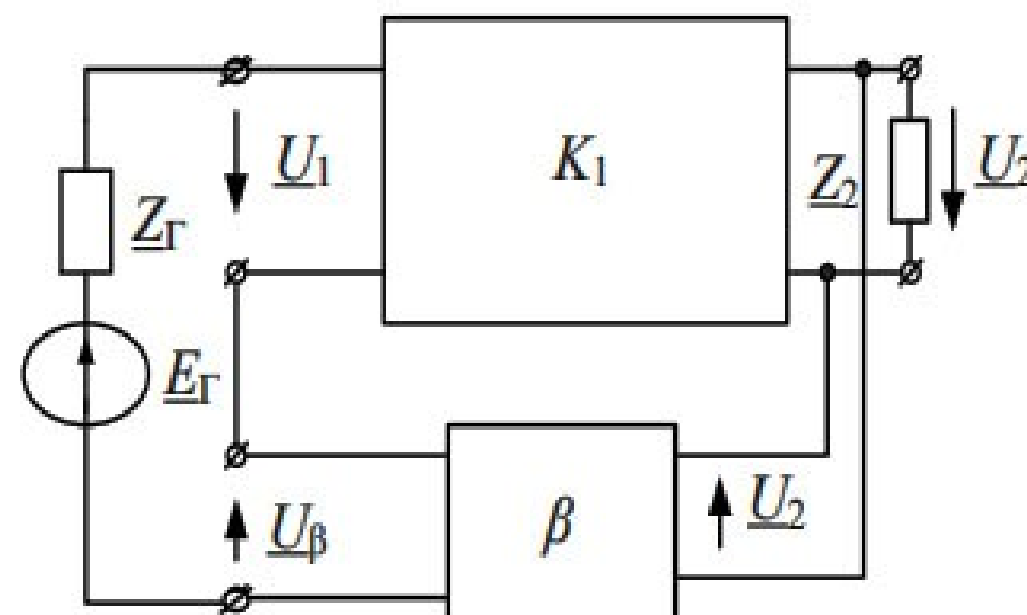
Күшейткіштің шығуынан кері байланысты алу және КБ сигналын енгізуге қосу әдістері бойынша кері байланыстың төрт түрі бар.

1. Стресстің бірізділік кері байланысы (5.2.а сурет.);

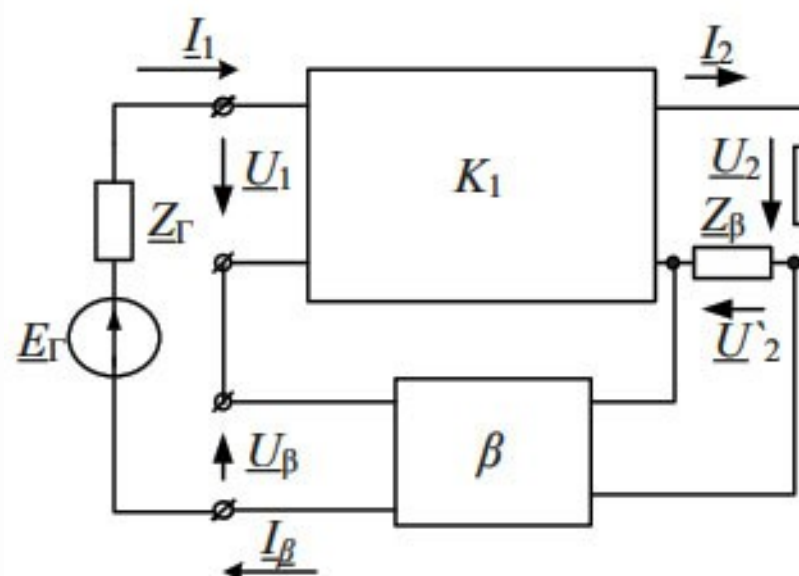
2. Кернеудің параллель кері байланысы (5.2.ә сурет.);

3. Тізбекті ағымдық кері байланыс (5.2.б сурет.);

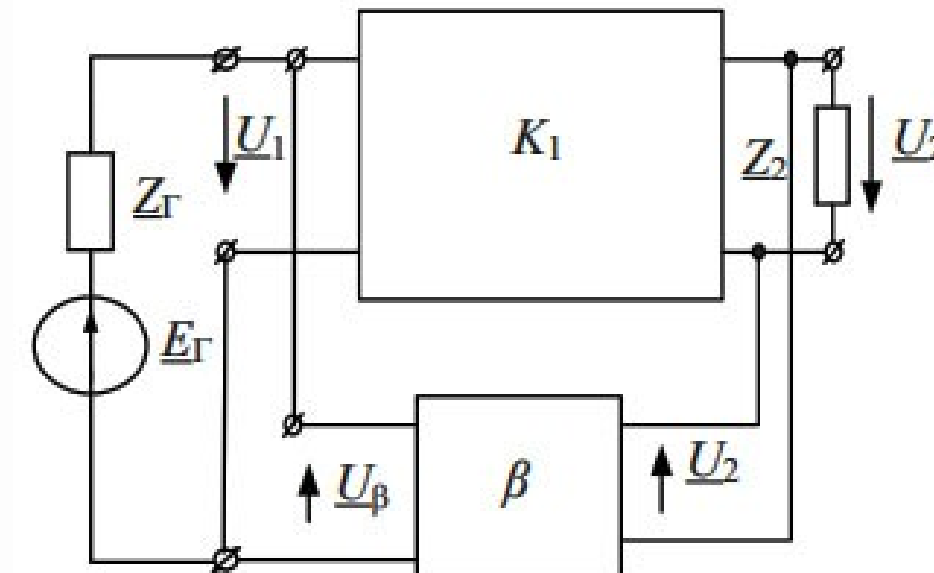
4. Параллель ағымдағы кері байланыс (5.2.в сурет.).



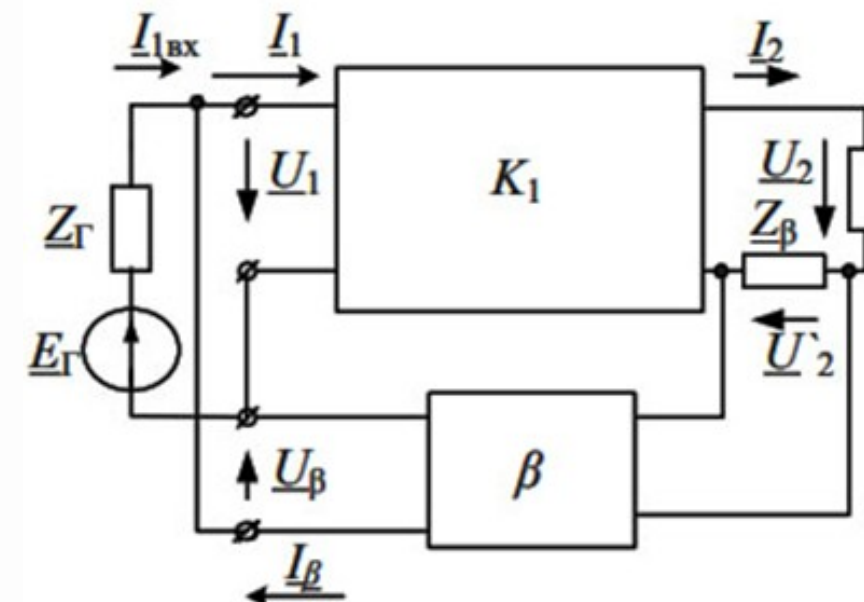
А) Кернеу бойынша параллель кері байланыс



Б) Ток бойынша тізбекті кері байланыс



Ә) Кернеу бойынша тізбекті кері байланыс

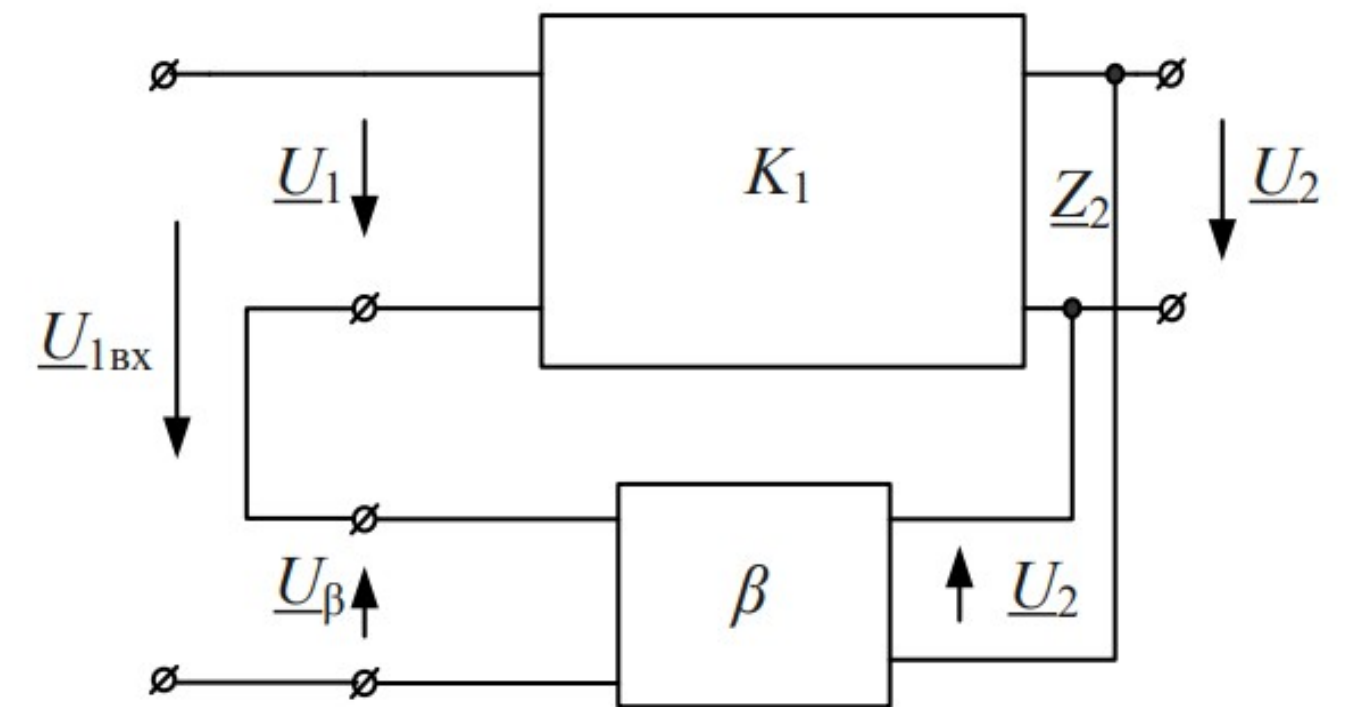


В) Ток бойынша тізбекті кері байланыс

Кернеуі жөнінен сериялық КБ-ны қарастырайық (5.3 сурет.). КБ-сыз негізгі төрт терминалдың трансмиссиялық функциясы: $\underline{K}_1(j\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$. Кері байланысты беру функциясы: $\underline{\beta}(j\omega) = \frac{\underline{U}_\beta}{\underline{U}_2}$. мұндағы: $\beta(j\omega)$ - кері байланыс коэффициенті. Кіродное напряжение: $\underline{U}_{1\text{кр}} = \underline{U}_1 - \underline{U}_\beta$

Кері байланысы бар төрт терминалды трансфер функциясы:

$$\begin{aligned} \underline{K}(j\omega) &= \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_{1\text{кр}}(j\omega)} = \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_{1\text{кр}}(j\omega) - \underline{U}_\beta(j\omega)} = \\ &= \frac{\frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_1(j\omega)}}{1 - \frac{\underline{\beta}(j\omega) \cdot \underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_1(j\omega)}} = \frac{\underline{K}_1(j\omega)}{1 - \underline{\beta}(j\omega) \cdot \underline{K}_1(j\omega)} \end{aligned}$$



5.3-сурет. кернеу бойынша сериялық КБ

Тұрақтылыққа қол жеткізу

Күшейткіштің жиілікпен жауап беруі және оның кері байланыспен (ООС) байланысы – бұл электроникада маңызды тақырып. Күшейткіштің жұмыс істеу диапазоны мен оның тұрақтылығын кері байланыс арқылы басқаруға болады. Осы процесті түсіну үшін негізгі ұғымдарды талдап көрейік.

Күшейткіштің жиілікпен жауап беруі. Күшейткіштің жиілікпен жауап беруі оның әртүрлі жиіліктегі сигналдарды қаншалықты күшейте алатынын көрсетеді. Бұл жауап беру сипаттамасы амплитудалық және фазалық сипаттамалар арқылы анықталады. Төменгі жиілік шегі (f_l): Күшейткіштің төменгі жиіліктердегі жұмысын шектейді. Бұл жиілікте күшейту коэффициенті төмендей бастайды. Жоғарғы жиілік шегі (f_h): Жоғары жиіліктердегі шектік жиілік, одан кейін күшейту коэффициенті азаяды. Жұмыс диапазоны бұл екі шектің арасындағы жиілік диапазоны, көбіне жолақ ені (bandwidth) деп аталады. Амплитудалық-фазалық сипаттама. Амплитудалық жауап жиілікке тәуелді күшейтудің өзгеруі. Фазалық жауап сигналдың кіру және шығу фазалары арасындағы айырмашылықтың жиілікке тәуелділігі.

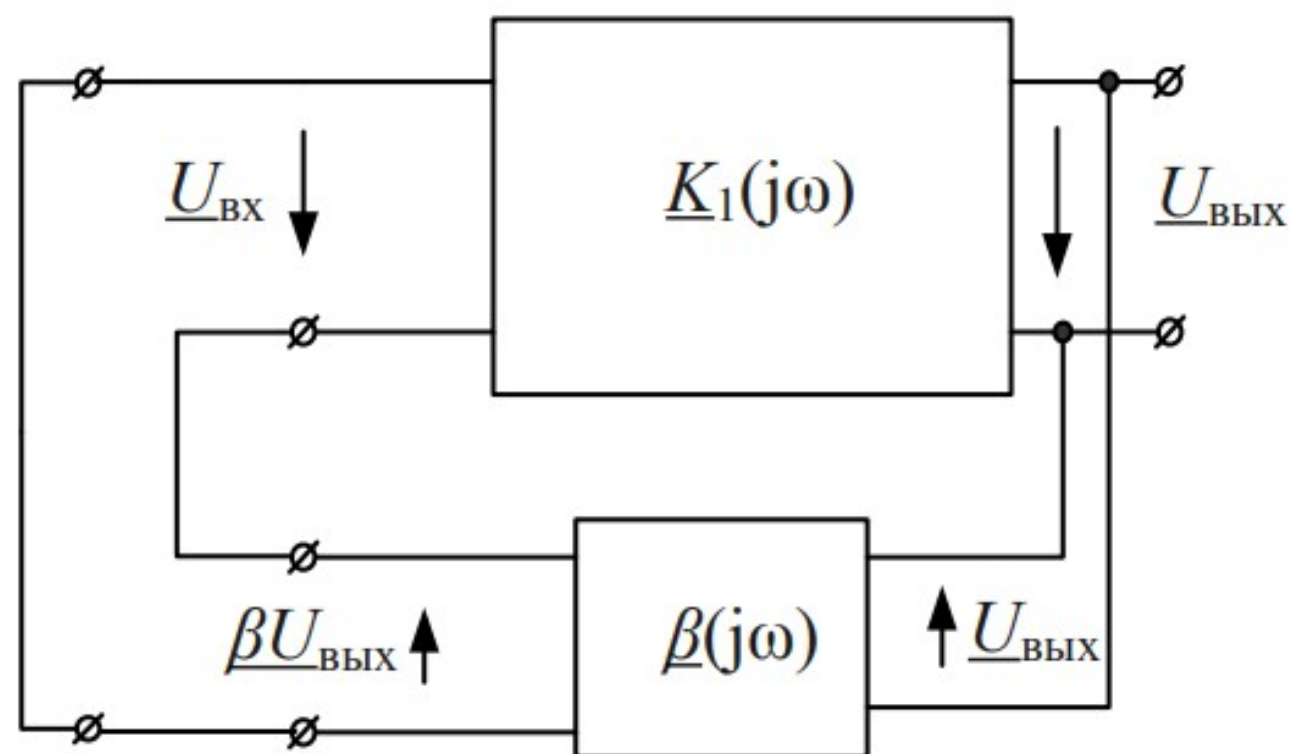
Теріс КБ артықшылықтары

- Бұрмалану (амплитудалық-жиілік, фазалық-жиіліктік, сызықтық емес) азаяды.
- Тұрақтылыққа қол жеткізу күшейе түседі.
- Енгізу кедергісінің күшеюі.
- Шығу кедергілері азаяды.
- Шуыл азаяды. Теріс ОС кемшіліктері.
- Пайда азайып барады.
- Схемада қосымша элементтерді талап етеді.

Автогенераторлардағы оң кері байланыс

Автогенератор — тұрақты ток кернеуінің немесе ток көзінің энергиясын гармоникалық тербеліс энергиясына түрлендіретін құрылғы.

Гармоникалық тербеліс автогенераторы (АГ) оң кері байланысы бар сызықтық емес құрылғы болып табылады және әдетте тербеліс схемасын қамтиды. 5.5-сыртқы кері байланысы бар автоосциллятордың жалпыланған құрылымдық диаграммасы суретте көрсетілген. Оның құрамында $K(j\omega)$ күрделі пайдасы бар күшейткіш және $\beta(j\omega)$ күрделі беріліс коэффициенті бар жиілік-селективті оң кері байланыс сұлбасы.



5.5-сурет. Кері байланысы бар автогенератордың құрылымдық диаграммасы

Автогенератордың жұмысын екі кезеңге бөлуге болады:

- тербелердің қоздыру сатысы;
- Стационарлық режим сатысы.

Автогенератордағы қоздыру сатысында күшейткіштегі кіріс кернеуінің бастапқы тербелісі мен жиілікке тәуелді оң кері байланыстың болуына байланысты тербелістер пайда болып, олардың амплитудасы біртіндеп артады. Амплитуданың артуына қарай күшейткіштің өсімі төмендейді, тербелістердің амплитудасы тұрақтанады және автоосциллятор стационарлық режимге ауысады. Тербелістердің пайда болу жағдайын қарастырайық. Күшейткішті енгізу кезінде (5.5-сурет) күрделі жұмыс істейтін сигнал пайда болады U_{bx} мәні. Күшейткіштің шығуында $U_{шығ} = U_{кір} \cdot K(j\omega)$ сигналы пайда болады. Күшейткіштің шығуынан тербелістер оң кері байланыс сұлбасы арқылы қайтадан күшейткіштің кірісіне беріледі, сондықтан:

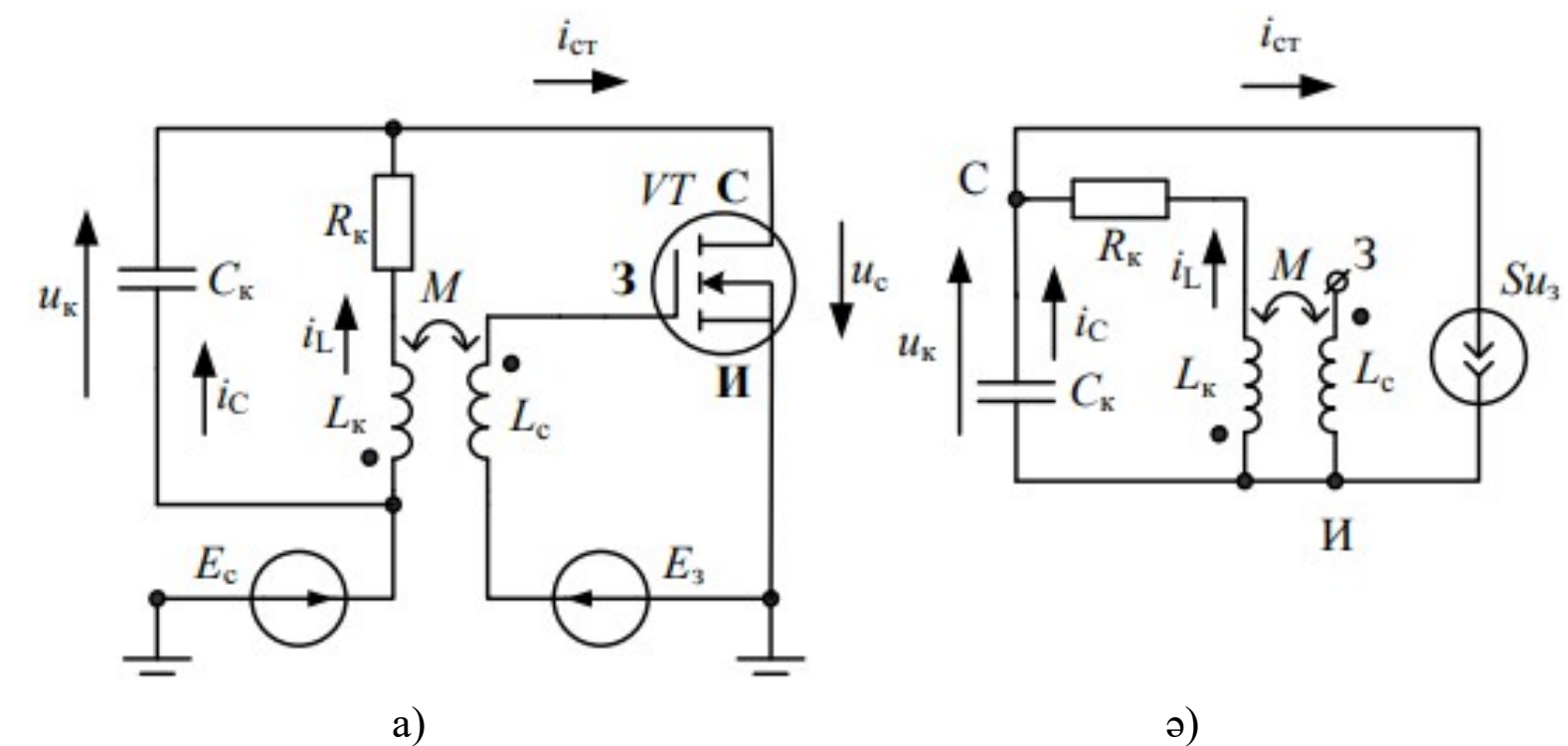
$$\underline{U}_{кір} = \underline{U}_{шығ} \cdot \underline{\beta}(j\omega), \underline{U}_{шығ} \left(1 - \underline{\beta}(j\omega) \cdot \underline{K}(j\omega) \right) = 0 \quad (5.4)$$

Трансформаторлық кері байланыс автогенераторы

Зерттеуді ағынды тізбектегі резонанстық тізбегі және трансформаторлық кері байланысы бар өріс транзисторындағы автогенератордан бастайық. LC контурлары бар гармоникалық тербеліс генераторлары деп аталады көбінесе LC генераторлары өріс транзисторындағы генератордың жеңілдетілген схемасын және оның ауыстыру схемасын 5.6-суретте көрсетеді.

Автогенератор тізбегінің тұрақты ток режимі ағызу көзі (E_c) және жапқыш (E_z) арқылы орын ауыстыру көзі арқылы орнатылады. Схемада L және C элементтерінен тұратын параллель тербелмелі контур қолданылады. R_k шығын кедергісі контурдың индуктивтілігі мен сыйымдылығындағы элементтерде болатын шығындарды ескереді.

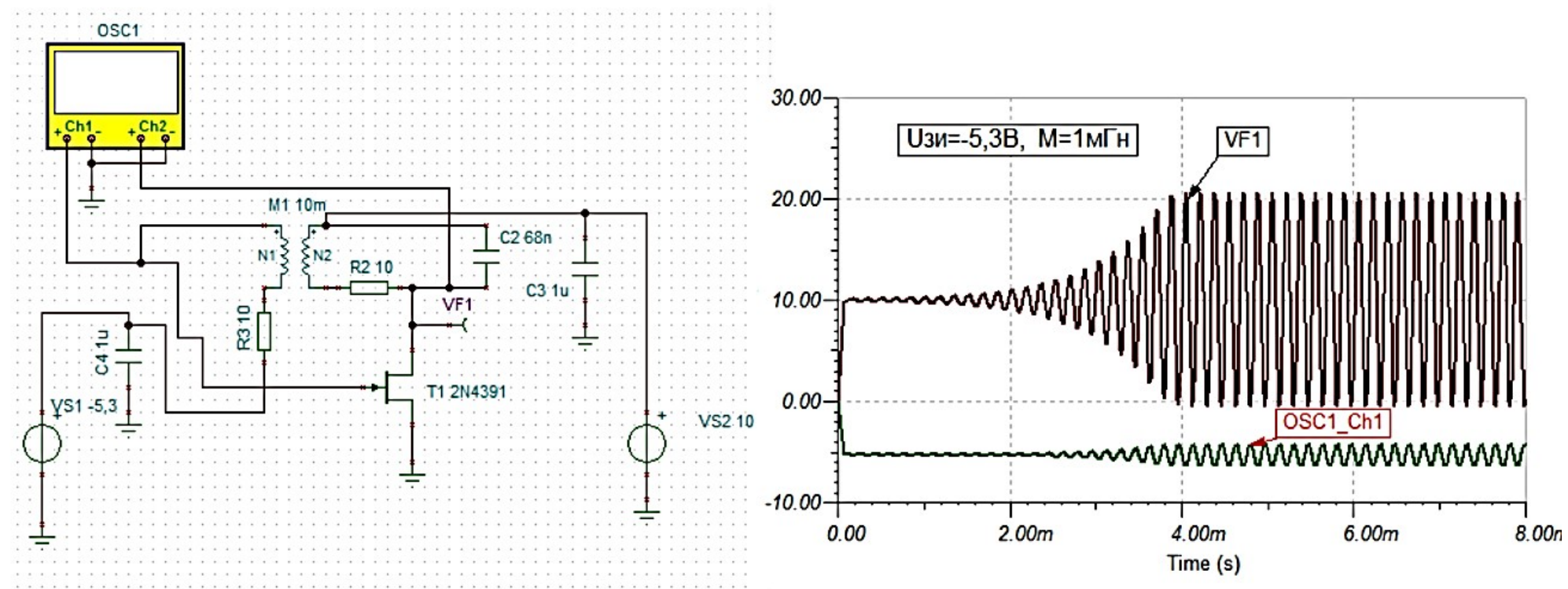
Генератордың күшейткіші индукцияланған n-типті арнасы бар өрістік транзисторда жасалған. Қақпа тізбегінде оң кері байланыс LC контурының катушкасына индуктивті байланысқан L_c байланыс орамасы арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда байланыс катушкасын дұрыс қосу маңызды, себебі ол фазаның қажетті бұрылуын қамтамасыз етіп, фазалық тепе-теңдік шартының орындалуына ықпал етуі керек. Автогенератордың алмастыру схемасы (5.6-сурет) шағын айнымалы сигналдар үшін құрастырылған, сондықтан онда тұрақты қоректендіру көздері мен орын ауыстыру көздері ескерілмеген.



5.6-сурет. Өріс транзисторындағы (а)автогенератор схемасы және оның ауыстыру схемасы (ә)

Трансформаторлық байланысы бар автогенераторды модельдеу

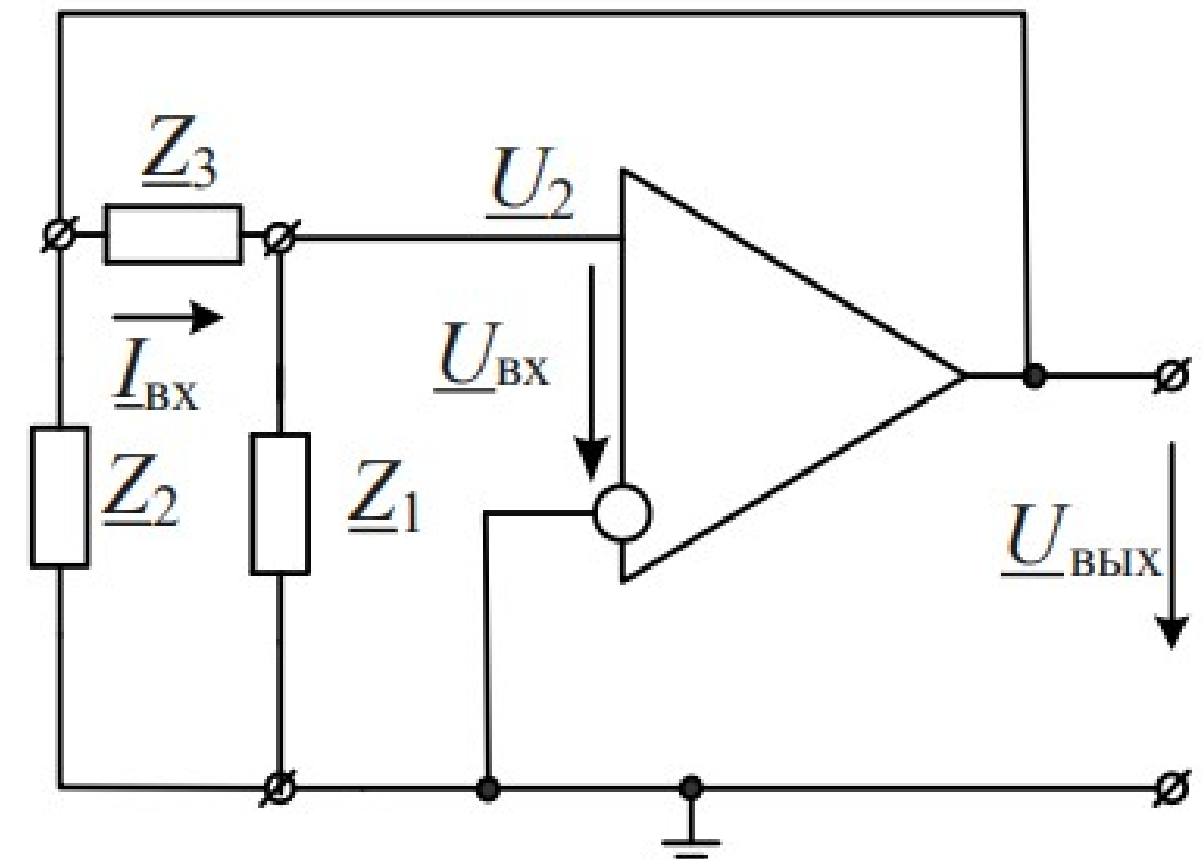
Трансформаторлық байланысы бар автогенератор моделінде 2n4391 басқарылатын р-п ауысуы бар өріс Транзисторы қолданылады. Бұл транзистордың шекті кернеуі 5 799 , $U_{океліңіздер}$ в. индуктивті байланысқан M1 катушкалары (Coupled Enuctors) мәзірден Basic-те L1 's және L2' s индуктивтілігі 10 мГ құрайды. Өзара индуктивтілік M 1 мГ-ға тең орнатылған және эксперименттерде өзгеруі мүмкін. R2 және R3 резисторлары катушкалардағы шығындарды модельдейді. L2 индуктивтілігі мен C2 сыйымдылығы параллель тербелмелі тізбекті құрайды. E1 кернеу көзі (VS1) транзистордың қақпасында терісмещысуды тудырады. E2 кернеу көзі (VS2) ағызу кернеуін тудырады. Осциллографтың бірінші арнасы транзистордың қақпасындағы кернеуді өлшейді, екіншісі арна дренаждағы кернеуді өлшейді.



5.8-сурет. Трансформаторлық кері байланыс автогенераторының моделі.

Индуктивті үш нүкте генераторы

LC генераторларының көптеген тізбектерінде кері байланыс кернеуі тербелмелі тізбектің бір бөлігінен алынады. Бұл тізбекті қосу толық емес деп аталады. Сонымен қатар, контурда сыртқы тізбегі бар үш байланыс нүктесі бар және мұндай LC генераторларының тізбектері үш нүктелі деп аталады. 5.10-суретте. инверттелмейтін операциялық күшейткіште үш нүктелі құрылымдық диаграмма көрсетілген. Схемада Z_1 , Z_2 , Z_3 реактивті элементтері тербелмелі жүйені құрайды, оның көмегімен жиілікке тәуелді оң кері байланыс жасалады. Автогенераторлардың нақты схемаларында индуктивтілік пен сыйымдылықтың шығыны аз, сондықтан талдау кезінде біз олардың реактивті компоненттерін ғана ескереміз. Ои кіріс кедергісі Z_1 элементінің қарсылық модулі көп.



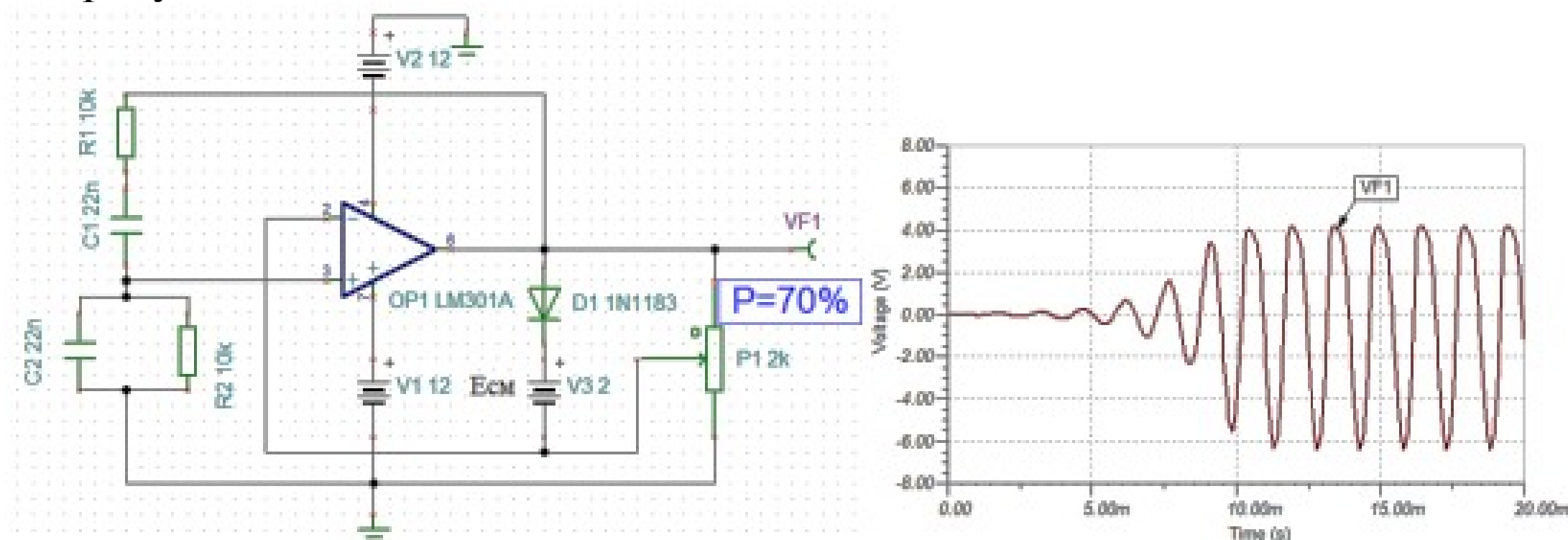
5.10-сурет. Құрылымдық схема үш нүкте.

Шарап генераторы (Wien Bridge Oscillator)

Шарап генераторы (Wien Bridge Oscillator) — синусоидалық тербелістерді жасау үшін қолданылатын электронды генератор. Бұл схема тұрақты синусоидалық сигналдар алуға арналған және жиілікті реттеудің қарапайымдылығымен ерекшеленеді. Генератордың негізінде Вин көпірі (Wien Bridge) деп аталатын резисторлар мен конденсаторлардың жиілік-селективті тізбегі жатыр.

Шарап генераторында (5.17-сурет) кедергілердің тең мәндері кезінде $R1=R2=R$ және $C1=C2=C$ сыйымдылықтары квазирезонанстық жиілікте $f_k = \frac{1}{2\pi RC}$ кері тізбектің берілу коэффициенті, $\beta = \frac{1}{3}$ а фазалық ауысу жылы кері байланыс тізбектері нөлге тең. Өздігінен қозу үшін күшейкіштің күшейту коэффициенті K болуы керек

3-тен үлкен болу. Бұған $P1$ потенциометрін реттеу арқылы қол жеткізіледі. Диод және генерация режимін тұрақтандыру үшін $E2$ кернеу көзі қажет.



5.17-сурет. Шарап генераторының моделі

Қорытынды:

Кері байланыс электрондық схемалардың тиімділігін арттырудың негізгі әдістерінің бірі болып табылады. Теріс кері байланыс күшейткіштердің тұрақтылығын қамтамасыз етіп, бұрмалануларды азайтса, оң кері байланыс автогенераторларда синусоидалық немесе импульстік сигналдар генерациялауға мүмкіндік береді.

Автогенераторлардың әртүрлі түрлері (LC, үш нүктелі, Шарап көпірлі, кварцты) жиілік пен сигнал сапасына байланысты нақты қолданбаларда пайдаланылады. Қазіргі заманғы байланыс жүйелерінде, радиоқабылдағыштарда, өлшеу құрылғыларында және цифрлық жүйелерде автогенераторлар басты рөл атқарады.

Бақылау сұрақтары

1. Кері байланыс дегеніміз не және ол қалай жүзеге асырылады?
2. Ішкі, сыртқы және паразиттік кері байланыстардың айырмашылығы қандай?
3. Оң және теріс кері байланыс сигналдың фазасына байланысты қалай ерекшеленеді?
4. Кері байланыстың негізгі түрлерін атаңыз (кернеу бойынша, ток бойынша, тізбекті және параллель).
5. Теріс кері байланыстың күшейткішке әсерін түсіндіріңіз.
6. Теріс кері байланыс енгізу және шығу кедергілеріне қалай әсер етеді?
7. Амплитудалық және фазалық тепе-теңдік шарттары нені білдіреді?
8. Автогенератордың жұмысындағы екі негізгі кезеңді атаңыз.
9. LC автогенераторының жұмыс принципін түсіндіріңіз.
10. Трансформаторлық байланысы бар автогенератордың ерекшелігі неде?
11. Үш нүктелі (Хартли немесе Колпитц) генераторлардың айырмашылығы неде?
12. Шарап көпірлі генератордың артықшылығы неде?
13. Кварцты генераторлар не үшін қолданылады және олардың тұрақтылығы немен түсіндіріледі?
14. Операциялық күшейткіш негізіндегі мультивибратор қандай сигналдар генерациялайды?
15. Кері байланыс коэффициентінің тербелістердің пайда болуына әсерін түсіндіріңіз.

Назарларыңызға рақмет!

