

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

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



SATBAYEV
UNIVERSITY

№4 ДӘРІС

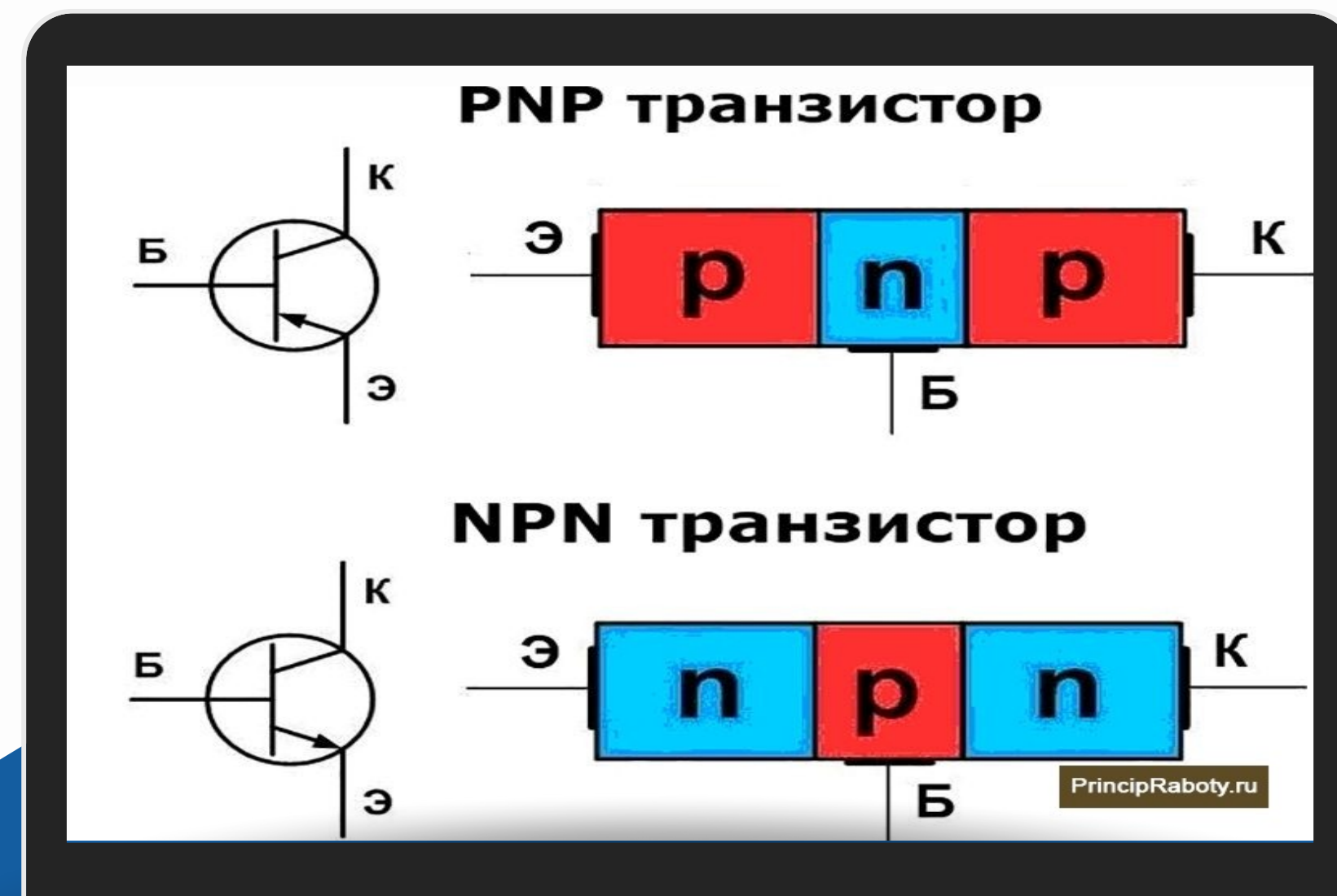
Тақырыбы: «Биполярлық транзисторлар және олардың күшейткіш схемалардағы қолданылуы»

Оқытушы: Хабай А.

ELC5511 «Электроника және схемотехника»

Алматы 2025 ж.

Биполярлық транзисторлар және олардың күшейткіш схемалардағы қолданылуы



Дәрістің мақсаты мен міндеттері



1. Биполярлық транзистордың құрылымын, жұмыс істеу принципін түсіндіру.
2. Транзистордың негізгі режимдерін (сызықтық, қанығу, кесу, кері) сипаттау.
3. Ортақ база (ОБ), ортақ эмиттер (ОЭ), ортақ коллектор (ОК) қосылу схемаларының айырмашылығын талдау.
4. Вольт-амперлік сипаттамаларды түсіндіру және жұмыс нүктесін анықтау әдістерін үйрету.
5. Транзистордың h -параметрлерін қолдана отырып эквивалентті схемасын қарастыру.
6. Транзисторға негізделген қарапайым күшейткіш каскадты есептеу және оның жиілік сипаттамаларын түсіндіру.

Мазмұны

1. Кіріспе
2. Биполярлық транзистордың дизайны және схемалары қосу
3. Жалпы эмиттер тізбегі
4. Биполярлы транзисторлардың эквивалентті схемалары
5. Биполярлы транзисторға негізделген күшейткішті есептеу
6. Қорытынды
7. Бақылау сұрақтары

Кіріспе

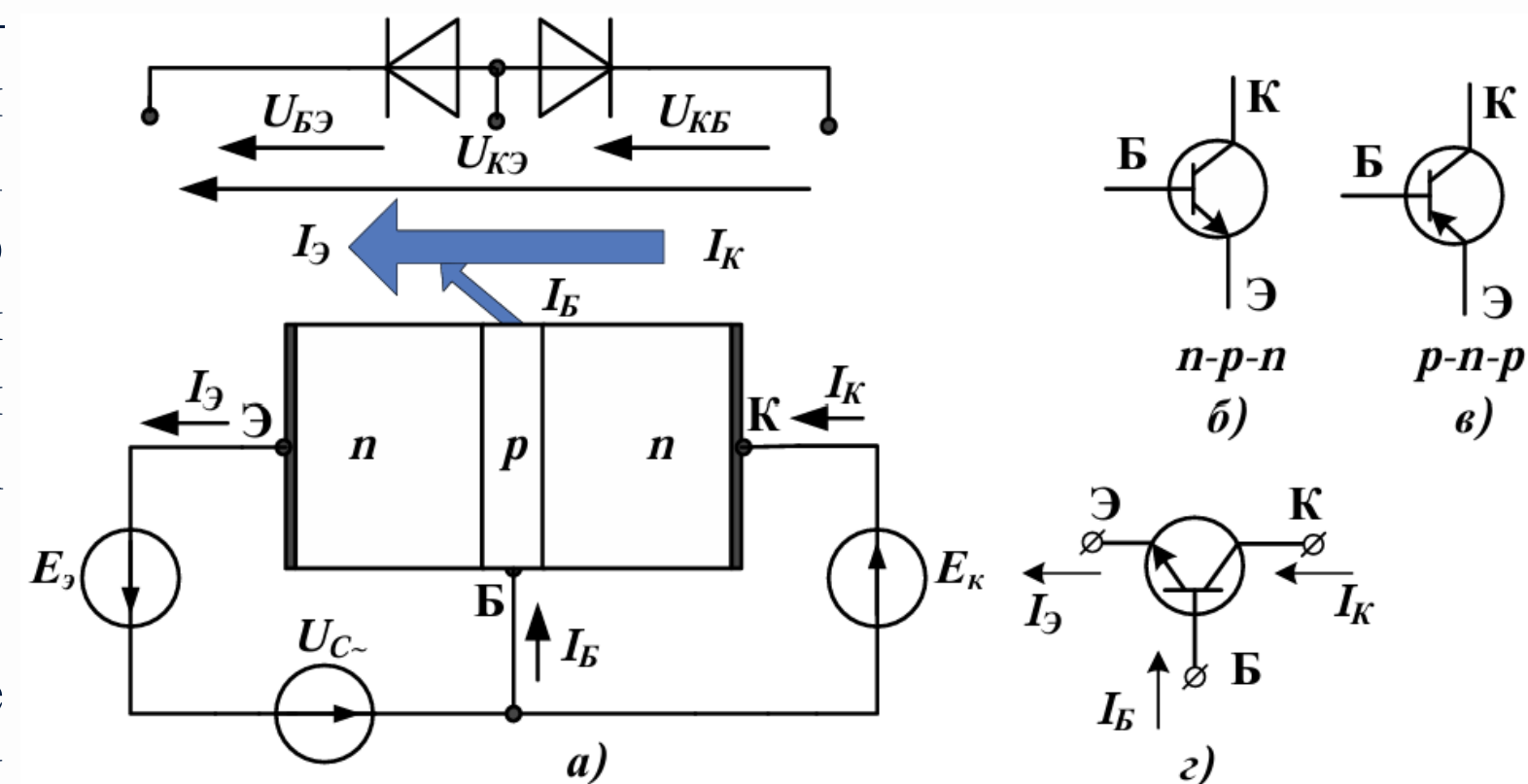
Электрониканың даму тарихында биполярлық транзисторлар (BJT) аса маңызды рөл атқарады. Олар электрлік сигналдарды күшейтуге және түрлендіруге арналған негізгі жартылай өткізгіш құрылғылардың бірі болып табылады. Транзистор үш қабатты p-n-p немесе n-p-n құрылымынан тұрады және екі p-n ауысуына негізделген. Базалық токтың аз ғана өзгерісі коллектор тогын едәуір өзгертуге мүмкіндік береді, бұл транзисторды сенімді күшейткіш элементке айналдырады.

Биполярлық транзисторлар күшейткіштерде, генераторларда, тұрақтандырғыштарда және әртүрлі аналогтық құрылғыларда кеңінен қолданылады. Әр түрлі қосылу схемалары (ортақ база, ортақ эмиттер, ортақ коллектор) әртүрлі сипаттамаларды береді. Осы дәрісте транзисторлардың құрылысы, жұмыс істеу принципі, негізгі режимдері мен эквивалентті схемалары қарастырылады.

Биполярлық транзистордың дизайны және схемалары қосу

Биполярлы жазықтық транзисторы (bipolar junction transistor – BJT) екі өзара әрекеттесуі бар жартылай өткізгіш құрылғы деп аталады p-n-ауысу. Байланысты дәйекті өткізгіштіктің әр түрлі типтері бар ауыспалы аймақтар N p-n транзисторлары және p-n-p транзисторлары. Транзистор биполярлық деп аталады өйткені ондағы физикалық процестер тасымалдаушылардың қозғалысымен байланысты екі белгі де (бос кмітіктер мен электрондар). N-p-n негіздерінің транзисторында өткізгіштік электрондарға байланысты. P-n-p транзисторында негізгі өткізгіштік кмітіктерге байланысты.

N-p-n транзисторының үш қабатты құрылымы 2.1а. суретте көрсетілген. қосулы 2.1б-сурет. суретте n-p-n транзисторының символы 2.1в-суретте көрсетілген— p-n-p-транзистордың символы. Суреттегі көрсеткі транзистордың жұқаруы ол арқылы өтетін токтың бағытын көрсетеді. Биполяр транзисторды екі жартылай өткізгіш диод түрінде ұсынуға болады қарсы енгізілген.



2.1- сурет. Транзистордың NPN құрылымы (а), транзистордың n-p-n шартты белгілері зистор (б) және p-n-p – транзистор, n-p-n транзисторын қосу схемасы жалпы база

Биполярлық транзистордың дизайны және схемалары қосу

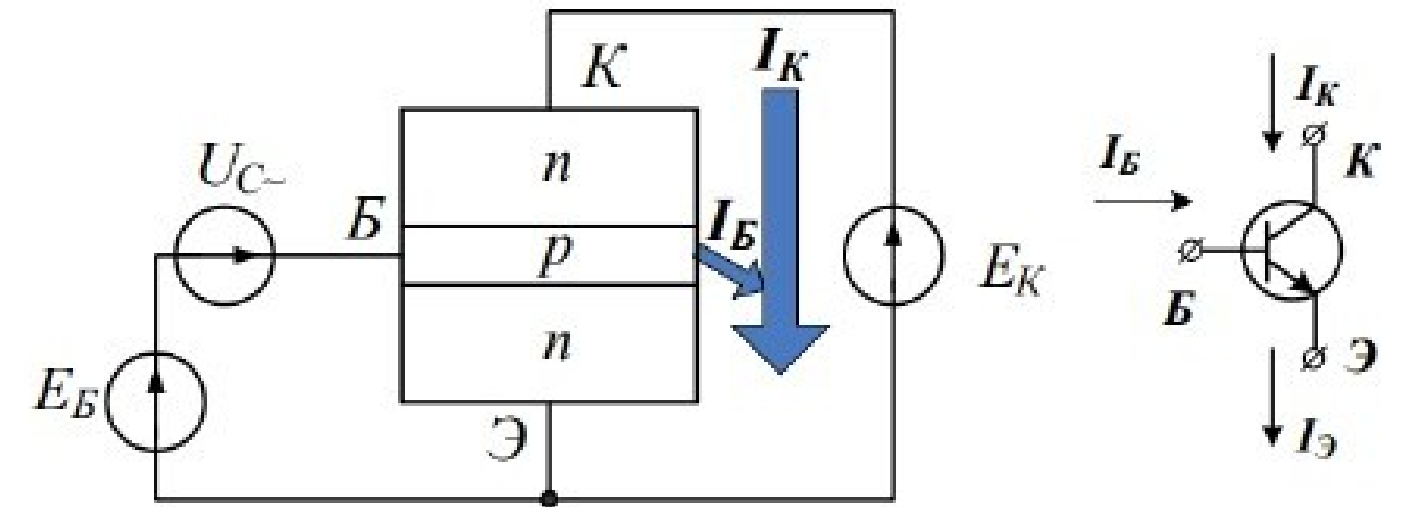
Биполярлы транзистордың ортаңғы қабаты база деп аталады Б, бір экстремалды қабат коллектор деп аталады дейін, басқа экстремалды қабат деп аталады эмиттер Э. базалық қабаттың қалыңдығы айтарлықтай аз (шамамен 150 бір рет) коллектор немесе эмитент қабатының қалыңдығына қарағанда. Базаны допинг сондай-ақ, сыртқы қабаттар айтарлықтай аз (10 есе). Бұл бостандықтар санының шектелуіне байланысты база материалының өткізгіштігін анықтайды тасымалдаушылар.

Транзистордың жұмысы электродтардың токтарын басқаруға негізделген оның ауысуларына қолданылатын кернеулерге байланысты. Сызықтық базаға қолданылатын басу кернеуі $U_{БЭ}$ (n-p-n Транзисторы үшін $u_{БЭ} > 0$) база-эмиттер өткелін ашады. Бос электрондар инъекцияланады эмиттер тізбегінде I_E Эмитент тогын құра отырып, базаға Эмитент. Үлкен бөлігі эмиттерден базаға енгізілген электрондар күшті тартылады негіз мен коллектор арасындағы p-n түйісуінің электр өрісі коллектор тогы $K I$ коллектор тізбегінде. Аз бөлігі бос эмиттерден базаға енгізілген электрондар I_b P_{ere} тогын құрайды $U_C \sim$ кіріс сигналының өзгермелі компоненті күшейтілген болады $i_k \sim$ коллекторлық токтың айнымалы компоненті, бұл күшейтуді қамтамасыз етеді транзистордың қасиеттері.

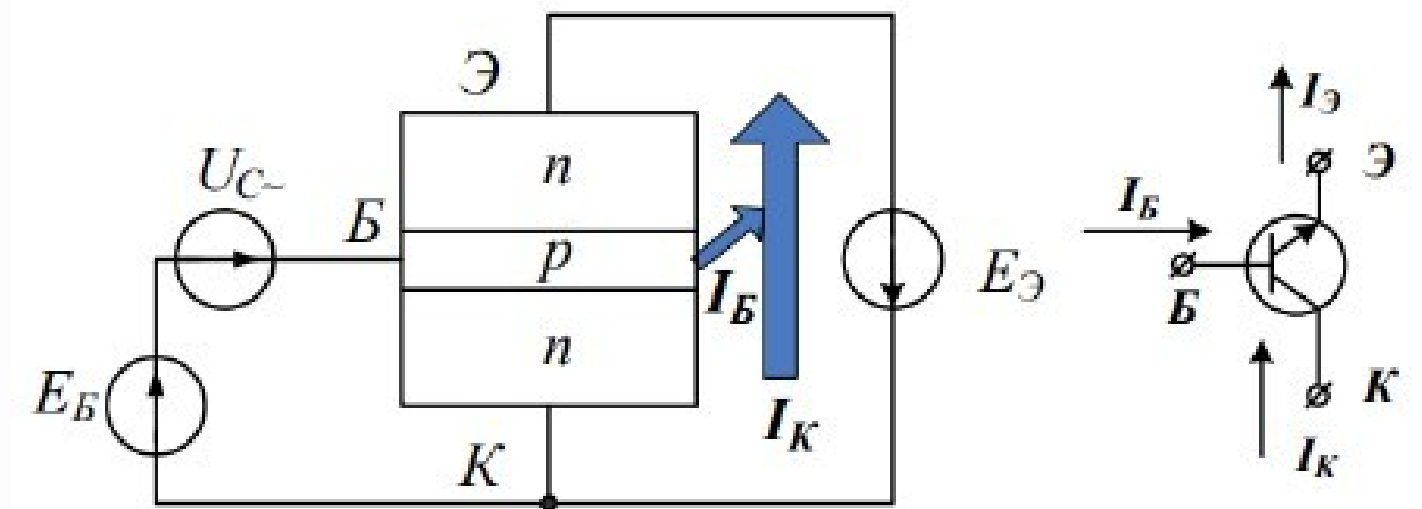
Диаграммада 2.1 а сурет база жалпы электрод болып табылады кіріс және шығыс тізбегі. Биполярлық транзисторды қосудың бұл схемасы деп аталады жалпы базасы бар схема (туралы). Сигналдарды күшейту үшін схема да қолданылады біз жалпы эмитенті бар биполярлы транзисторларды қосамыз (ОЕ) (2.2 сурет) және жалпы коллектор (ОК) (2.3 сурет.).

Транзистордың әртүрлі жұмыс жағдайларында (режимдерінде) электродтар арасындағы кернеулердің полярлығы өзгеріп, оның жұмыс режимі анықталады. Төменде әр режимнің сипаттамасы:

- **Сызықтық режим:** Эмитенттік ауысу тікелей, коллекторлық ауысу кері бағытта жұмыс істейді. Транзистор күшейткіш ретінде жұмыс істейді.
- **Қанықтыру режимі:** Екі ауысу да тікелей бағытта жұмыс істейді. Транзистор толық ашылады.
- **Кесу режимі:** Екі ауысу да кері бағытта жұмыс істейді. Транзистор ток өткізбейді.
- **Кері режим:** Коллекторлық ауысу тікелей, эмитенттік ауысу кері бағытта жұмыс істейді. Транзистордың күшейту қабілеті төмендейді.



2.2-сурет. Ортақ эмиттері бар n-p-n транзисторының қосылу схемасы

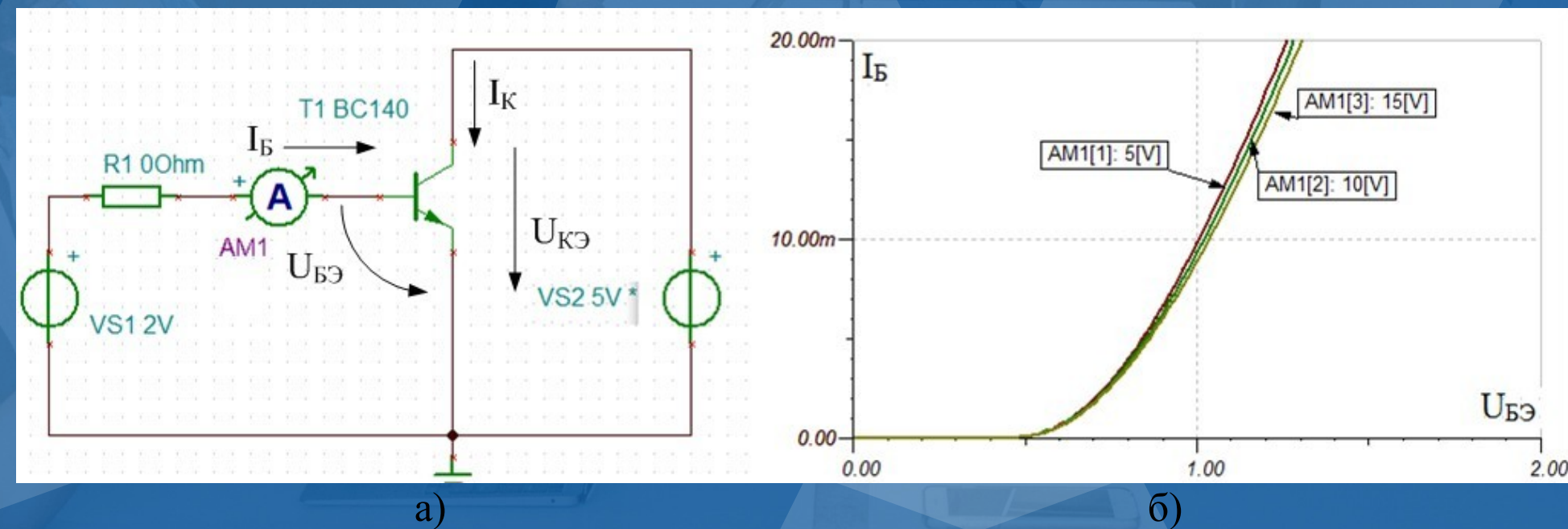


2.3- сурет. Ортақ коллекторы бар n-p-n транзисторының қосылу схемасы

Жалпы эмиттер тізбегі

Жиі түрде ортақ эмиттер схемасын (ОЭ) күшейткіш каскадтарда қолданады. Транзистордың ОЭ схемасындағы жұмысын осы схеманың кіріс және шығыс вольтамперлік сипаттамалары (ВАС) бойынша есептейді.

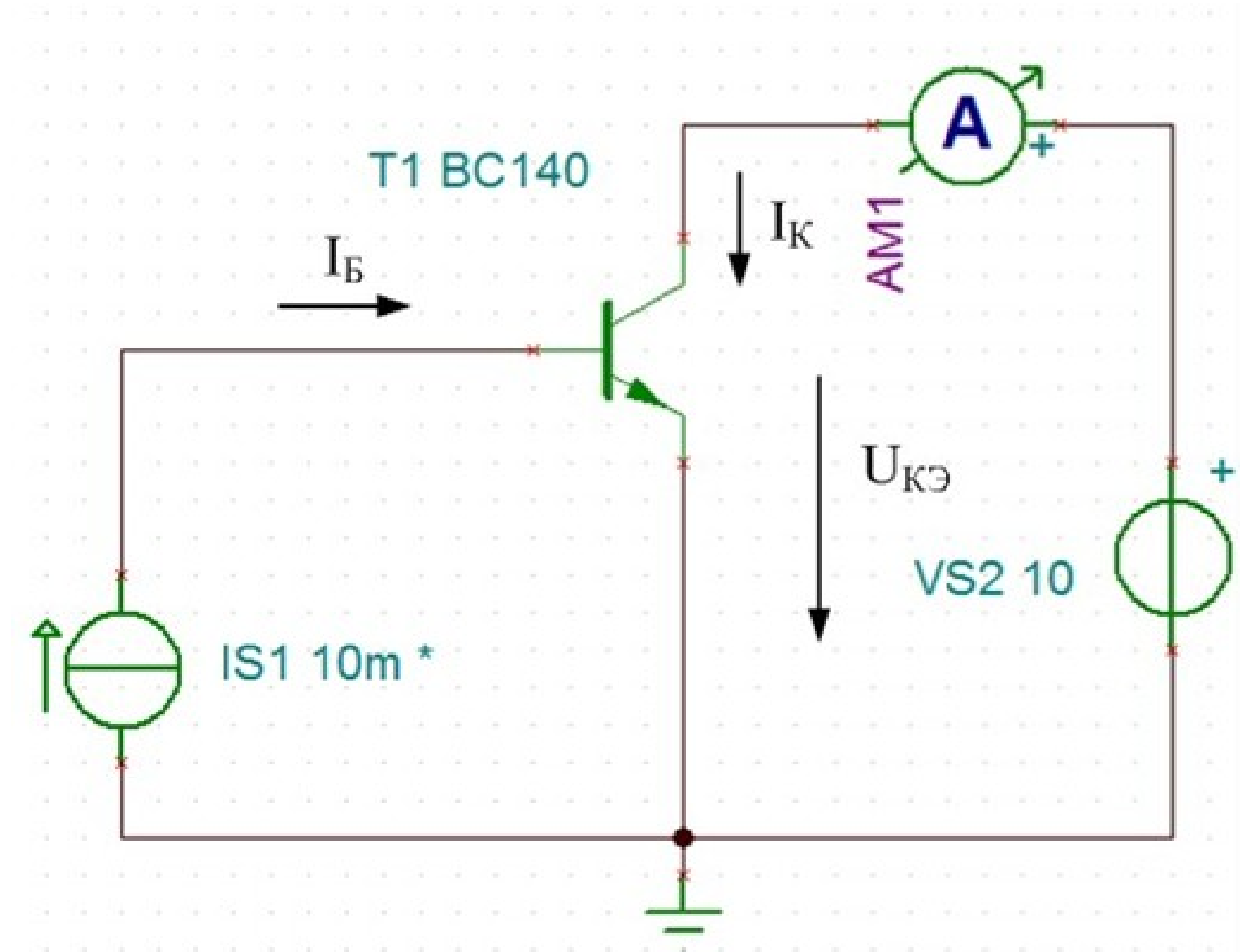
Кіріс вольтамперлік сипаттамасы – бұл база тоқының база-эмиттер кернеуіне тәуелділігі, коллекторда тұрақты кернеу кезінде $I_B(U_{БЭ})_{U_{КЭ}=const}$ 2.4а-суретте BC140 транзисторының кіріс сипаттамаларын өлшеу схемасы көрсетілген. 2.4 б суретте өлшеулер нәтижелері ұсынылған.



2.4-сурет. Кіріс ВАС-тың өлшеу схемасы және графиктері

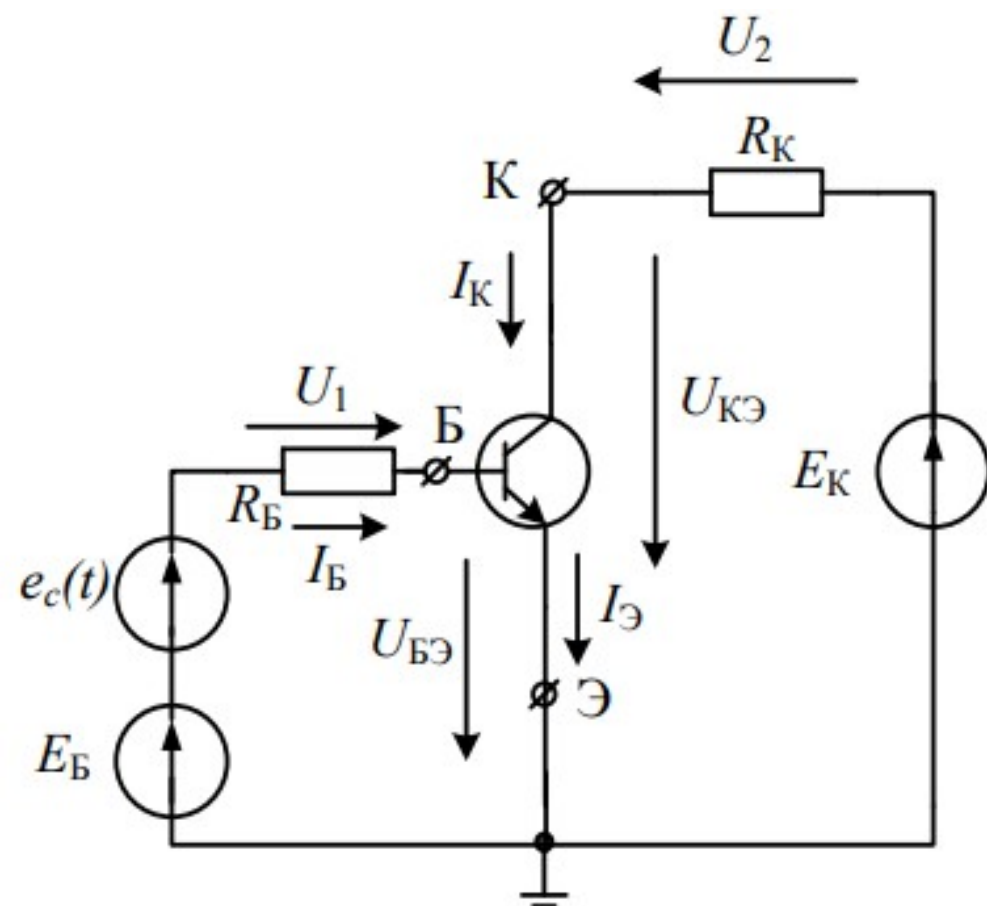
Өлшеу схемасында кернеу көзі $U_{БЭ}$ (VS1) үшін R1 кедергісі нөлге теңестірілген. $U_{КЭ}$ (VS2) кернеу көзі басқарылатын объект ретінде 5, 10 және 15 В мәндерін қабылдайды. Кіріс ВАС графиктерін алу үшін Analysis-DC Analysis-DC Transfer Characteristic әдісін VS1 кіріс әсеріне қолданамыз. 2.4б-сурет графиктерінде шектік кернеудің 0,5-0,7 В аралығында екенін, ал $U_{КЭ}$ кернеуінің артуы графиктің еңкіштігін сәл төмендететінін байқаймыз.

Шығу вольтамперлік сипаттамасы транзистордың ОЭ схемасында коллектор тоқының коллектор-эмиттер кернеуіне тәуелділігі болып табылады, мұндағы база тоқы $I_B(U_{КЭ})I_B = const$. 2.5-суретте BC140 транзисторының шығу ВАС өлшеу схемасында көрсетілген. База тоқының көзі I_B (IS1) басқарылатын объект болып табылады және 250 мкА-дан 2 мА-ға дейін өзгереді.



2.5-сурет. Шығыстың ВАС
өлшеу схемасы және
графиктері

Ең қарапайым жалпы эмиттер күшейткіш схемасында (2.7 сурет). коллектордың қуат көзі E_K , база қуат көзі E_B және R_K мен R_B резисторлары транзистордың тыныштық режимін немесе статикалық режимін анықтайды. $e_c(t)$ сигнал көзі схеманы күшейтуі тиіс болатын айнымалы компонентті жасайды.



2.7-сурет. Жалпы эмиттер күшейткішінің схемасы

Коллектордың шығу тізбегі Кирхгоф екінші заңы бойынша:

$$E_K = U_{КЭ} + I_K R_K \quad (2.6)$$

Осы теңдеуден жүктемелік сызықты теңдеуін аламыз:

$$I_K = \frac{E_K}{R_K} - \frac{U_{КЭ}}{R_K} \quad (2.7)$$

Күшейткіштің кіріс тізбегіне арналған жүктемелік сызықтың аналогиялық теңдеуін аламыз:

$$I_B = \frac{E_B}{R_B} - \frac{U_{БЭ}}{R_B} \quad (2.8)$$

Биполярлы транзисторлардың эквивалентті схемалары

Кішкентай сигналды күшейтудің линейлік режимінде биполярлы транзисторды Н-параметрлері бойынша төртполюс жүйесінің теңдеулерімен сипаттайды:

$$u_{БЭ} = h_{11} \cdot i_{Б} + h_{12} \cdot u_{КЭ}$$

$$i_{К} = h_{21} \cdot i_{Б} + h_{22} \cdot u_{КЭ}$$

Мұндағы

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta i_{Б}} \right|_{u_{КЭ} = const}, \quad h_{12} = \left. \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta u_{КЭ}} \right|_{i_{Б} = const}$$

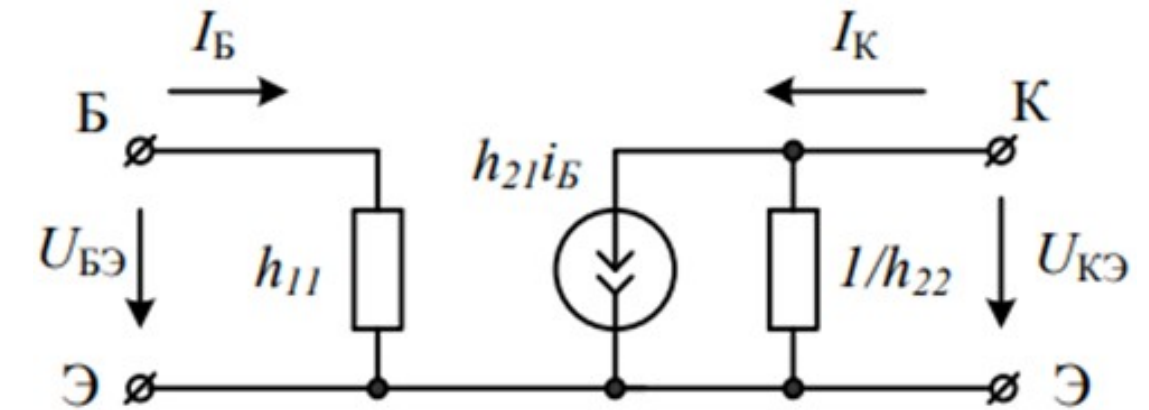
$$h_{21} = \left. \frac{\Delta i_{К}}{\Delta i_{Б}} \right|_{u_{КЭ} = const}, \quad h_{22} = \left. \frac{\Delta i_{К}}{\Delta u_{КЭ}} \right|_{i_{Б} = const}$$

Биполярлы транзистордың Н-параметрлерін вольтамперлік сипаттамалар бойынша есептеуге және эксперименттік түрде анықтауға болады. Олардың типтік мәндері келесі шектерде болады:

$$h_{11} = 10^3 - 10^4 \text{ Ом}, \quad h_{12} = 2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$$

$$h_{21} = 20 - 200, \quad h_{22} = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ См}$$

Кішкентай h_{12} параметрінің мәнін ескермеу арқылы, біз ОЭ схемасында кіші сигнал режиміндегі биполярлы транзистордың алмастыру схемасын аламыз (2.9-сурет). Бұл схемада $h_{11} = R_{\text{кір}}, 1/h_{22} = R_{\text{шығ}}$ – кіріс және шығыс кедергі; $h_{21} \cdot i_{Б}$ – база тоқы $i_{Б}$ арқылы басқарылатын ток көзі. Осылайша, биполярлы транзистор база тоқымен басқарылатын ток көзі ретінде қарастырылады.

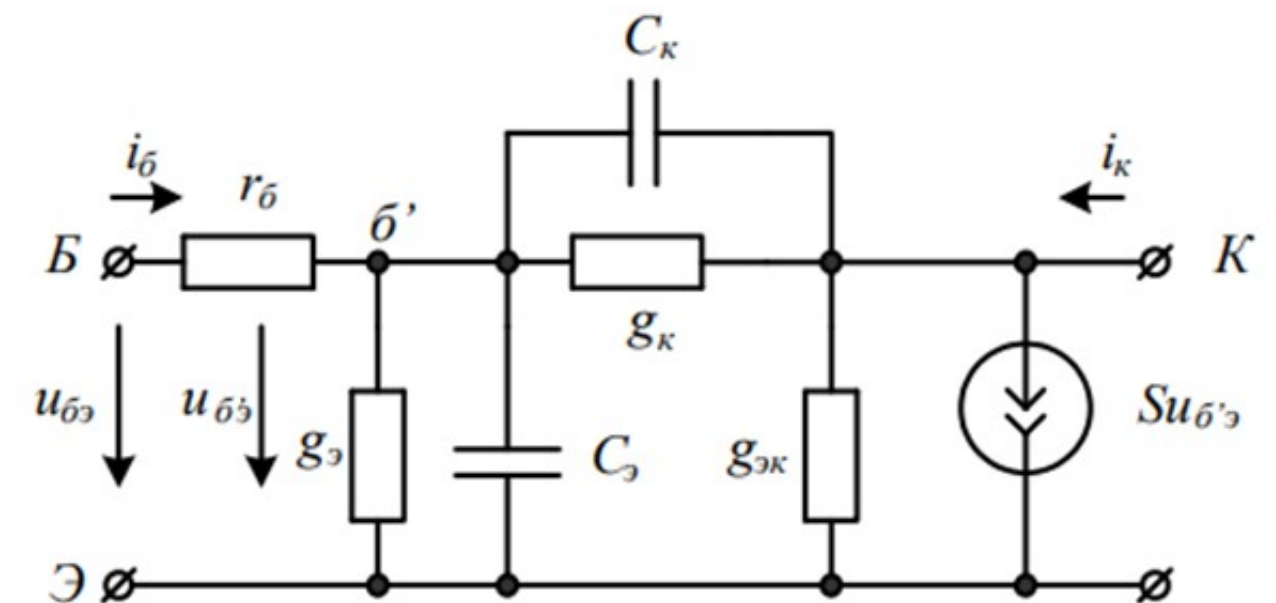


2.9-сурет. Биполярлы транзистордың тұрақты тоқтағы және төмен жиіліктердегі алмастыру схемасы

Биполярлы транзисторлардың эквивалентті схемалары

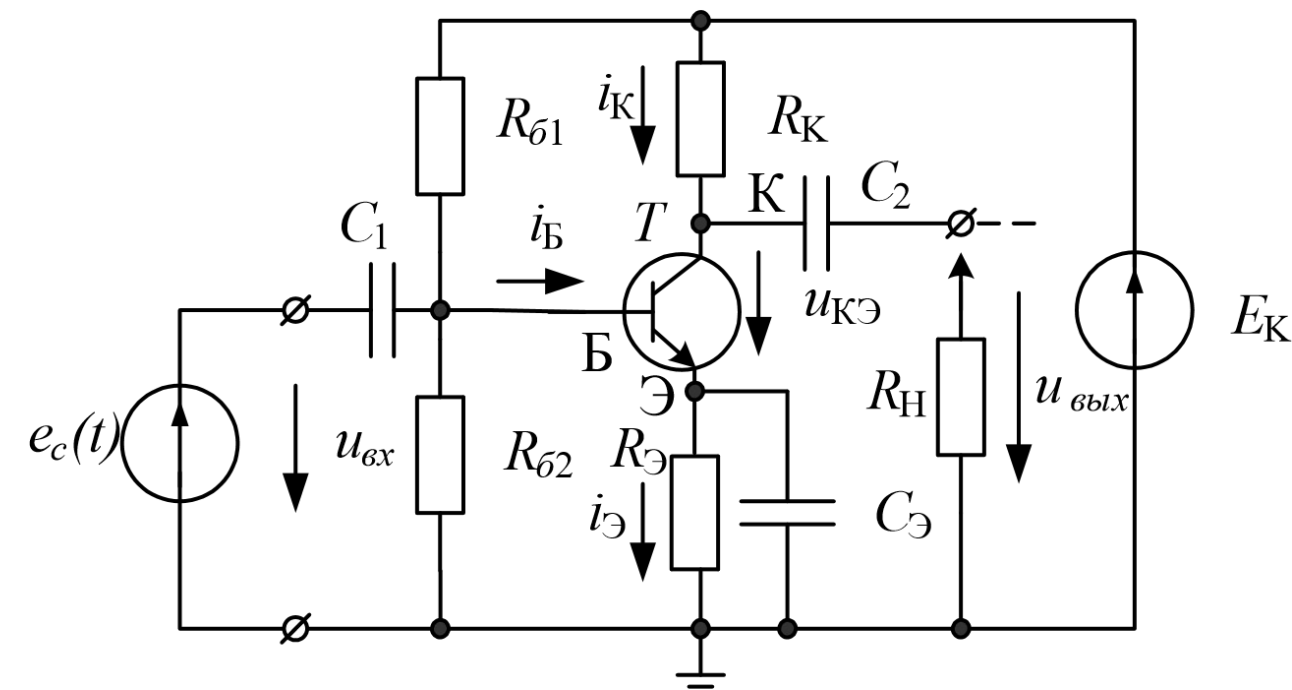
Бұл алмастыру схемасы тұрақты токта және төмен жиіліктерде қолданылады, мұнда транзистордың инерциясын ескермей-ақ қоюға болады. Көбірек жалпы жағдайда, транзистордың h-параметрлері кешенді мөлшерлер болып табылады, және алмастыру схемасына база мен коллектор арасындағы C_K , сондай-ақ база мен эмиттер арасындағы C_E сыйымдылықтары қосылады.

Жоғары жиіліктерде транзисторлардың дәл модельдері қолданылады. Ең көп таралғандары Джаколеттоның алмастыру схемасына негізделген модельдер (2.10 сурет). Мұнда r_B – база бойынша таралған кедергі, g_E және C_E – эмиттерлік өтпеден толық өткізгіштікті көрсетеді, g_K және C_K – коллекторлық өтпеге әсерді ескереді, g_{EK} өткізгіштігі эмиттер мен коллектор арасындағы байланысты ескереді. Транзистордың күшейту қасиеттері S крутиздығымен есепке алынады.

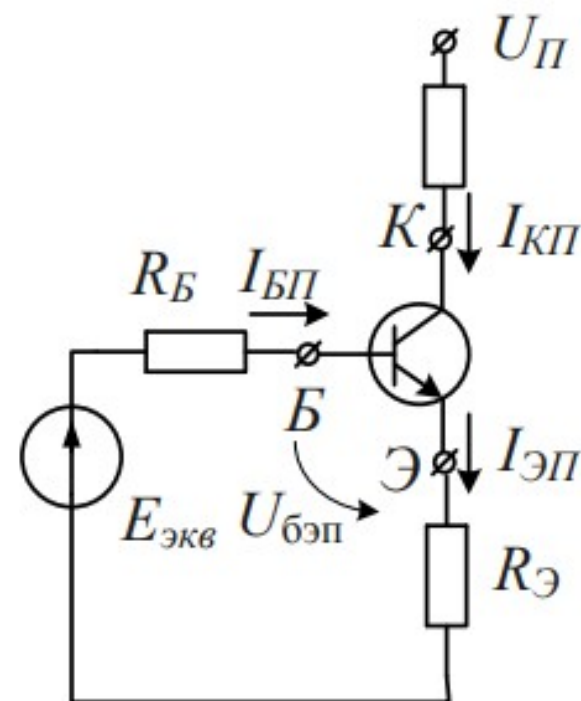


2.10-сурет. Жоғары жиіліктегі транзистордың алмастыру схемасы

Биполярлы транзисторға негізделген күшейткішті есептеу



2.12-сурет. Жалпы эмиттер схемасындағы күшейтуші транзисторлық каскад



2.13-сурет. Кіріс тізбегінің эквиваленттік схемасы

Тыныштық режимін есептеу

1. Кіріс тізбегінің эквиваленттік схемасын құрастырамыз (Сурет 2.13).

$$E_{\text{ЭКВ}} = \frac{U_{\text{П}} \cdot R_{\text{Б2}}}{R_{\text{Б1}} + R_{\text{Б2}}} \quad R_{\text{Б}} = \frac{R_{\text{Б1}} \cdot R_{\text{Б2}}}{R_{\text{Б1}} + R_{\text{Б2}}}$$

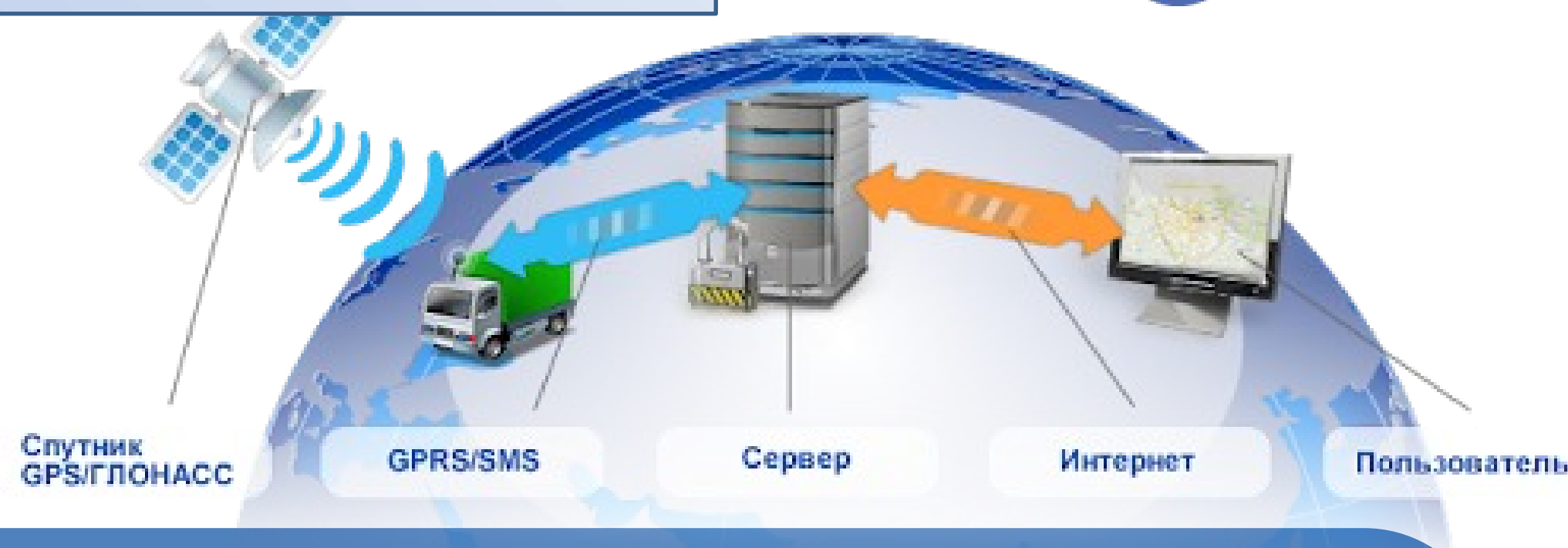
Алынған мәліметтер: $E_{\text{ЭКВ}} = 5\text{В}$, $R_{\text{Б}} = 50\text{кОм}$

Кіріс тізбегі бойынша екінші Кирхгоф заңы бойынша:

$$E_{\text{ЭКВ}} = I_{\text{БП}} R_{\text{Б}} + U_{\text{БЭ}} + I_{\text{ЭП}} R_{\text{Э}}$$

$$\text{Алайда: } I_{\text{ЭП}} = I_{\text{БП}} + I_{\text{КП}} = I_{\text{БП}} + h_{21\text{Э}} I_{\text{БП}}$$

Қорытынды:



Биполярлық транзисторлар — тоқты басқаруға негізделген жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар электрондық құрылғыларда кеңінен қолданылады, әсіресе күшейткіш схемаларда. Транзистордың сызықтық, қанығу, кесу және кері режимдерде жұмыс істеуі оның схемадағы функциясын анықтайды. Күшейткіш режимінде транзистор әлсіз сигналдарды күшейтіп, ақпаратты өңдеуге, таратуға мүмкіндік береді. Қазіргі таңда биполярлық транзисторлар байланыс құралдарында, аудио және видео техникада, автоматтандыру жүйелерінде маңызды рөл атқарады.

Бақылау сұрақтары

1. Биполярлық транзистордың құрылымы неден тұрады?
2. n-p-n және p-n-p транзисторларының айырмашылығы қандай?
3. Транзистордың негізгі үш электродын атаңыз және олардың қызметін түсіндіріңіз.
4. Эмиттер тогы, база тогы және коллектор тогы арасында қандай байланыс бар?
5. Биполярлық транзистордың жұмыс режимдерін атаңыз.
6. Ортақ база схемасының ерекшелігі қандай?
7. Ортақ эмиттер схемасы күшейткіш ретінде не үшін қолданылады?
8. Ортақ коллектор схемасының (эмиттерлік қайталағыш) қолданылу аймағы қандай?
9. Транзистордың h -параметрлері қандай физикалық мәндерді сипаттайды?
10. Күшейткіштің статикалық жұмыс нүктесі қалай анықталады?
11. R_Э резисторы теріс кері байланыс беруде қандай рөл атқарады?
12. Блоктау конденсаторының функциясын түсіндіріңіз.
13. Күшейткіштің кіріс және шығыс вольт-амперлік сипаттамалары қалай алынады?
14. Транзистордың β (h_{21}) параметрі нені сипаттайды?
15. Транзистордың эквивалентті схемалары қандай жағдайларда қолданылады?
16. Жиілік сипаттамасы бойынша күшейткіштің өткізу жолағы қалай анықталады?
17. Эмиттердегі блоктаушы конденсатордың әсерін қалай түсіндіруге болады?
18. Жүктемелік сызық әдісі нені анықтауға қолданылады?
19. Күшейткіштің күшейту коэффициенті қалай есептеледі?
20. Қазіргі электроникада биполярлық транзисторлардың қолдану аймақтарына мысалдар келтіріңіз.

Назарларыңызға рақмет!

