

# Ынтымақты Транзисторлар

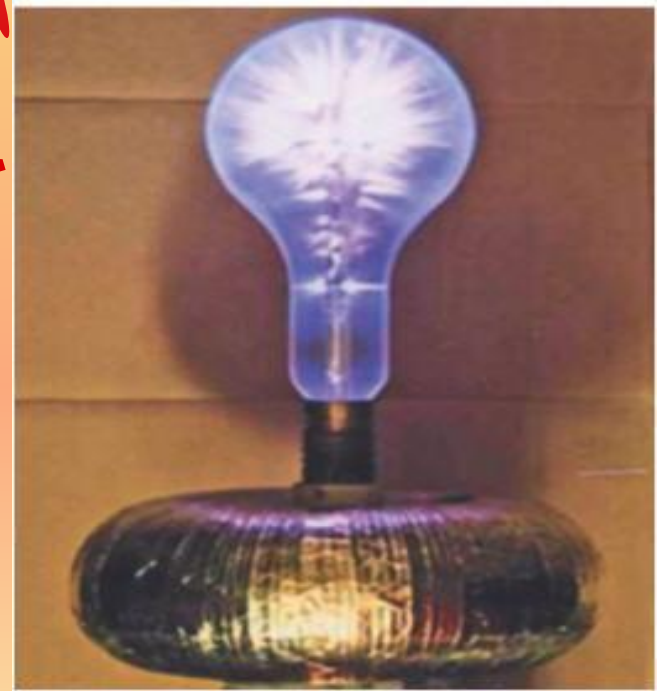
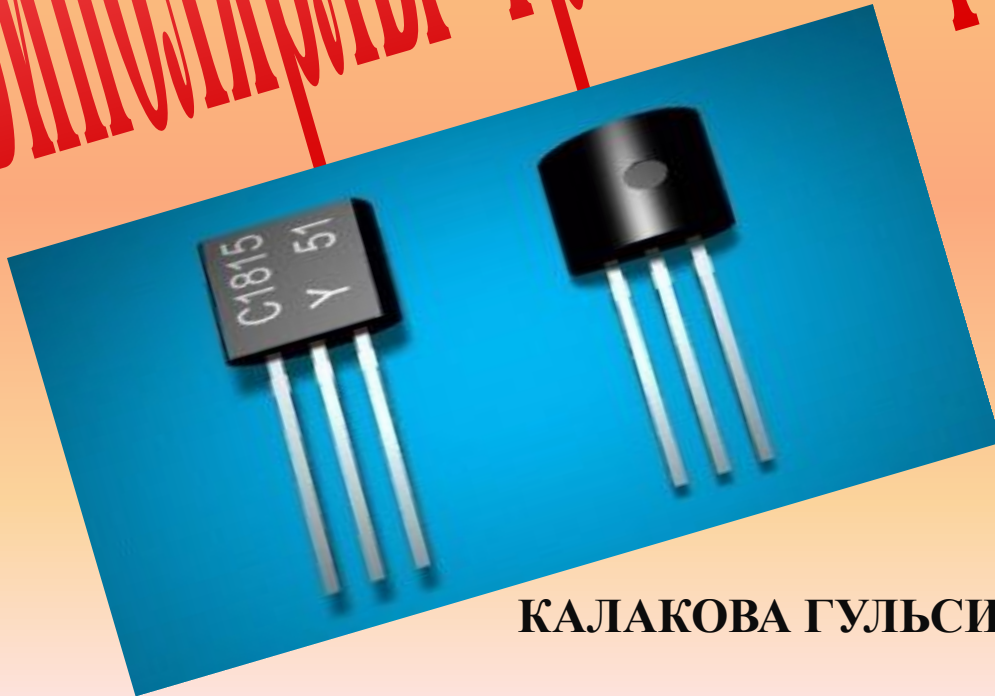
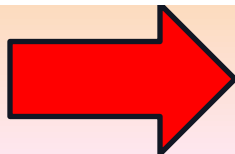


Рис. 9. Плазменный шар из лампы накаливания

КАЛАКОВА ГУЛЬСИМ КАБДУЛОВНА

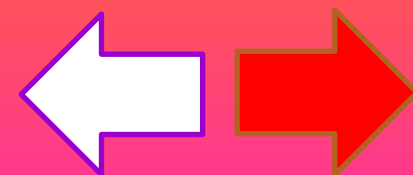




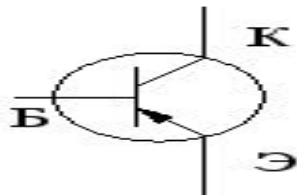
## Жоспар:

- Биполярлы транзисторлардың құрылымы мен Әрекет Ұстанымы.
- 2. Транзисторлардың жұмыс режимдері
- 3. Биполярлы транзистордың динамикалық сипаттамалары.
- 4. Джиаколеттоның орын басу сызбанұсқасы

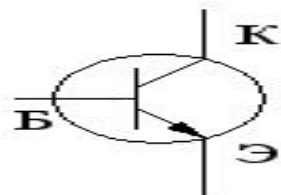
Биполярлы транзистор деп р-п-өткелінде өзара әрекеттесетін жартылайөткізгішті құрал аталады. Биполярлы транзисторды дайындау технологиясы әр түрлі болуы мүмкін-балқыту, диффузия, эпитаксия, — бұл маңызды түрде аспаптың сипатамасын анықтайды.



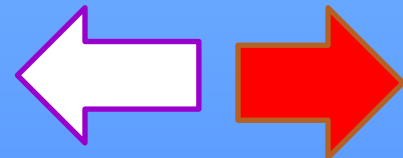
Өткізу жолдары әр түрлі n-p-n-транзисторлары мен p-n-p-транзисторын анықтайды. Жазық n-p-n-транзисторының жеңілдетілген құрылығысы 4.1 а, суретінде көрсетілген, оның шарты белгісі—4.1 б суретінде, ал оны ауыстыру сызба нұсқасы — 4.1 в суретінде бейнеленген. p-n-p-транзисторының аналогты ұстанымы 4.1 г, д, е суретінде көрсетілген.

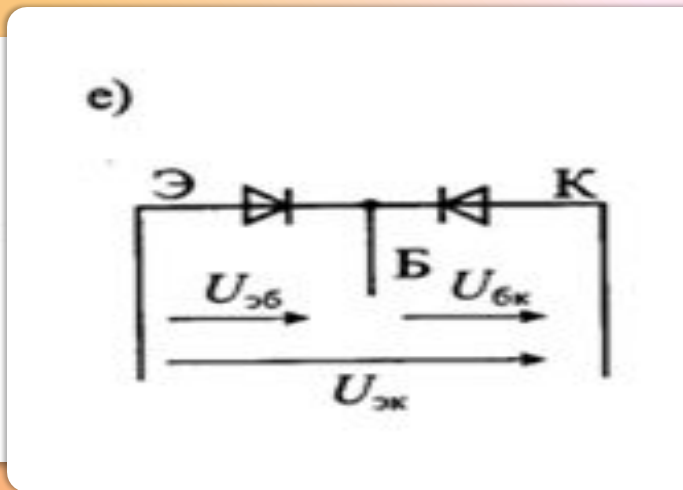
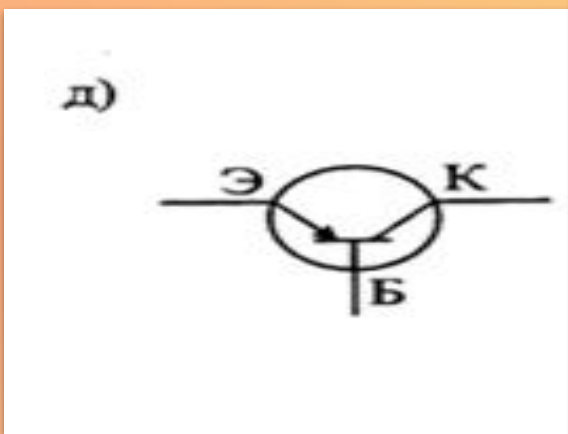
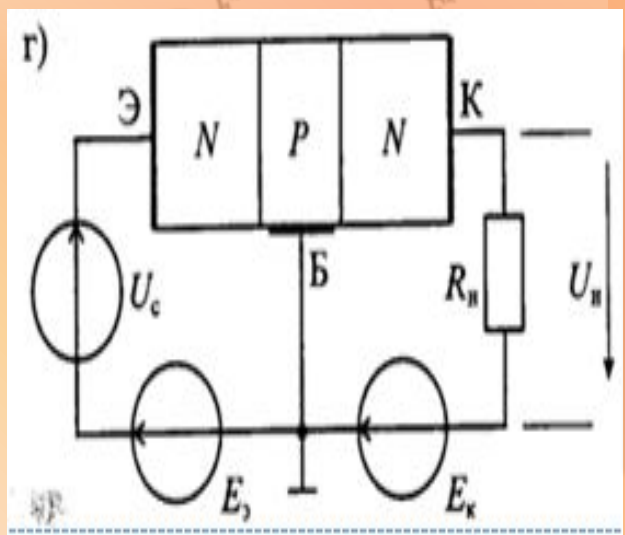
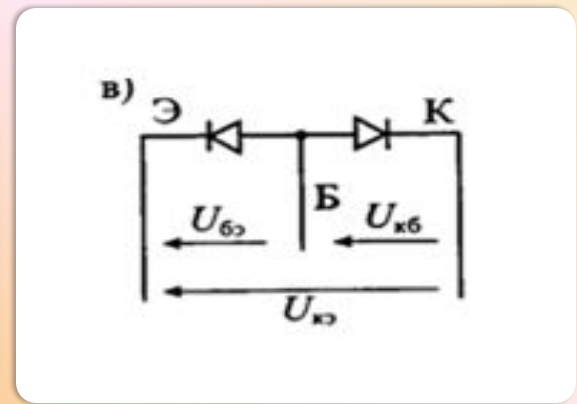
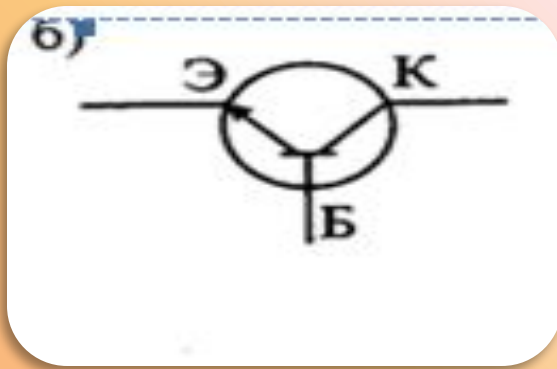
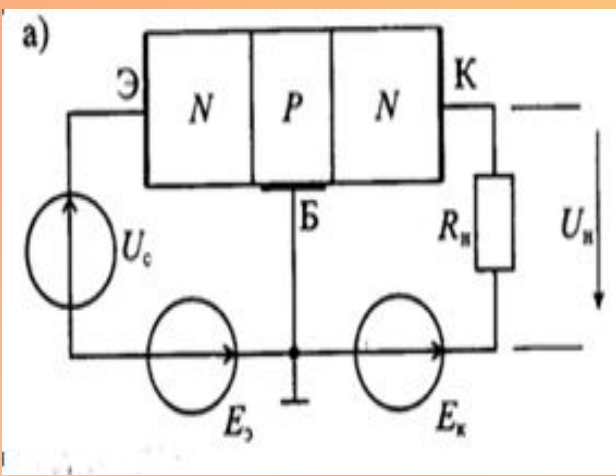


**npn**



**pnп**





Сурет 4.1 n-p-n-транзисторының құрылғысы(а), оның схематикалық бейнесі (б) және орын ауыстыру сызбасы (а).

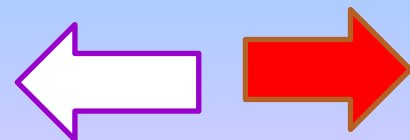
p-n-p-транзисторының құрылғысы(г), оның схематикалық бейнесі (д) және орын ауыстыру сызбасы (е).

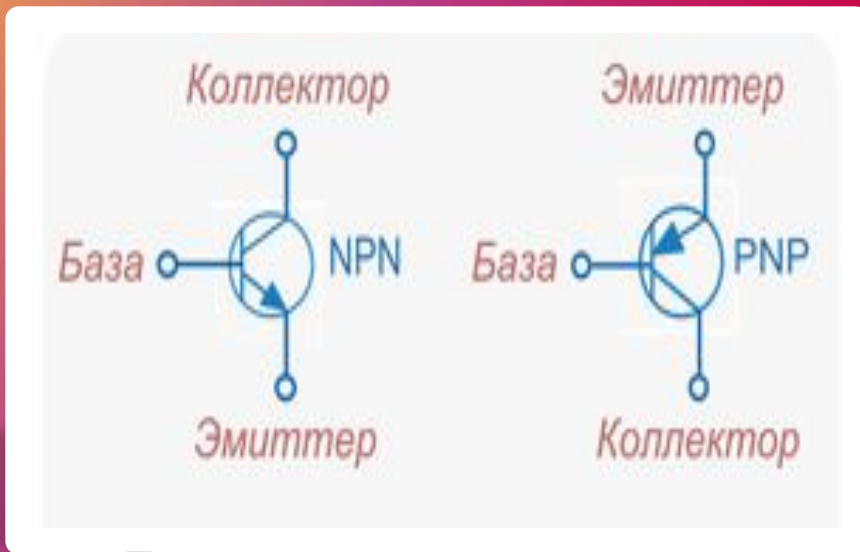
**ТРАНЗИСТОДЫҢ ЖҰМЫС ТӘРТІБІ**

**артқа**

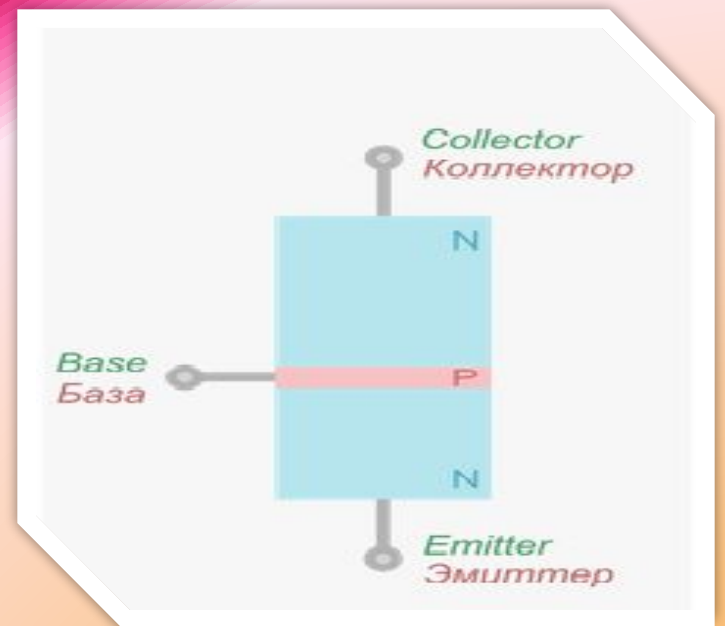


Қаралып жатқан құрылымдардың ортаңғы бөлігі база деп, бір шеткі бөлігі – коллектор, ал басқа бөлігі - эмиттер деп аталады. Симметриялы емес құрылымдарда электродтың базасы эмиттерге жақын орналасады, ал базаның ені транзистордың жиілікті диапазонына байланысты және жиіліктің өсуіне байланысты азаяды. Транзистордың электродтарына салынған полярлы кернеулерге байланысты оның келесідей жұмыс тәртібін айқындайды: сызықты (күшейткіш), қанықтыру, кесілген және өзгерту.

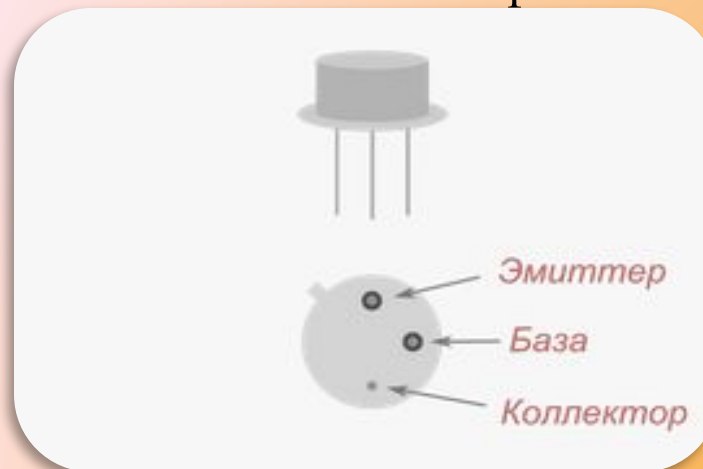




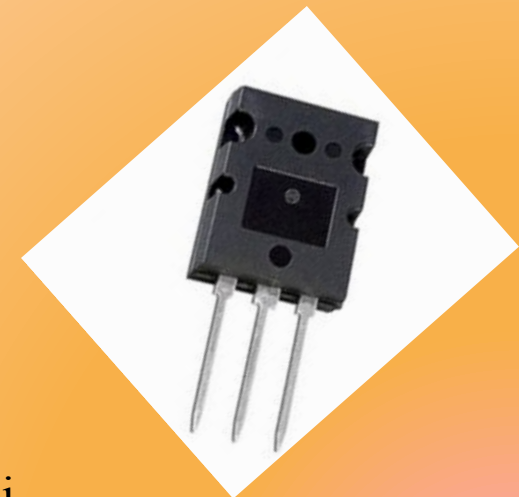
Биполярлы транзистордың  
сызбада көрсетілуі



Биполярлы транзистордың  
физикалық моделі

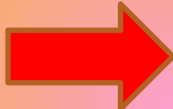


Биполярлы транзистордың ортақ түрі



**МЕНЮ**

**артқа**



# ТРАНЗИСТОДЫҢ ЖҰМЫС ТӘРТІБІ



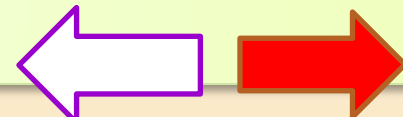
*сызықты жұмыс* тәртібінде эмиттерлі өткел тура бағытқа жылжытылған, ал коллекторлы-кері бағытта.

*қанығу жұмыс* тәртібінде екі өткелде тура бағытқа жылжытылған, *кесілген* тәртіпте – кері бағытта.

*өзгерту* тәртібінде коллекторлы өткел тура бағытқа жылжытылған, ал эмиттерлі-кері бағытта.

Қаралған тәртіп түрлерінен басқа да бөлек бір түрі бар, бірақ бұл жұмыс тәртібі емес, ол апаттық- ақау режимі.

(4.1 сурет)

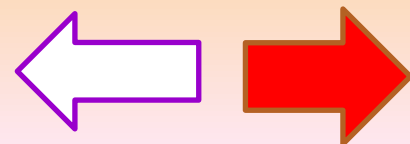




Транзистордың жұмысы оның өткелдеріне салынған кернеулерге байланысты электродтардың токтарын басқаруға негізделген. Сызықты режимде, база-эмиттер өткелі оған салынған кернеуге байланысты ашық болады, ол арқылы  $I_{\phi}$  ток базасы ағып өтеді. Ток базасының ағып өтуі база бөлігінен коллектор бөлігіне зарядтардың ығысуына әсер етеді, коллектор тогы былай анықталады, мұндағы  $V$ -ток базасының коэффициенті. Эмиттерлі өткелдегі тура кернеу  $U_{\phi\epsilon}$  **Эберса — Мола** теңдеуіндегі коллектор тогымен байланысты

$$i_k = I_{\text{кб.е}} \left( e^{u_{\phi\epsilon} / \phi_e} - 1 \right) \quad (4.1)$$

Мұнда  $I_{\text{кб.о}}$  — коллектор өткелінің кері тогы,  $\phi_{\text{т}}$  — жылулық шама.



(4.1) теңдеуінен эмиттерлі өткелдің тура жылжуынан және шартының орындалуынан коллектор тогы  $U_{бэ}$  кернеумен бірге экспоненциалды заң бойынша өсетінін байқауға болады:

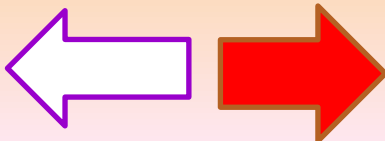
$$i_k = I_{кб,б} \left( e^{U_{бэ} / \varphi_t} - 1 \right)$$

мұнда — шамалардың іргелес айырымы.

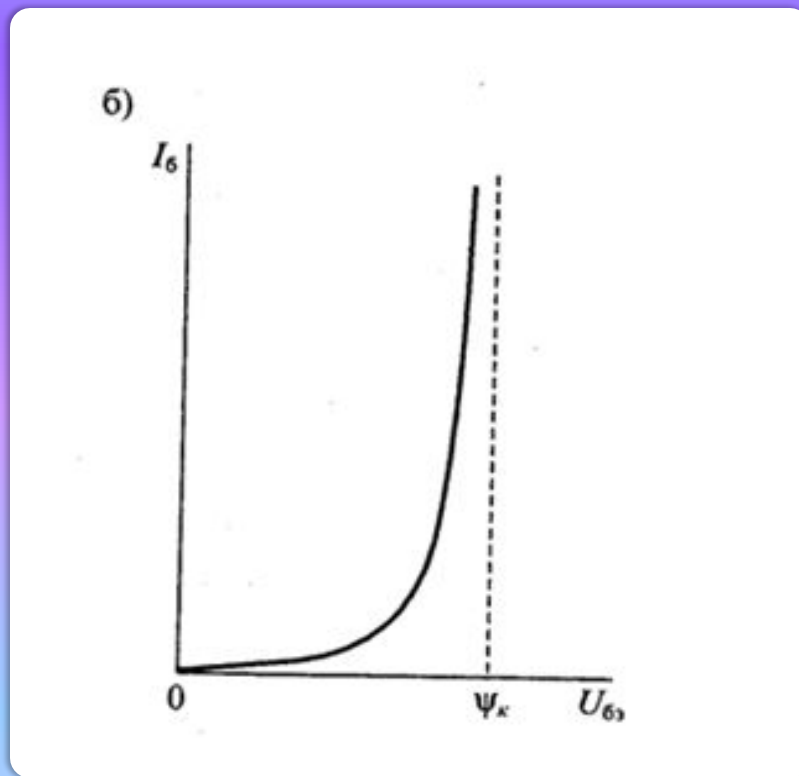
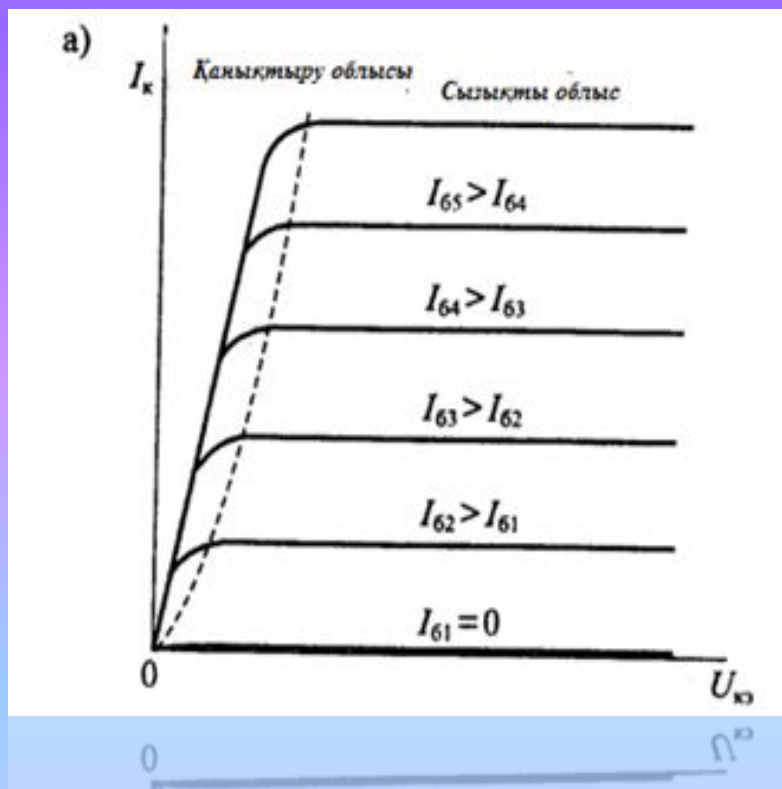
Эмиттерлі өткелдегі кернеудің кереғарлығын өзгерткенде транзистор бұзылу режиміне көшеді және коллектор тогы коллекторы өткелдің  $I_{к,обр} = I_{кб,о}$  кері тогына тең. (4.1) теңдеуінен эмиттерлі өткелдегі кернеуді табу оңай:

$$U = \varphi_T \ln(i_k / I_{кб,о} + 1)$$

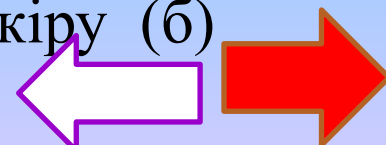
(4.3)



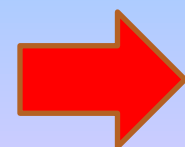
Транзистордың вольтамперлі сипаттамалары 4.2 а суретінде көрсетілген. Бұл сипаттамаларда сызықты бөлік штрихті сызықпен белгіленген. Егер де коллектордегі кернеу барынша үлкен және штрихті сызықтың шегінен шықса, онда транзистор сызықты бөлікте орналасады.

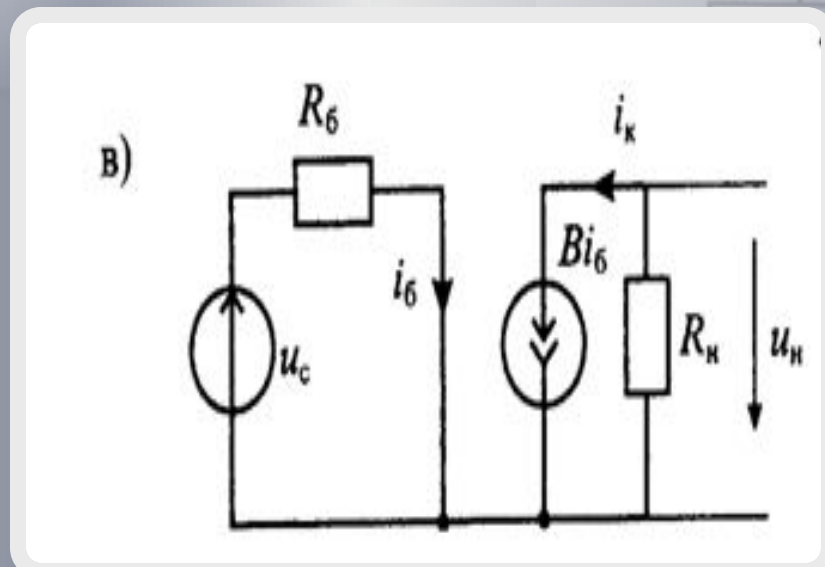
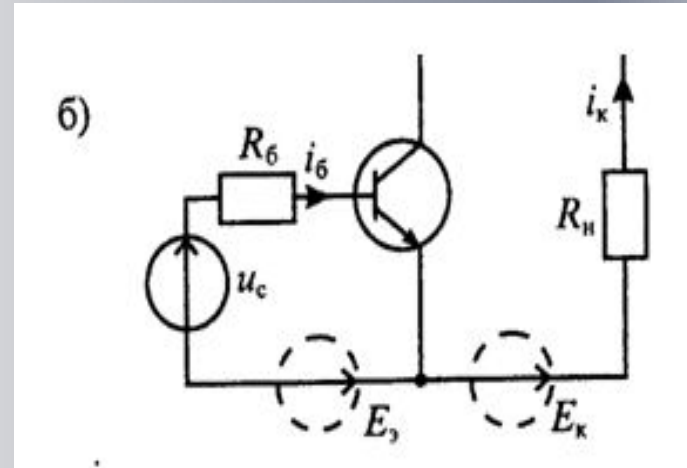
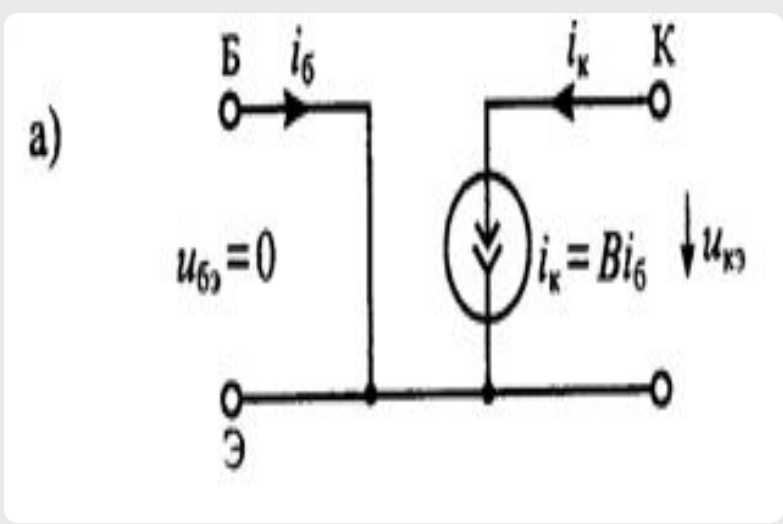


Сурет 4.2 Биполярлы транзистордың шығу(а) және кіру (б) жолдарының сипаттамалары

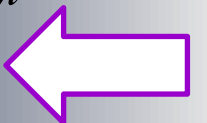
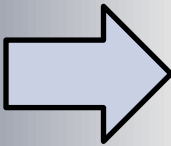


Транзистор сипаттамаларының кейбір ерекшеліктері сызықты бөлігінде орналасқан. **Біріншіден**, коллектор тогының өсуі ток базасының өзгеруіне пропорционалды. **Екіншіден**, коллектор тогы коллектрдегі кернеуге тәуелсіз. (4.1 теңдеуіне сәйкес, бұндай тәуелділік мүлдем жоқ). **Үшіншіден**, базадағы кернеу коллектордағы кернеуге мүлдем тәуелді емес және ток базасынан да тәуелсіз. Сонымен, сызықты режимде ток базаларының кішкене өсулері үшін транзисторды ток базасымен басқарылатын коллектор тогымен алмастыруға болады. База мен эмиттер арасына түсетін кернеуді ескерілмесе, онда бұл кезеңді қысқа тұйықталу деп атайды. Сызықты режим үшін транзистордың қарапайым үлгісін қолдануға болады, ол 4.3 а суретінде келтірілген.





артқа



Сурет 4.3. Биполярлы транзисторды орын ауыстырудың қарапайым сызбасы (а), күшейткіш каскадтың сызбасы (б) және есепті сызба (в)

Бұл үлгіні қолдана отырып [4.3 б](#) суретінде көрсетілген каскадтың күшейткіш коэффициентін оңай есептеуге болады. Транзисторды оның үлгісімен ауыстыру арқылы, 4.3 в суретінде бейнеленген эквивалентті сызбанұсқаны аламыз. Бұл сызба үшін табамыз:

$$i_k = U_c / R_b$$

$$i_k = B i_b$$

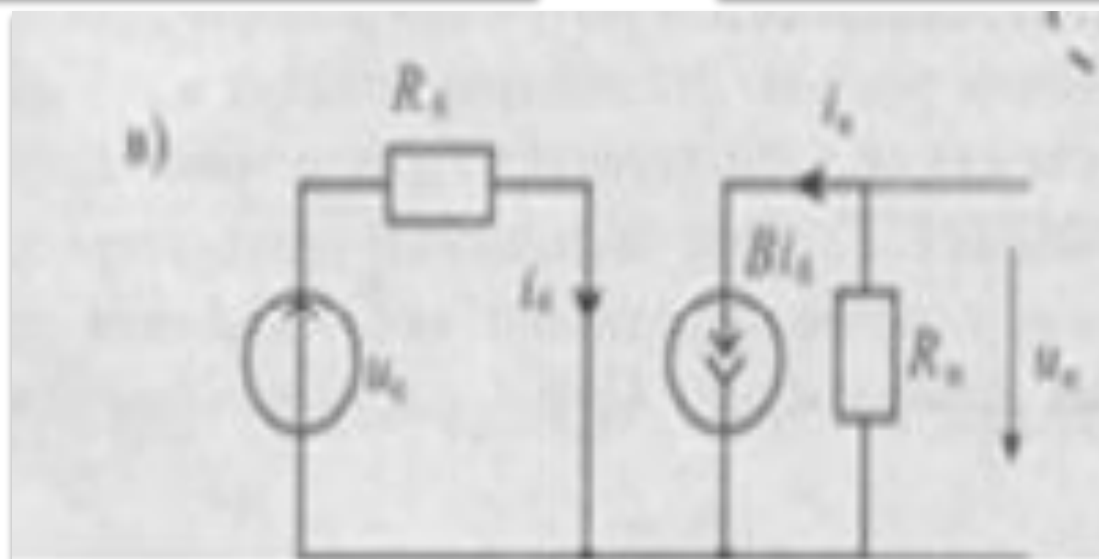
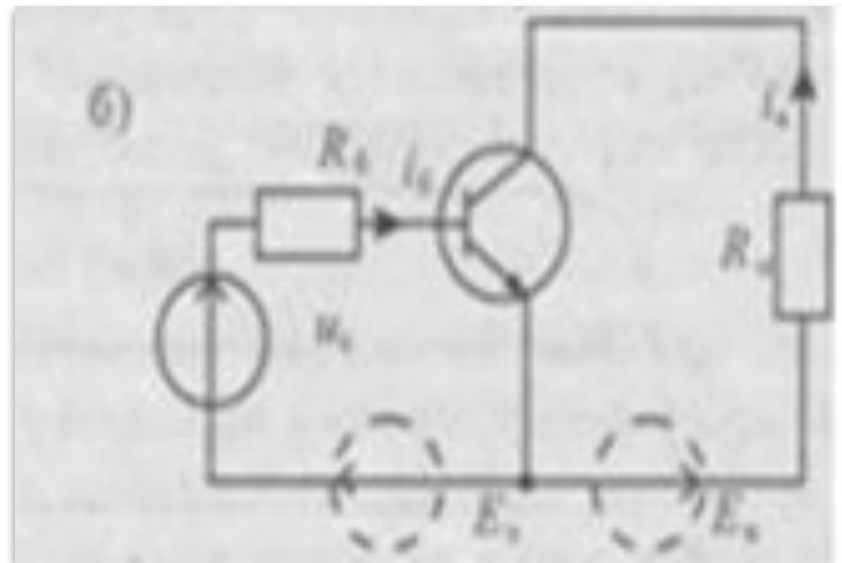
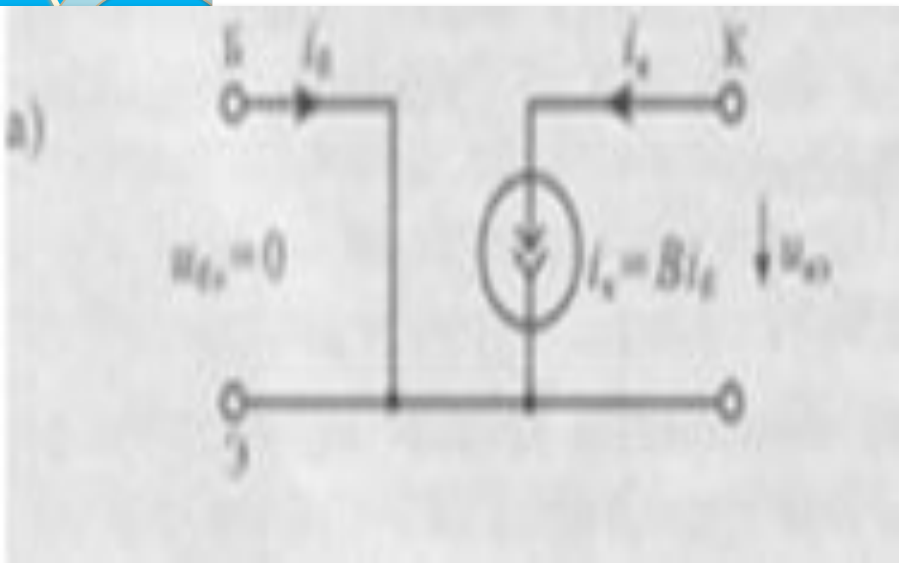
$$u_n = I_k R_n = B i_b R_n i_k$$

Мұнда  $u_n = u_c B R_n / R_b$  немесе  $K_u = R_n / R_b B$

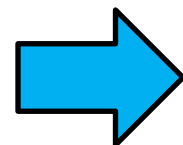
Егер есептеуді нақтырақ істеу керек болса, онда транзистор үлгісіне басқа параметрлерді егізу арқылы күрделендіруге болады, сызбанұсқаны құрған кездегі есепке алынбағандар, 4.3 а суретінде көрсетілген. Биполярлы транзистордың нақтыланған үлгісі 4.4 суретінде көрсетілген.



**4.4.сурет. биполярлы транзистордың H-шамадағы орын ауыстыру сызбасы.**



артқа

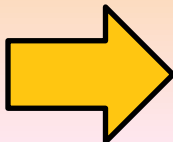


Бұл сызбанұсқаға Н-шамалардағы транзистордың теңдеуі деп аталатын теңдеу сәйкес келеді:

$$\begin{cases} u_{\text{сз}} = H_{11}i_{\text{б}} + H_{12}u_{\text{кз}} \\ i_{\text{к}} = H_{21}i_{\text{б}} + H_{22}u_{\text{кз}} \end{cases}$$

$$H_{12} = u_{\text{сз}} / u_{\text{к}}, \quad H_{22} = i_{\text{к}} / u_{\text{кз}} \quad (4.4)$$

теңдеулер жүйесінде көрсетілген шамалардың физикалық мағынасын сызбаға бөлек енгізу мен оның шығуында қысқа тұйықталу режимін қолдану арқылы оңай анықтауға болады. Бөлек енгізу кезінде  $I_{\text{б}}=0$ , бұл жерден екі шаманы табамыз.(4.5).

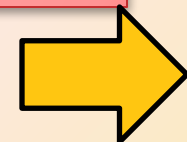


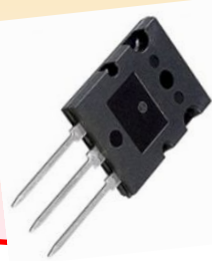


Шығу кезінде қысқа тұйықталуда басқа екі шаманы ( $u_{кэ} = 0$ ) табуға болады:

$$H_{11} = u_{сэ} / i_{с} \quad H_{21} = i_{к} / i_{с}$$

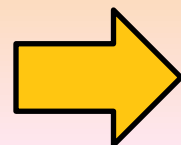
Бөлек енгізу кезінде шамалар (4.5) теңдеуімен сәйкесінше былай белгіленеді:  $H_{12}$  — бағыты бойынша кері жіберу және  $H_{22}$  — шығатын бөлік. Қысқа тұйықталу шамалары (4.6) — мен анықталады және мына мәнге ие:  $H_{11}$  — кіретін кедергілер,  $H_{21}$  — ток бойынша тікелей жіберу. Алынған транзистор шамаларының жүйесі 4.3 а суретінде көрсетілген орын басу сызбанұсқасына сәйкестендірілген.  $H_{11} = H_{12} = H_{22} = 0$  болса, онда 4.4 суретіндегі сызбанұсқа орнына 4.3 а суретіндегі сызбанұсқаны аламыз,  $V = H_{21}$ .



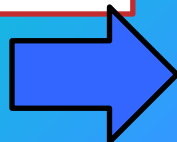


Сызықты режимнен қанықтыру режиміне өту үшін ток базасын коллектордегі кернеудің мәнін коллекторлі өткелде ашылуы болғанға шейін өсіру керек. Бұндай жағдай 4.3 б сызбасында коллекторлі тізбекте  $R_H$  кернеуі қосылғанда болуы мүмкін. Бұл жағдайда  $I_{\bar{6}}$  ток базасының өсуі коллектор тогының  $I_K$  өсуіне алып келеді. Нәтижесінде,  $R_H$  жүктемесі үшін кернеудің түсуі артады және  $u_{кэ}$  коллекторінде түсетін кернеу азаяды. Транзисторды қанықтырудың негізгі шарты кернеудің нолге теңдігі :

$$u_{к\bar{6}} = u_{кэ} - u_{,бэ} = 0 \quad (4.7)$$



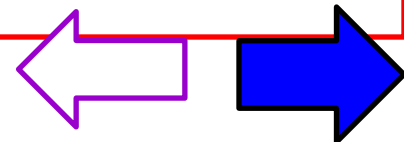
Транзисторды тереңірек қанықтыру кезінде  $u_{кб} > 0$  шарты орындалады. Қанықтыру режимінде базада шығынды ток ағып шығады, яғни транзистордың сызықты режимде жұмысы кезінде коллектор тогын алу үшін керек мәнді ток базасы нормасынан асырады.  $u_{кб} = 0$  шартының орындалуын әдетте шекті режим деп атайды, өйткені ол транзистордың сызықты режимнен қанықтыру режиміне өтуін сипаттайды. Транзисторды қанықтырудың маңыздылығын қанықтыру коэффициентімен сипатталады.

$$q = I_{б.нас} / I_{б.гр} \quad (4.8)$$


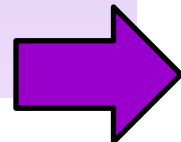
Транзисторды қанықтыру кезінде базаға транзисторды сөндіруді тежейтін негізгі емес көптеген тасымалдаушылар жинақталады. Қанықтыру режимінде коллектор мен эмиттер арасындағы кернеу біршама аз болғандықтан, онда бұл режимде транзисторды үлкен кернеу түсетін тұйық кілтпен алмастыруға болады. Қанықтыру режиміндегі транзистордың орын басу сызбасы 4.5 а суретінде көрсетілген. Бұл сызбаға сәйкес кернеу мына формуламен анықталады:

$$U_{кэ.нас} = I_{к} R_{нас} + E_{н} \quad (4.9)$$

мұнда қанықтырылған кілттің кедергісі,  $E_{п} = 0,5...0,1В$ . Анықтамалық деректерде транзисторларға берліген коллектор тогы үшін мәні беріледі. Қанықтырылған кілттің кедергісі  $E_{п} = 0,5...0,1В$ . Анықтамалық деректерде транзисторларға берліген коллектор тогы үшін мәні беріледі.

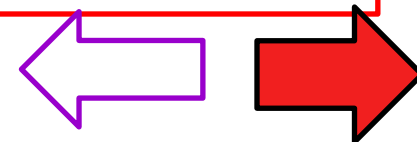


Биполярлы транзистордың басқа кілтті режимі- кесінгіштік режим болып табылады. Транзисторды кесінгіштік режимге база мен эмиттер арасындағы қосымша кері кернеу көмегімен ауыстыруға болады. Бұл жағдайда шекті режим  $u_{бэ} = 0$  шартын орындау. Транзисторды кесінгіштік режимде орын басу сызбанұсқасы 4.5б суретінде келтірілген тұйық кілтпен алмастыруға болады. Осы сызбанұсқаға сәйкес транзистор кесінгіштік режимде үлкен кедергіге  $R_0$  және оған параллель қосылған генераторға . ие. 4.2а суретінде келтірілген кесінгіштік режимі үшін  $I_δ = 0$  кезінде көлденең сызық сәйкес. Анықтамалық деректерде транзистордың кесінгіштік режимінде кері ток ол –коллектор мен эмиттер , база мен эмиттер арасына қосылған коллекторге берілген кернеу мен кедергі R.

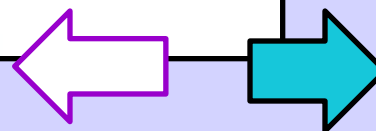
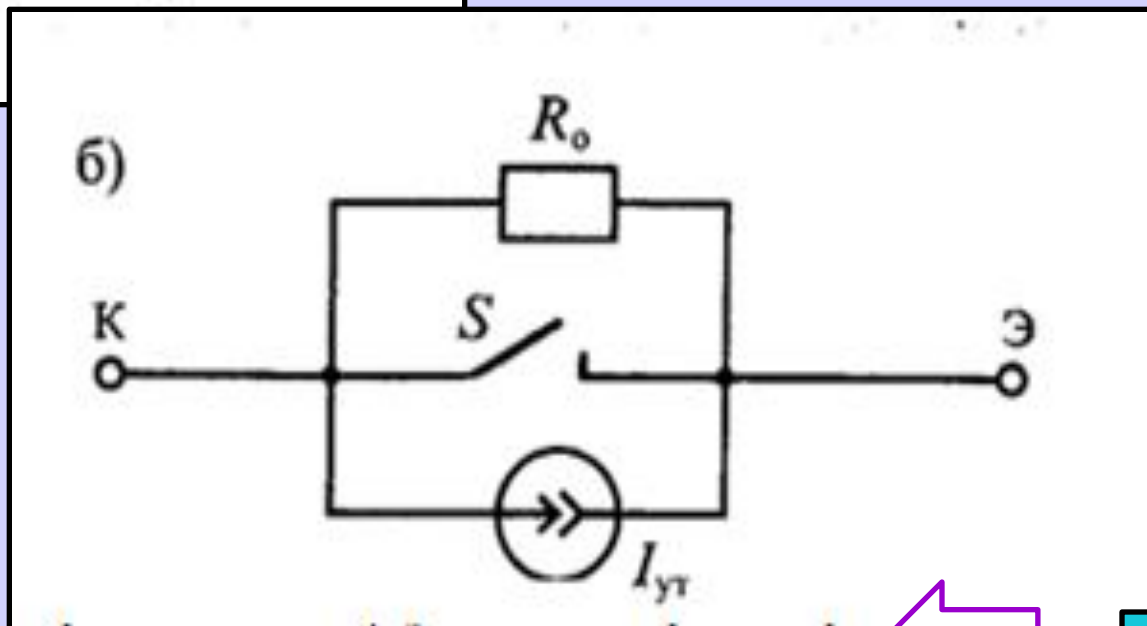
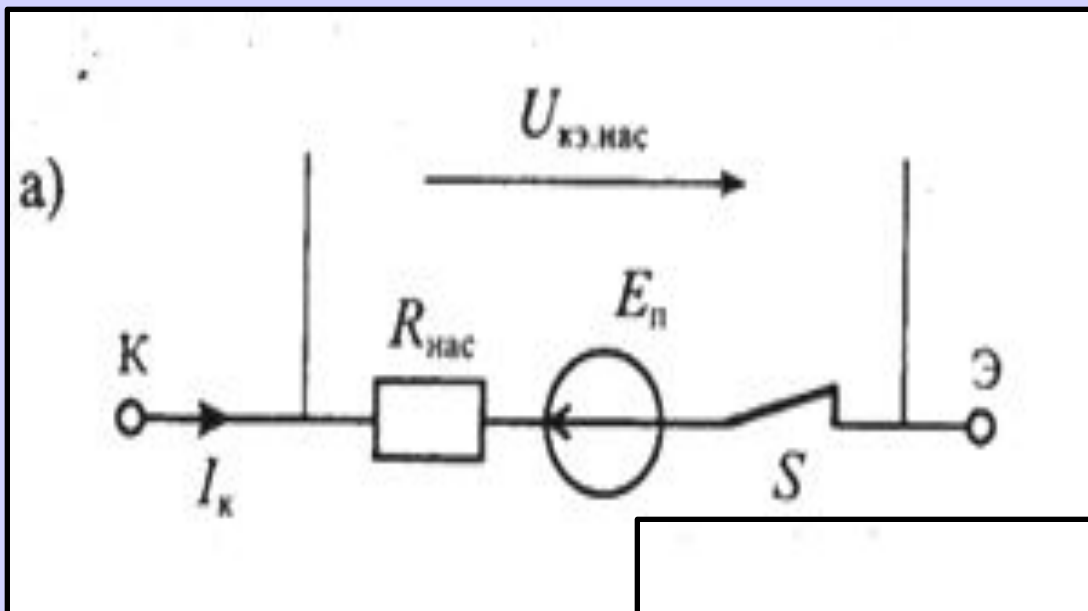


Осылай, транзистордың екі кілтті режимі- қанықтыру және кесінгіштік режимдер- транзисторды жабық және ашық кілт ретінде қолдануға мүмкіндік береді S. Орын басу (сурет 4.5) сызбанұсқасындағы басқа шамалар транзистор кілтінің кемшіліктеріне сәйкес.

Транзисторлы кілттер әр түрлі электронды құрылғыларда кең қолданылады: сигналдарды коммутациялау кезіндегі өлшеулер жүргізу үшін, жиіліктерді түрлендіргіштер және т.б. Осы түрлендірулердің барлығында транзистор кезек-кезек қанықтыру режимінен кесінгіштік режиміне өтеді.



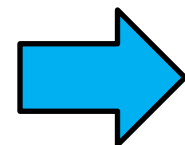
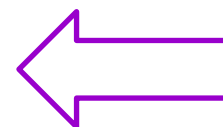
Сурет 4.5 Қанықтыру (а) және кесіп тастау (б) режиміндегі транзистор кілтінің орын ауыстыру сызбасы



Транзистор жұмысының соңғы режимі өзгеру деп аталады, бұл кезде коллекторлы өткел тура бағытпен араласады, ал эмиттерлі кері бағытпен. Бұл режимде коллектор мен эмиттер орындарымен ауысады және коллектор ролін эмиттер атқарады. Егер транзистор симметриялы емес болса, онда өзгеру режимінде транзистордың күшейткіш қасиеті төмендейді. Бұл жағдайда транзистор симметриялы болып өзгереді және оның күшейтілуі коллектор мен эмиттерді ауыстыру кезінде мүлдем өзгермейді. Осындай транзисторларда коллектор мен эмиттер бірдей қасиетке және геометриялық өлшемдерге ие, сондықтан олардың кез келгені эмиттер немесе коллектор сияқты жұмыс істей алады.

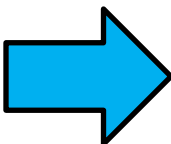
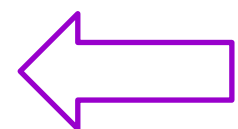
Симметриялы транзисторлар үшін өзгеру режимі мен сызықты режиміндегі сипаттамалары ұқсас.

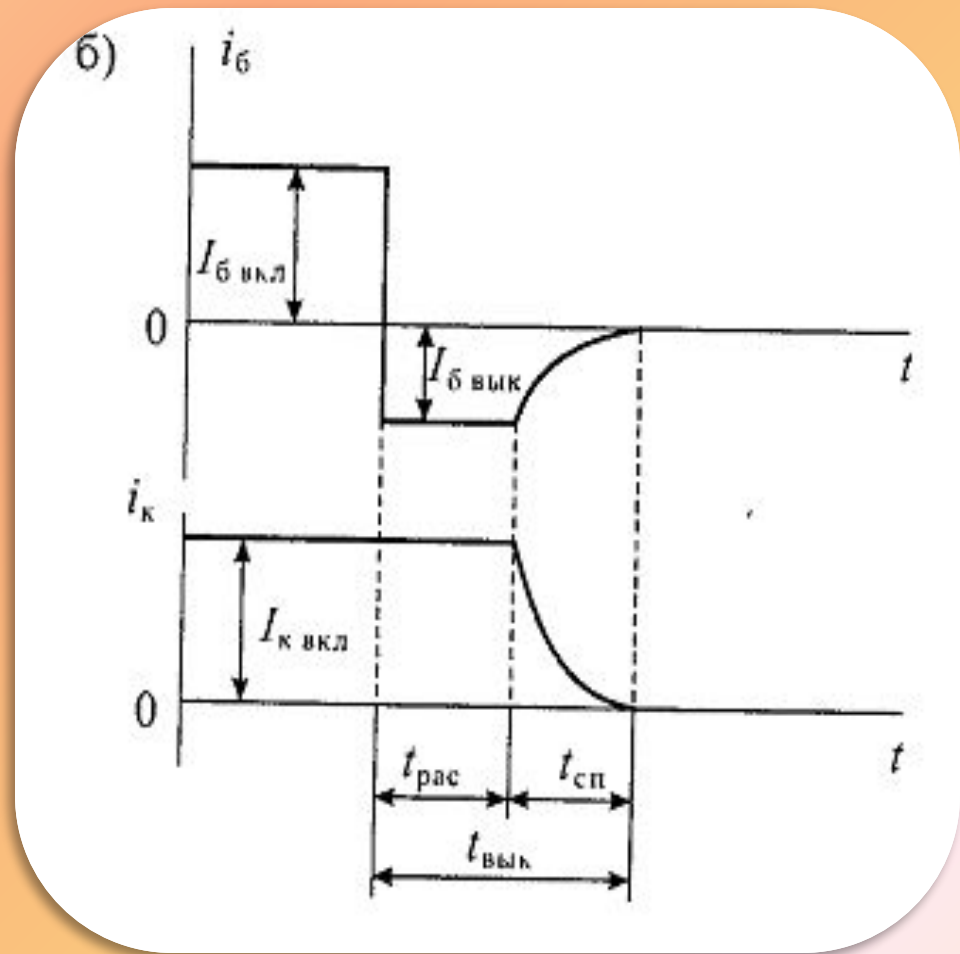
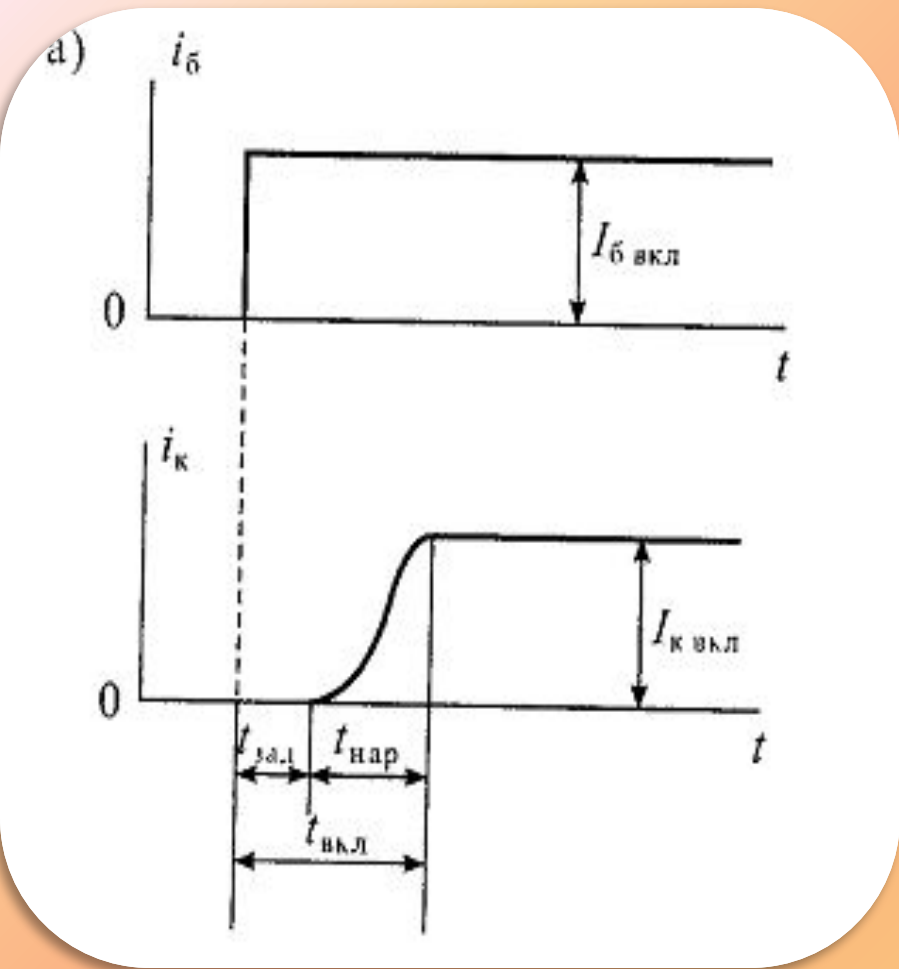
**МЕНЮ**



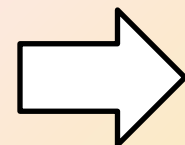
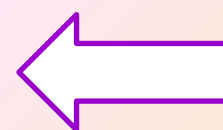


**Биполярлы транзистордың динамикалық сипаттамалары.** Транзистордың динамикалық сипаттамасы оның сызықты және кілтті режимдегі іс-әрекетін әр түрлі сипаттайды. Кілтті режим үшін транзисторды бір күйден екінші күйге ауысу уақыты өте маңызды. Сол сияқты күшейткіш режим үшін транзистордың әр түрлі жиіліктегі сигналдарды арттыру мүмкіндігін көрсететін қасиеттері маңыздырақ.





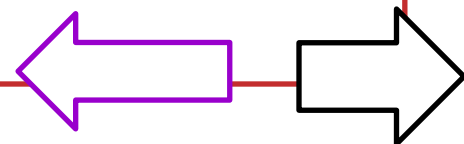
Сурет 4.6 Транзисторды қосу (а) мен сөндіру (б) кезінде



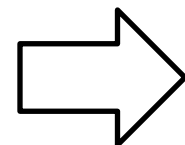
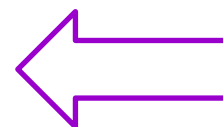
Транзистор кілтінің сөндіру мен қосу үрдістері 4.6 суретінде көрсетілген. Транзисторды қосу кезінде (сурет 4.6а) оның базасына токтың тіктөртбұрышты импульсі беріледі.

Коллектордың тогы тұрақты орнатылған мәнді базаға токты жібергеннен кейін бірден алмайды. аздаған кідіру уақытынан кейін коллекторда ток пайда болады. Сосын коллектордағы ток бірте-бірте артады және уақытынан кейін тұрақты орнатылған мәнге ие болады  $I_{к.вкл} t_{вкл} = t_{зад} + t_{нар}$  (4.10)

мұнда,  $t_{вкл}$  транзисторды қосу уақыты. Транзисторды сөндіру кезінде оның базасына кері кернеу жіберіледі, соның нәтижесінде ток базасы өзінің бағытын өзгертеді және тең болады. Базада жанама заряд тасушылардың сорылу үрдісі жүріп жатқан кезде, бұл ток өзінің мәнін өзгертпейді. Бұл кез сорылу уақыты деп аталады. Сорылу үрдісі аяқталған кезде ток базасы азаяды, және ол уақытына шейін жалғасады.

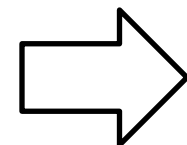
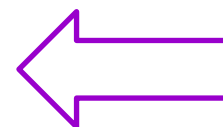


Сорылу уақыты транзисторды сөндіру алдында оны қанықтыру дәрежесіне байланысты. Сөндірудің ең төменгі уақыты қанықтырудың шекті мөлшерінде болады. Сорылу үрдісін жылдамдату үшін базаға базадағы кері кернеуге тәуелді болатын кері токты жібереді. Бірақ та базаға үлкен кері кернеуді салуға болмайды, өйткені база-эмиттер өткелінде ақау болуы мүмкін. Ең үлкен кері кернеу әдетте 5...7В-тан аспайды.

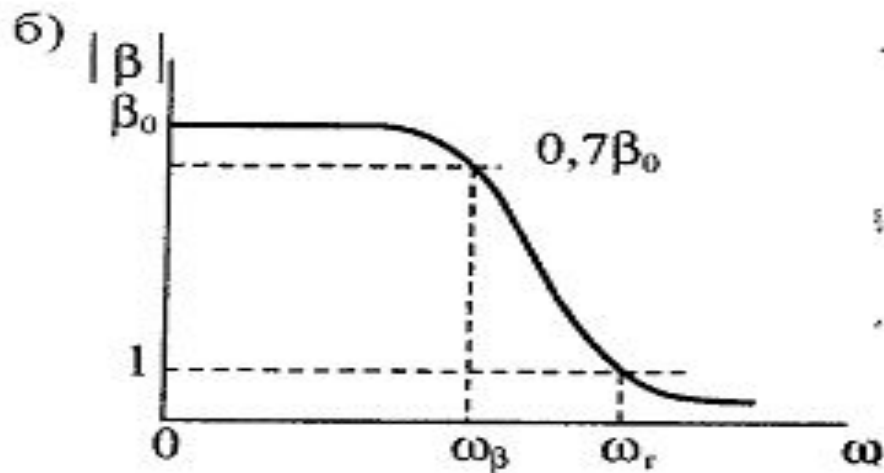
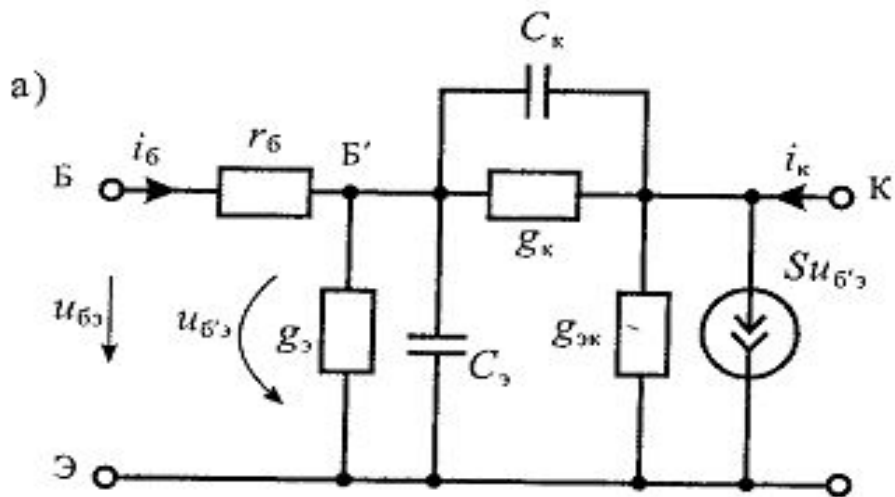


Егер транзистор базасына бекіту үрдісінде кері кернеу салынбаса, (мысалы, база эмиттерге тұйықталса) онда транзистордың бұндай бекітілуі бейтарап деп аталады. Бейтарап бекітілу кезінде сорылу уақыты біршама көбейеді, ал кері ток базасы азаяды. Ток коллекторының тіктөртбұрыш импульсінің ток базасына берілу кезіндегі пішіні 4.7 суретінде бейнеленген. Бұл суреттен ток коллекторының импульсінің пішіні фронт ұзақтығын созу есебінен ғана емес, импульстің өзі уақыт ұзақтығына байланысты  $t_{рас}$  артады. Анықтамалық деректерде қосу, құлдырау және сорылу уақыт мөлшерлерін көрсетеді. Ең тез деген транзисторлар үшін сорылу уақыты 0, 1... 0, 5 мкс, бірақ та көптеген күшті транзисторлар үшін 10 мкс-ке дейін жетеді.

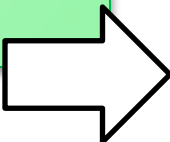
**МЕНЮ**



Күшейткіш режимде транзистордың динамикалық қасиетін қосу немесе сөндіру уақытымен емес, ал оның жиілікті қасиеттерімен сипатталады. Транзисторлардың жоғары жиілікте жұмыс істейтін көптеген әр түрлі үлгілері бар, бірақ та олардың ішінде ең көп таралған үлгілер түрі Джаколеттоның орын басу сызбанұсқасына негізделген.



Бұл сызбанұсқа 4.8 а суретінде көрсетілген және транзистордың күшейткіш қасиеттерінің байланысы оның вольтамперлік сипаттамасының тікелігімен  $S$  есепке алынатын (яғни тікелей жіберудің өткізгіштігімен) П-тәрізді сызбанұсқа түрінде болады, ал күшейткіш қасиеттердің жиілікті тәуелділігі база мен коллектор —  $C_K$  арасындағы, және база мен эмиттер —  $C_э$  арасындағы сыйымдылықты есепке алуымен анықталады. Бұл сызбанұсқаның ерекшелігі практикалық есептеулер үшін жеткілікті дәлдікпен жоғарғы жиіліктегі транзисторлардың нақты қасиеттерін көрсетеді. Сонымен қатар, орын басу сызбанұсқасындағы элементтер параметрлерін оңайлықпен өлшеп немесе есептеуге болады. Орын басу сызбанұсқасында (сурет. 4.8 а) Б, К және Э нүктелері транзистор коллекторының және эмиттерінің базаның шынайы шығу жолдары болып табылады.



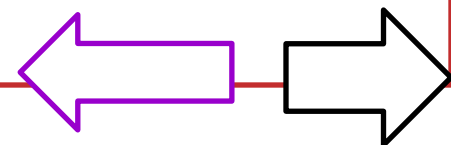
Транзистордың күшейткіш қасиеттеріне әсер ететін жиілікті есептеу әдісінің басқа түрі аппроксимация болып табылады, яғни мұнда ток базасының берілу коэффициентінің тұрақты мәнінің орнына жиілікті байланыс коэффициенті қолданылады

$$\beta(\omega) = h_{21э}(\omega) = \beta_0 / 1 + j\omega / \omega_\beta \quad (4.12)$$

мұнда:  $\beta_0 = B$  — ток базасының жіберілу коэффициентінің төменгі жиілігі,  $\omega_\beta$  — ток базасының жіберілу коэффициентінің шекті жиілігі. ток базаларының жіберілу коэффициентінің жиілікті байланыс модулі мына формуламен анықталады:

$$|\beta(\omega)| = \beta_0 / \sqrt{1 + (\omega / \omega_\beta)^2} \quad (4.13)$$

$\omega = \omega_\beta$  жиілігінде жіберілу коэффициентінің модулі  $\beta_0$  мен салыстырғанда  $\sqrt{2} = 1,41$  есе азаяды.







Егер  $\omega > 3\omega_\beta$  болса, онда ток базаларының жіберілу коэффициентінің жиілікті байланысы мынандай түрге ие болады:

$$|\beta(\omega)| \approx \beta_0 \omega_\beta / \omega = \omega(4.14)$$

мұнда  $\omega_T = \beta_0 \omega_\beta$  ток базасының берілу коэффициентінің шекті жиілігі, бұл жерде токтың жіберілу коэффициенті бірлікке шейін төмендейді. Қаралған ток базасының жіберілу коэффициентінің жиілікті тәуелділігі 4.8 б суретінде көрсетілген.

$$\varphi = \text{arctg} \omega / \omega_\beta \quad (4.15)$$

Фазалық жылжыту жиілікке байланысты болғандықтан, жалпақ спектрлі жиілігі бар сигналдар гармониктің фазалы жылжу есебінен қосымша бұрмаланады.

