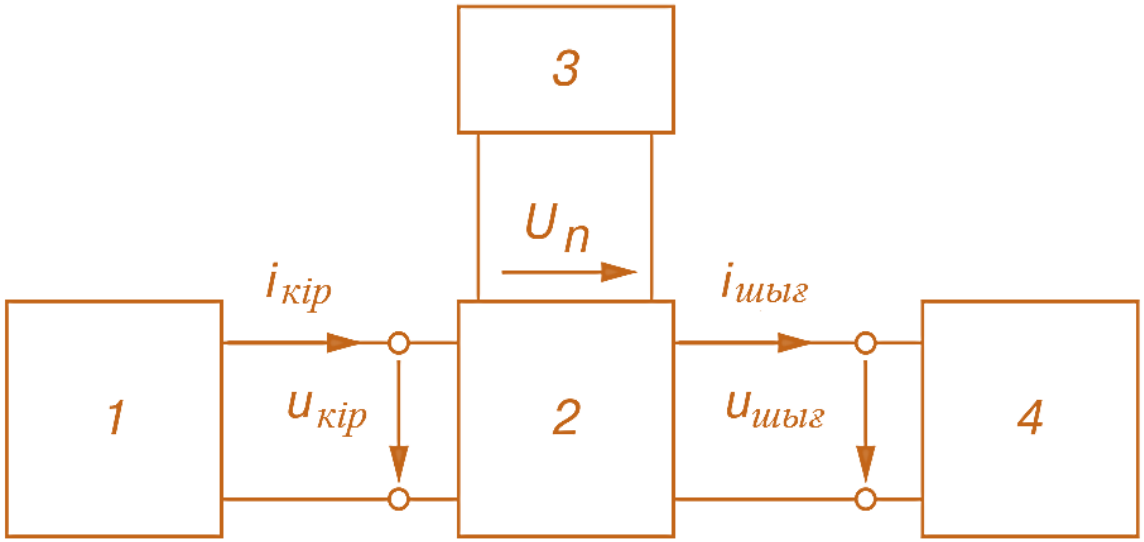
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультеті

Физикалық электроника негіздері

Профессор Досболаев М.Қ.
merlan@physics.kz

Транзисторлы (аналогты) күшейткіштер

Күшейткіш деп – қандай да бір күшейткіш аспапқа (транзистор, триод) сыртқы қорек көзінен электр энергиясын бере отырып, кіріс сигналының қуатын күшейтетін құрылғыны атаймыз.



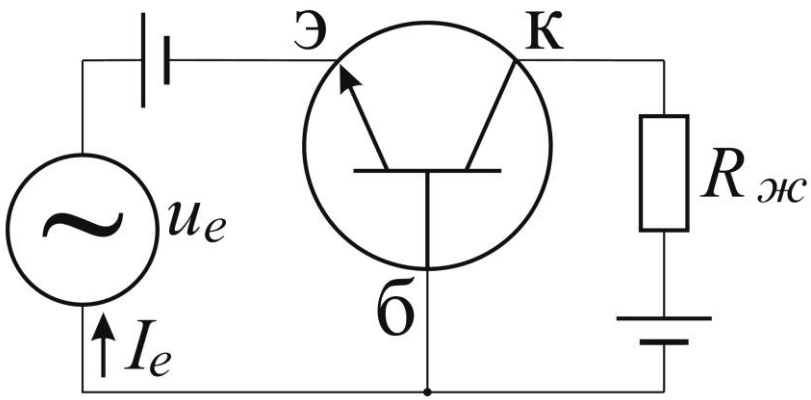
1 сурет. Күшейткіштің блок схемасы.
1-кіріс сигналының көзі, 2-күшейткіш аспап,
3-қорек көзі, 4-жүктеме.

Транзисторлы (аналогты) күшейткіштер

- Кіріс сигналының қуатын (ток, кернеу) күшейту келесі түрде жүзеге асады: *аз кедергісі* бар тізбектегі ток *үлкен кедергісі* бар тізбекке өткізіледі. Бұл кезде ток шамасы өзгеріссіз қалады, осы себепті үлкен кедергілі тізбекте сәйкесінше жоғарылатылған кернеу пайда болады.

Trans-Resistor ➡ **Transistor**

Тізбекке БО жалғанған транзистор көмегімен кернеу шамасын күшейту



$u_e = 100$ мВ; $R_{эб} = 50$ Ом; $I_e = 2$ мА; $R_{ж} = 2{,}5$ кОм

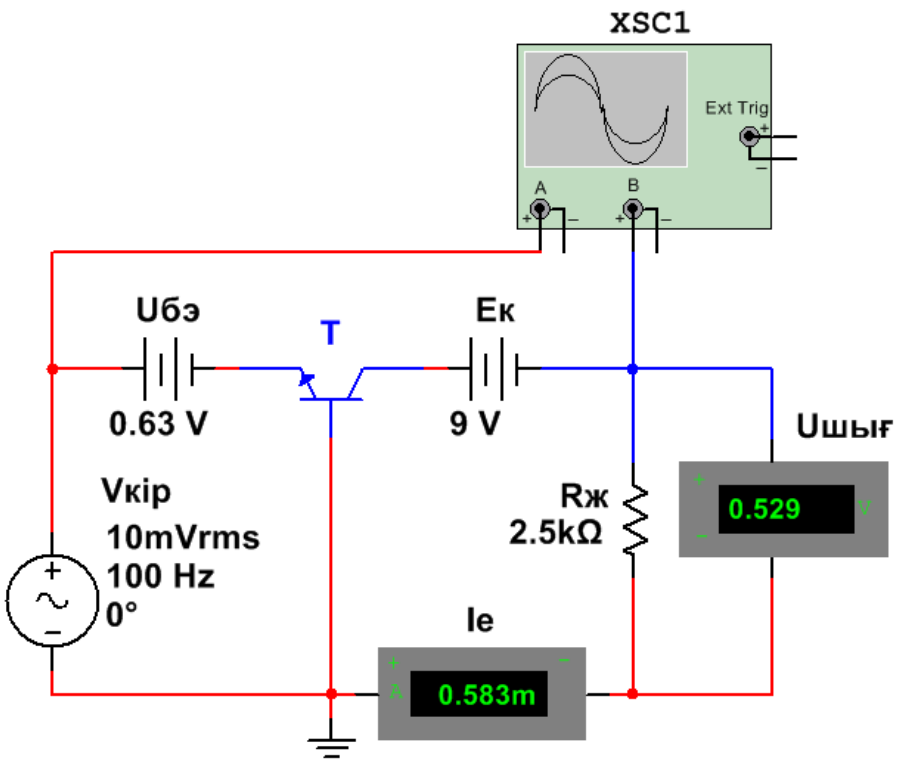
$$I_{ж} = I_e \cdot \alpha = 1.98 \text{ мА}$$

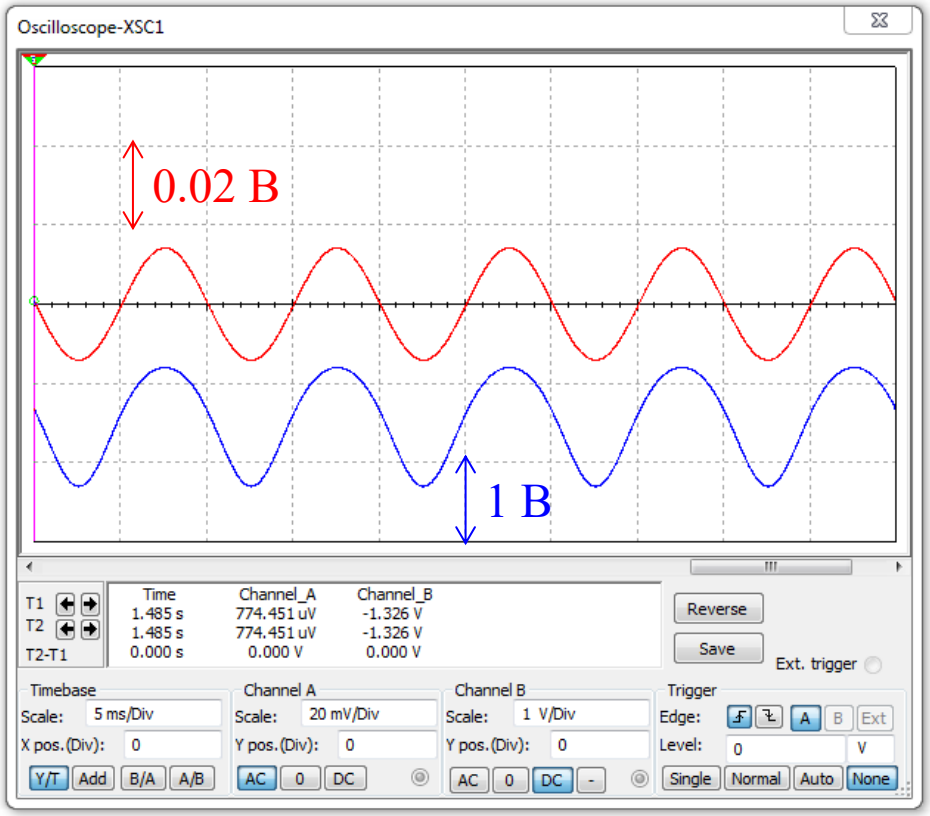
$$u_{ж} = I_{ж} \cdot R_{ж} = 4950 \text{ мВ}$$

$$K_u = \frac{u_{ж}}{u_e} = 49{,}5$$

$\alpha \approx 0{,}99$ – беріліс коэффициенті

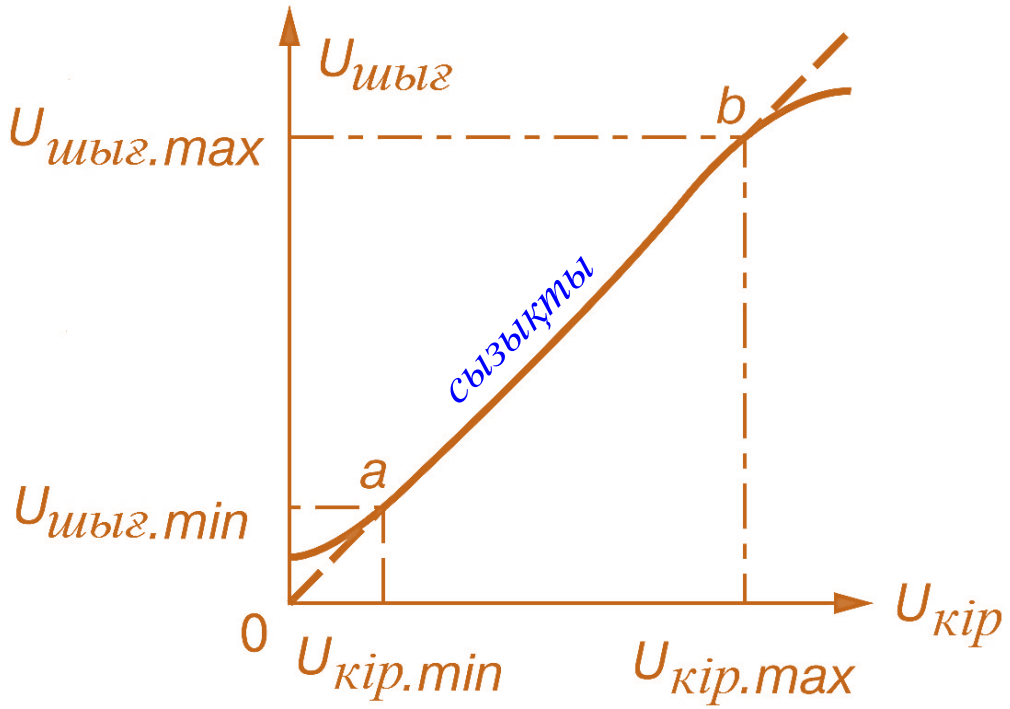
Бір каскадты кернеу күшейткіш





$$K_u = \frac{0{,}53}{0{,}01} \approx 53$$

Амплитудалық сипаттама



2 сурет

Күшейткіштің негізгі параметрлері

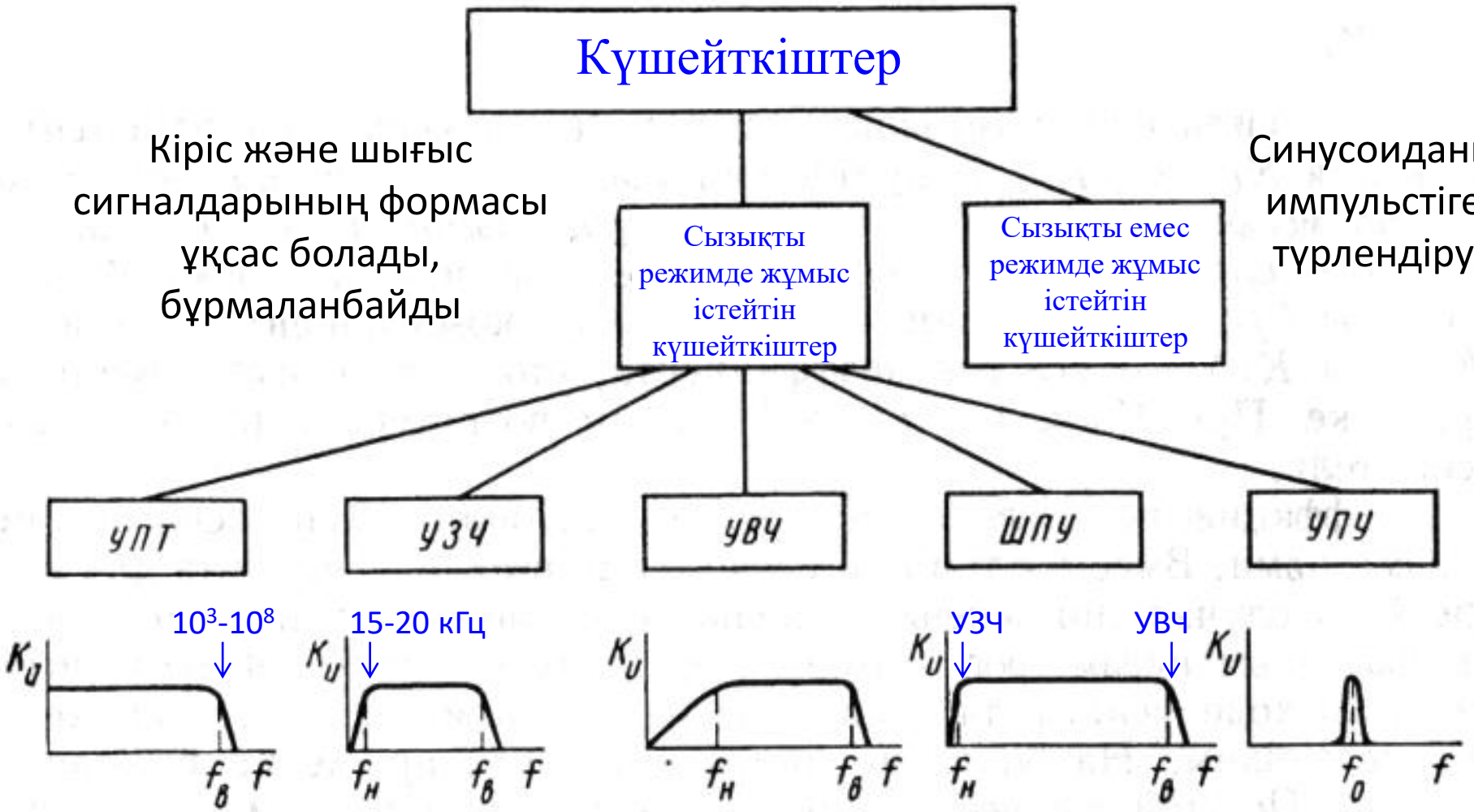
$$K_u = \frac{\Delta U_{шығ}}{\Delta U_{кір}}$$

$$K_i = \frac{\Delta I_{шығ}}{\Delta I_{кір}}$$

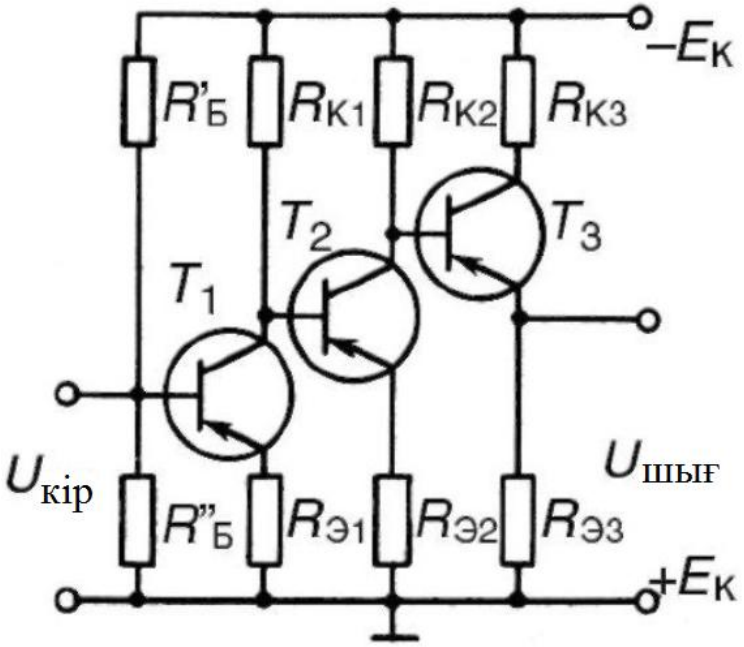
$$K_P = \frac{\Delta P_{шығ}}{\Delta P_{кір}}$$

Анықтамаларда осы параметр көрсетіледі

АЖС (АЧХ) - амплитудалы-жиіліктік сипаттама



Транзисторлы күшейткіш каскадтар



$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \ldots \cdot K_n$$

3 сурет

Алдын ала, кернеуді және шығыстағы, токпен қуатты күшейткіш каскадтар

$$K_{p(\text{дБ})} = 10\lg\left(\frac{P_{\text{шығ}}}{P_{\text{кір}}}\right) = 10\lg K_P; \qquad K_{u(\text{дБ})} = 20\lg K_u; \qquad K_{i(\text{дБ})} = 20\lg K_i$$

Мысалы:

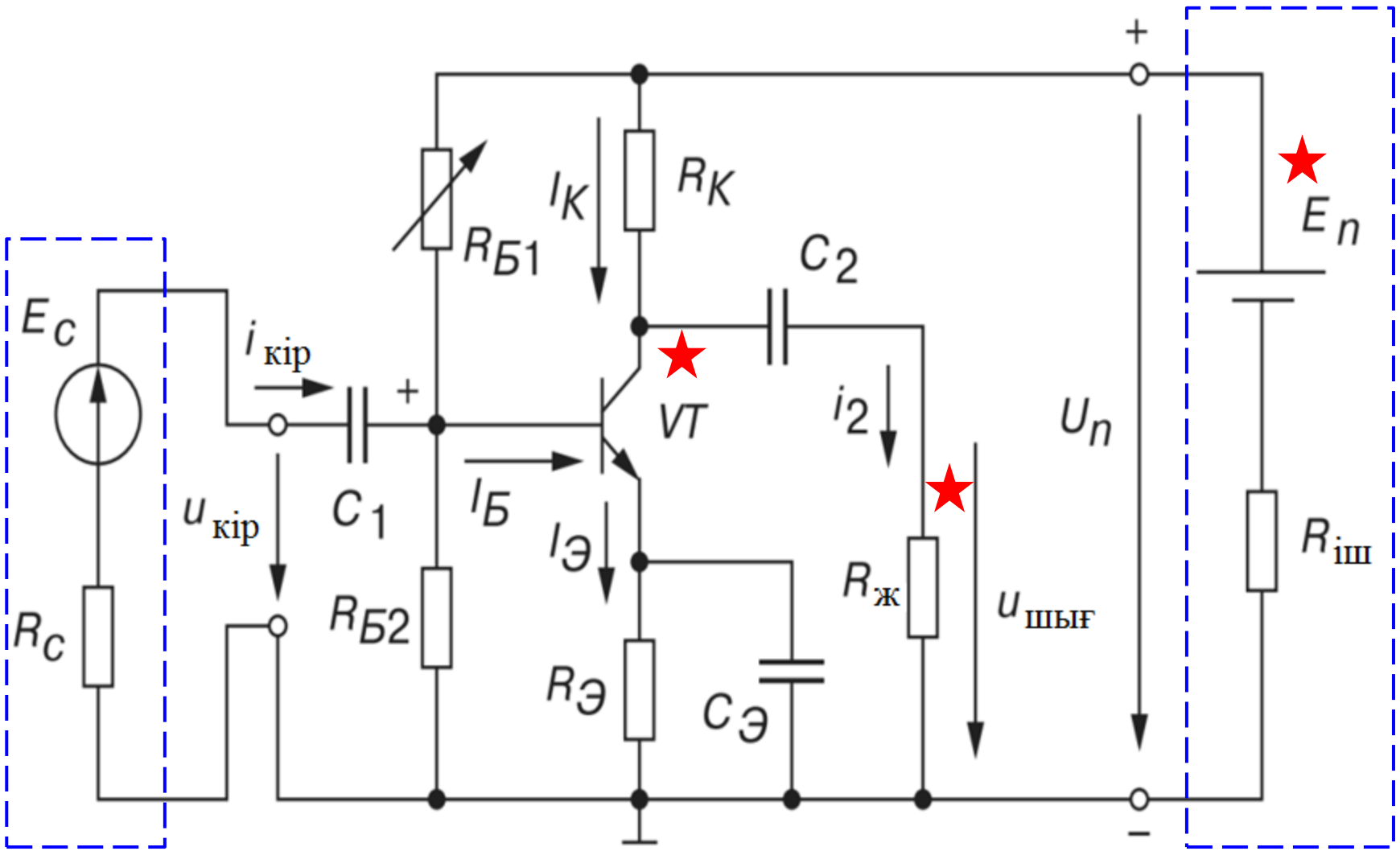
$K_{u1} = 100$

$K_{u2} = 40$ $\quad K_{u(\text{дБ})} = 20\lg K_{u1} + 20\lg K_{u2} + 20\lg K_{u3} = 20 \cdot 2 + 20 \cdot 1{,}6 + 20 \cdot 1 = 92$ дБ.

$K_{u3} = 10$

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D0%BB

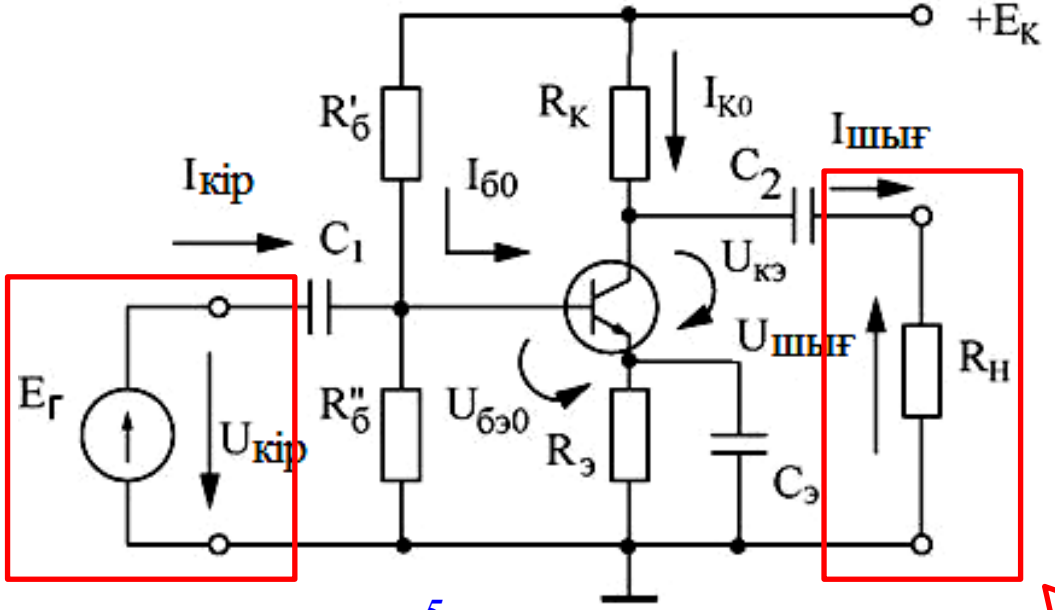
ЭО жалғанған биполяр транзисторлы күшейткіш каскад



4 сурет

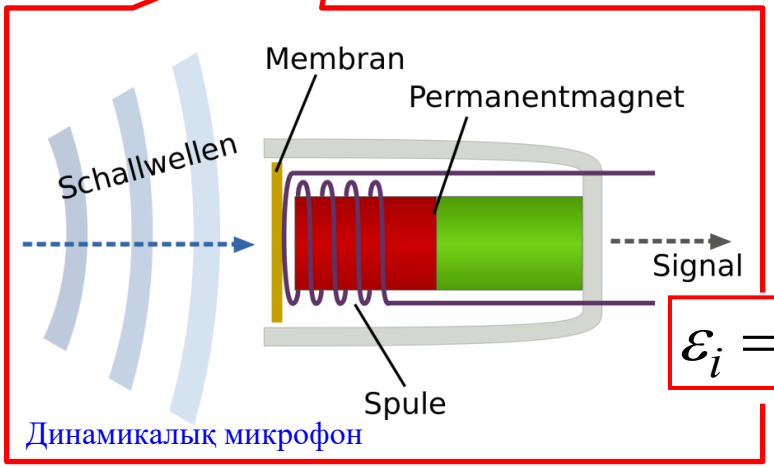
ЭО жалғанған күшейткіш каскад





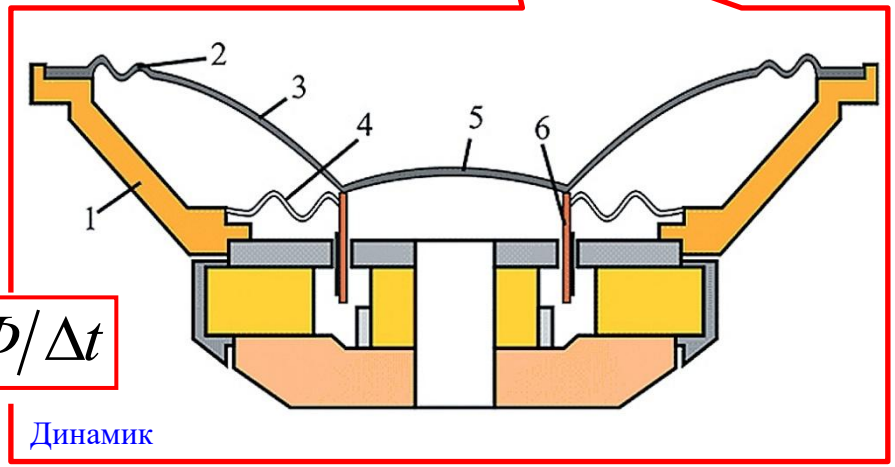


5 сурет



Динамикалық микрофон

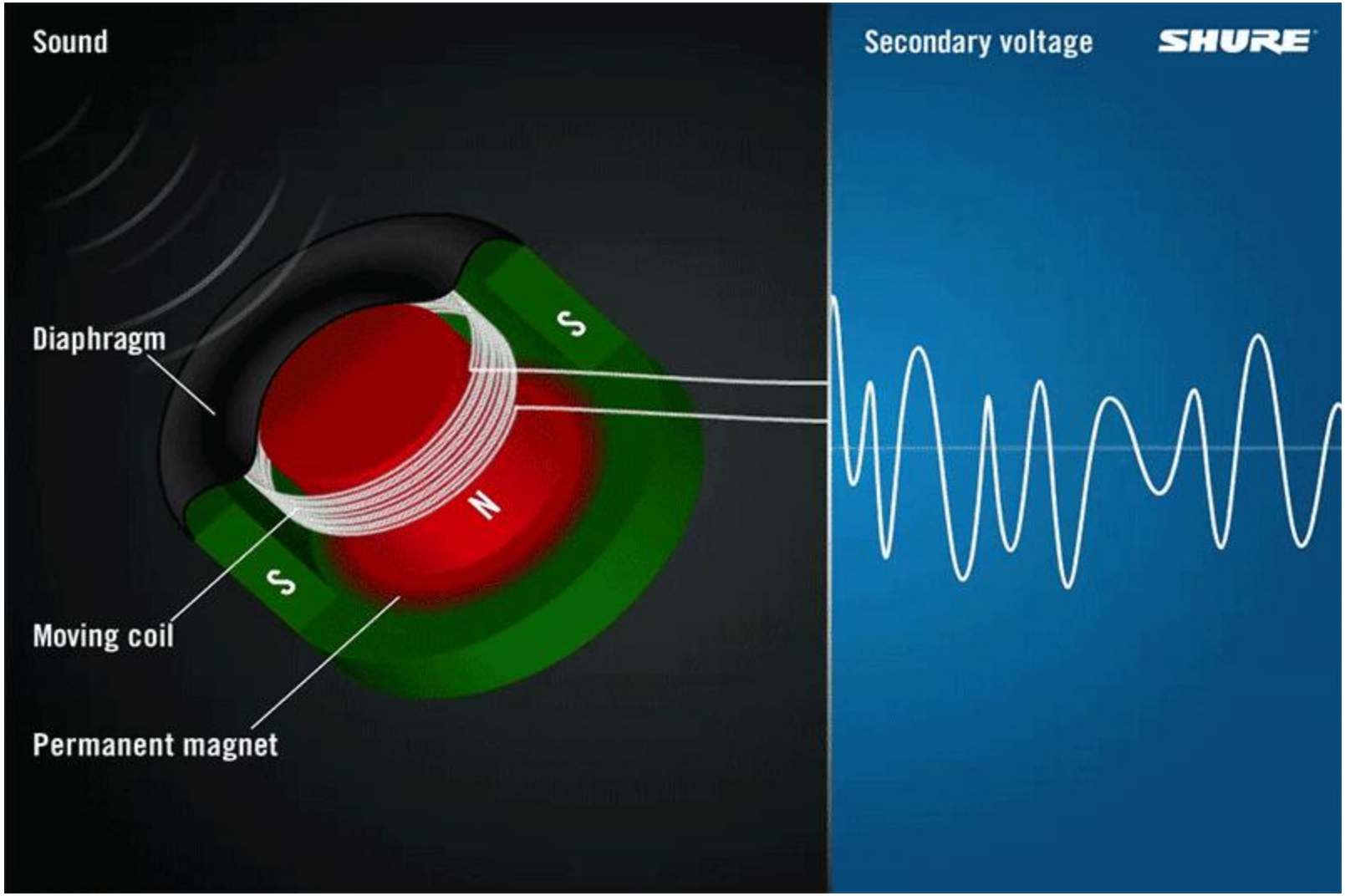
$$\varepsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t$$



Динамик

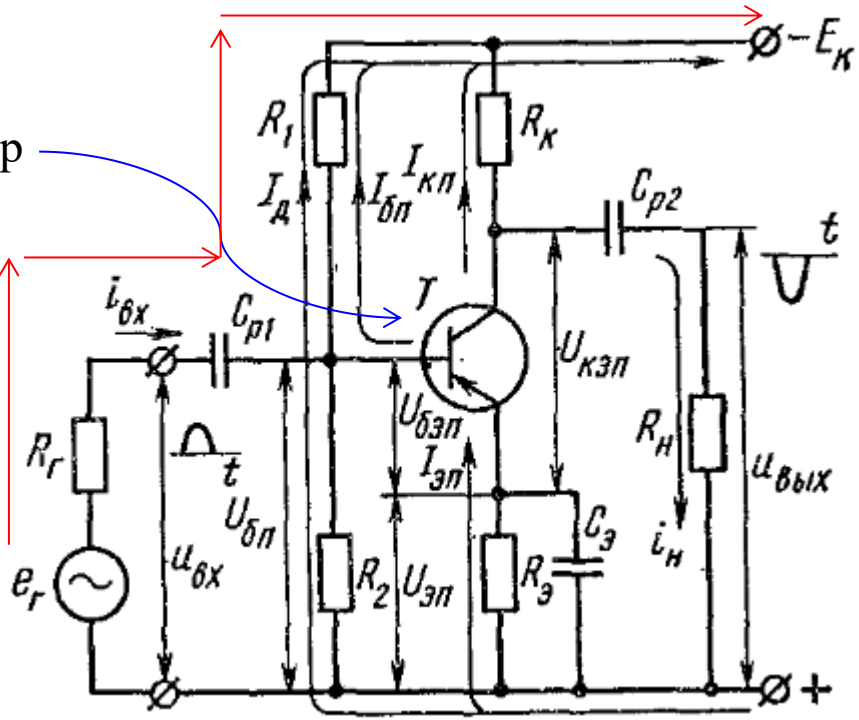
https://ru.wikipedia.org/

Динамикалық микрофонның дыбыс қысымын электр сигналына түрлендіруі



ЭО жалғанған күшейткіш каскад

p-n-p транзистор



Каскад шығысында кернеу 180 градусқа (π) ығысқан.

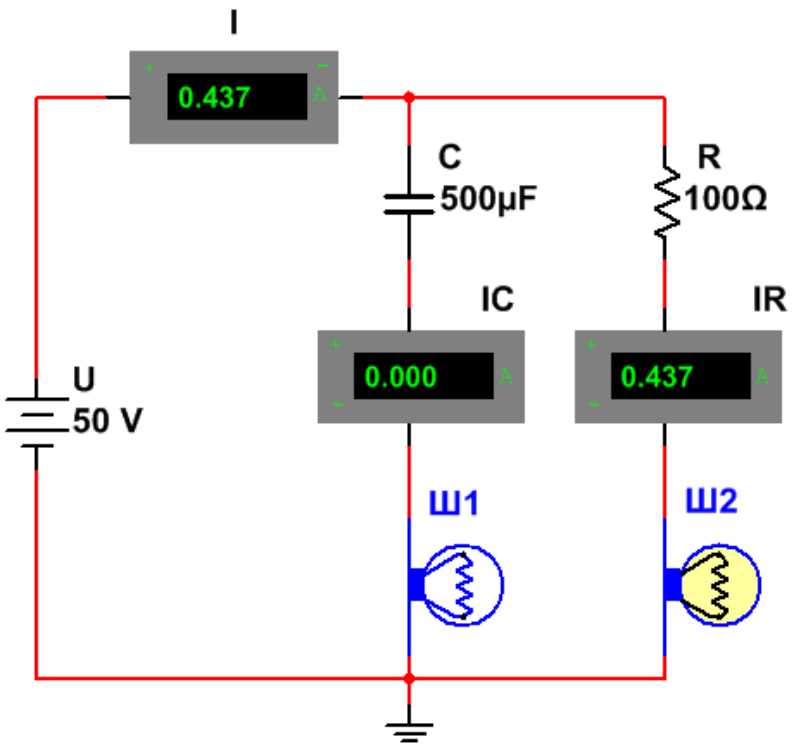
C_{p1}, C_{p2} – бөлгіш конденсаторлар.

C_{p1} конденсаторы $E_к$-R_1-$R_г$ тармағымен тұрақты токтың өтуін шектейді

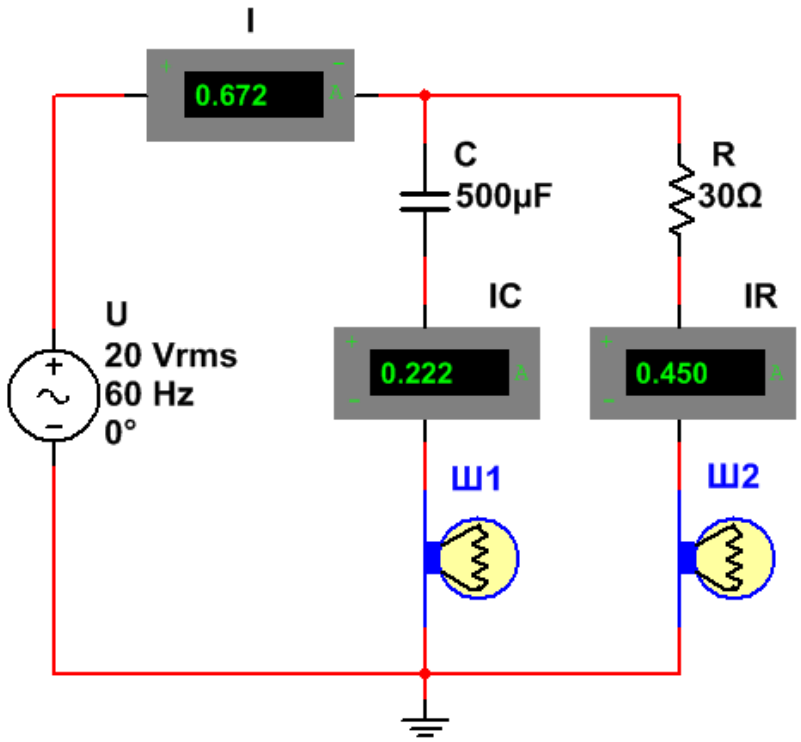
C_{p2} конденсаторы жүктемеге тек айнымалы ток құраушысын өткізеді

ЭО каскадтың қуат бойынша күшейту коэффициенті $K_P=(0.2\div5)\cdot10^3$

Айнымалы және тұрақты ток тізбектеріндегі конденсатор

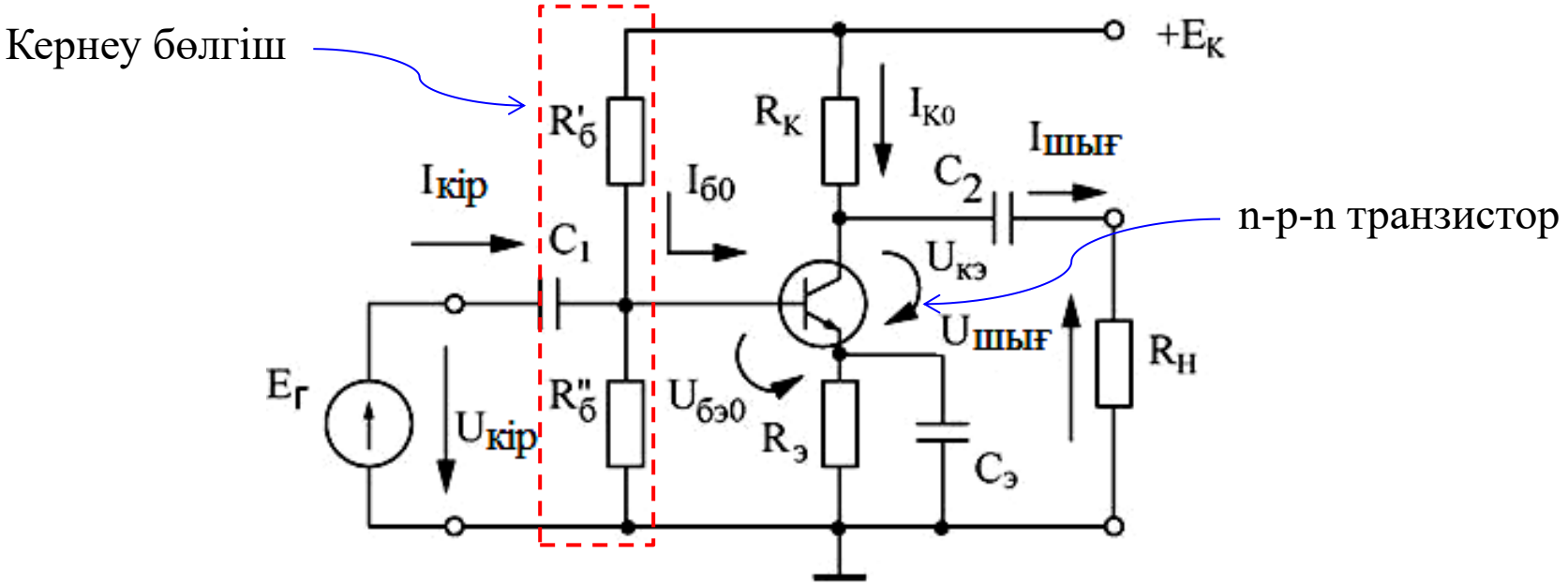


6 сурет

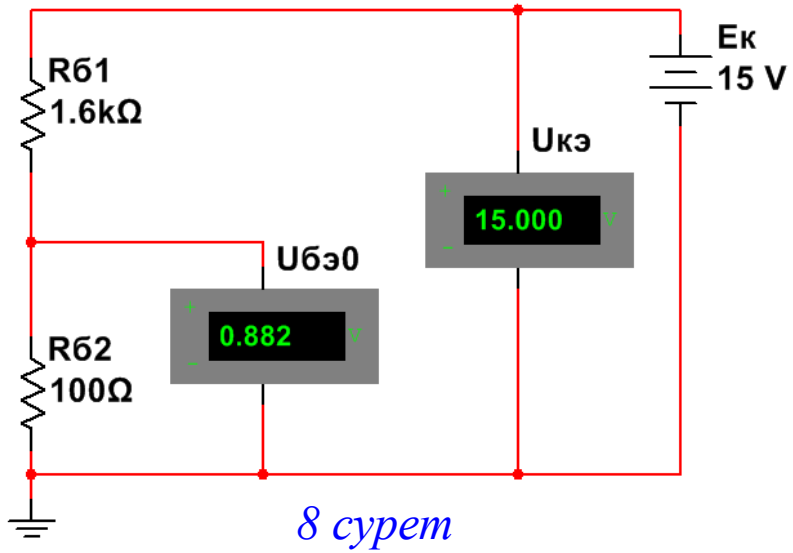


7 сурет

ЭО жалғанған күшейткіш каскадтың тыныштық күйін (режим покоя) орнату

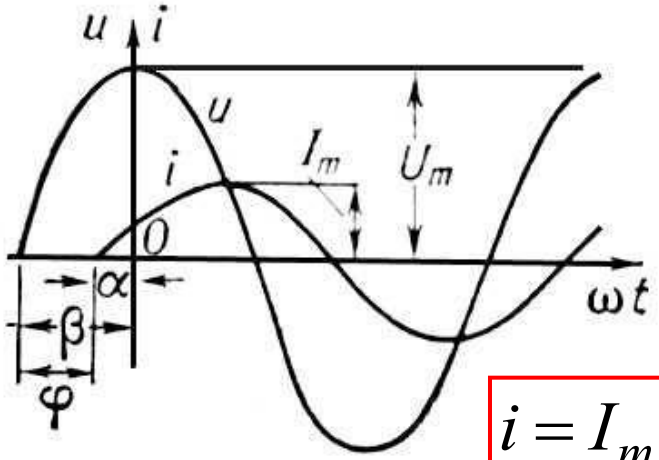


$$U_{бэ0} = \left(\frac{R_б^{``}}{R_б^{``} + R_б^{`}} \right) \cdot E_к$$

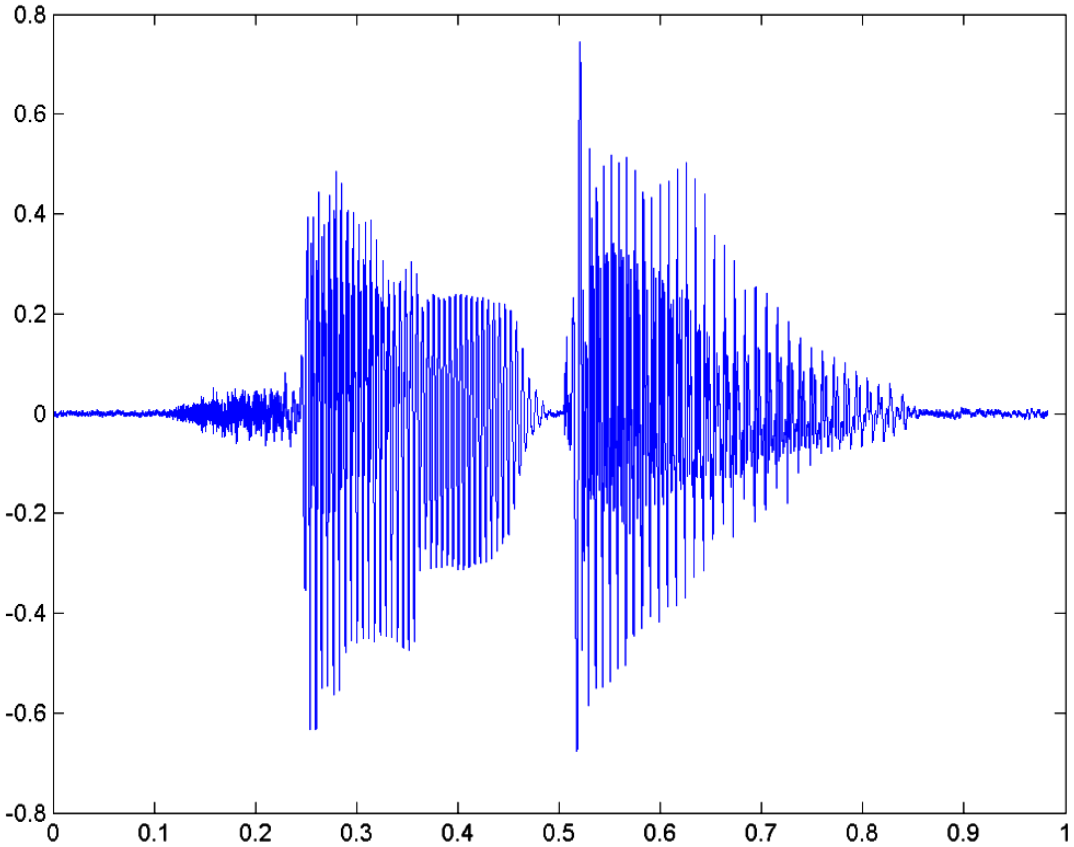


8 сурет

Айнымалы ток (кернеу) →

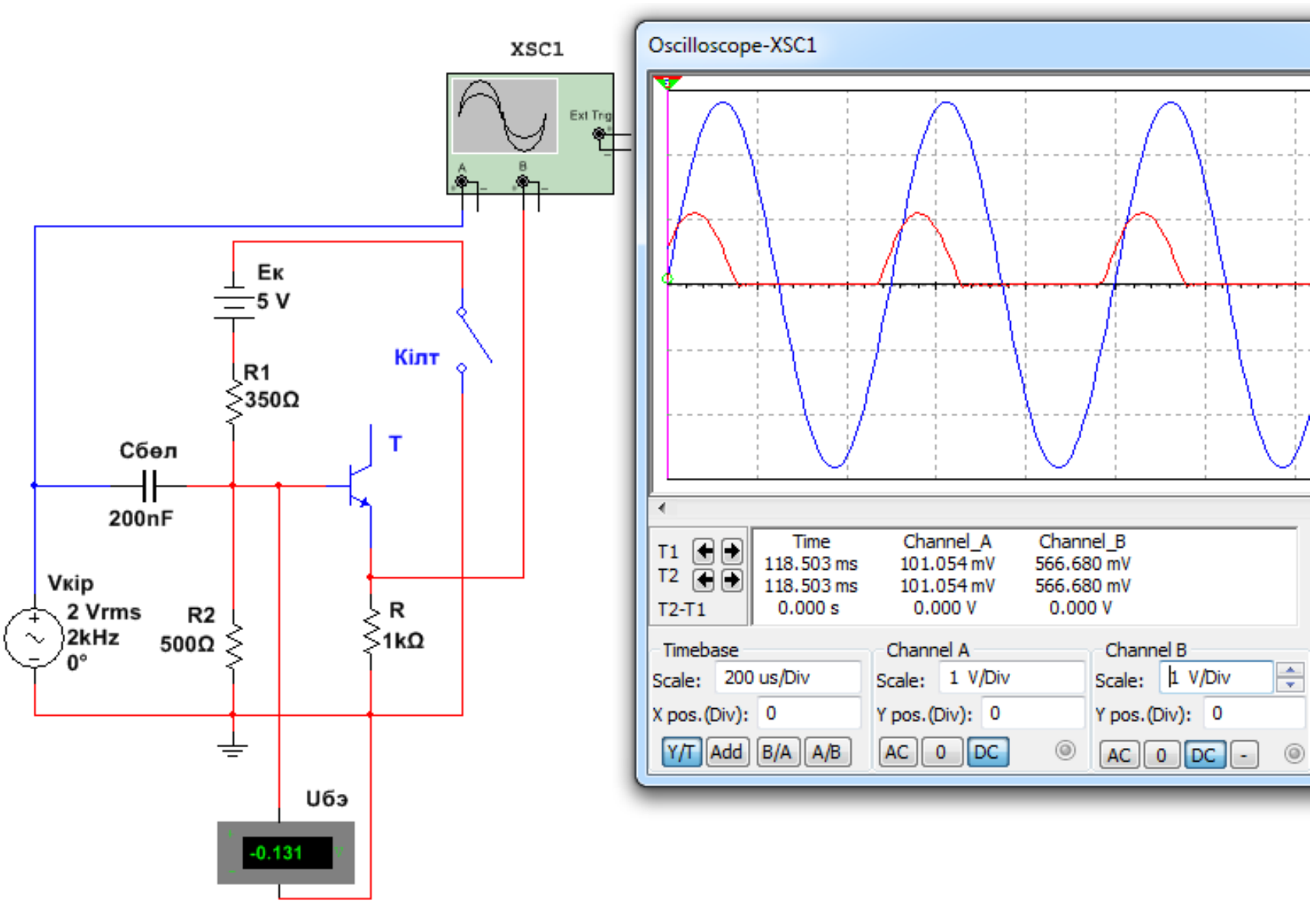


$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha)$$

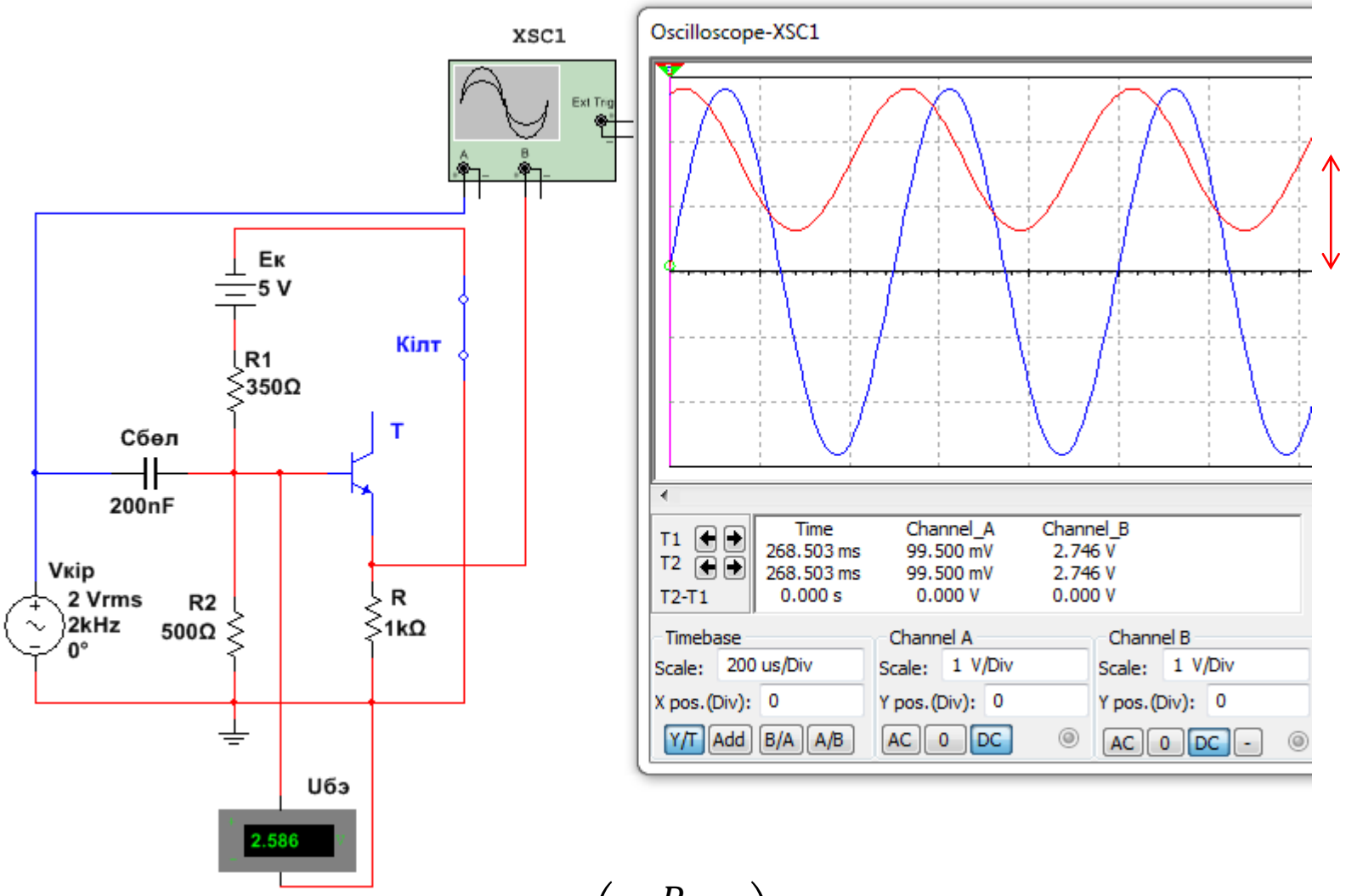


← Дыбыс толқындары

Күшейткіш каскадтың тыныштық күйі орнамаса

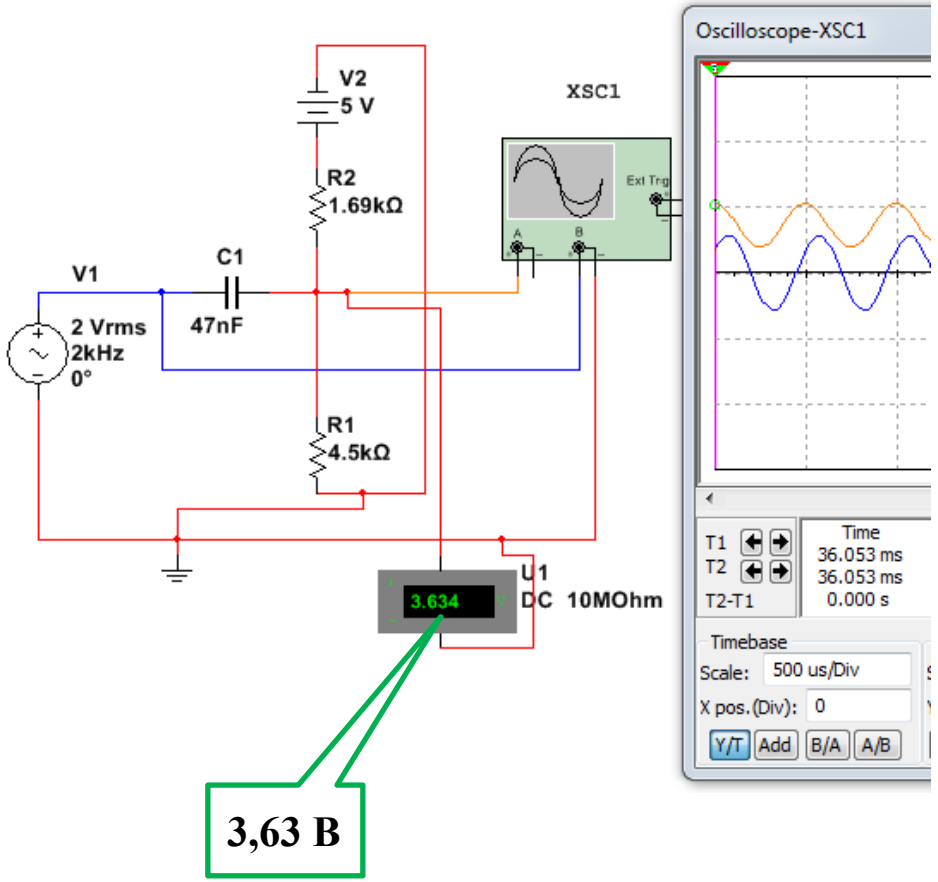


Күшейткіш каскадтың тыныштық күйі орнаған кез

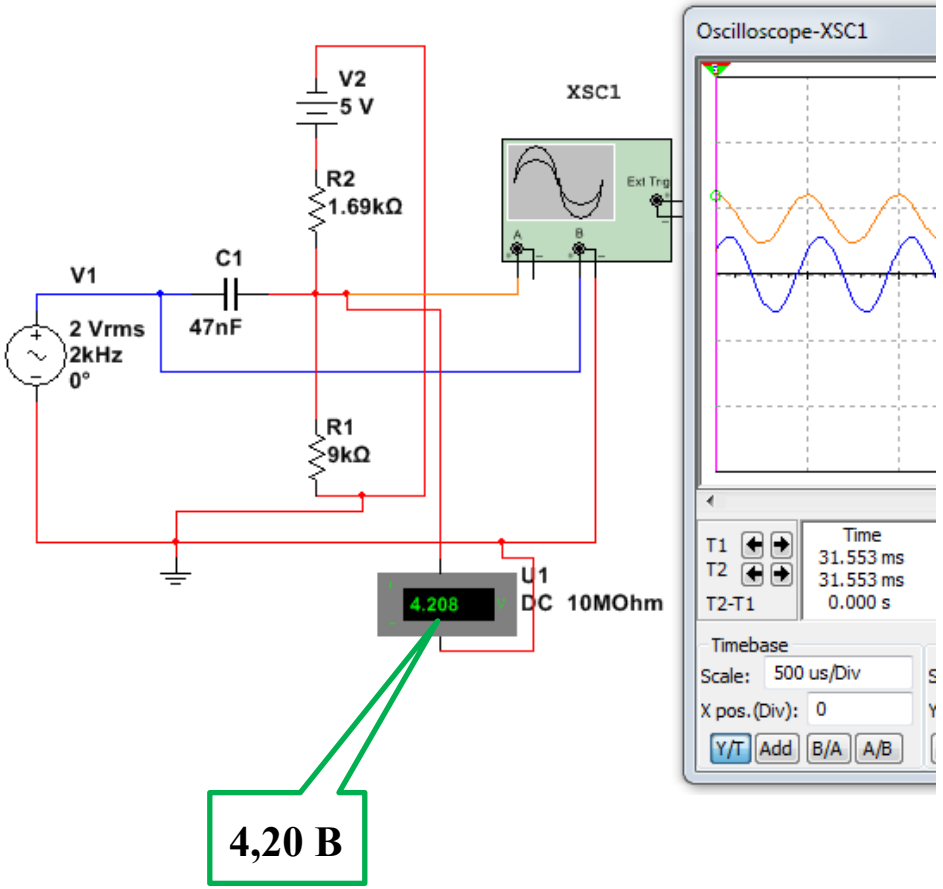


$$U_{бэ} = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1}\right) \cdot E_к$$

R1-дің әсері



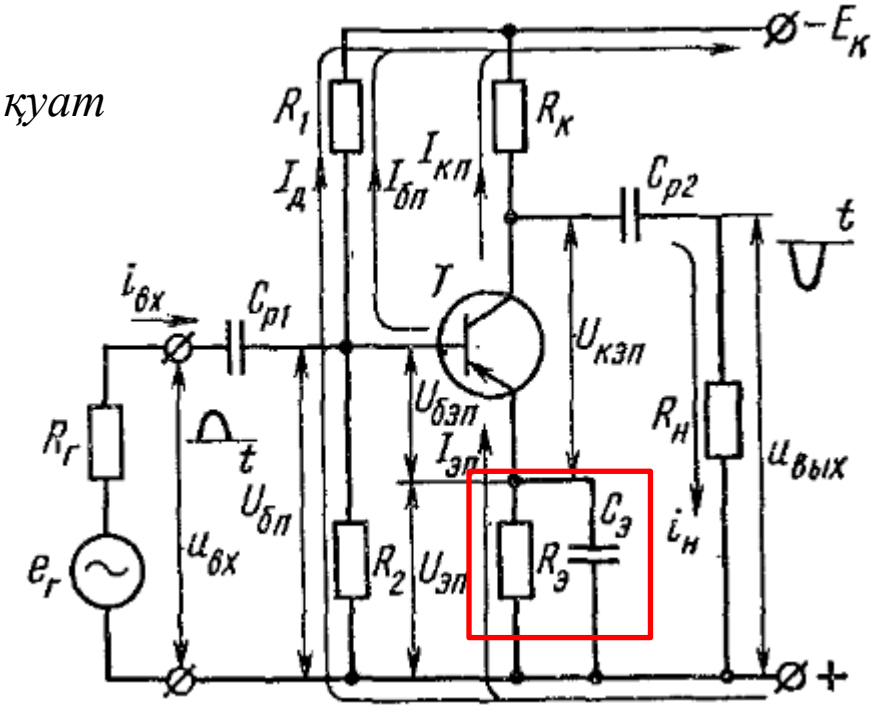
3,63 В



4,20 В

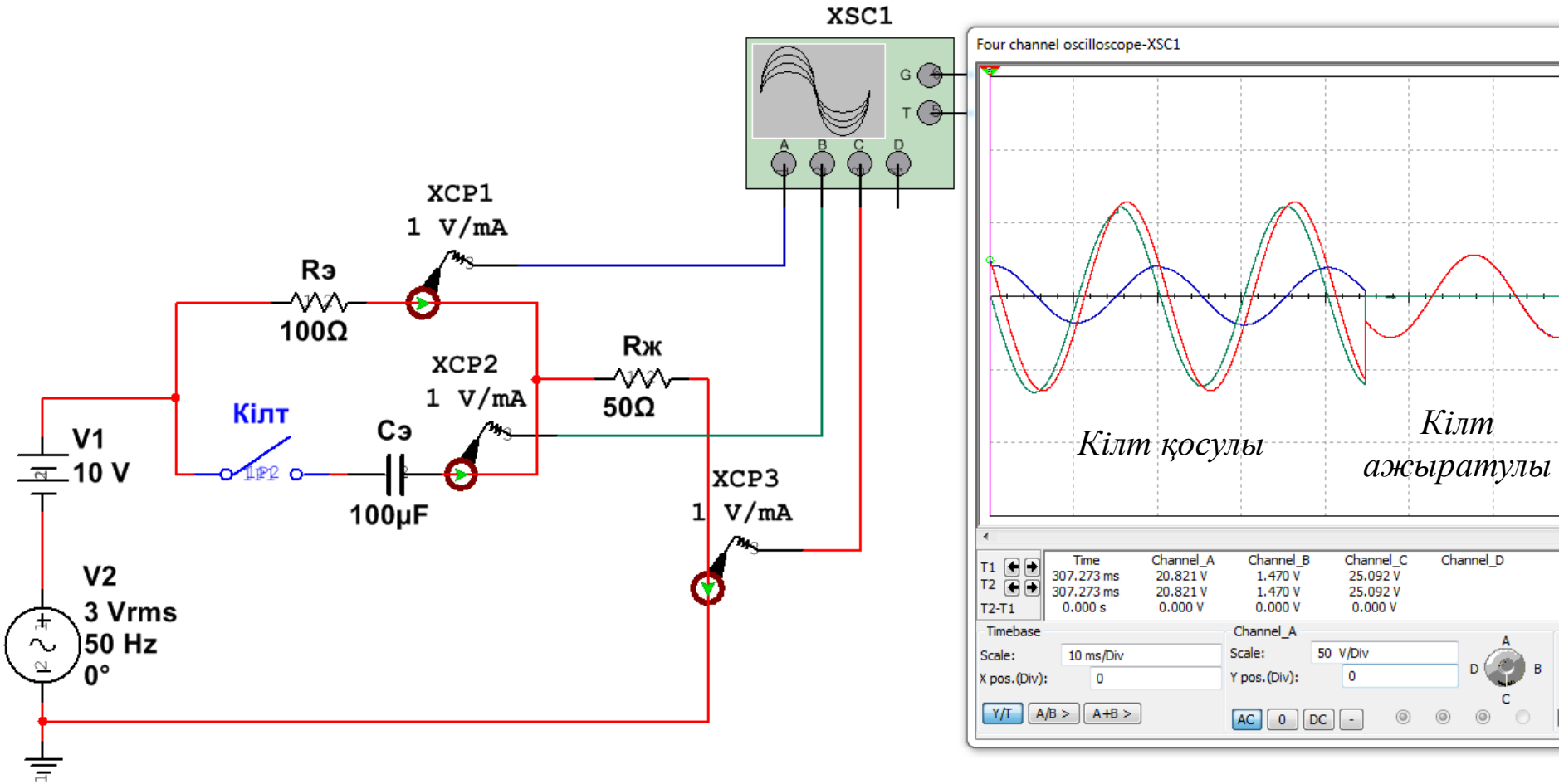
ЭО жалғанған күшейткіш каскадтың теріс кері байланысы

$I_к U_{кэ}$ – *шашыраңқы қуат*



$R_э$, $C_э$- теріс кері байланыс элементтері. Температура өзгерісі кезінде транзистордың тыныштық режимін орнату үшін қолданылады. Температура жоғарылаған кезде заряд тасымалдаушылардың термогенерациялануы әсерінен коллектор ($I_{кп}$) мен эмиттер ($I_{эп}$) токтарының тұрақты құраушылары, сонымен қатар $U_{эп}= R_э I_{эп}$ кернеуінің шамасы да артады. Осының нәтижесінде $U_{бэп}=U_{бп}-U_{эп}$ кернеуі төмендейді сәйкесінше база $I_{бп}$, ізінше коллектор $I_{кп}$ тогы да азаяды. $C_э$ жоғары сыйымдылықты конденсатор (ондаған микрофарад), айнымалы ток кезінде $R_э$ резисторын шунттауға арналған, осылайша кері байланыс тізбегі арқылы айнымалы ток құраушысын өткізбейді. Егер $C_э$ элементі жоқ болса каскадтың күшейту коэффициенті төмендейтін еді.

Конденсатормен шунттаудың айнымалы кернеу шамасына әсері



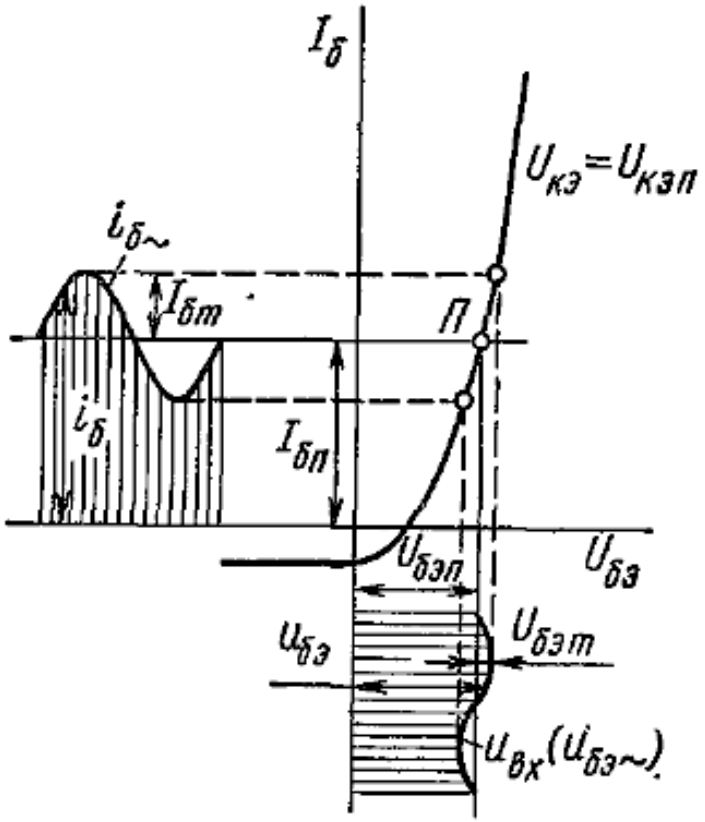
9 сурет

$$R_Э = (5 \ldots 10) X_{CЭ} \rightarrow C_Э = \frac{10^7}{(1 \ldots 2) 2\pi f_Н R_Э},\ \text{мкФ}.$$

Транзисторды радиаторға орналастыру



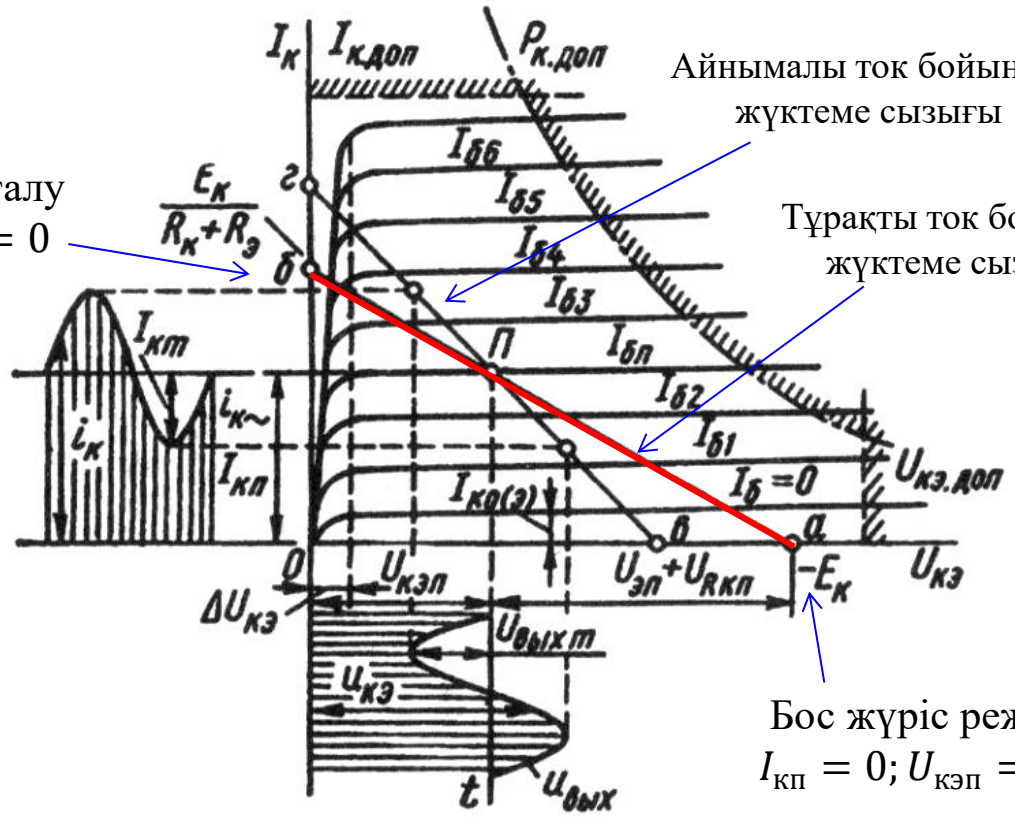
Кіріс сипаттамасынан база тогы өзгерісі бойынша ($I_б = I_{бп}$) тыныштық күй нүктесін (П) орнату.



10 сурет. Кіріс сипаттама

П – тыныштық күй нүктесі; $U_{бэп}$ – кернеу бөлгіш тудыратын кернеу; $U_{вх}$ – кіріс кернеуі

ЭО каскадтың тыныштық күйін транзистордың шығыс сипаттамасы бойынша графикалық түрде анықтау (талдау)



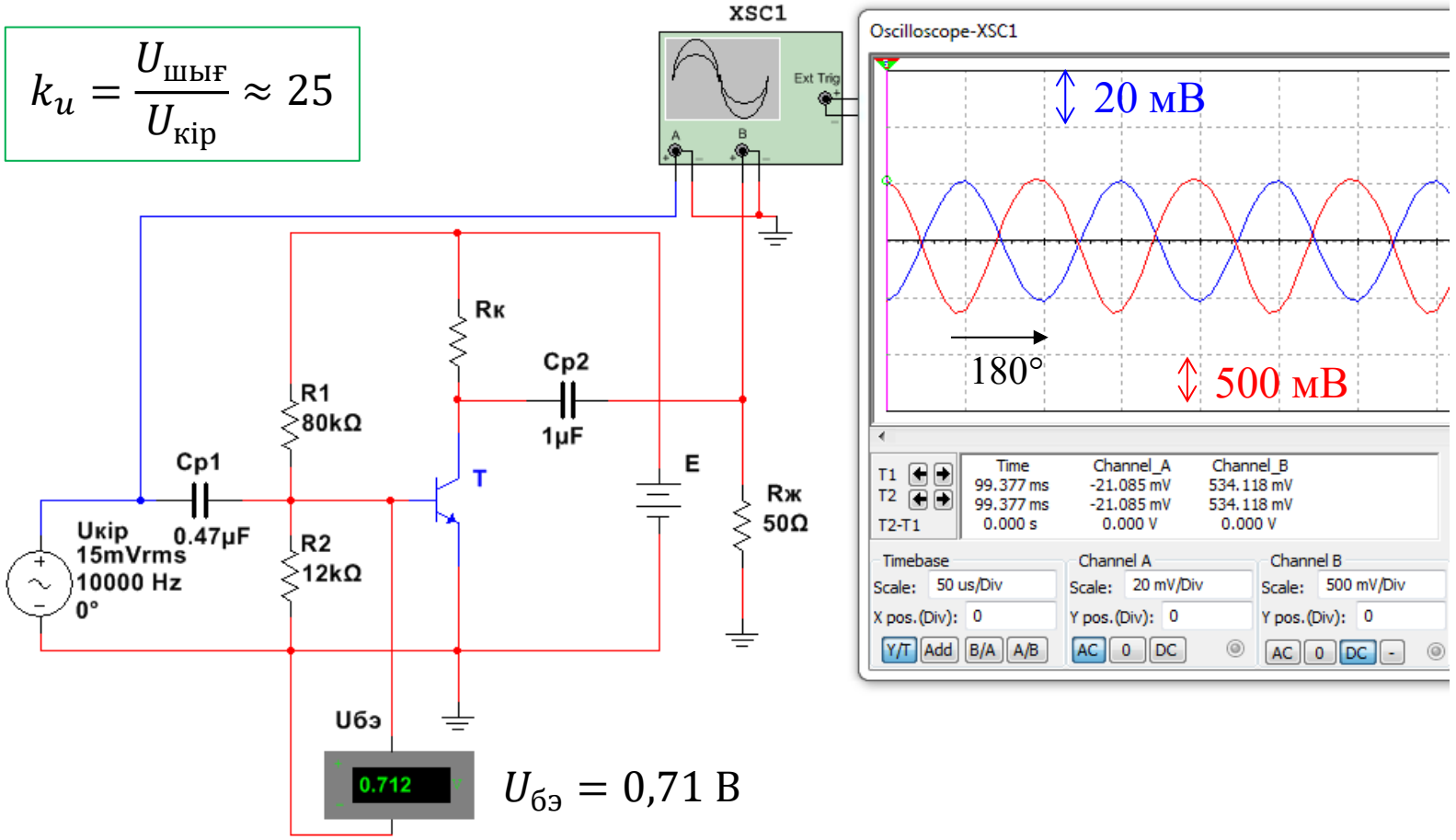
11 сурет. Шығыс сипаттама

Жүктеме сызығының графикалық теңдеуі: $$U_{кэп} = E_к - I_{кп}\left(R_к + R_э\right)$$

$U_{кэп}$; $I_{кп}$ – тыныштық күй параметрлері

ЭО жалғанған транзисторлы күшейткіш каскад

$$k_u = \frac{U_{\text{шығ}}}{U_{\text{кір}}} \approx 25$$

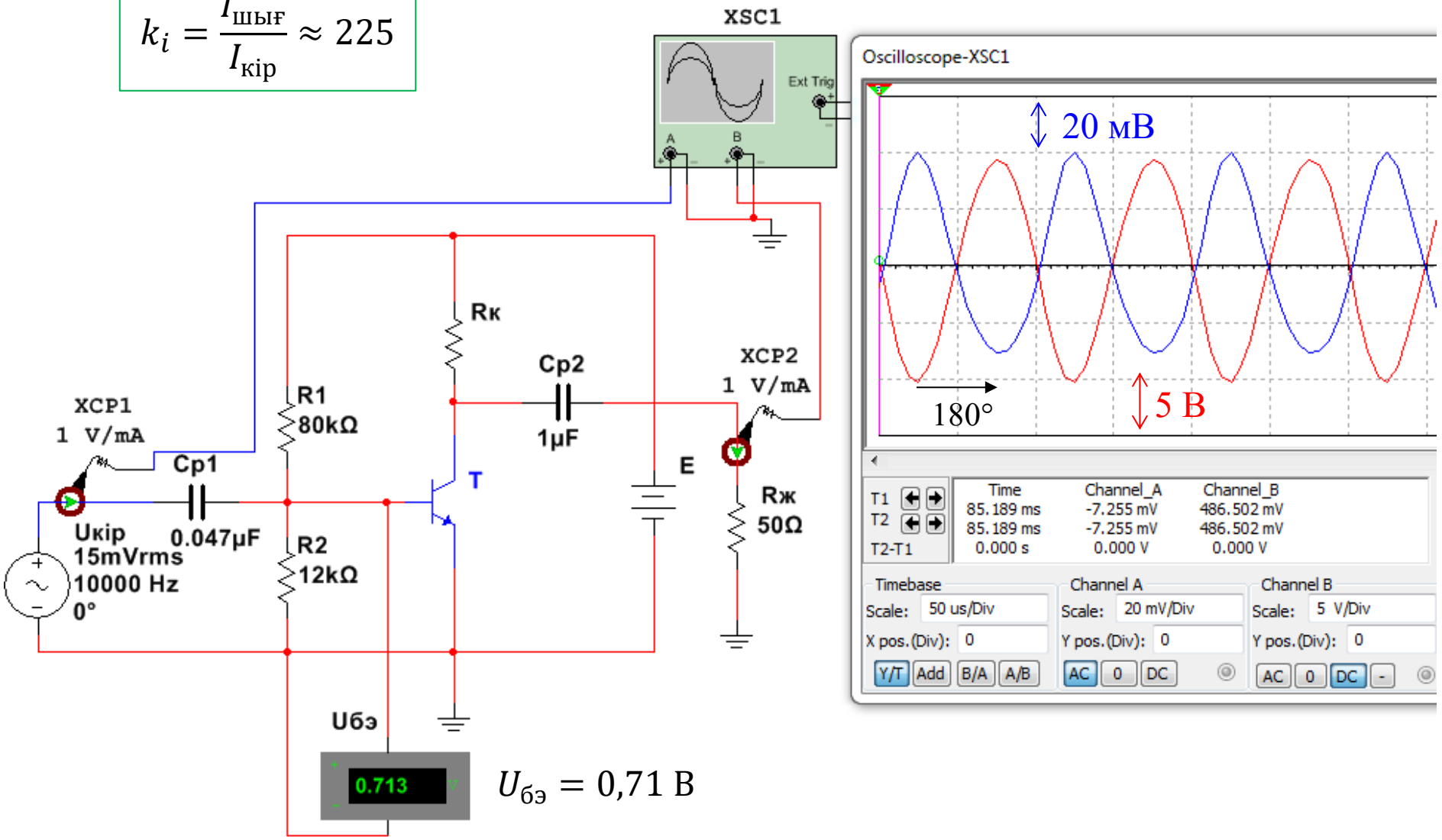


$U_{\text{бэ}} = 0{,}71$ В

ОЭ каскадтың жұмыс істеу принципі келесіге негізделген. Каскадтың кірісінде ығыстырушы тұрақты токпен кернеу құраушысы бар кезде, осы кіріске берілген айнымалы кернеу (мысалы микрофоннан) айнымалы база тогын тудырады. Демек, каскадтың шығыс тізбегінде де ($R_{\text{к}}$ арқылы) токтың айнымалы құраушысы болуы керек. Осылайша $R_{\text{к}}$ резисторғы кернеудің түсуі нәтижесінде коллекторда айнымала кернеу құраушысы пайда болады және ол C_2 арқылы каскад шығысына, $R_{\text{ж}}$ жүктемеге беріледі.

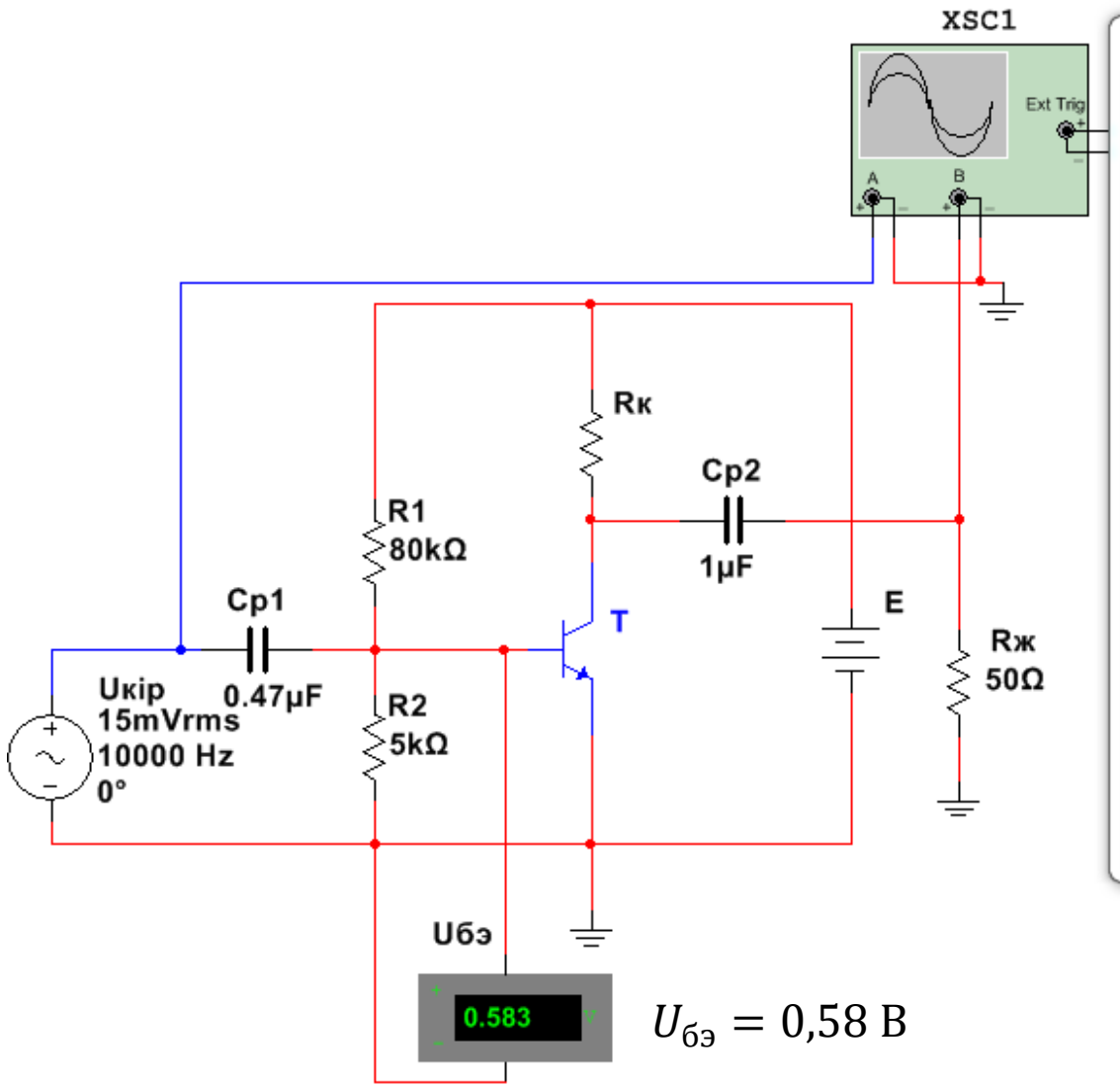
ЭО жалғанған транзисторлы күшейткіш каскад

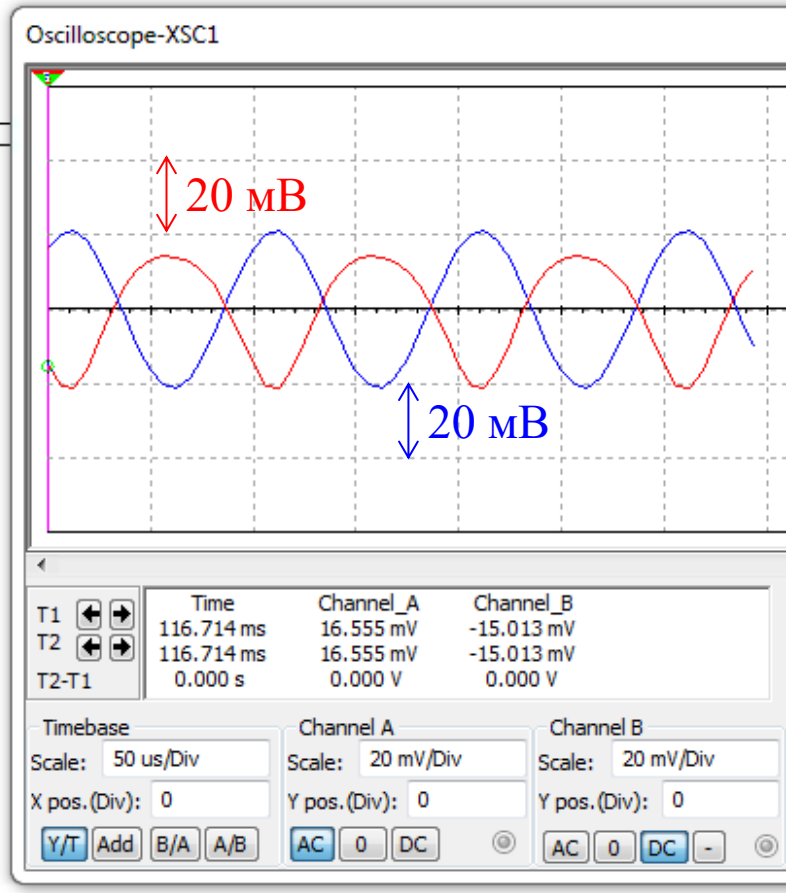
$$k_i = \frac{I_{\text{шығ}}}{I_{\text{кір}}} \approx 225$$



$U_{бэ} = 0{,}71$ В

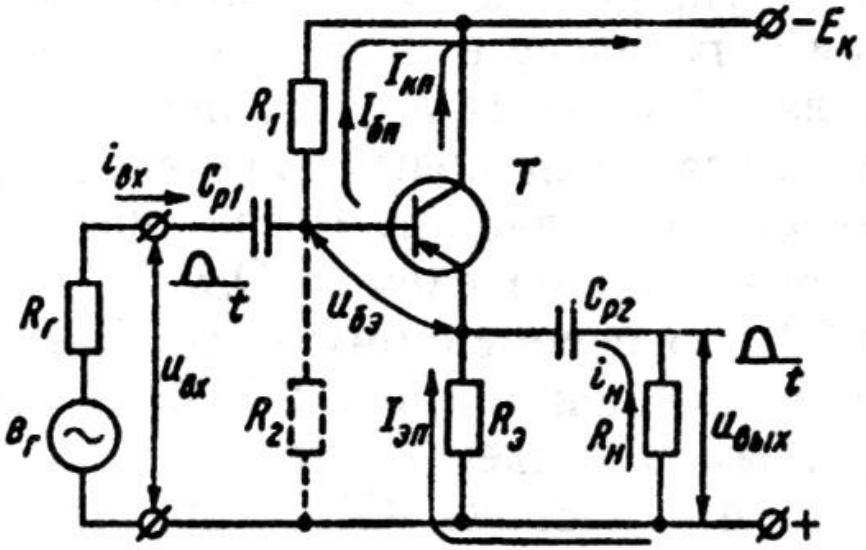
Тыныштық күй нүктесін дұрыс таңдамау





$U_{бэ} = 0{,}58$ В

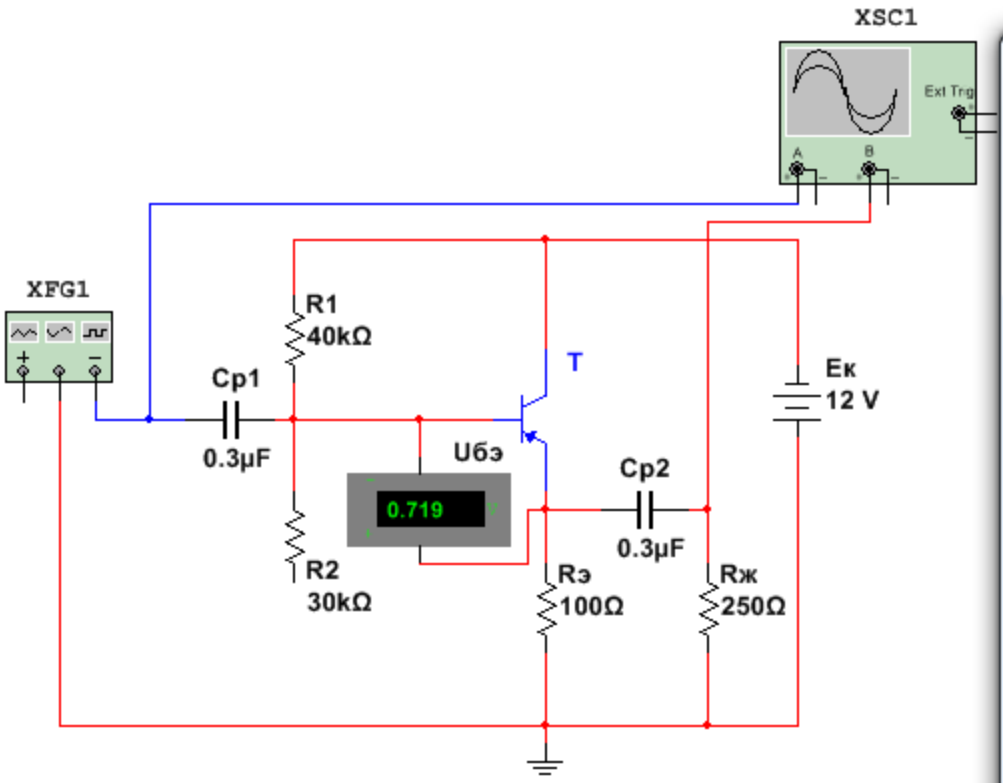
КО жалғанған ток күшейткіш каскад. Кернеу қайталағыш

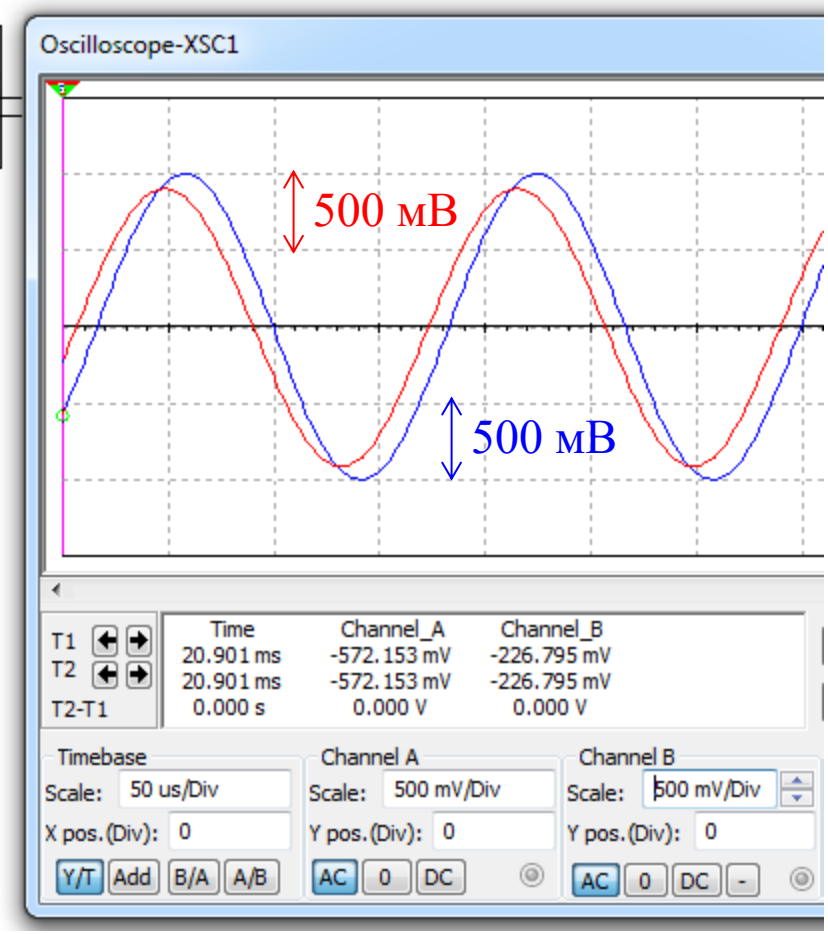


12 сурет. Эмиттерлік қайталағыш

ЭҚ схемасының кіріс кедергісі үлкен, ал шығыс кедергісі аз (10-50 Ом). Ішкі кедергісі (R_r) үлкен сигнал көздерін қабылдауға қолайлы, бұл жерде ЭҚ кіріс каскады ретінде қолданылады. Қуатты күшейткіштердің шығысын кедергісі аз жүктемемен жалғау керек кезде ЭҚ шығыс каскады ретінде қолданылады. *Осылайша ЭҚ каскады байланыстырушы буын қызметін атқарады.* Каскадтың кіріс кедергісі жоғары болу үшін R_2 резисторын әдетте тізбектен алып тастайды.

КО жалғанған кернеу қайталағыш каскад

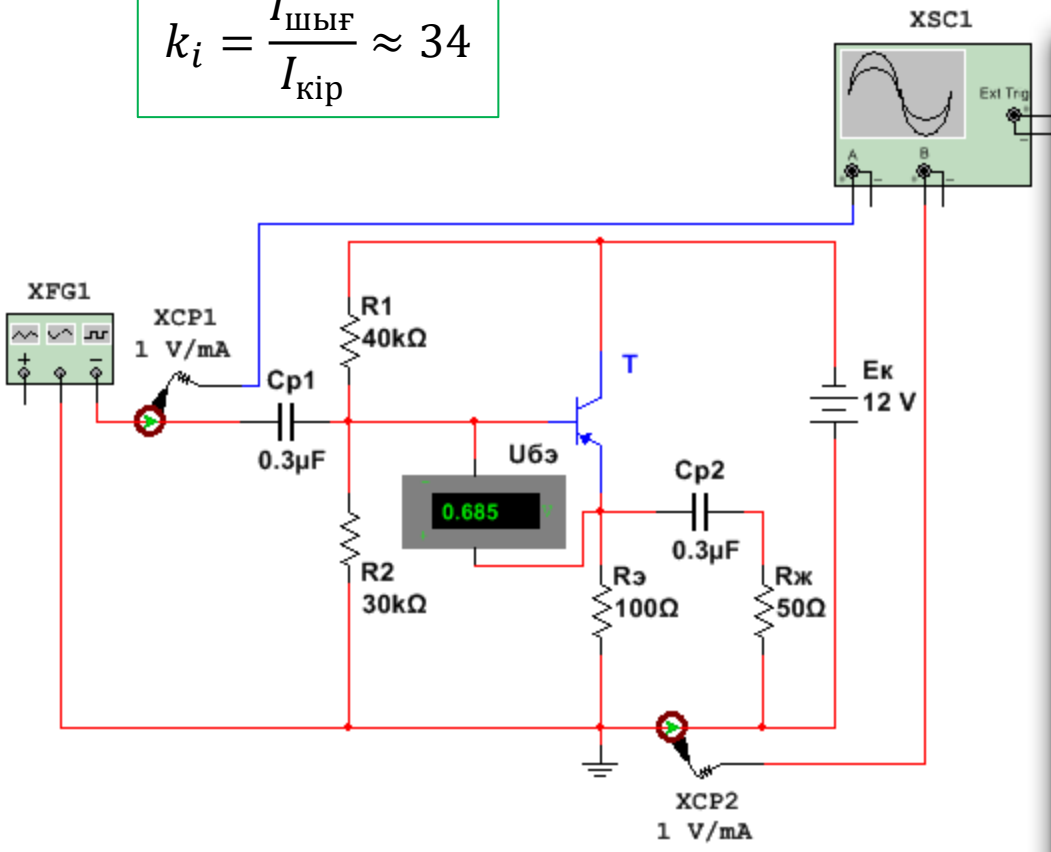


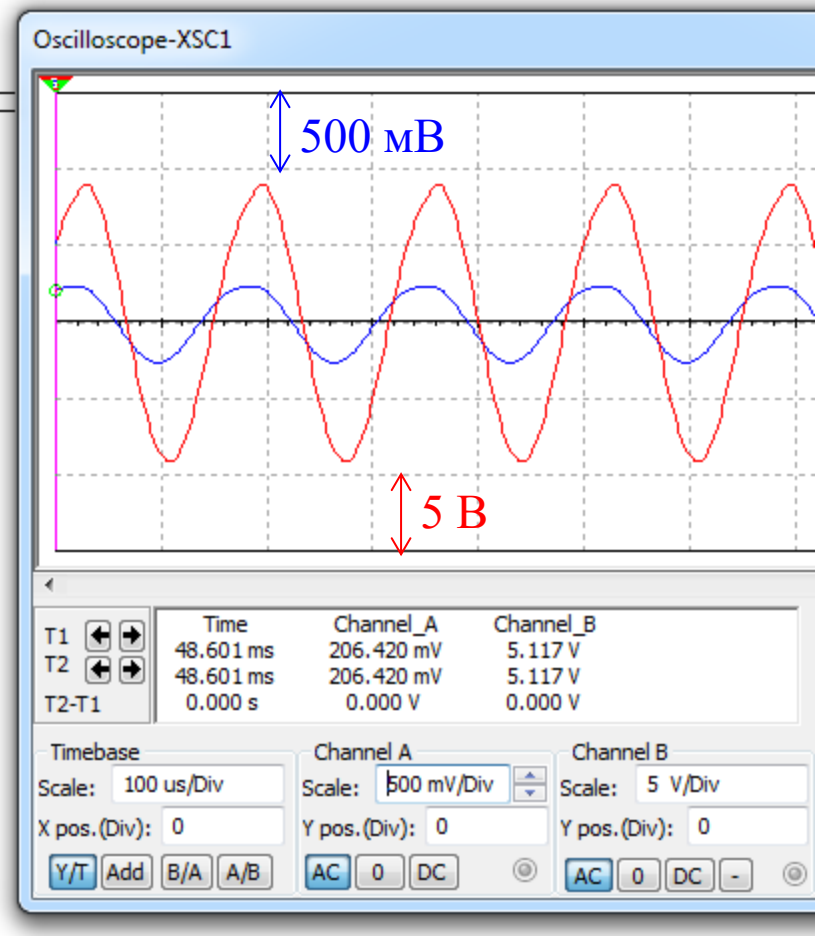


$$U_{\text{шығ}}/U_{\text{кір}} < 1$$

КО жалғанған ток күшейткіш каскад

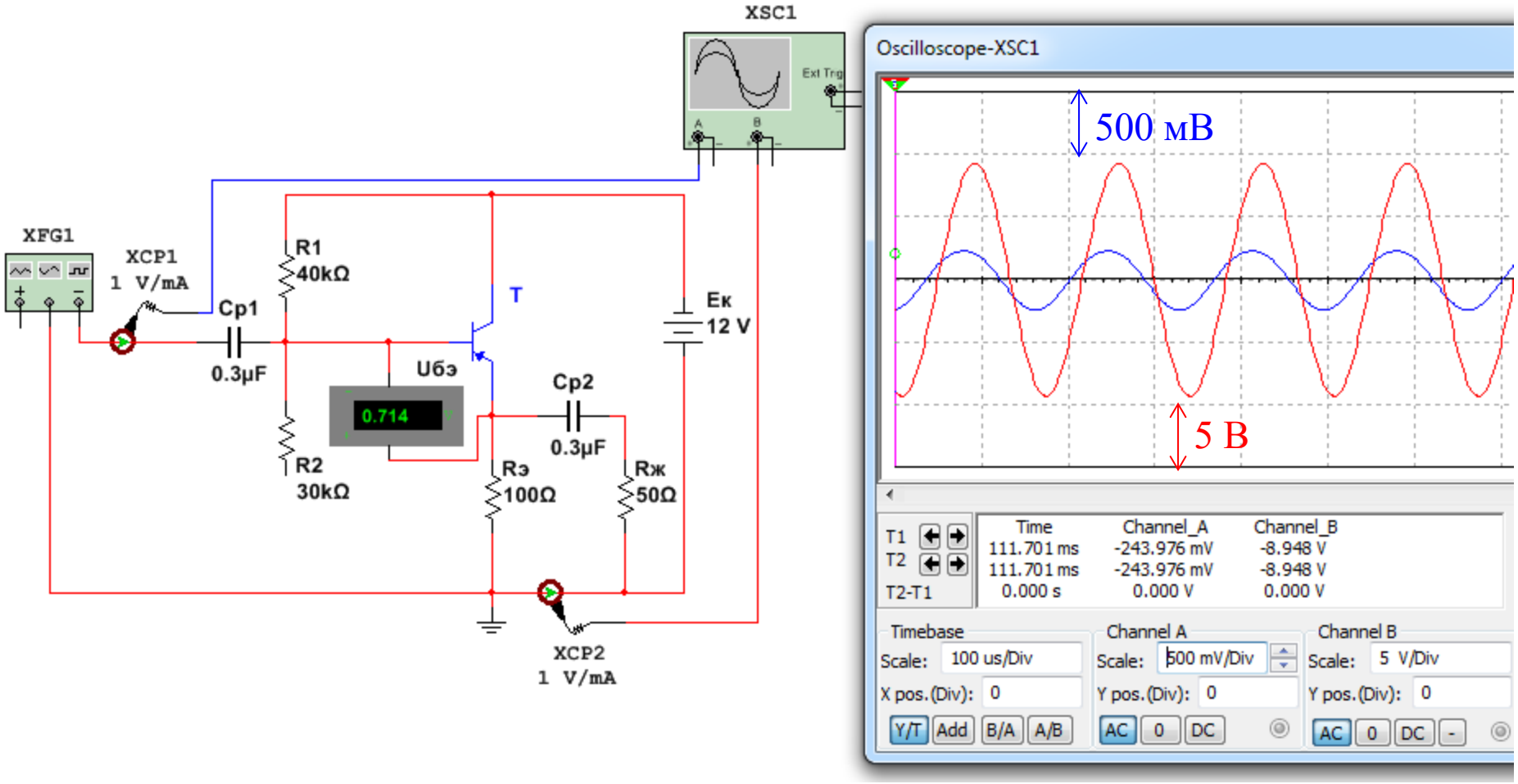
$$k_i = \frac{I_{\text{шығ}}}{I_{\text{кір}}} \approx 34$$



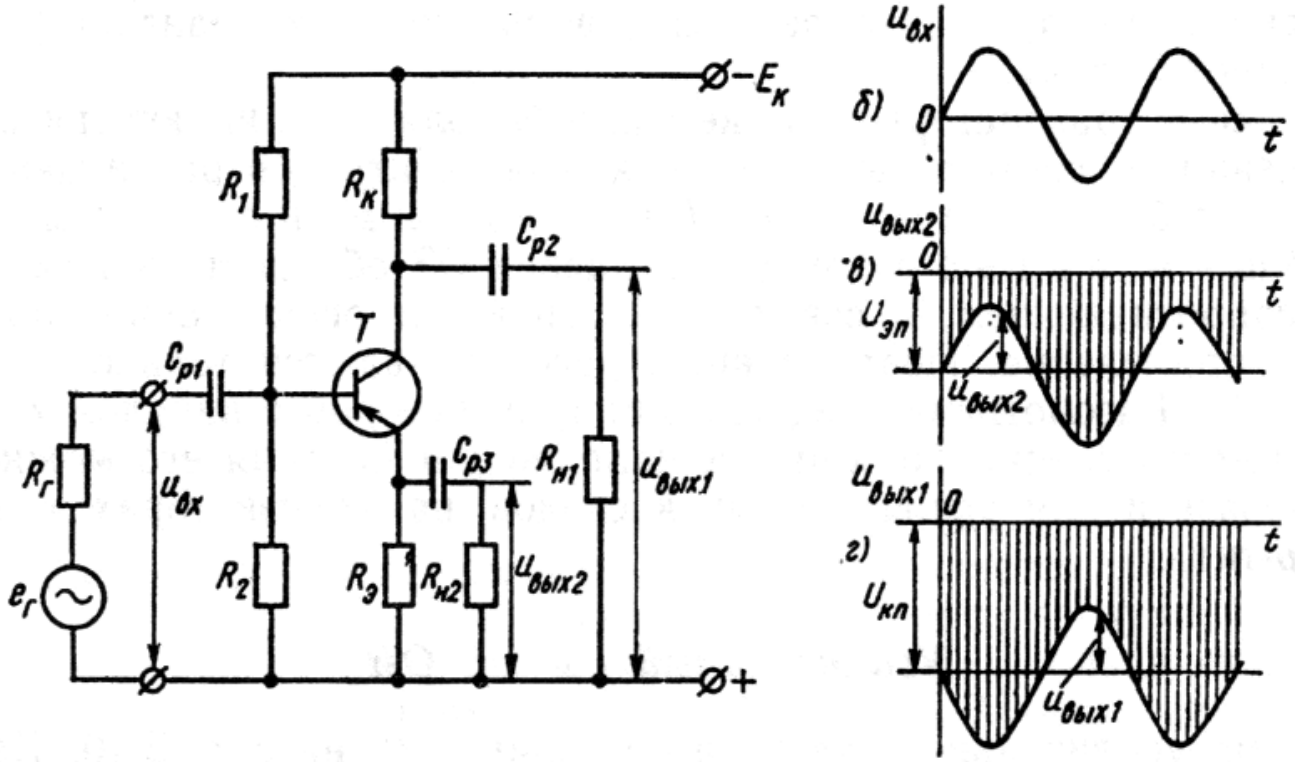


$$I_{\text{шығ}}/I_{\text{кір}} = \frac{I_э}{(I_э - I_к)} = \frac{1}{(1-\alpha)} = \beta \gg 1$$

Кіріс кедергісін жоғарылату – $R_2 = \infty$

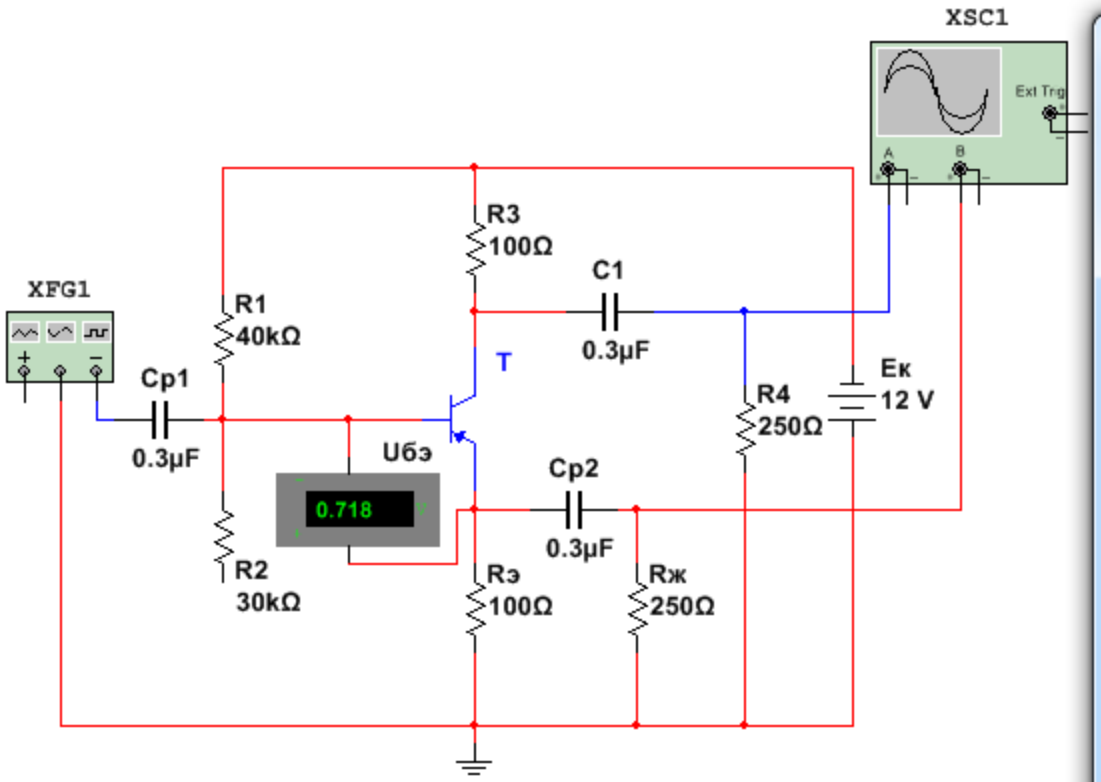


Фаза ығыстырғыш каскад



13 сурет

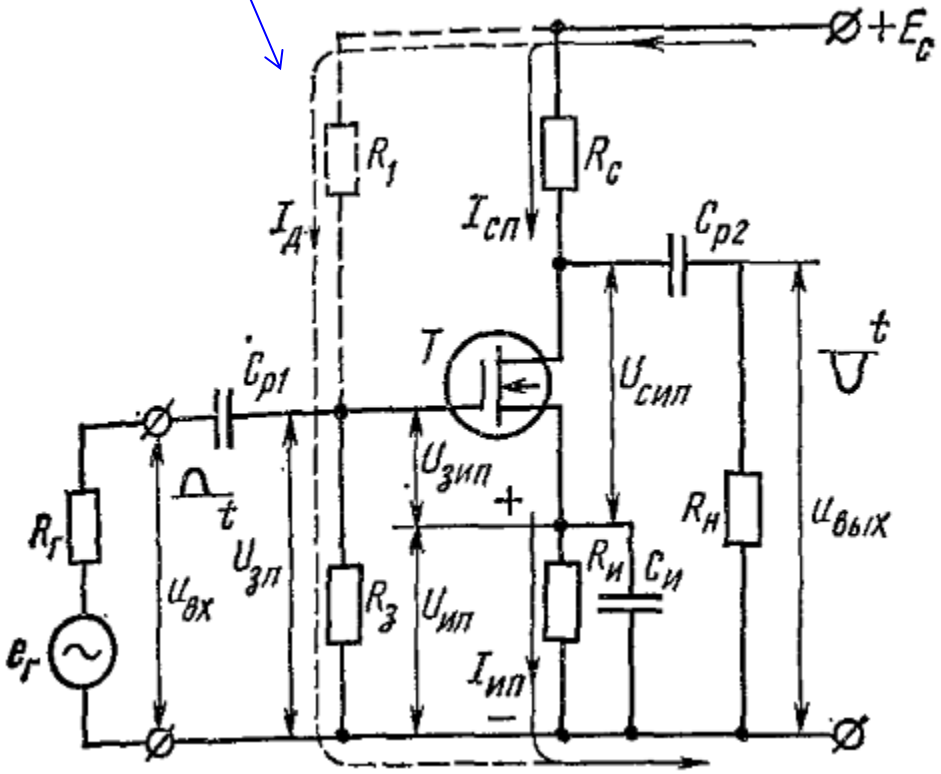
Фаза ығыстырғыш каскад

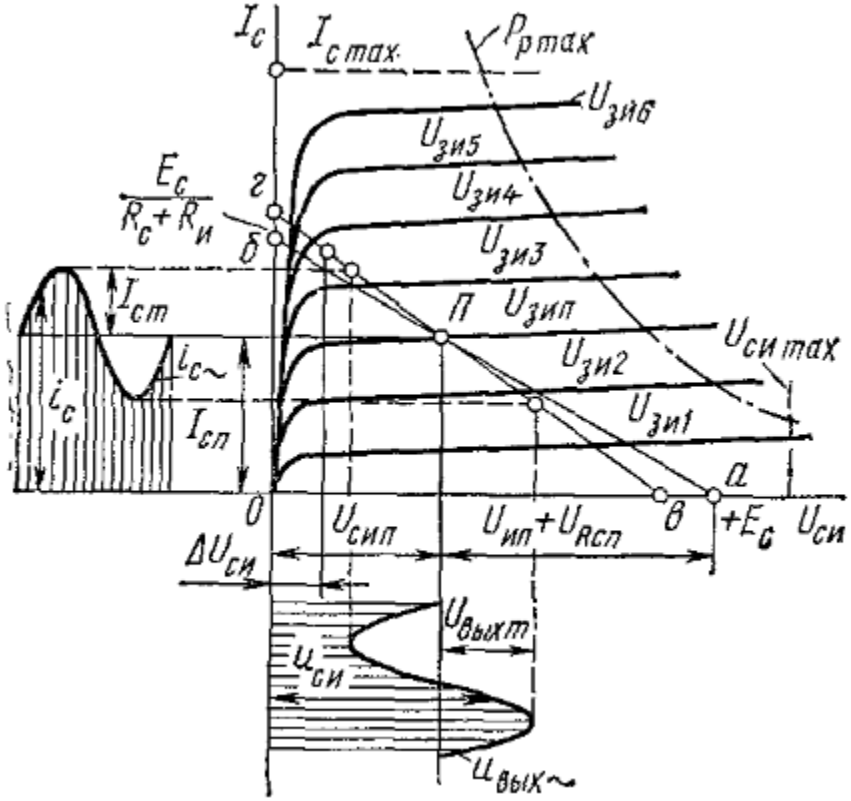




АО (ОИ) жалғанған күшейткіш каскад

R_1 кедергі болмаса да жұмыс істейді





$$R_{\text{и}} = U_{\text{зип}} / I_{\text{сп}} \qquad R_{\text{з}} = 1 - 2 \text{ МОм}$$