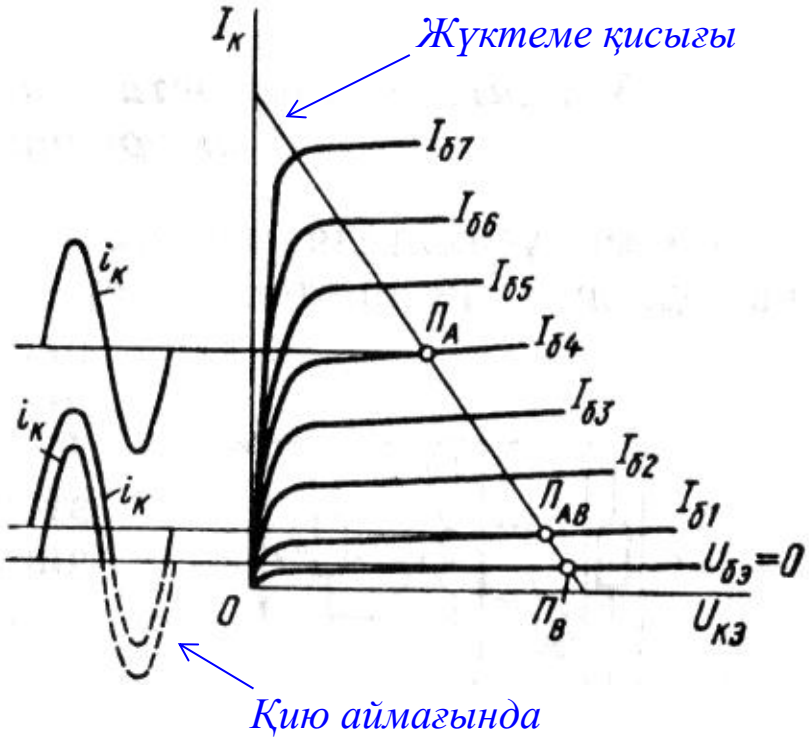
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультеті

Физикалық электроника негіздері

Профессор Досболаев М.Қ.
merlan@physics.kz

Күшейткіш каскадтардың жіктелуі

Күшейту кластары, олар тұрақты ток бойынша жүктеме қисығындағы тыныштық күй нүктесінің (точка покоя – П, $I_{бП}$) орналасуына байланысты А, В және АВ деп бөлінеді.



1 сурет. ЭО жалғанған транзистордың коллекторлық (шығыс) сипаттама

А класы, жүктеме қисығы бойымен тыныштық күй нүктесін ($П_А$) қозғаған кезде ол сипаттаманың сызықты емес бөлігіне және қию аймағына өтіп кетпеу керек. *Бұл, қуат күшейткіш бір тактылы каскадтардың жұмыс режимі.* Шығыс сигналы бұрмаланбайды, алайда ПӘК-і және қуаты төмен.

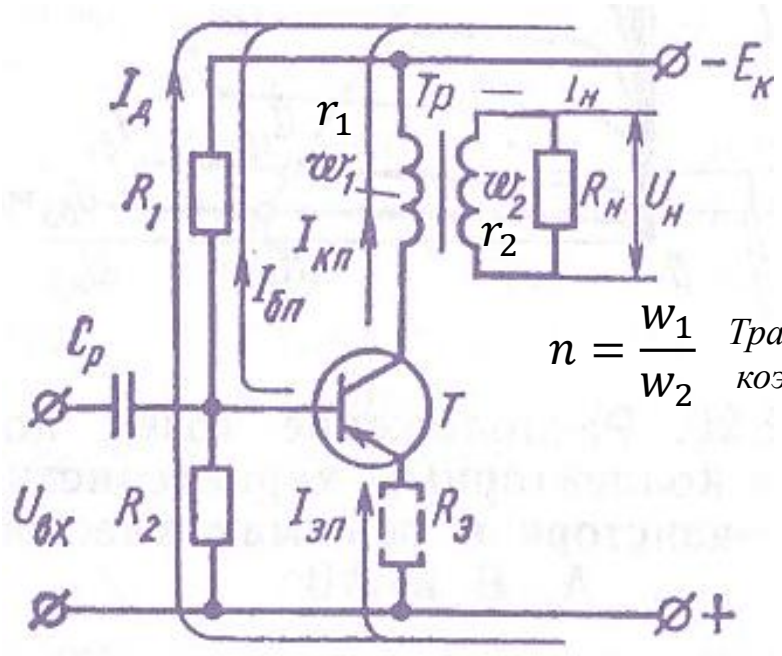
В класы, тыныштық күй нүктесі жүктеме қисығының ең төменгі бөлігінде орналасады, және оған $U_{бэ} = 0$ кернеуі сәйкес келеді. *Бұл, қуат күшейткіш екі тактылы каскадтардың жұмыс режимі.* Қуаты және ПӘК-і жоғары.

АВ класы, тыныштық күй нүктесі А мен В кластарының арасында орналасқан, В класымен салыстырғанды шығыс сигналының бұрмалануы әлдеқайда төмендетілген.

Трансформаторлы А класты қуат күшейту каскады

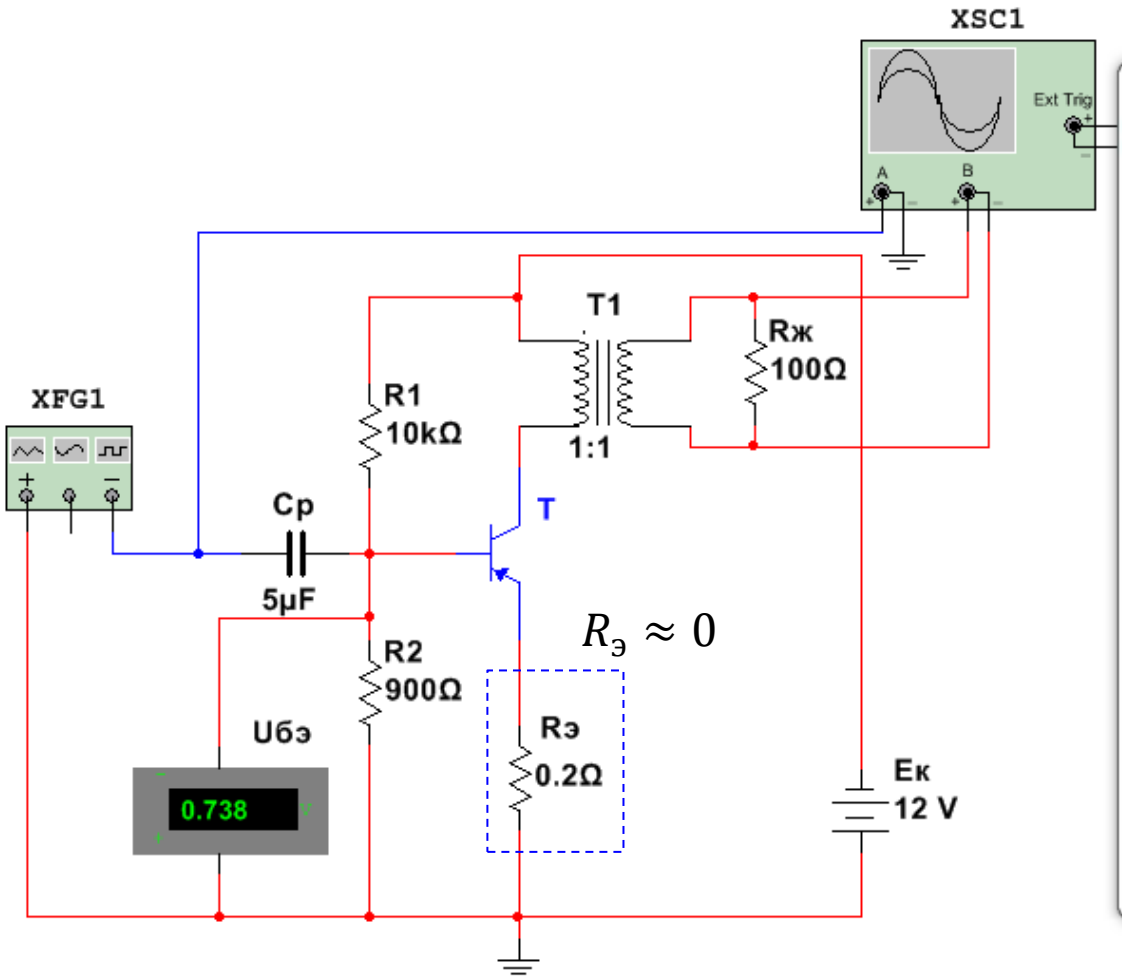
Қуатты күшейту, жүктеме жалғанатын шығыс каскадында жүзеге асады. Қуатты күшейту каскадтары жүктеме жалғануға байланысты трансформаторлы және трансформаторлы емес болып екіге бөлінеді.

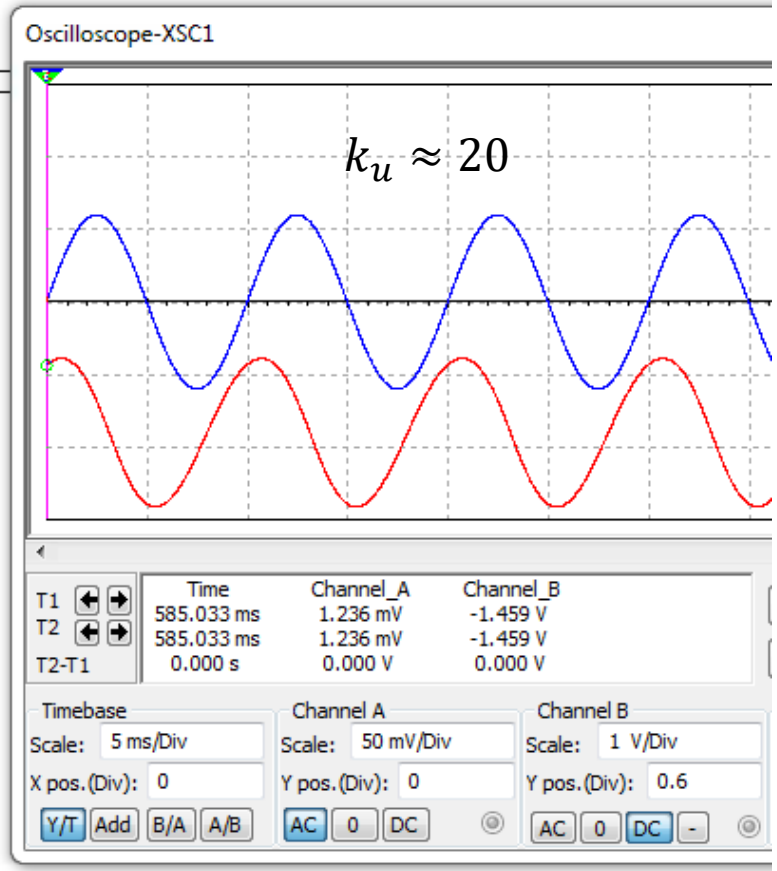
Трансформатор орамасының (бұл жерде алғашқысы) активті кедергісі төмен, осы себепті коллекторлық ток күші жоғары болады. Демек шығыс қуатын жоғалтып алмау (шығын) мақсатында $R_э$ таңдау қиындыққа соғады. Мұндай жағдайда $R_э$ кедергісін, оған кернеу түсуін азайту үшін төмен қылып алады (ондаған Ом) немесе $R_э = 0$.



2 сурет. А класты қуат күшейту каскады. *Жүктеменің трансформатор арқылы жалғануы*

Трансформаторлы А класты қуат күшейту каскады

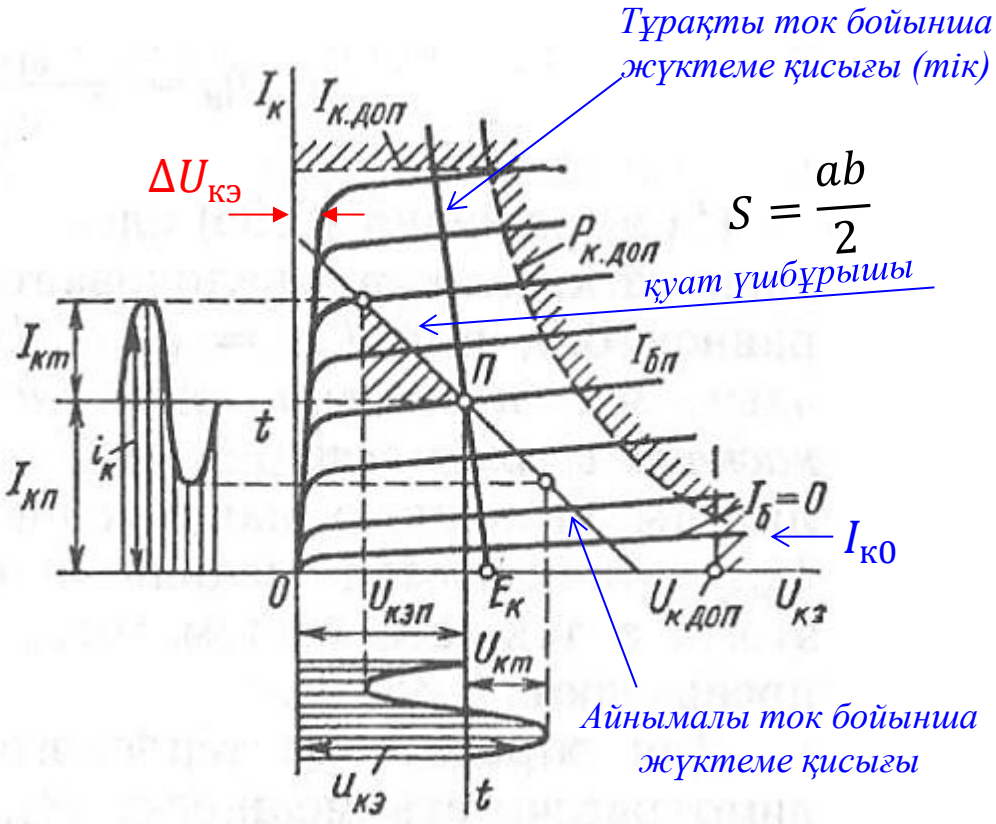




Трансформаторлы А класты қуат күшейту каскады, графикалық есептеу

Жүктеме кередгісі:

$$R_{ж\sim} = n^2(R_ж + r_2) + r_1 \approx n^2 R_ж \quad (1)$$



3 сурет. Шығыс сипаттама

Тыныштық күйді орнату шарты:

$$U_{кэп} > U_{кт} + \Delta U_{кэ} \quad (2)$$

$$I_{кп} > I_{кт} + I_{к0}(I_б = 0) \quad (3)$$

Каскадтың шығыс қуаты:

$$P_{шығ.к} = \frac{P_ж}{\eta_{тр}} \quad (4)$$

$$P_{шығ.к} = \frac{U_{кт} I_{кт}}{2} = \frac{U_{кт}^2}{2R_{ж\sim}} = \frac{U_{кт}^2}{2n^2 R_ж} \quad (5)$$

Трансформация коэффициенті:

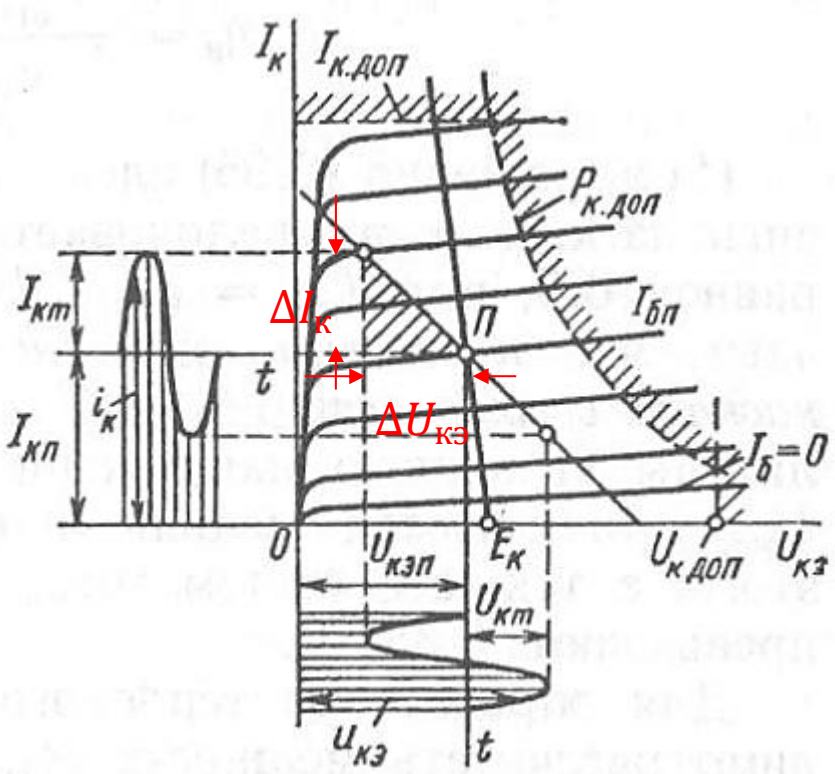
$$n = \sqrt{\frac{U_{кт}^2}{2P_{шығ.к}R_ж}} = \sqrt{\frac{U_{кт}^2 \eta_{тр}}{2P_ж R_ж}} \quad (6)$$

Коллектор тогы:

$$I_{кт} = \frac{U_{кт}}{R_{ж\sim}} = \frac{U_{кт}}{n^2 R_ж} \quad (7)$$

Трансформатордың ПӘК-і – $\eta_{тр} = 0{,}8 \div 0{,}9$

Трансформаторлы А класты қуат күшейту каскады, графикалық есептеу



Айнымалы ток бойынша жүктеме қисығының қисаю бұрышы:

$$\left|\frac{\Delta U_{кэ}}{\Delta I_к}\right| = R_{ж\sim} \quad (8)$$

Коллекторлық тізбектің ПӘК-і:

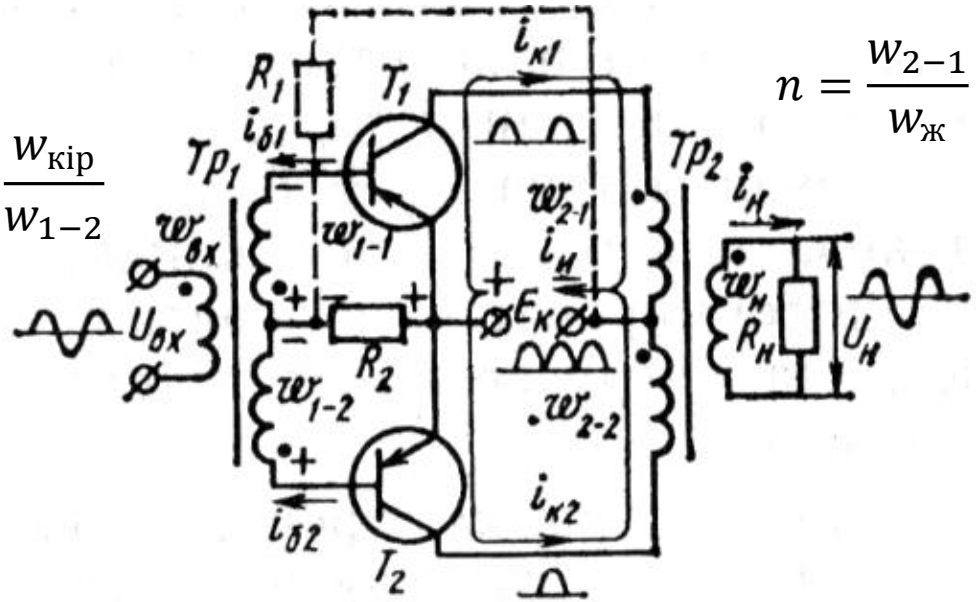
$$\eta_к = \frac{P_{шығ.к}}{P_и} = \frac{U_{кт} I_{кт}}{2 U_{кэп} I_{кп}} \approx 0{,}4 \quad (9)$$

$P_и$ – көз қуаты

Трансформаторлы екі тактaлы қуат күшейту каскады. В және АВ кластарда жұмыс істейді

АВ класының режимі үшін «базаны ығыстырушы» кернеу $E_к$ қорек көзінен R_1 және R_2 кедергілерінің көмегімен беріледі. В класының жұмыс режимі кезінде бастапқы ығыстырушы кернеу, $E_к$ берілмейді.

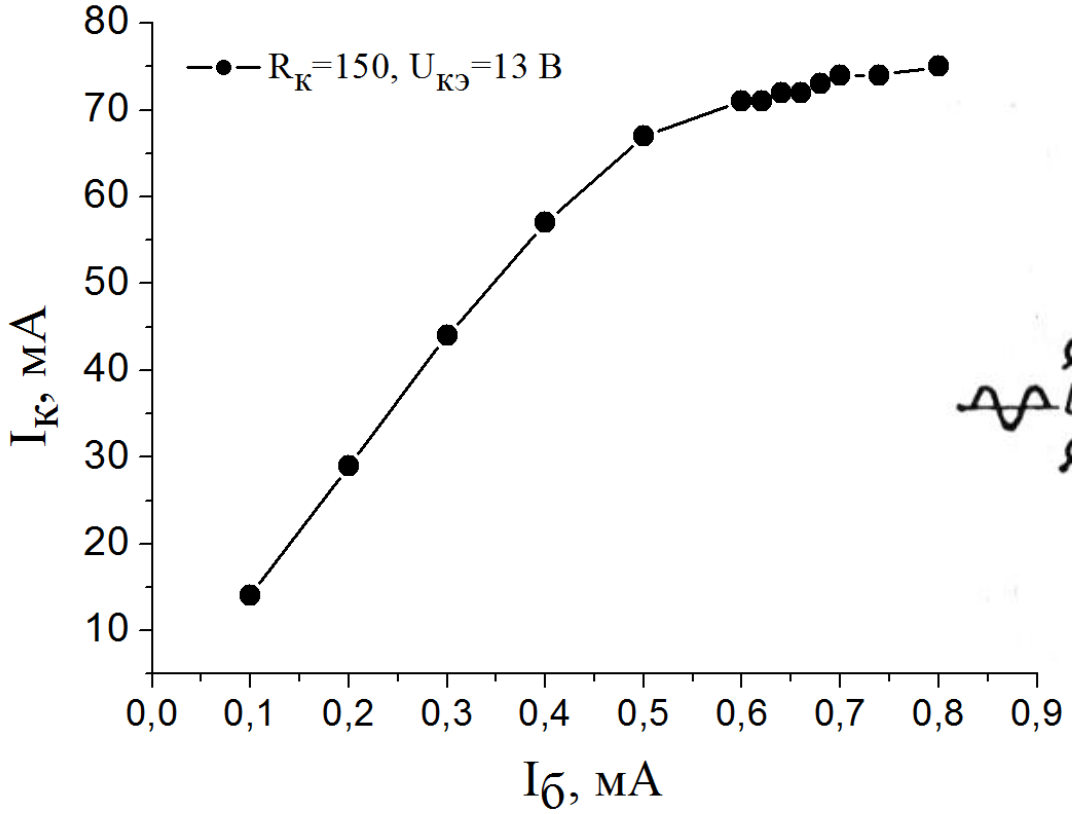
$$n = \frac{w_{кір}}{w_{1-1}} = \frac{w_{кір}}{w_{1-2}}$$



$$n = \frac{w_{2-1}}{w_ж} = \frac{w_{2-2}}{w_ж}$$

4 сурет. Екі тактaлы күшейткіш каскад

Трансформаторлы екі тактaлы қуат күшейту каскады (В класс).

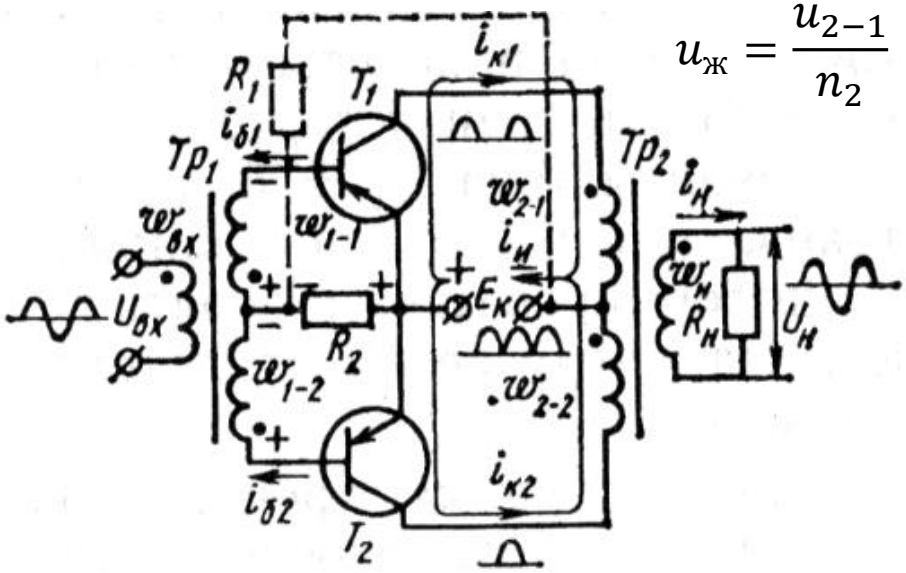


$$i_{k1}=\beta i_{б1}$$

$$\downarrow$$

$$u_{2\text{-}1}=i_{k1}R_{ж\sim}$$

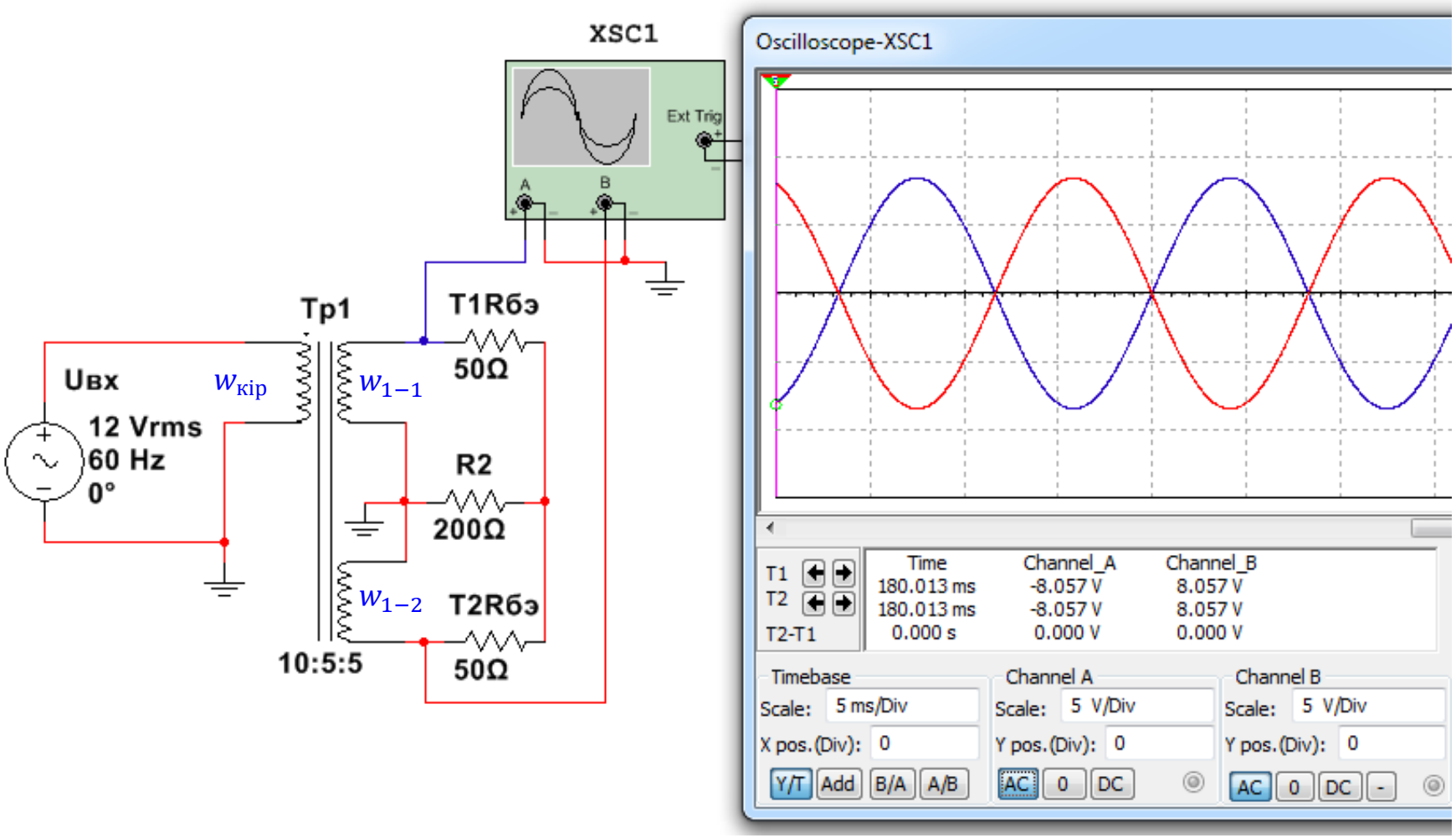
$$u_ж = \frac{u_{2-1}}{n_2}$$



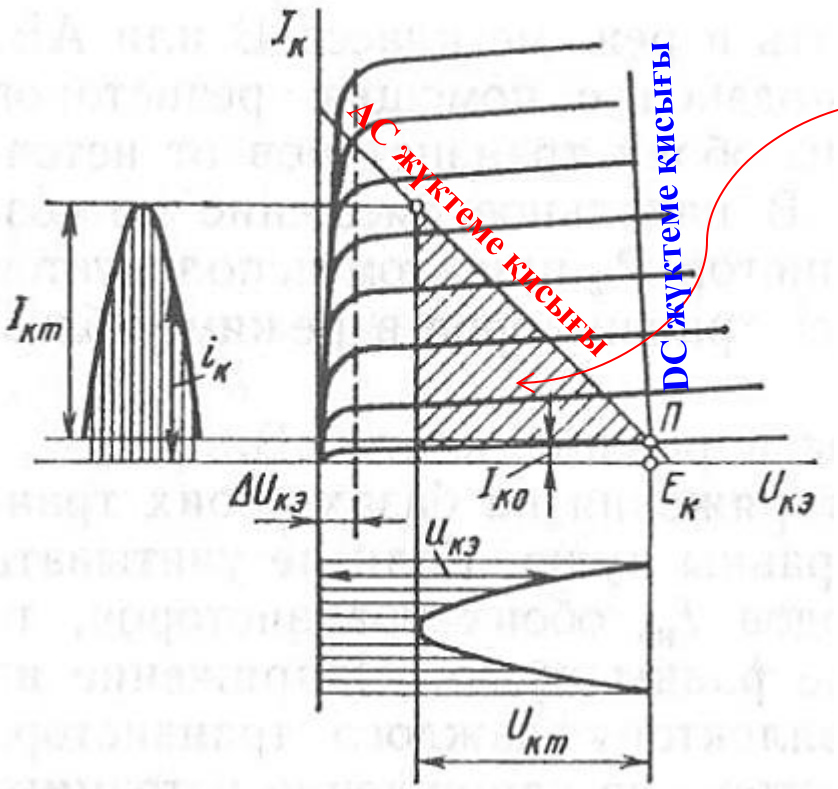
$\beta = I_к/I_б -$ ток бойынша беру коэффициенті

Фаза ығыстырушы трансформаторлы каскад

$$n_1 = \frac{w_{кір}}{w_{1-1}} = \frac{w_{кір}}{w_{1-2}}$$

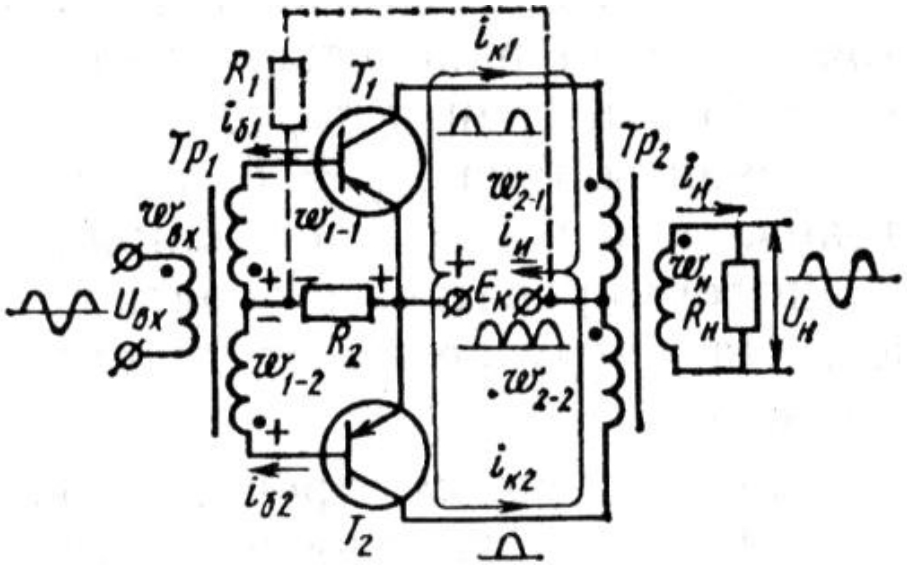


Екі тактады қуат күшейту каскадын графикалық есептеу



Каскадтың шығыс қуаты:

$$P_{\text{шығ.к}} = \frac{U_{кт} I_{кт}}{2}$$

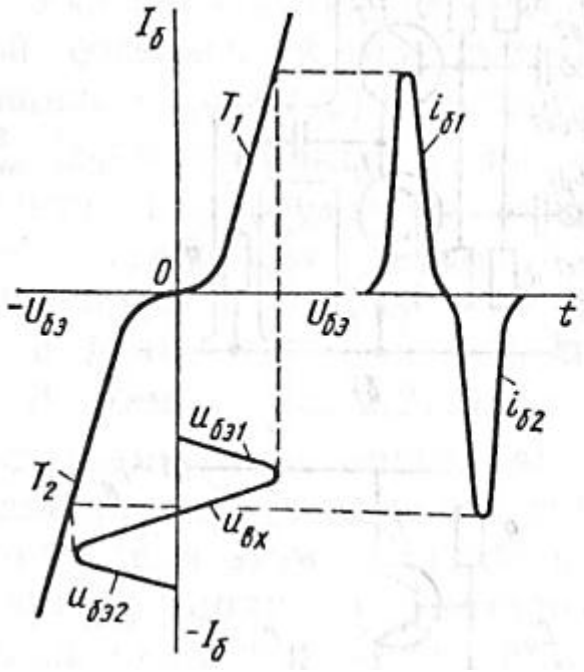


$$I_и = \frac{2I_{кт}}{\pi} \approx 0{,}64 \cdot I_{кт} \quad (10) \qquad P_и = I_и E_к \quad (11)$$

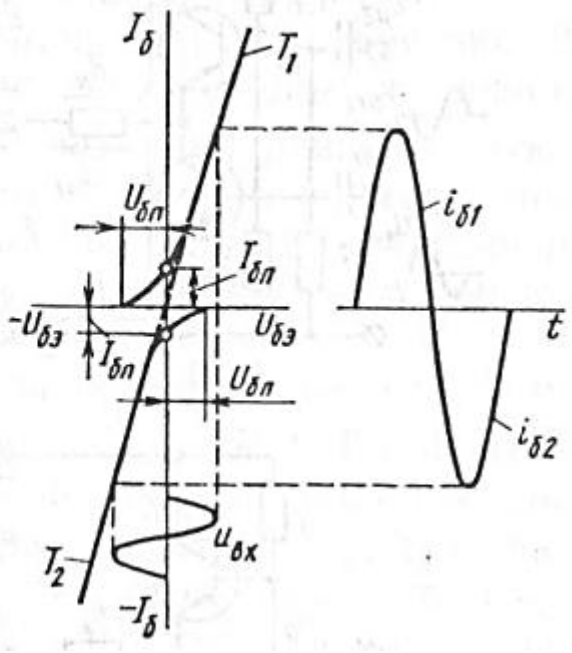
$$\eta = \eta_{тр} \frac{\pi}{4} \frac{U_{кт}}{E_к} \approx 0{,}65 \quad (12)$$

$I_и$ – қорек көзі (коллектор) тогының орташа мәні

Шығыс сигналының бұрмалануы кіріс сипаттамасының сызықты болмауында.

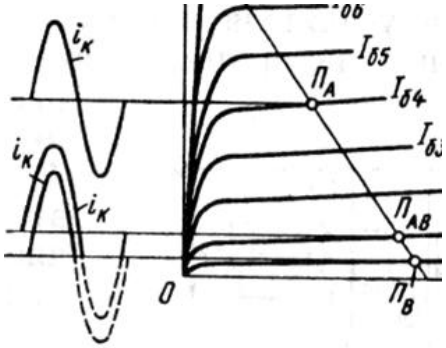


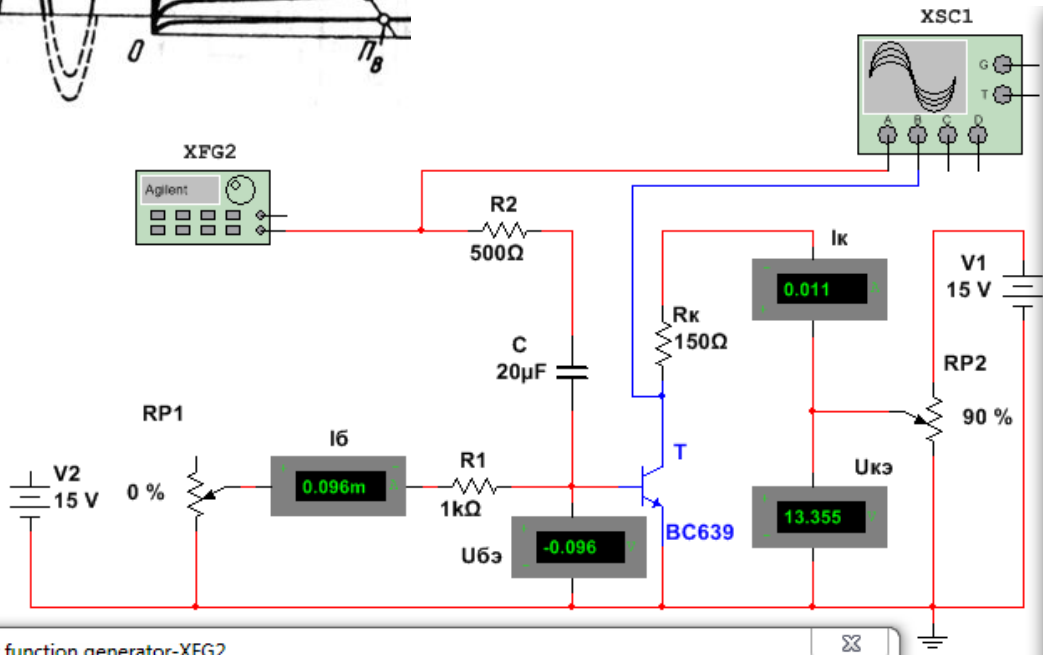
5 сурет. Кіріс сипаттама
В класы үшін ($U_{бП} = 0$)

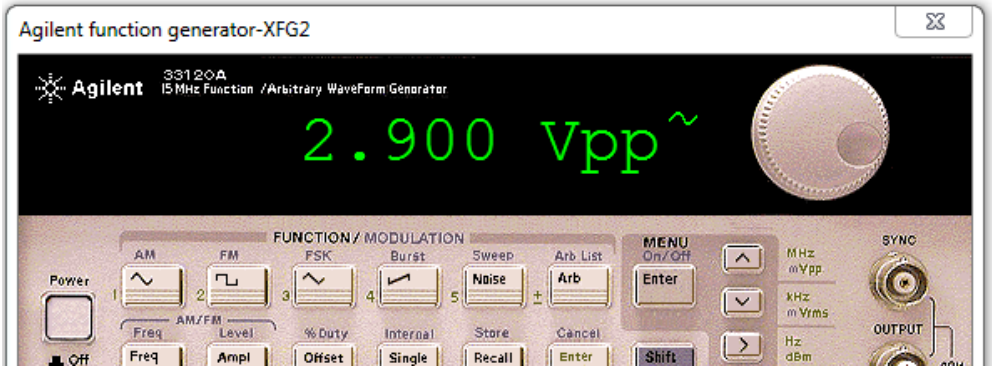


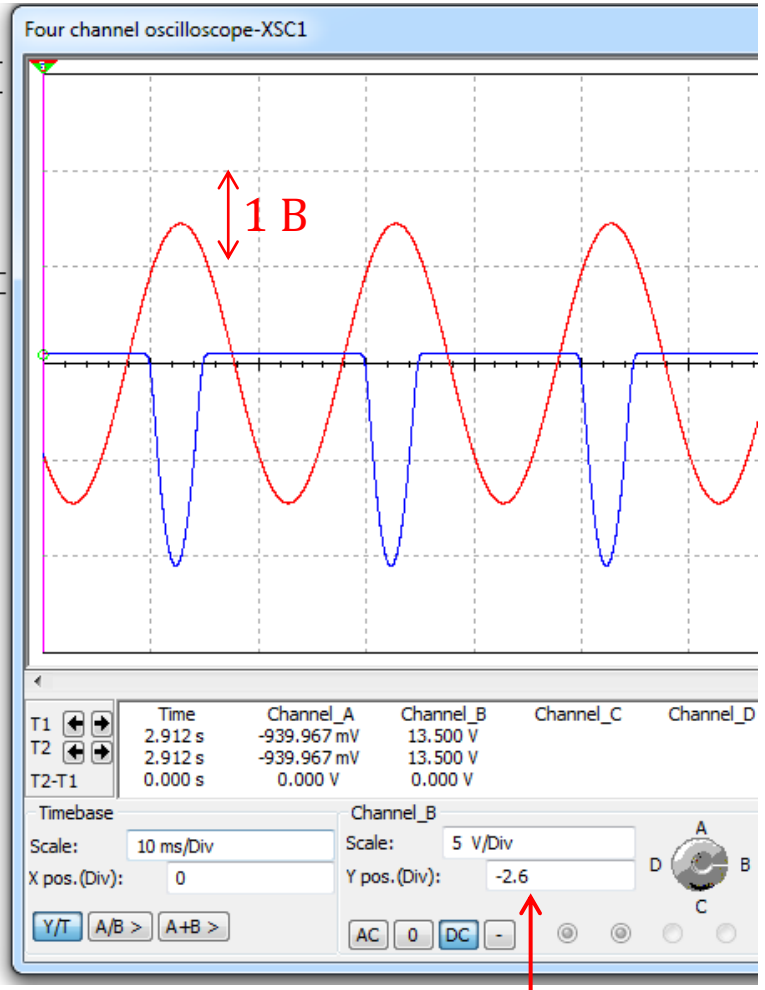
6 сурет. Кіріс сипаттама
АВ класы үшін ($U_{бП} \neq 0$)

В класты ($U_{бП} = 0$) күшейткіш каскад моделі

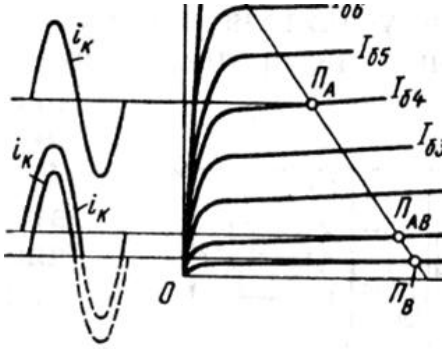


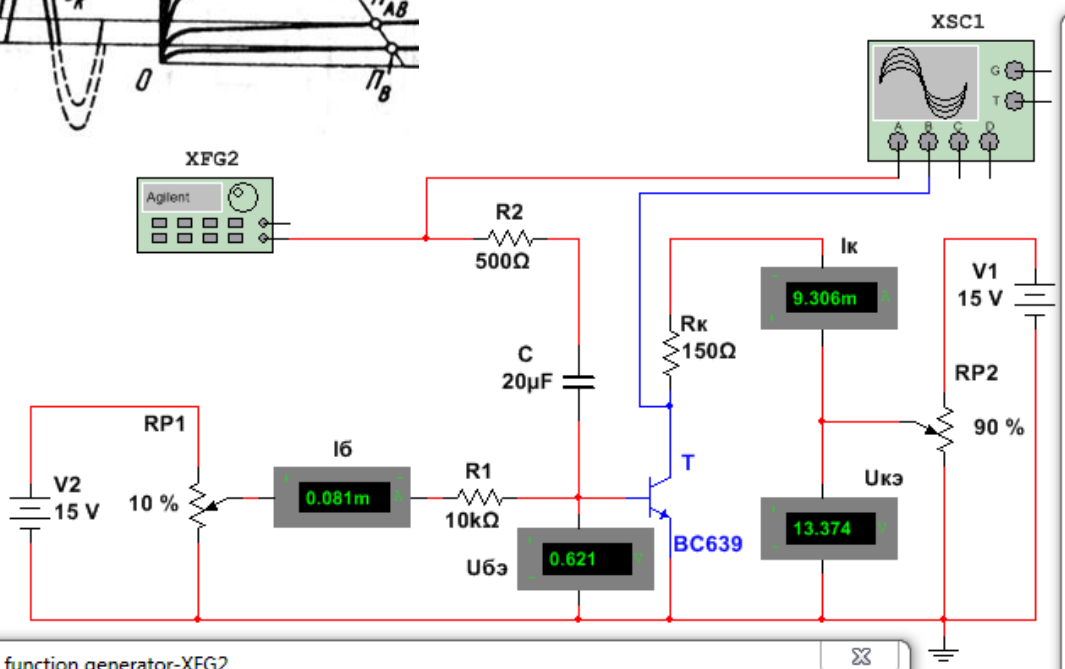




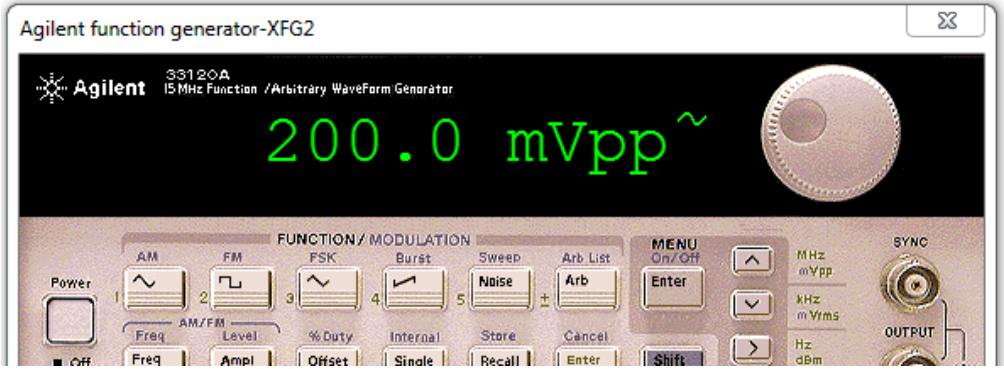


АВ класты ($U_{бП} \neq 0$) күшейткіш каскад моделі





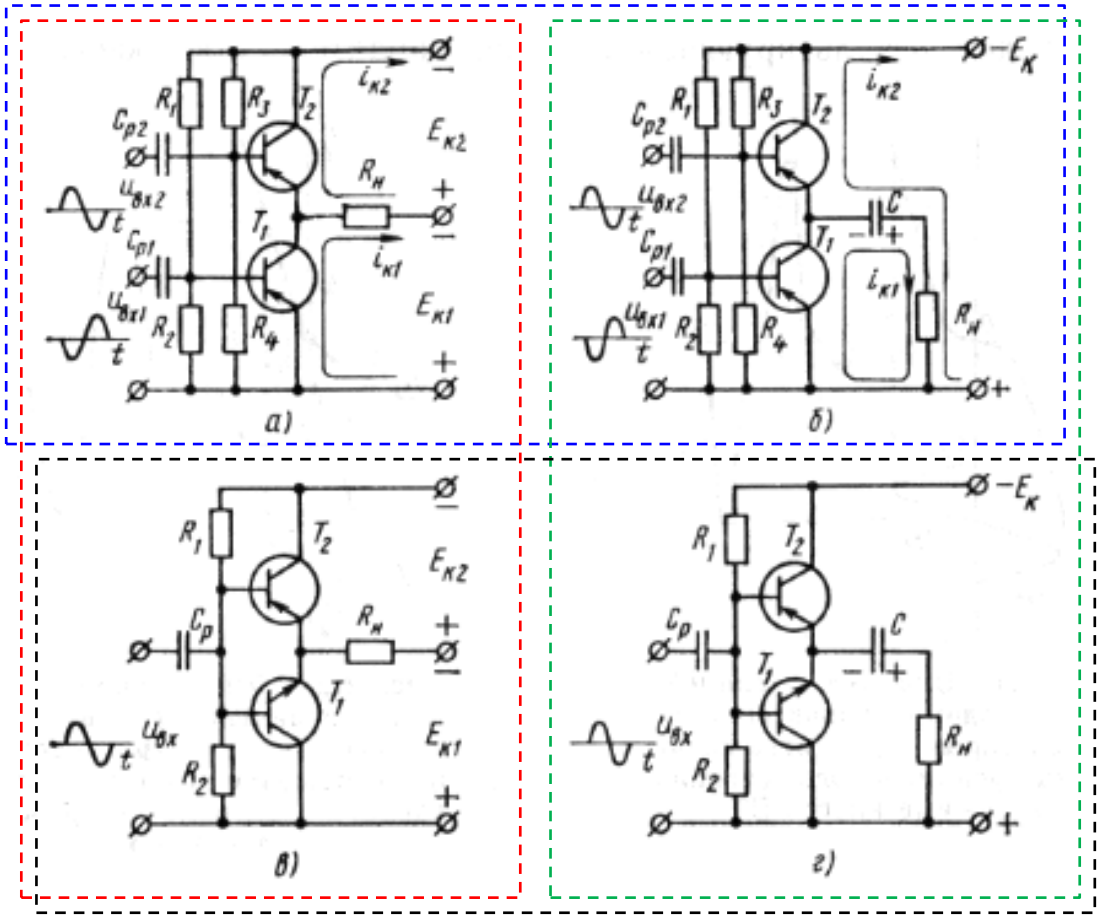


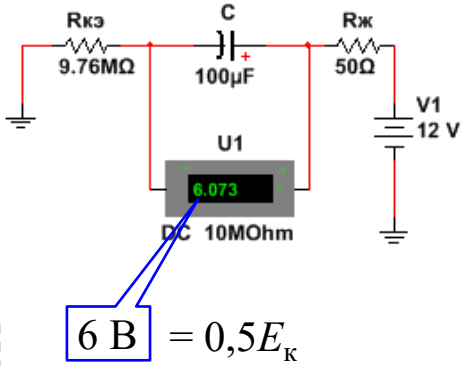


Трансформаторсыз екі тактылы қуат күшейту каскадтары

Фаза ығыстырушы каскадпен →

Фаза ығыстырушы каскад жоқ →

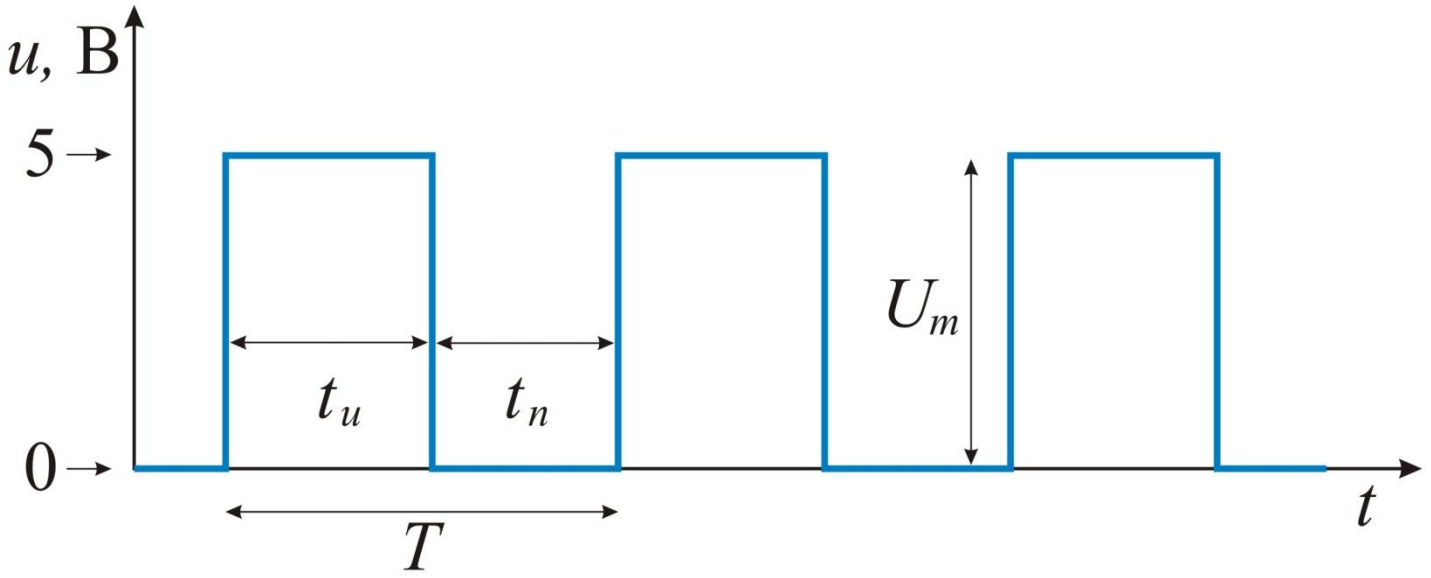




7 сурет.

D класты күшейткіш каскадтар импульсті сигналмен жұмыс істейді

Идеал импульсті сигнал



t_u – импульс ұзақтағы
t_n – үзіліс (пауза)
T – импульс периоды
U_m – импульс амплитудасы

$\gamma = t_u/T$ – толтыру коэффициенті
$N = T/t_u = 1/\gamma$ – скважность (duty cycle)

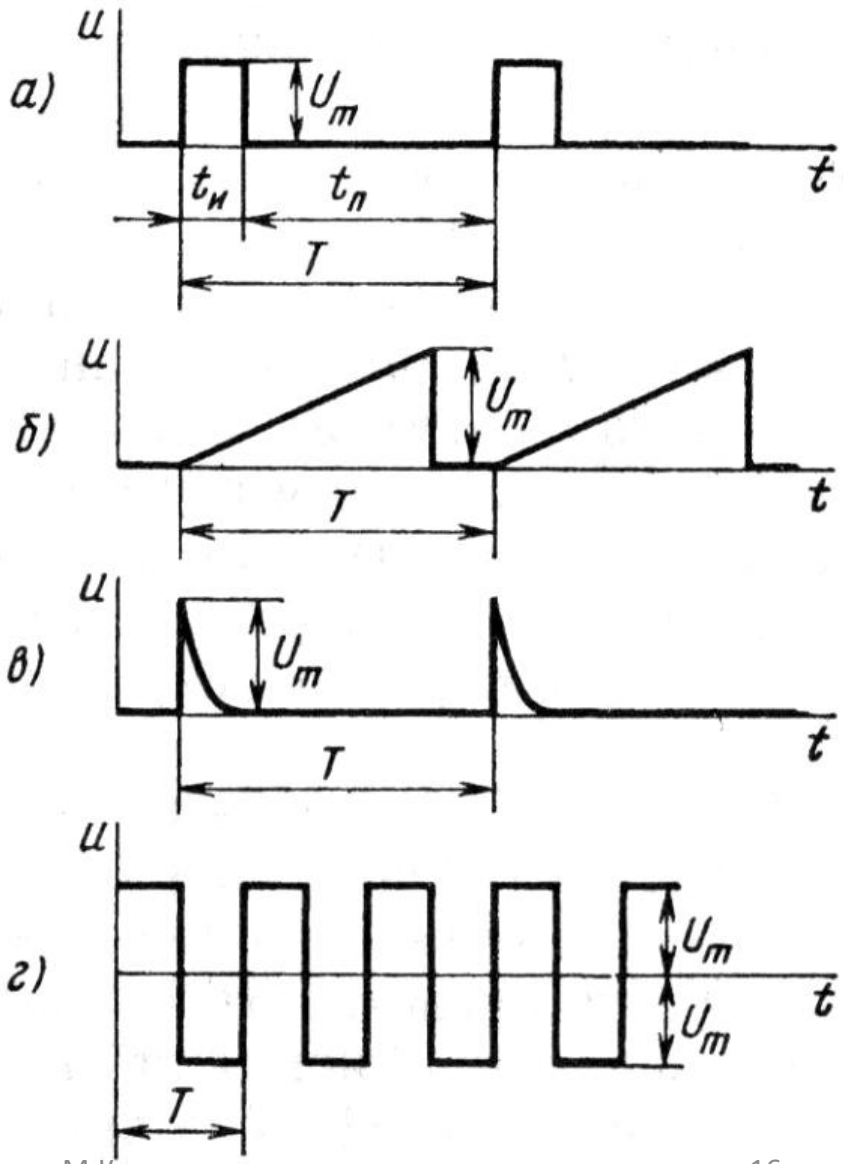
ТТЛ (транзисторлы-транзисторлық логика) - қоректендіру кернеуі +5 В болатын транзисторлық технологияға негізделген логикалық элементтердің стандарты.

Импульсті сигнал ерекшелігі

- Токты аз жұмсайды;
- ПӘК үлкен;
- Дәлдігі жоғары;
- Температураға тәуелділігі аз;
- Шуылға төзімді.

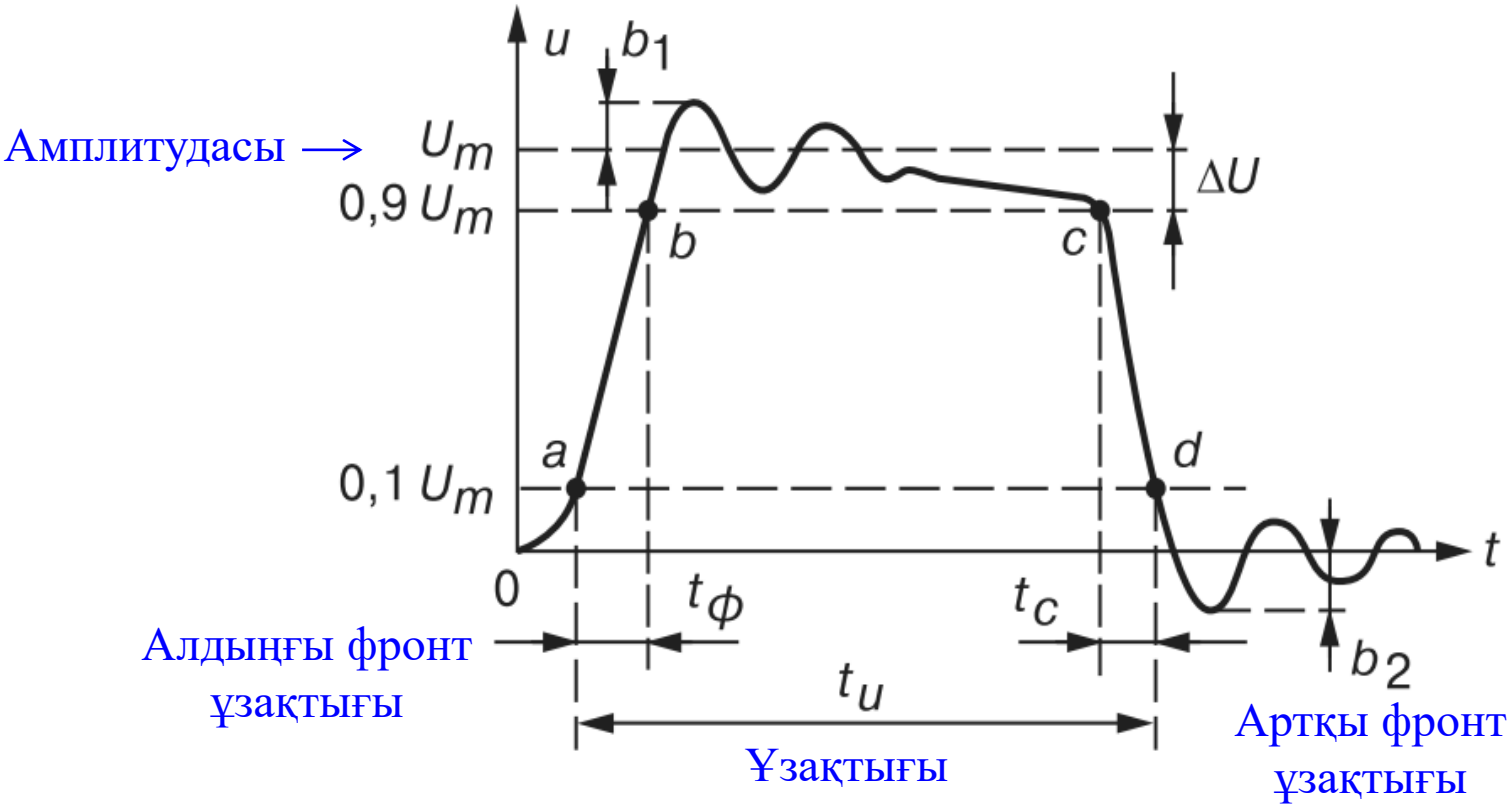
Импульс түрлері

а) тікбұрышты
б) ара тісі тәрізді
в) экспоненциалды
г) қос полярлы



Нақты импульсті сигнал параметрлері

Амплитудасы, ұзақтығы, фронт ұзақтығы, қиылу ұзақтығы және төбесінің қисаюы

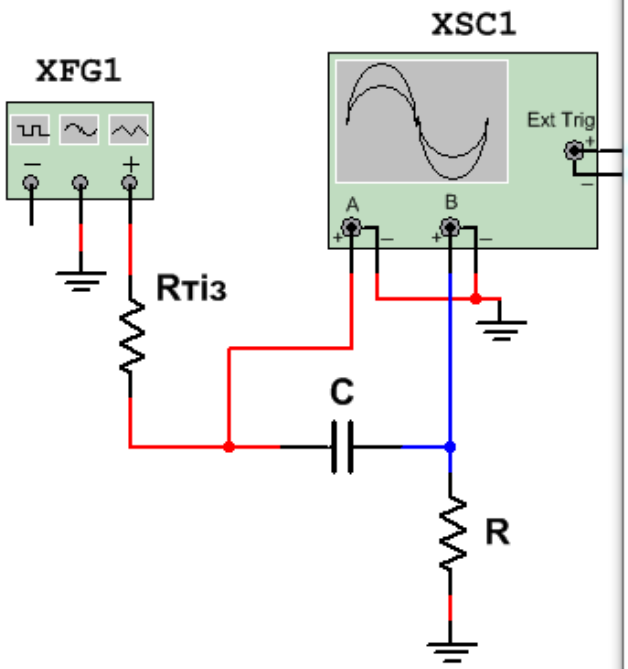


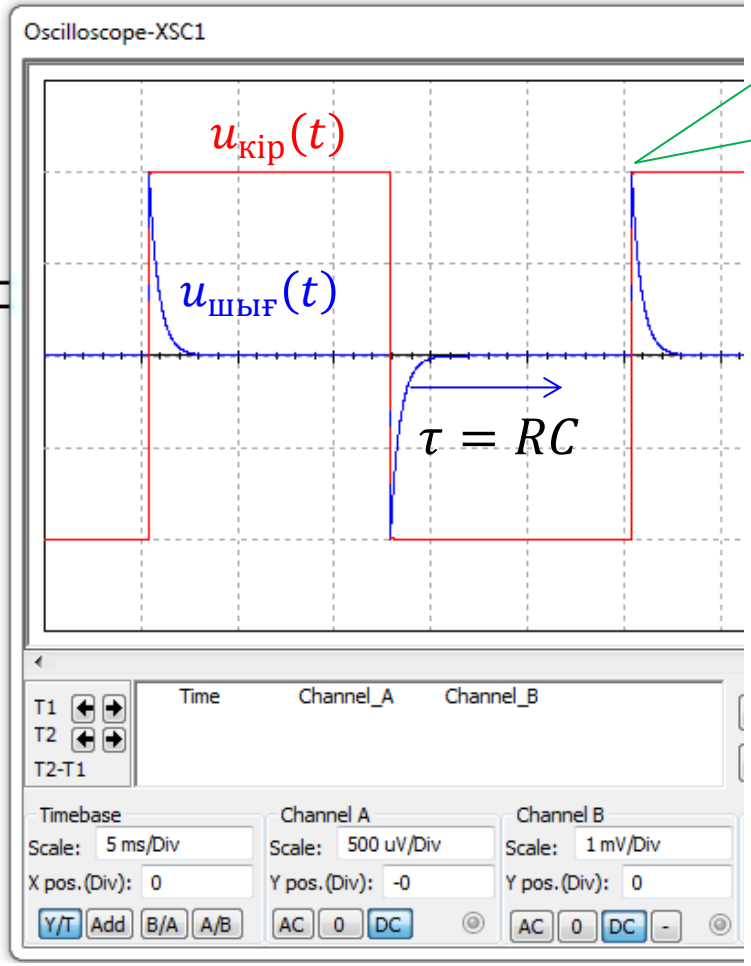
Алдыңғы фронт, төбесі және қиылуы (артқы фронт)

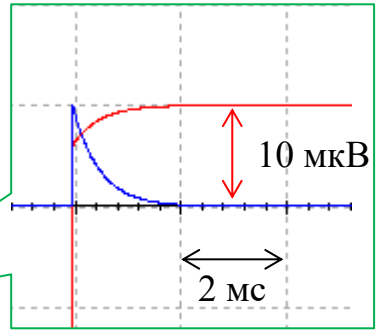
Импульсті сигналдың қарапайым RC тізбектен өтуі

Дифференциалдаушы тізбек (конденсатордың разрядталуы)

$$u_{\text{шығ}} = \tau \frac{du_{\text{кір}}}{dt}$$

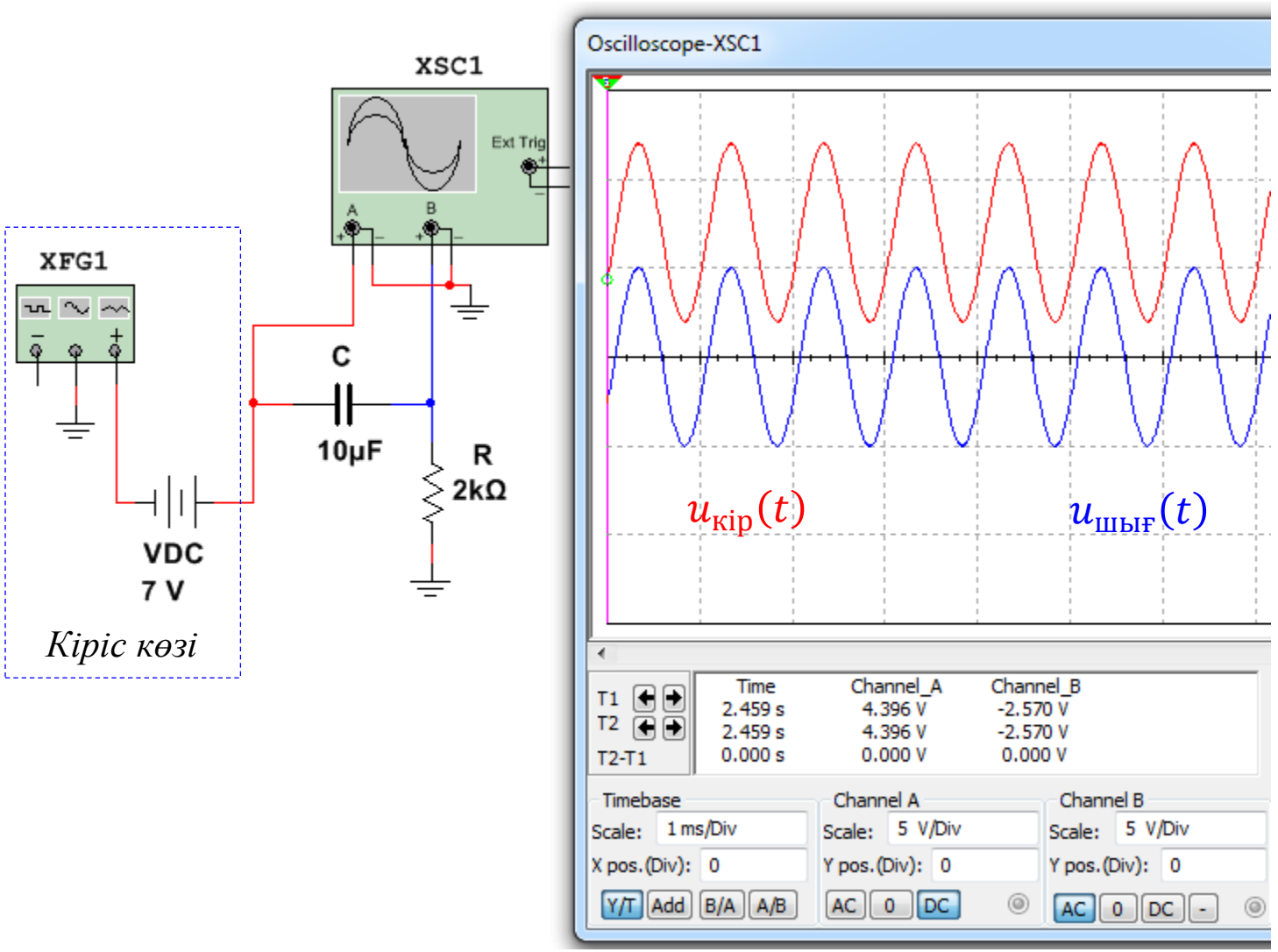






нақты импульстің фронты

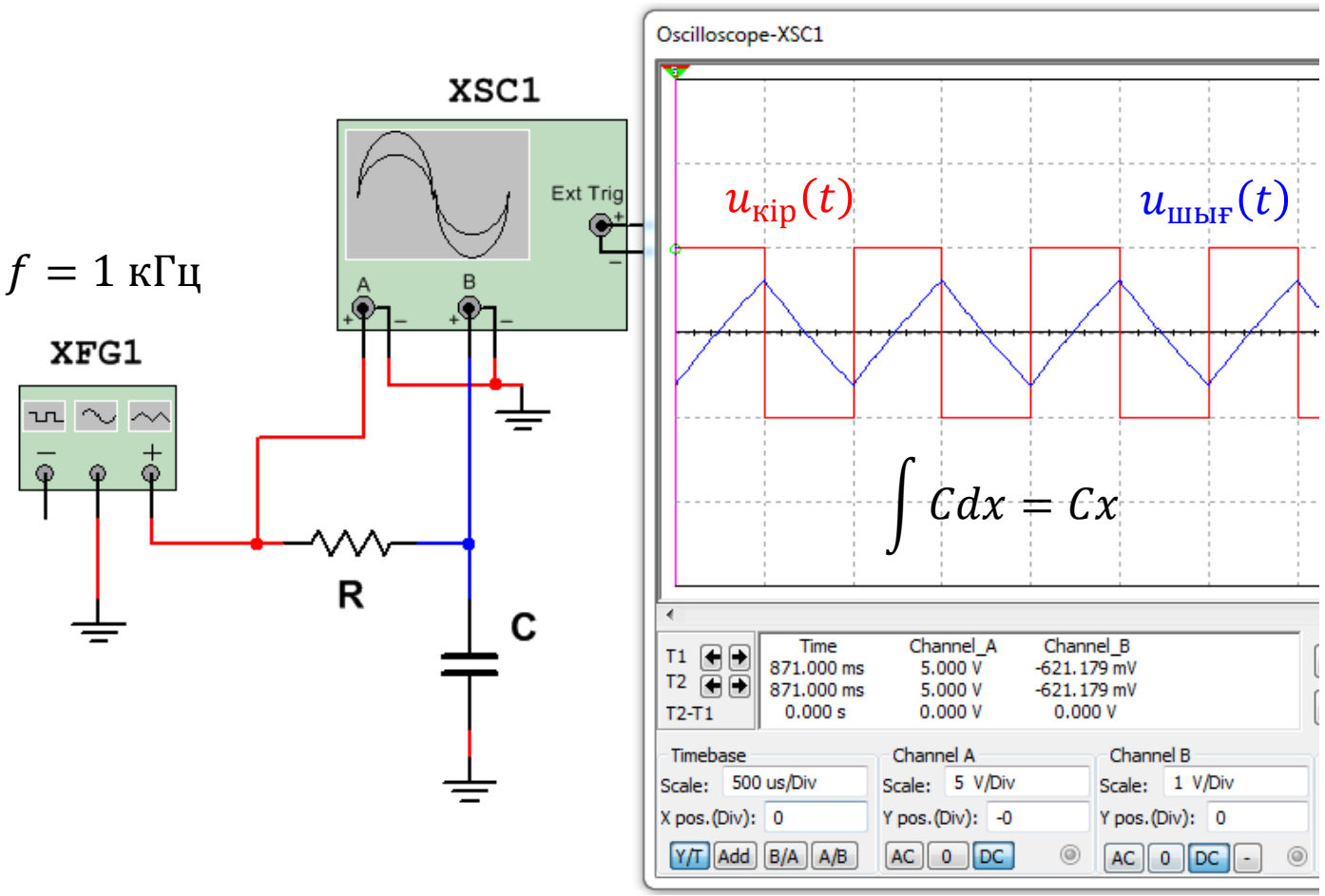
Дифференциалдаушы тізбектің сигналды бөлуі, жоғары жиіліктер сүзгісі



Импульсті сигналдың қарапайым RC тізбектен өтуі

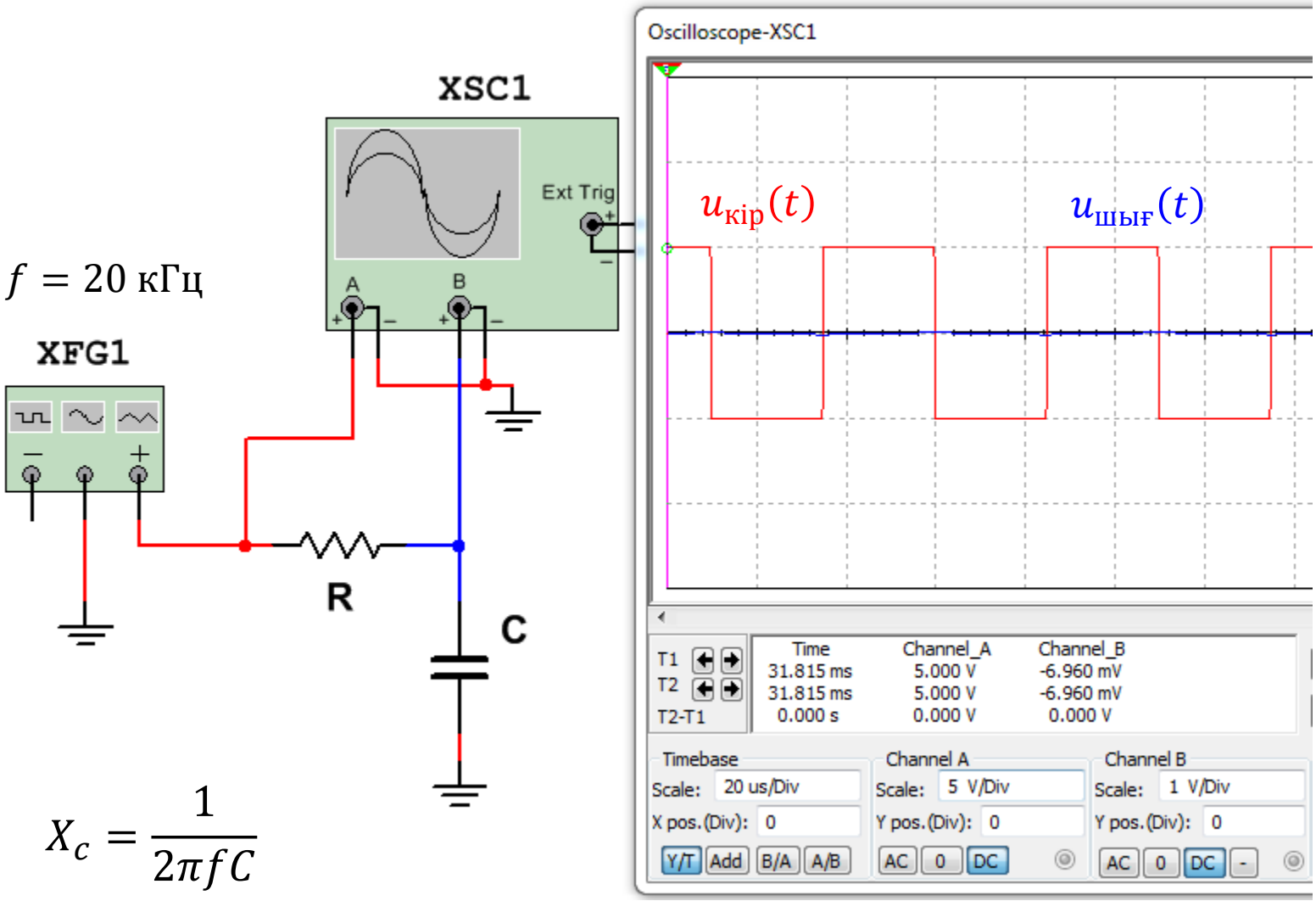
Интегралдаушы тізбек (конденсатордың зарядталуы)

$$u_{\text{шығ}} = -\frac{1}{\tau}\int_0^t u_{\text{кір}}dt,$$

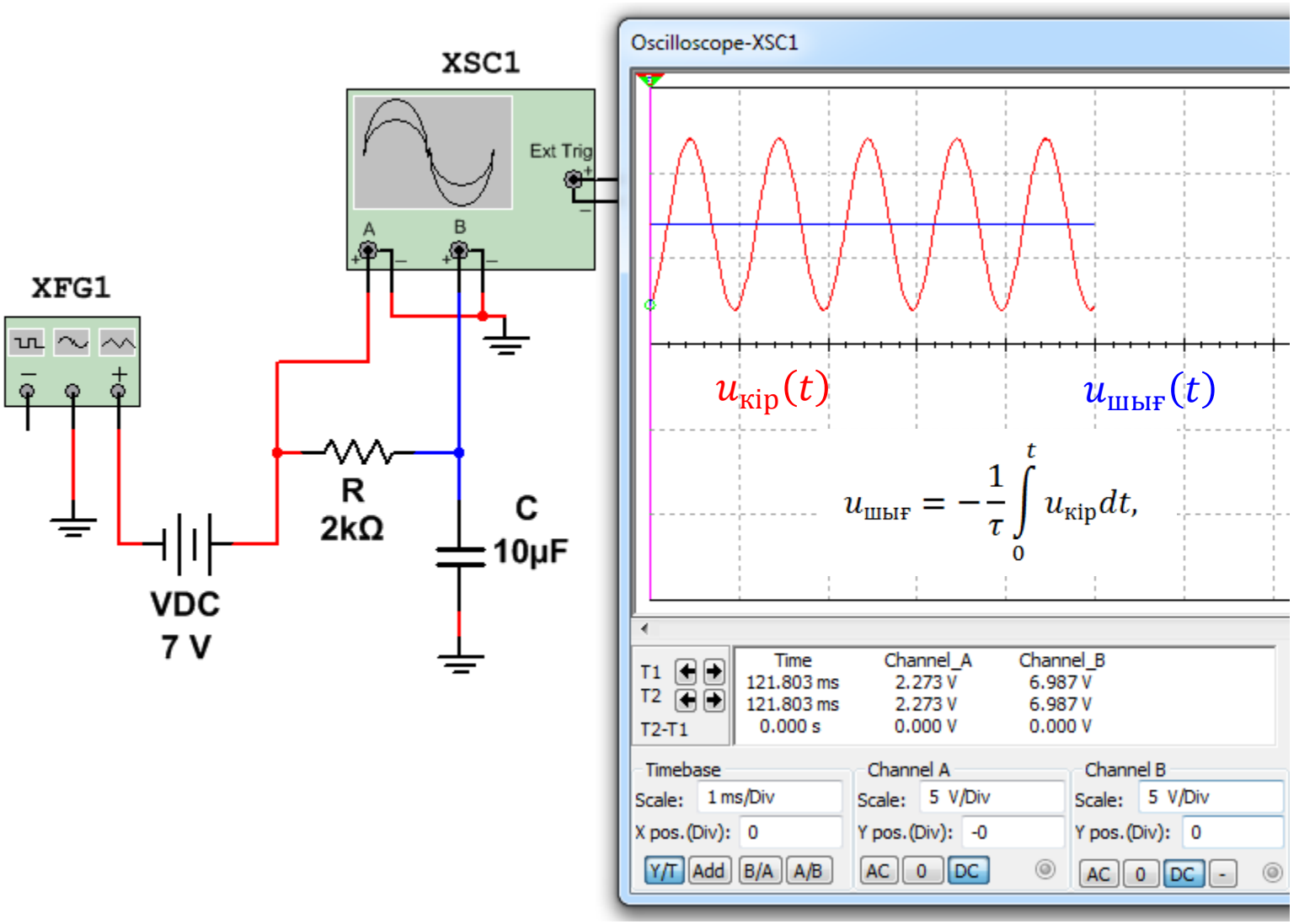


$\tau = RC$

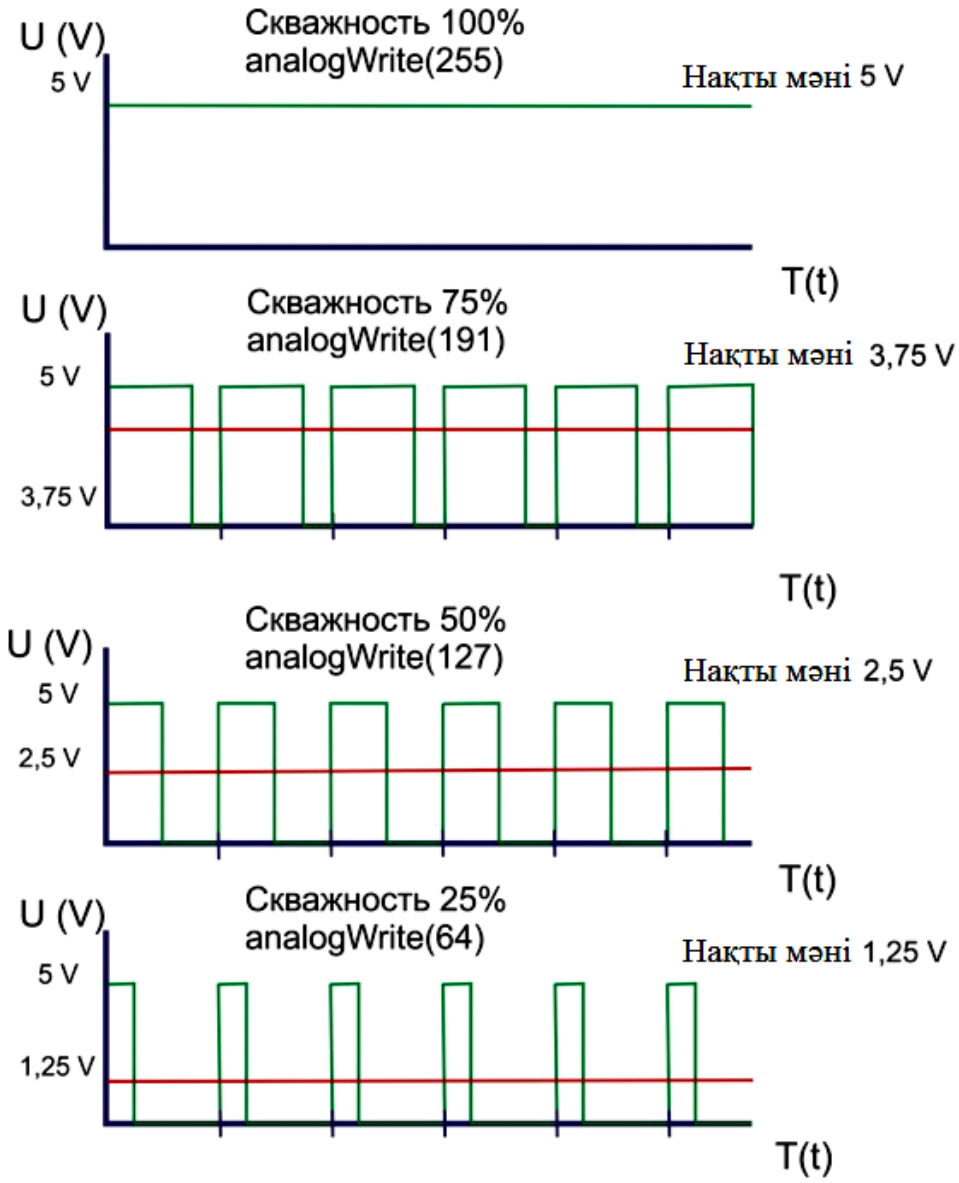
Интегралдаушы тізбек



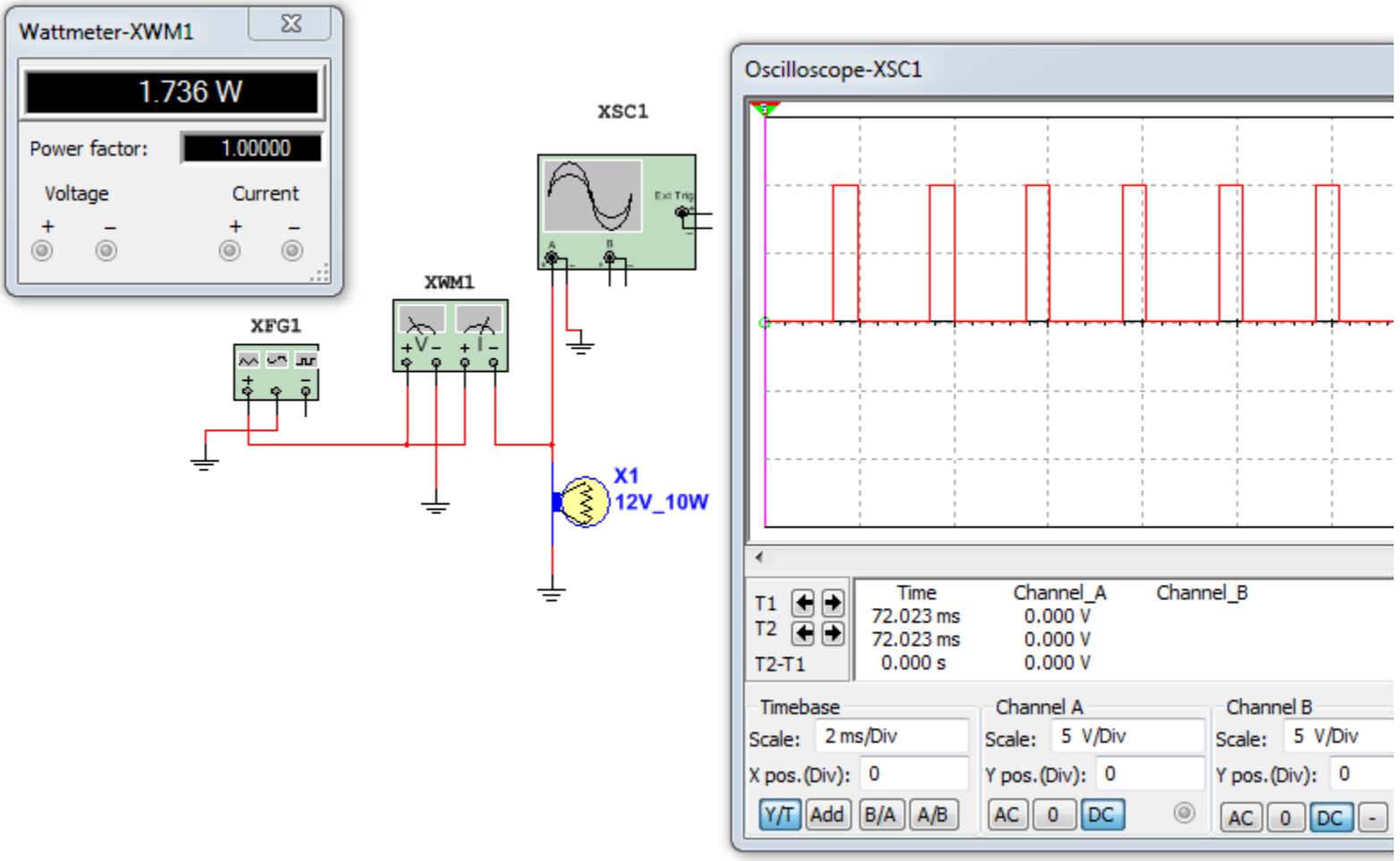
Интегралдаушы тізбектің сигналды бөлуі, төменгі жиіліктер сүзгісі



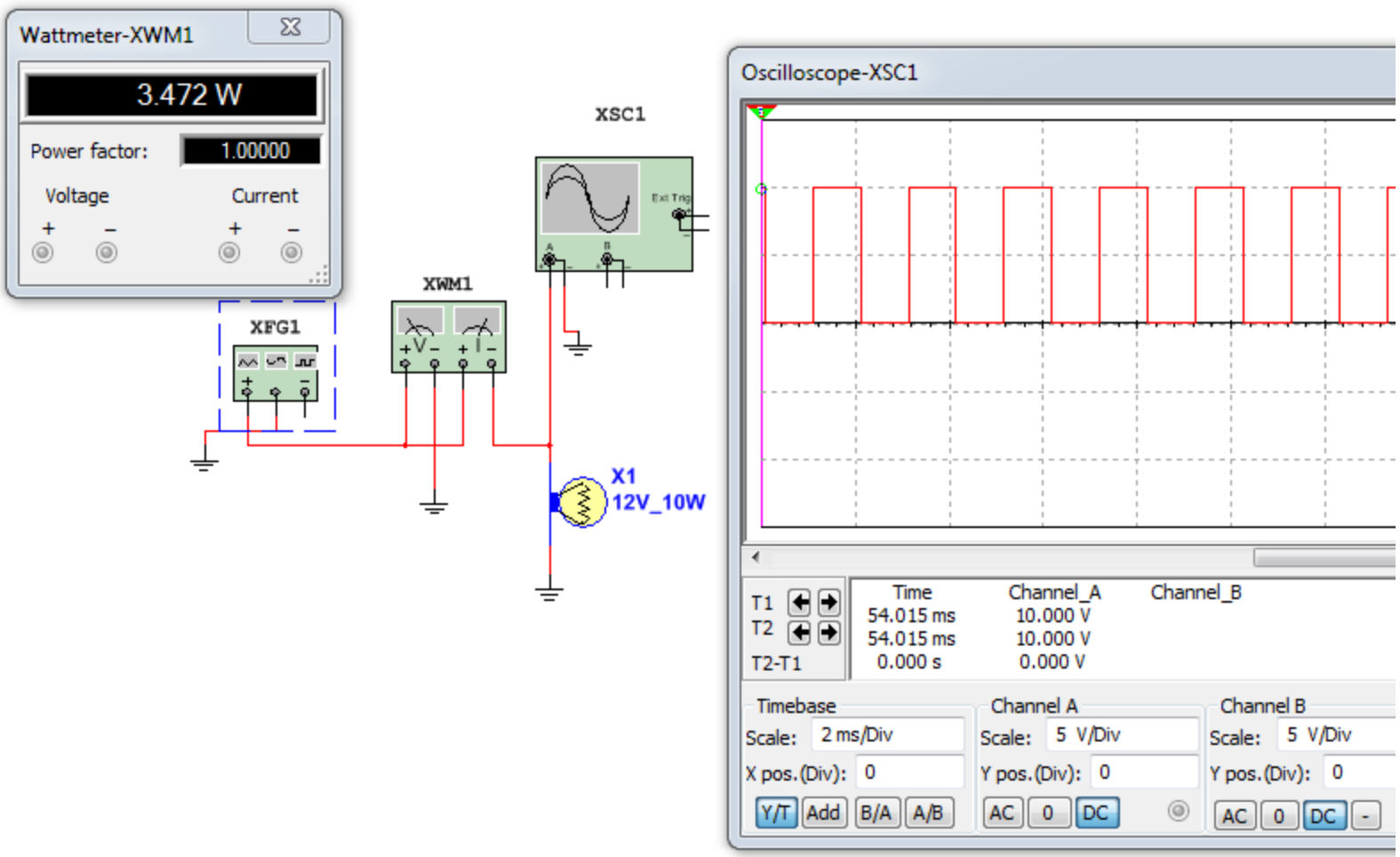
ШИМ (импульсті ендік модуляциялау)



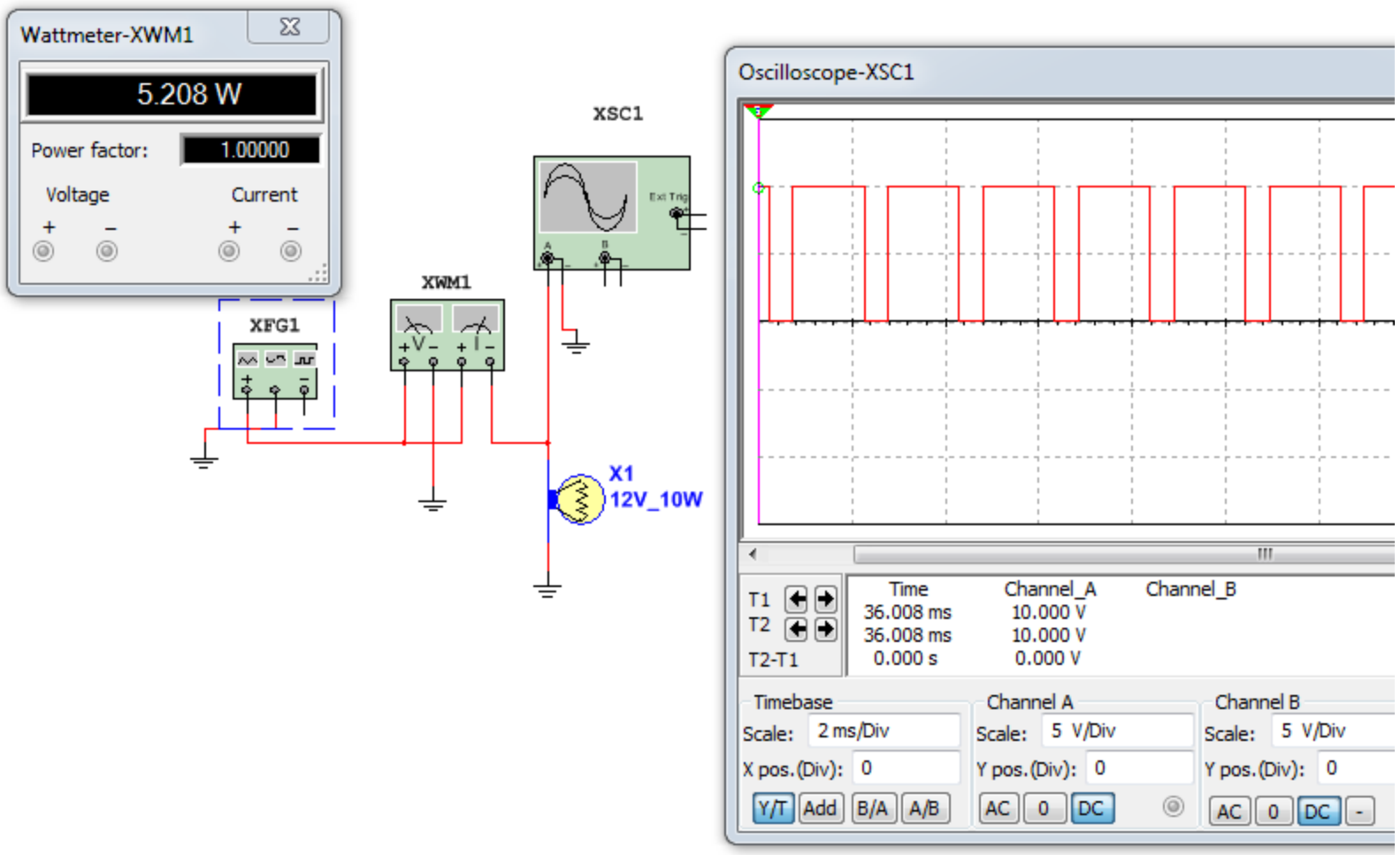
Duty cycle 25 %



Duty cycle 50 %



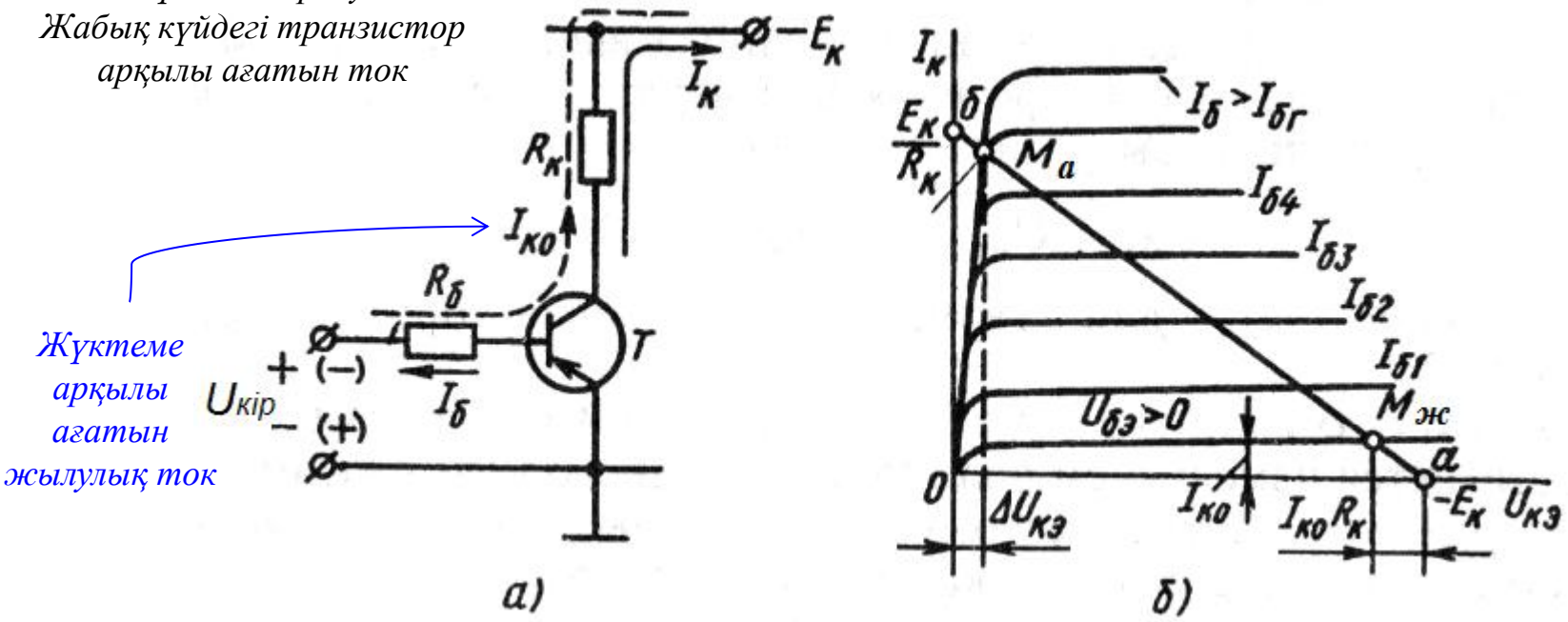
Duty cycle 75 %



Биполярлы транзистордың кілттік режимі

Ашық күйдегі транзисторға түсетін кернеу.
Жабық күйдегі транзистор арқылы ағатын ток

$$U_{кэ} = -(E_к - I_к R_к)$$

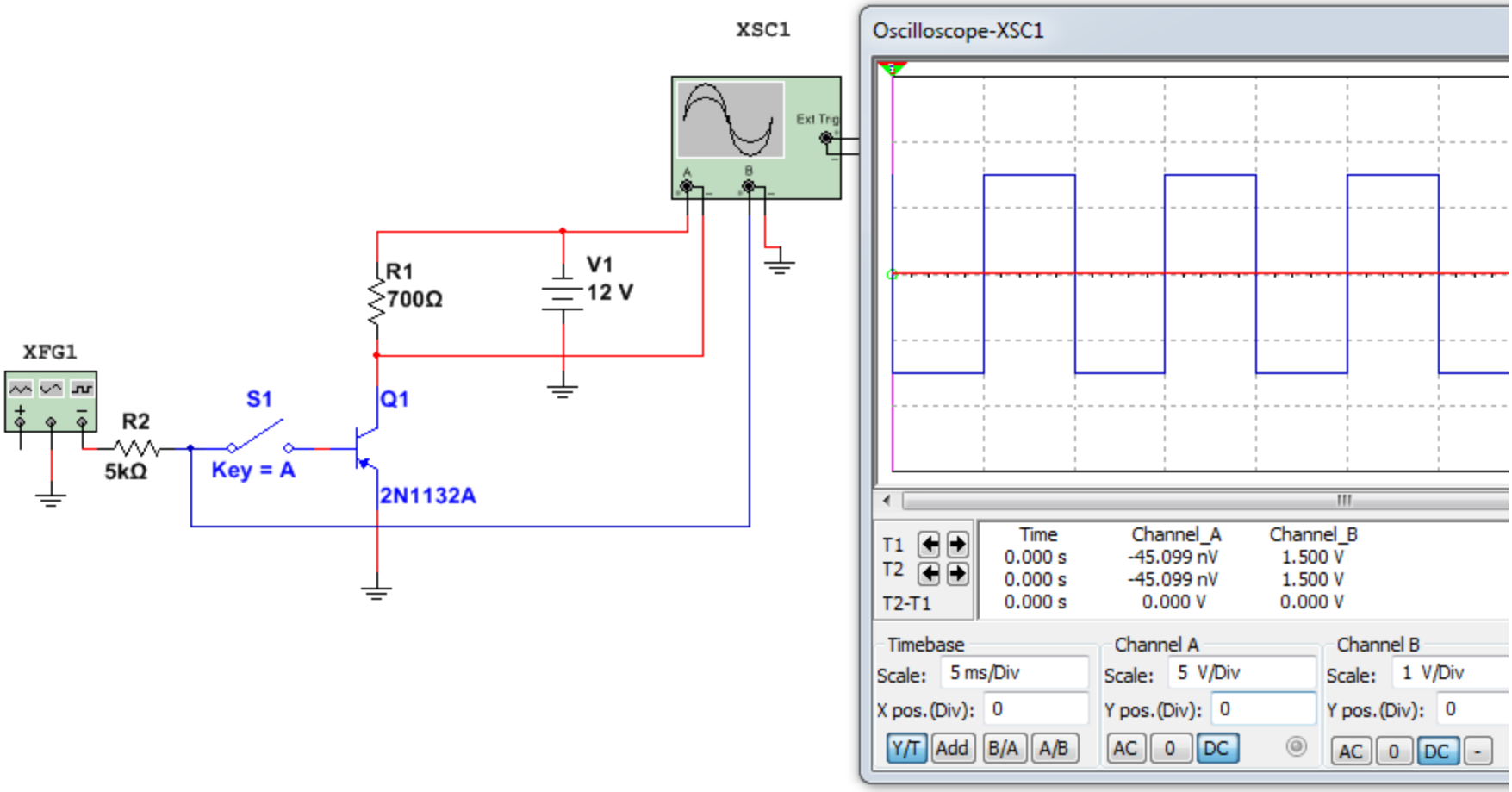


Кілттің жабық күйі, базаға оң потенциал беріледі. Графиктегі $M_{ж}$ нүктесі.
Кілттің ашық күйі, базаға теріс потенциал беріледі. Графиктегі M_a нүктесі.

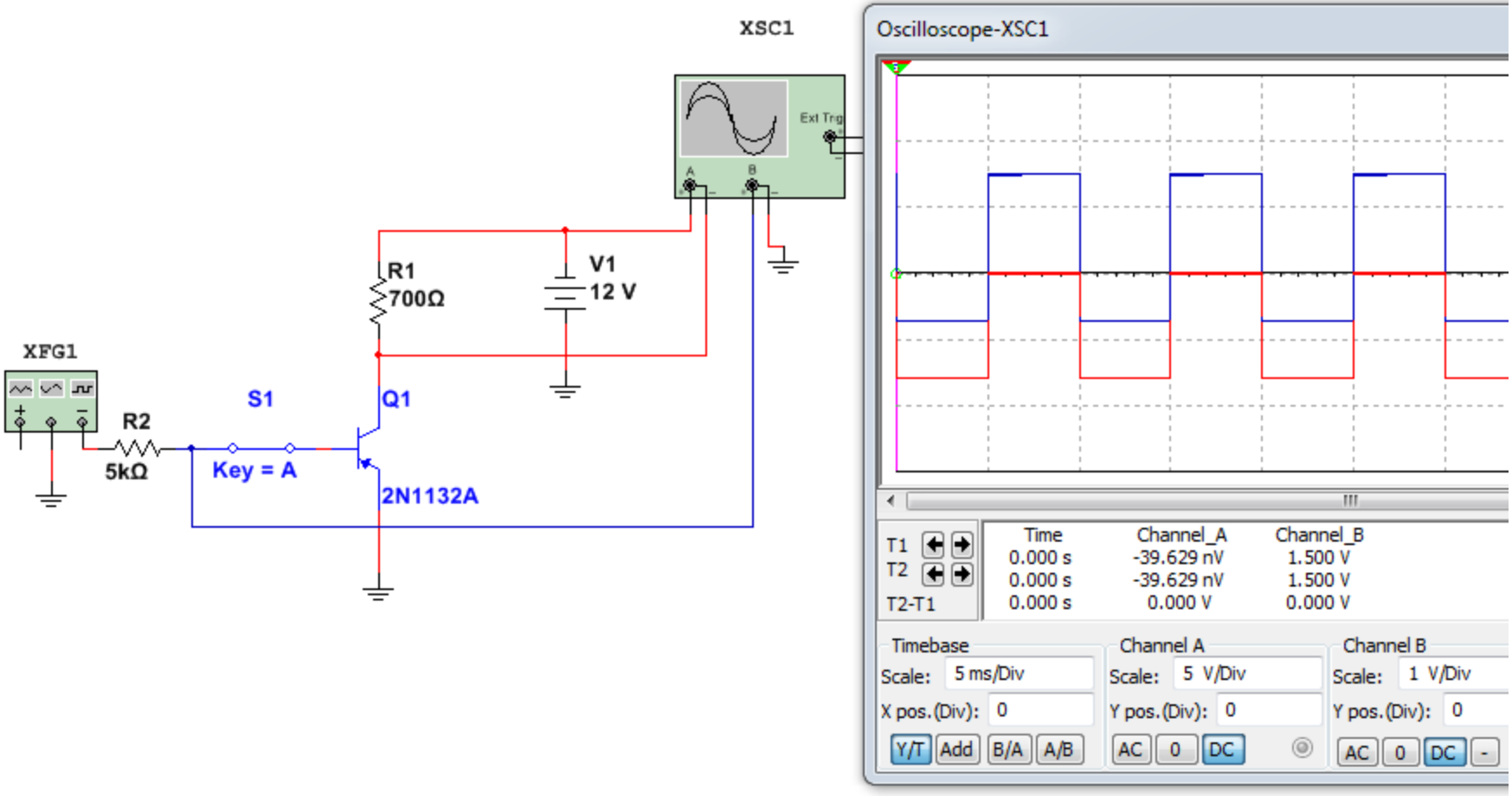
Активті режимі – коллектор тогы база тогынан тәуелді
Қанығу режимі – коллектор тогы коллектор-эмиттерлік кернеуден тәуелді
Қию режимі – транзистор жабық, тек аз кері ток өтеді

$I_{к0}$ – коллекторлық өткел маңайындағы негізгі емес заряд тасымалдаушылар туғызатын басқарылмайтын кері ток

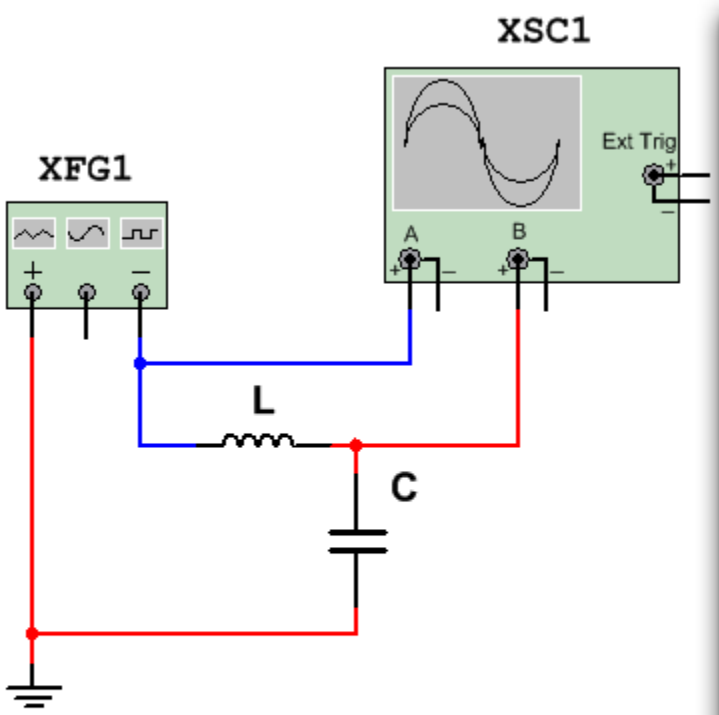
Биполярлы транзистордың кілттік режимі

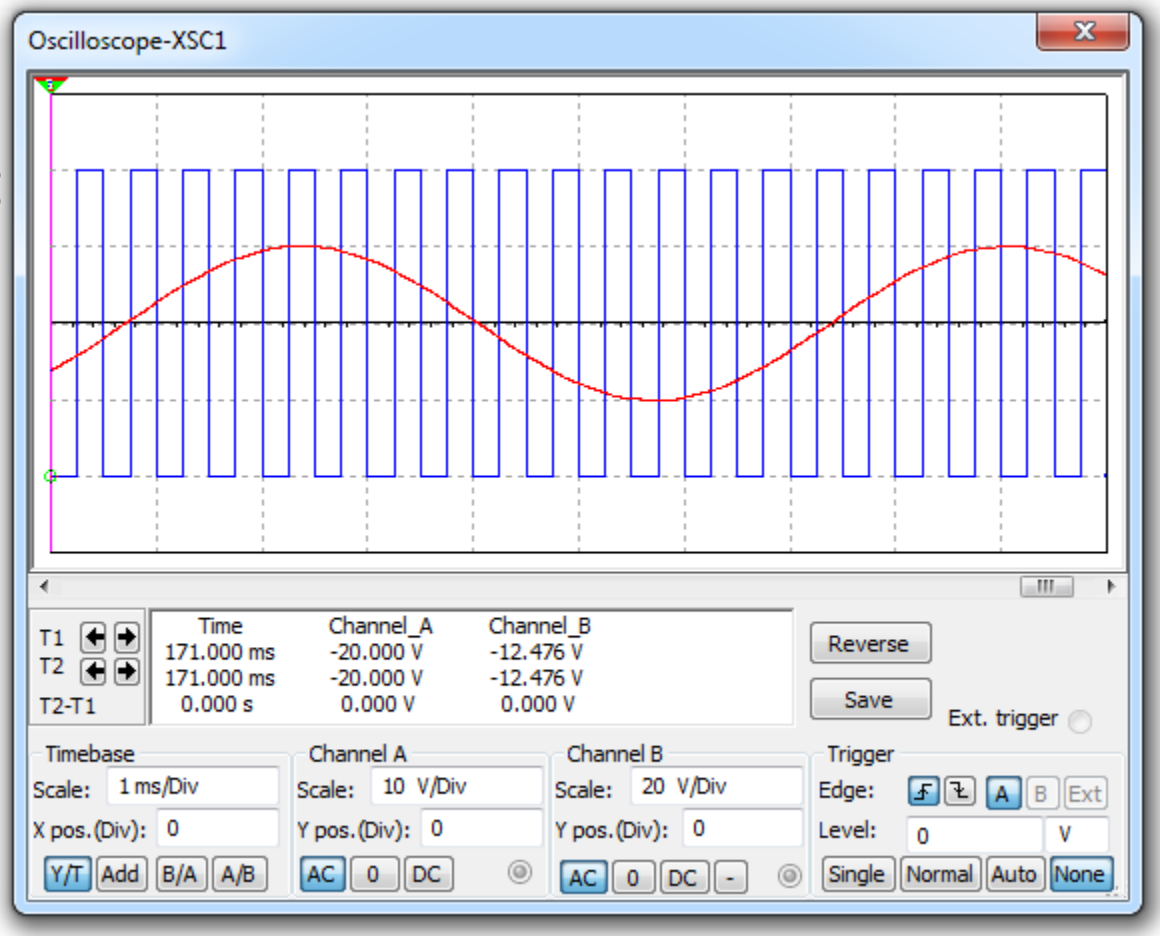


Биполярлы транзистордың кілттік режимі



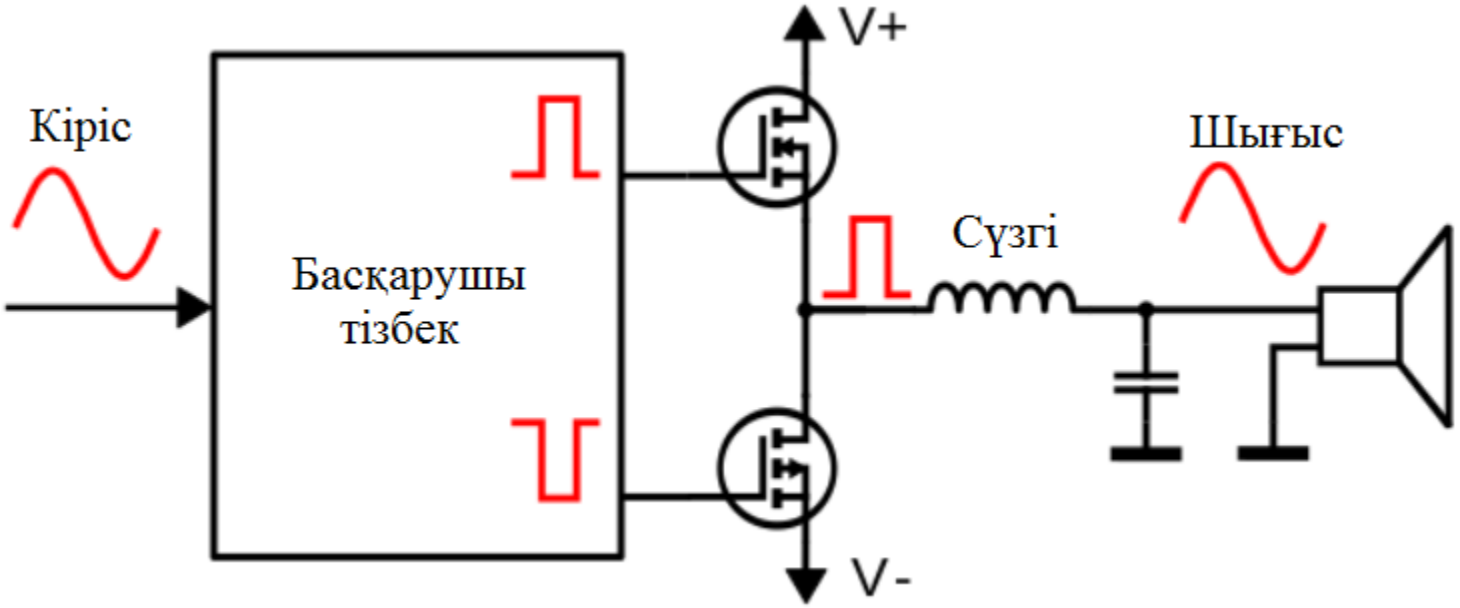
LC сүзгі

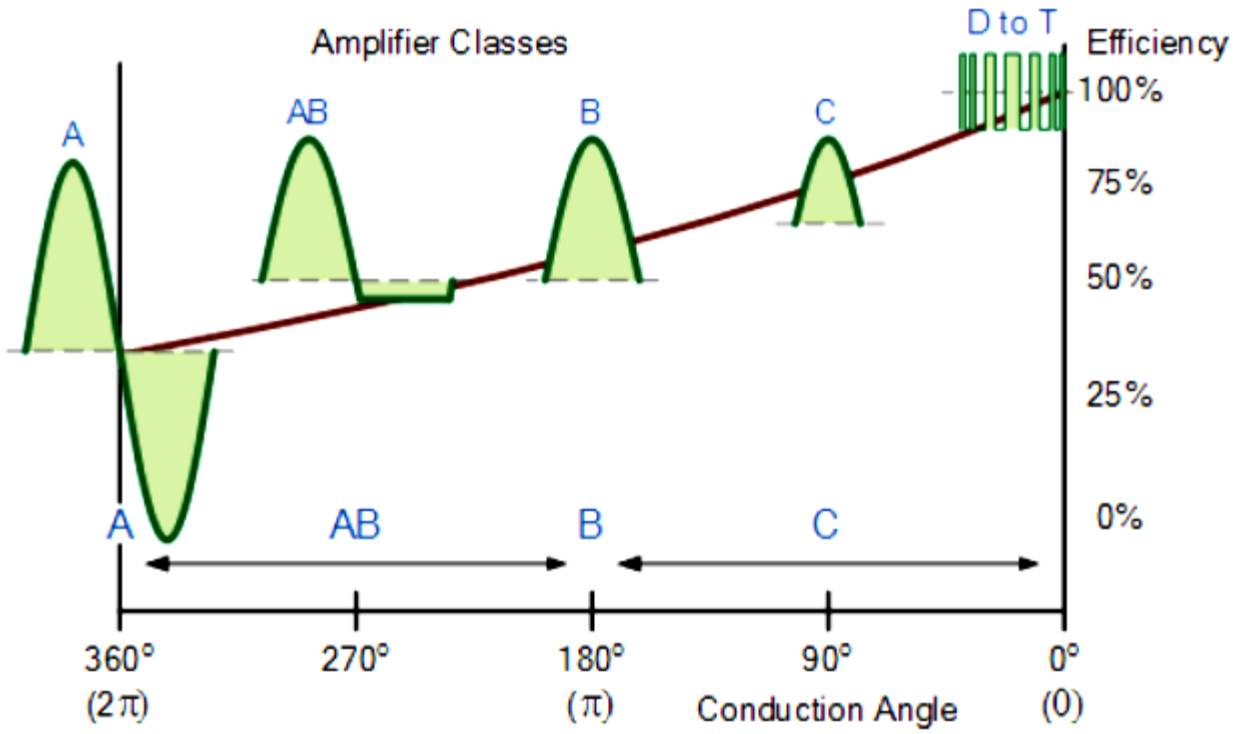




Индуктивті катушка токтың тез өзгерісіне жол бермейді, конденсатор кернеудің тез өзгерісіне жол бермейді.

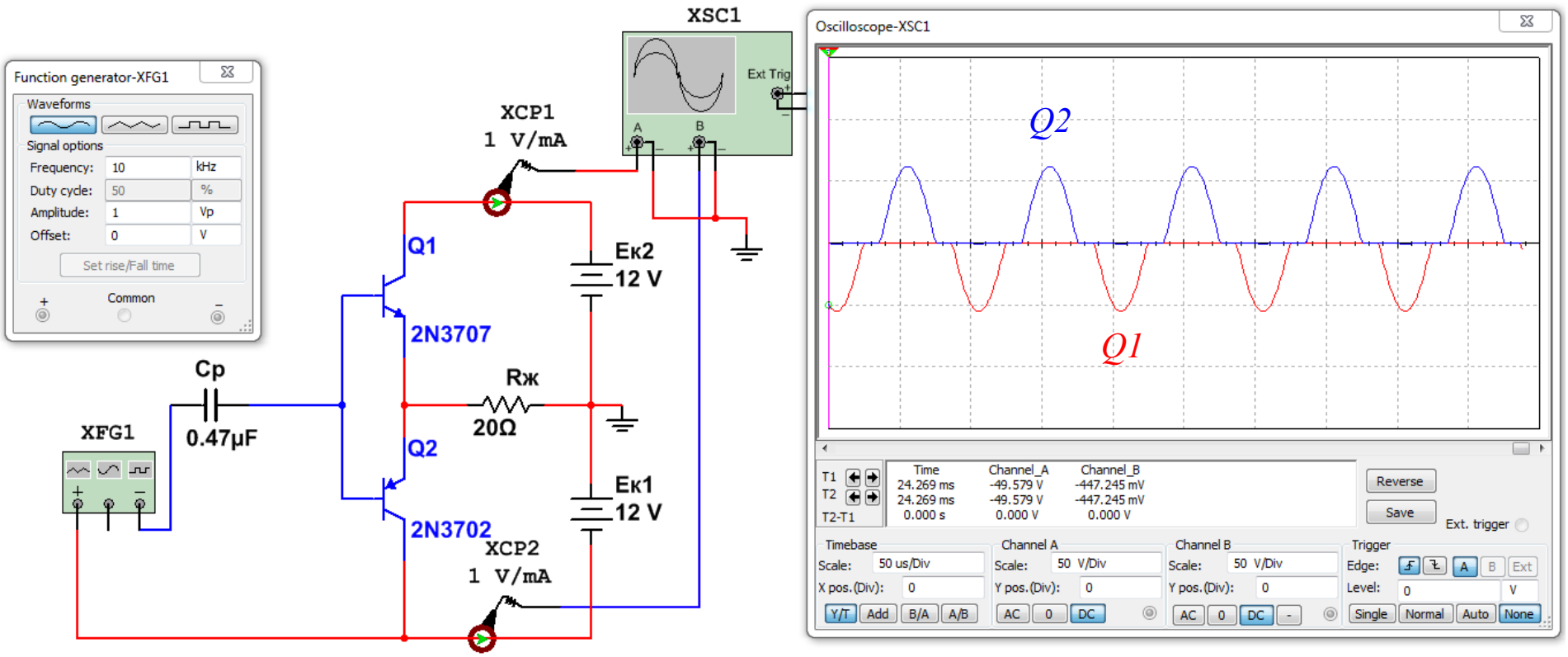
D класты күшейткіш





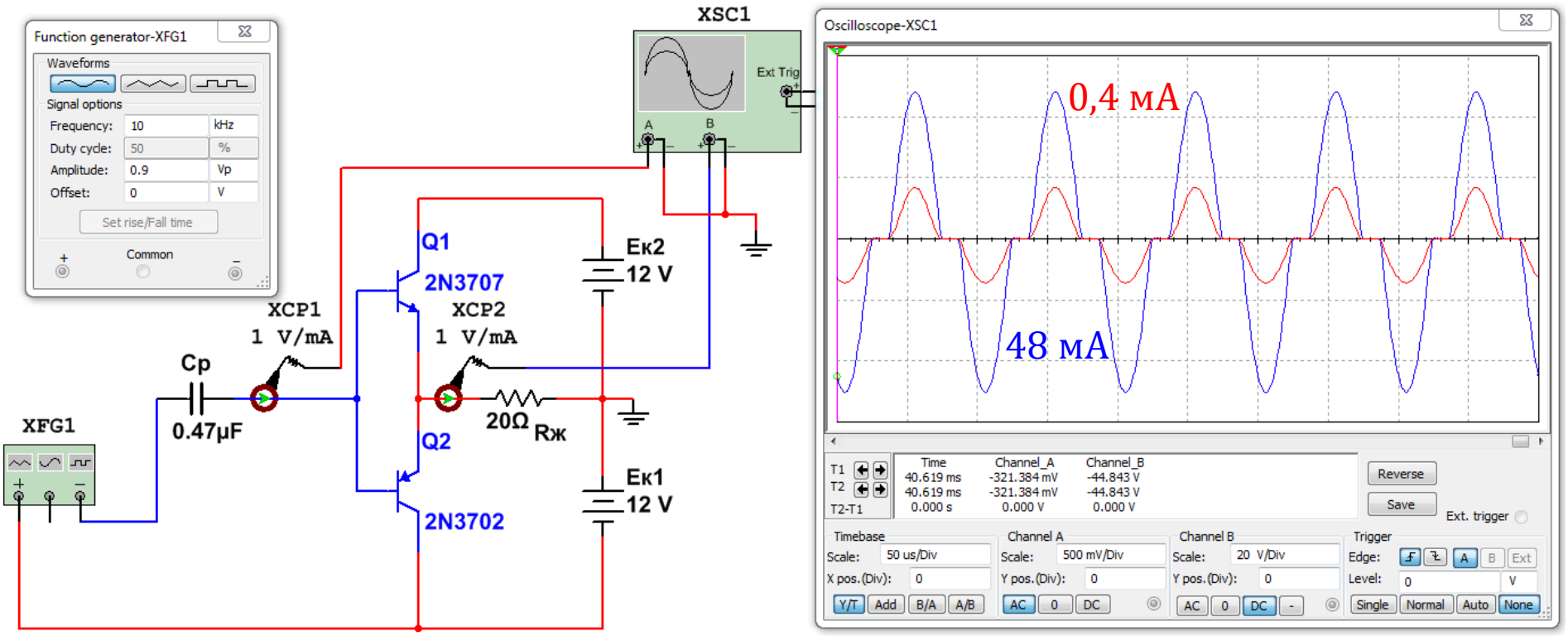
Өткізу бұрышы

Екі тактелы қуат күшейту каскады



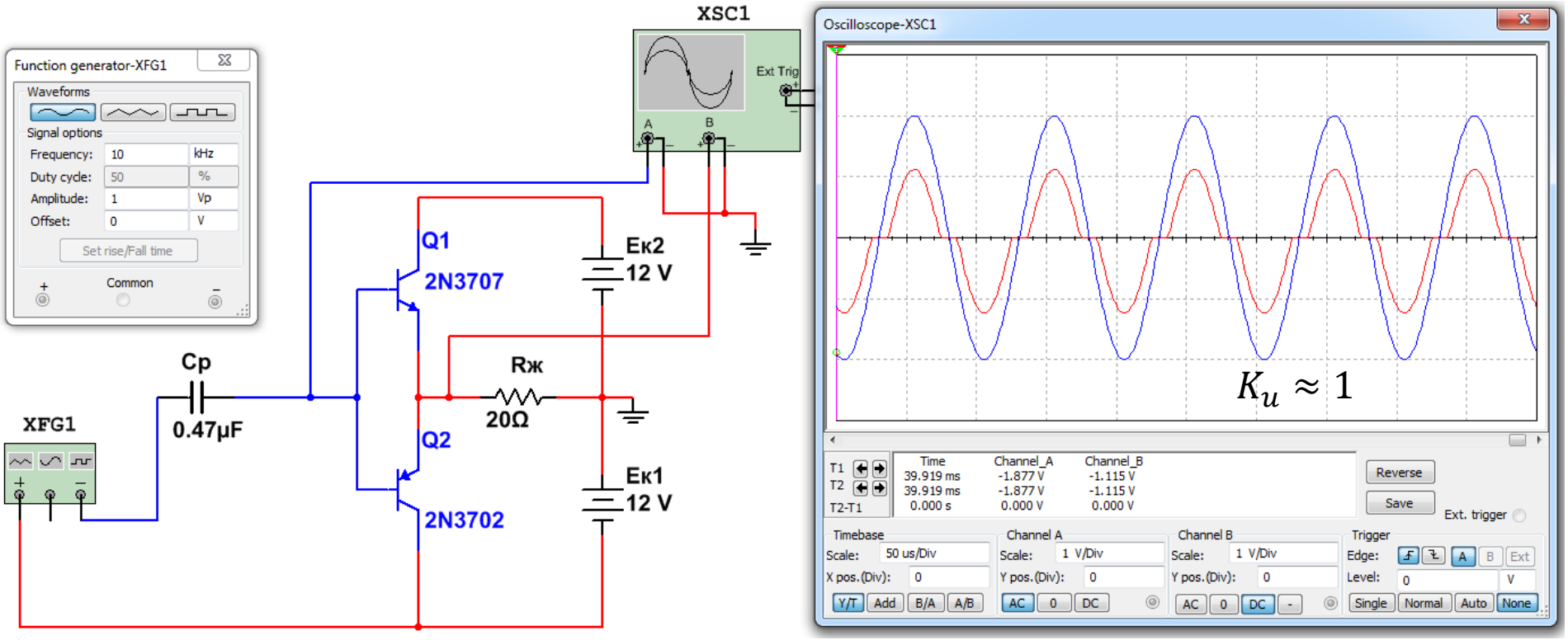
- Кернеу күшейткіштен кейін шығыс каскады ретінде қолданылып, қуатты күшейтеді.
- Комплементарлы – өткізгіштігі әртүрлі, параметрлері бірдей транзисторлар қолданылады. Мұндай транзисторлар жұппен дайындалады.
- Транзисторлар КО жалғанған – эмиттерлік қайталағыш, яғни каскадтың шығыс кедергісі едәуір азайтылған және төмен омды (8 Ω) жүктеме жалғауға мүмкіндік береді

Екі тактылы қуат күшейту каскады



$K_i \approx 120$

Екі тактылы қуат күшейту каскады



Екі тактылы қуат күшейту каскады

