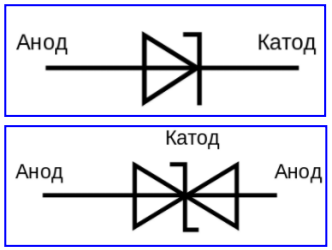
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультеті

Физикалық электроника негіздері

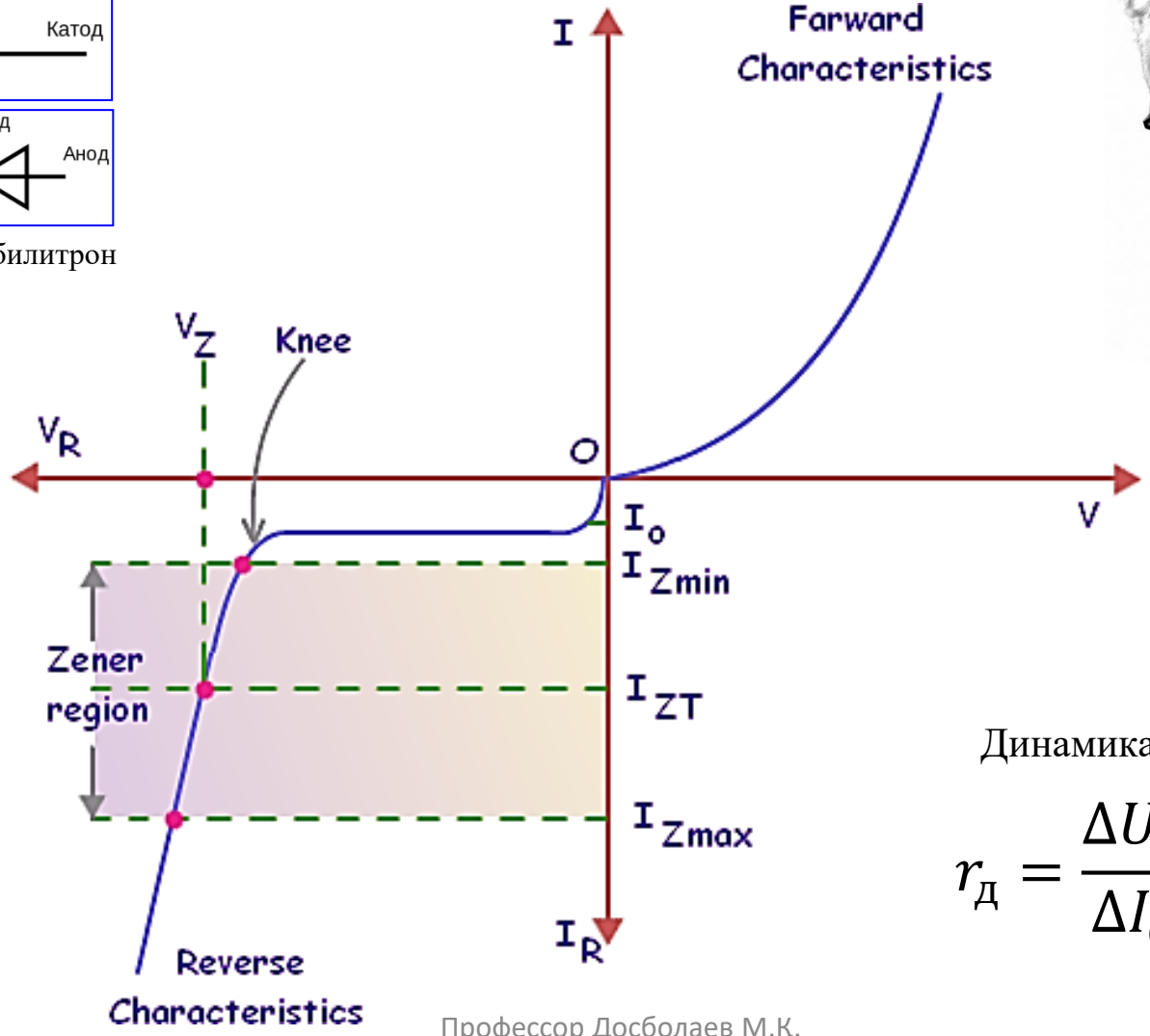
Профессор Досболаев М.Қ.
merlan@physics.kz

Стабилитрон (Зенер диоды, 1933) - көшкіндік немесе тунельдік тесілу режимдерінде жұмыс істейтін жартылай өткізгішті диод

Кәдімгі стабилитрон



Екі анодты стабилитрон



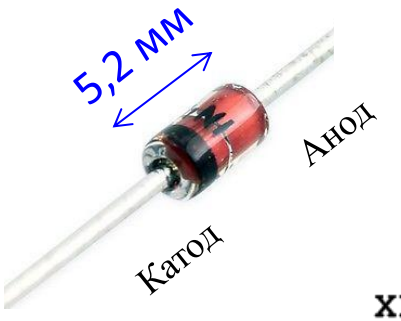


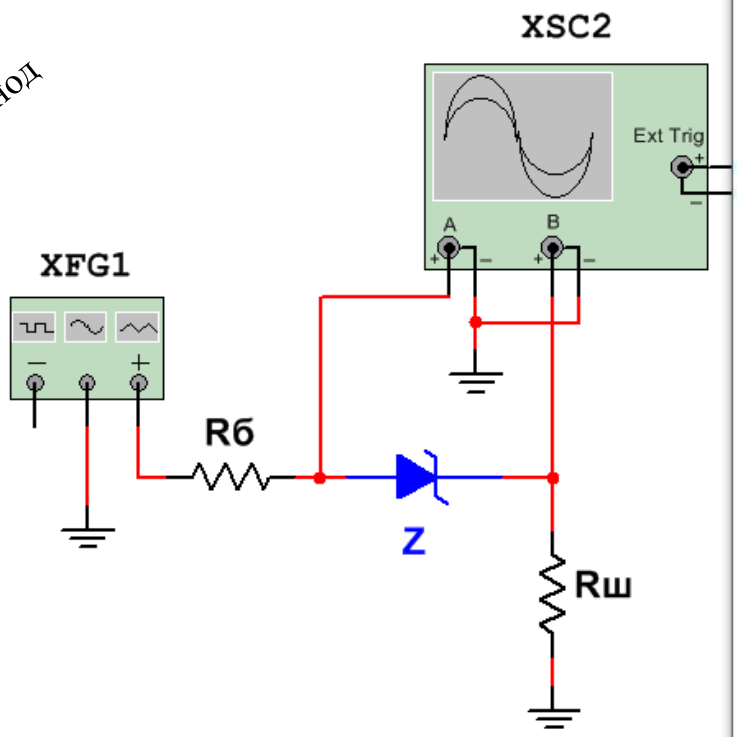
Кларенс Зенер (1905-1993)

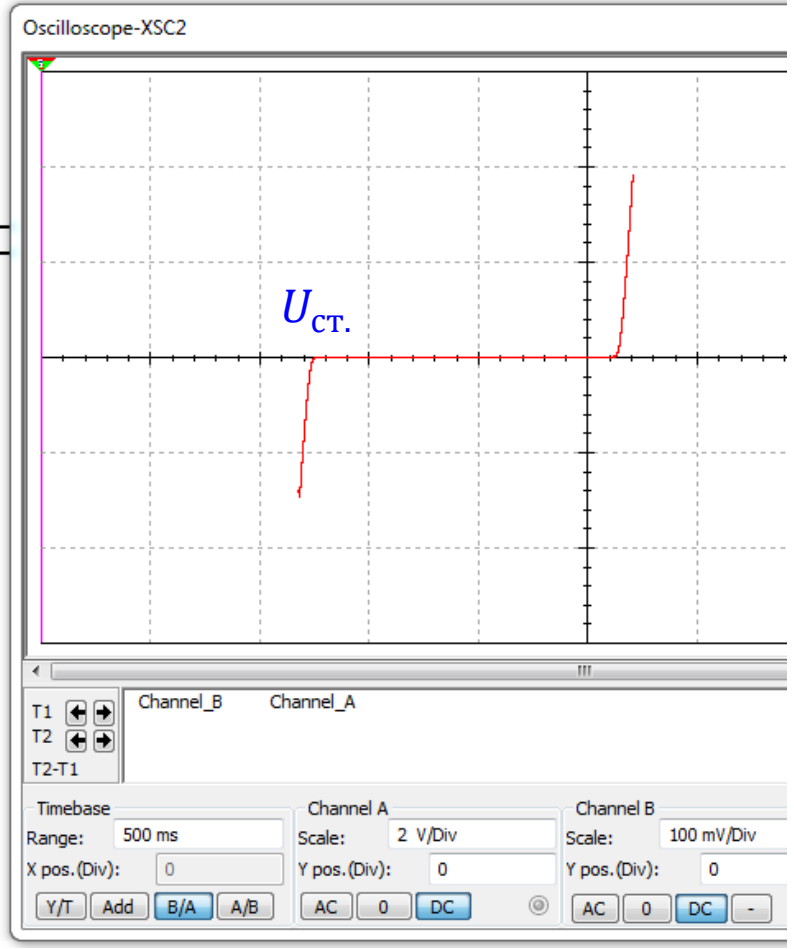
Динамикалық кедергі:

$$r_д = \frac{\Delta U_{ст.}}{\Delta I_{ст.}} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$

Стабилитронның ВАС-ы





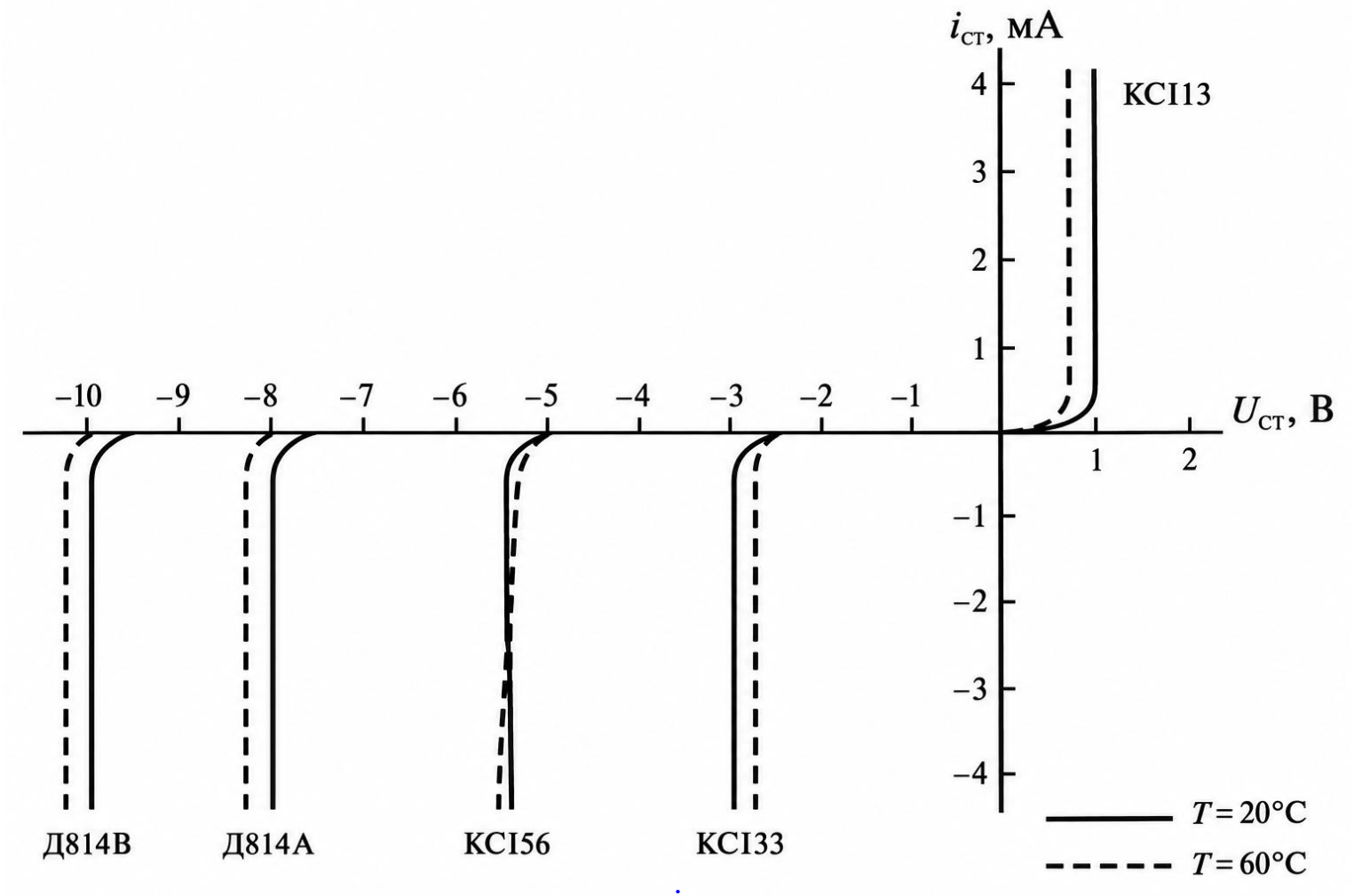


Техникалық сипаттамалары. 1N4733A (Si):

- Қуаты: 1 Вт
- Тұрақтандырудың номинал кернеуі: 5.1 (4.8÷5.3) В
- Тұрақтандырудың номинал тогы: 49 (49÷178) мА
- Жұмыс температурасы: -55÷200 ºС
- Температуралық коэффициенті: 0.04 ºС

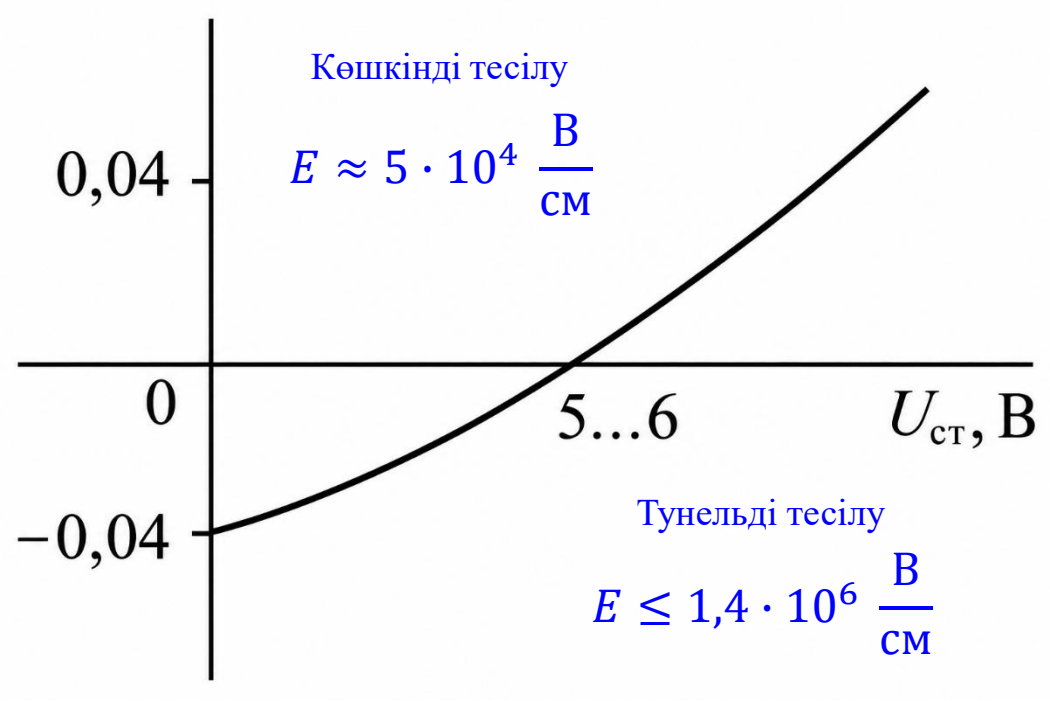
$$r_д = \frac{\Delta U_{ст.}}{\Delta I_{ст.}} = \frac{5.3 - 4.8}{0.178 - 0.049} \approx 4\ Ом$$

Стабилитрон ВАС-ның температурадан тәуелділігі



кернеудің температуралық коэффициенті (КТК)

Температуралық коэффициенттің тұрақтандыру кернеу шамасынан тәуелділігі



$$E = \frac{U}{d_{p-n}}$$

Кернеу тұрақтандырғыш

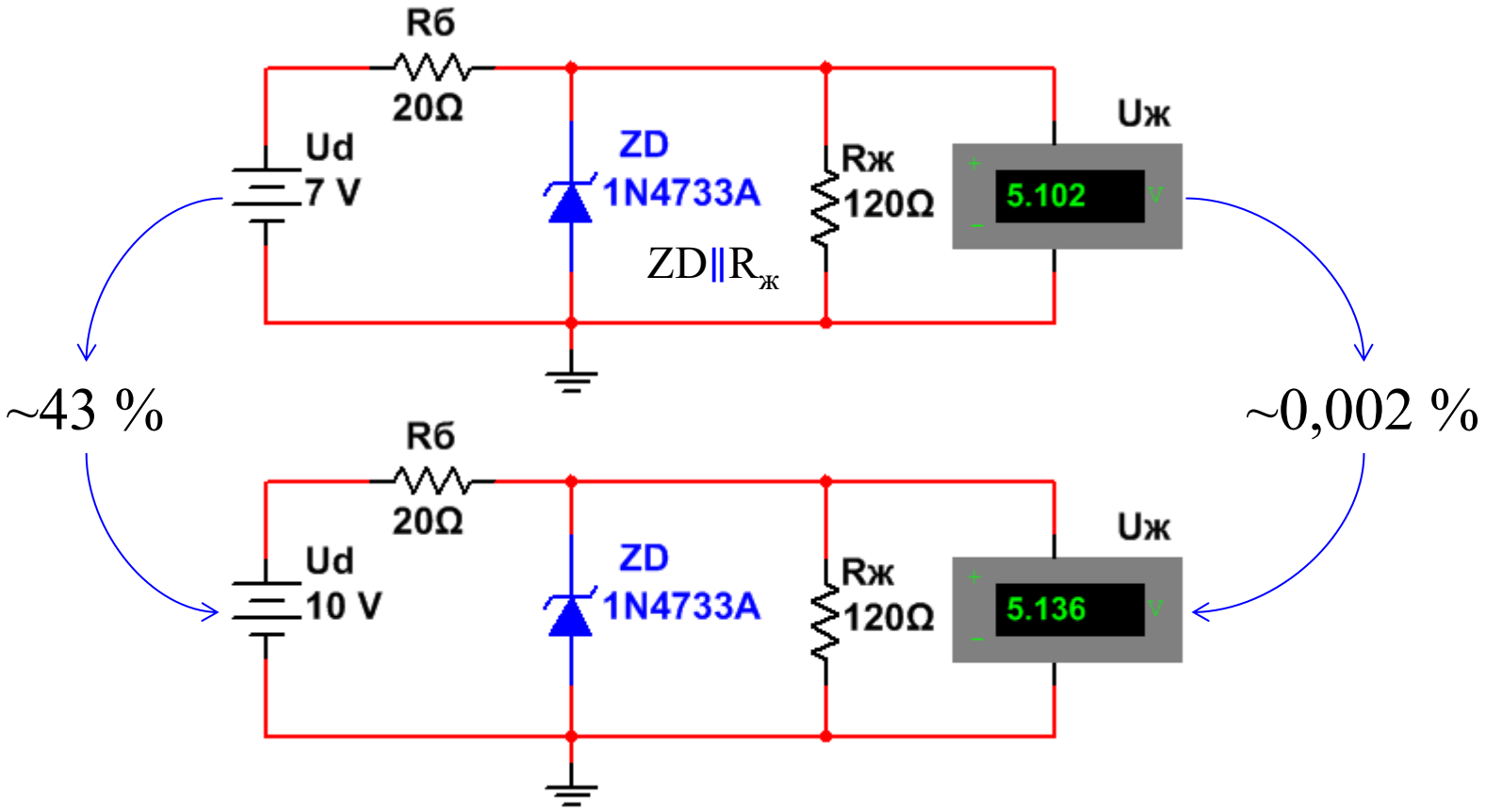
Кейбір аз қуатты электрондық құрылғыларды қоректендіру үшін, кіріс кернеуінің қандайда бір дәлділікпен тұрақты шамаға ие болуы негізгі шарттардың бірі. Бұл шарттың бұзылуы, U_d кернеуі шамасының жүктеме тогынан тәуелді болуынан. Ол түрлендіргіштің сыртқы сипаттамаларының нашарлауы (еңкеюі) мен қоректендіруші желі кернеуінің ауытқуынан туындайды. Осының алдын алу үшін кернеу тұрақтандырғыш қолданылады.



Параметрлік кернеу тұрақтандырғыш

Стабилитрон 1N4733A (Si).
P=1 Вт. $I_{ст.\ min}$=49 мА. $U_{ст}$= 5,1 В.

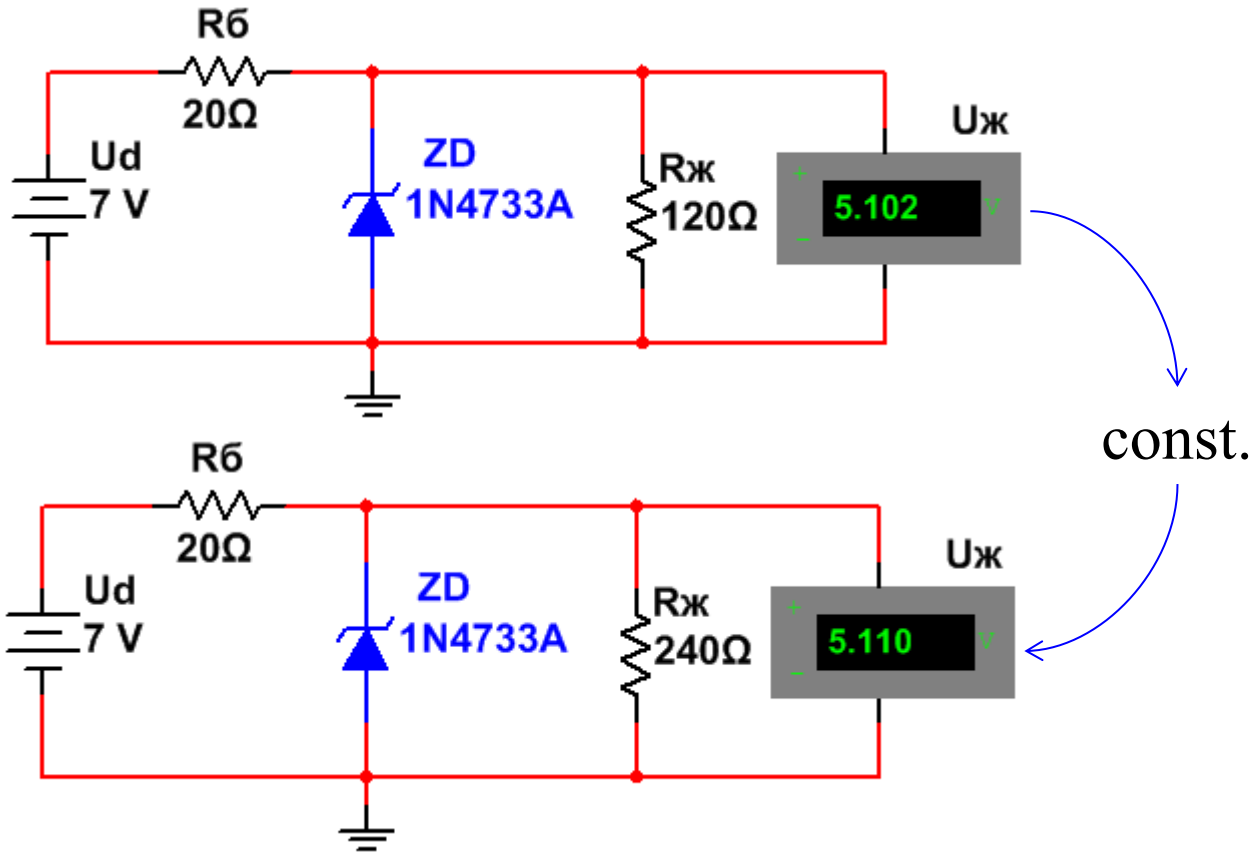
Кіріс кернеуінің (U_d) өзгерісі



Параметрлік кернеу тұрақтандырғыш

Стабилитрон 1N4733A (Si).
P=1 Вт. $I_{ст.\ min}$=49 мА. $U_{ст}$= 5,1 В.

Жүктеме кедергісінің ($R_ж$) өзгерісі



Параметрлік кернеу тұрақтандырғыш

Стабилитрон 1N4733A (Si).
P=1 Вт. $I_{ст.\ min}$=49 мА. $U_{ст}$= 5,1 В.

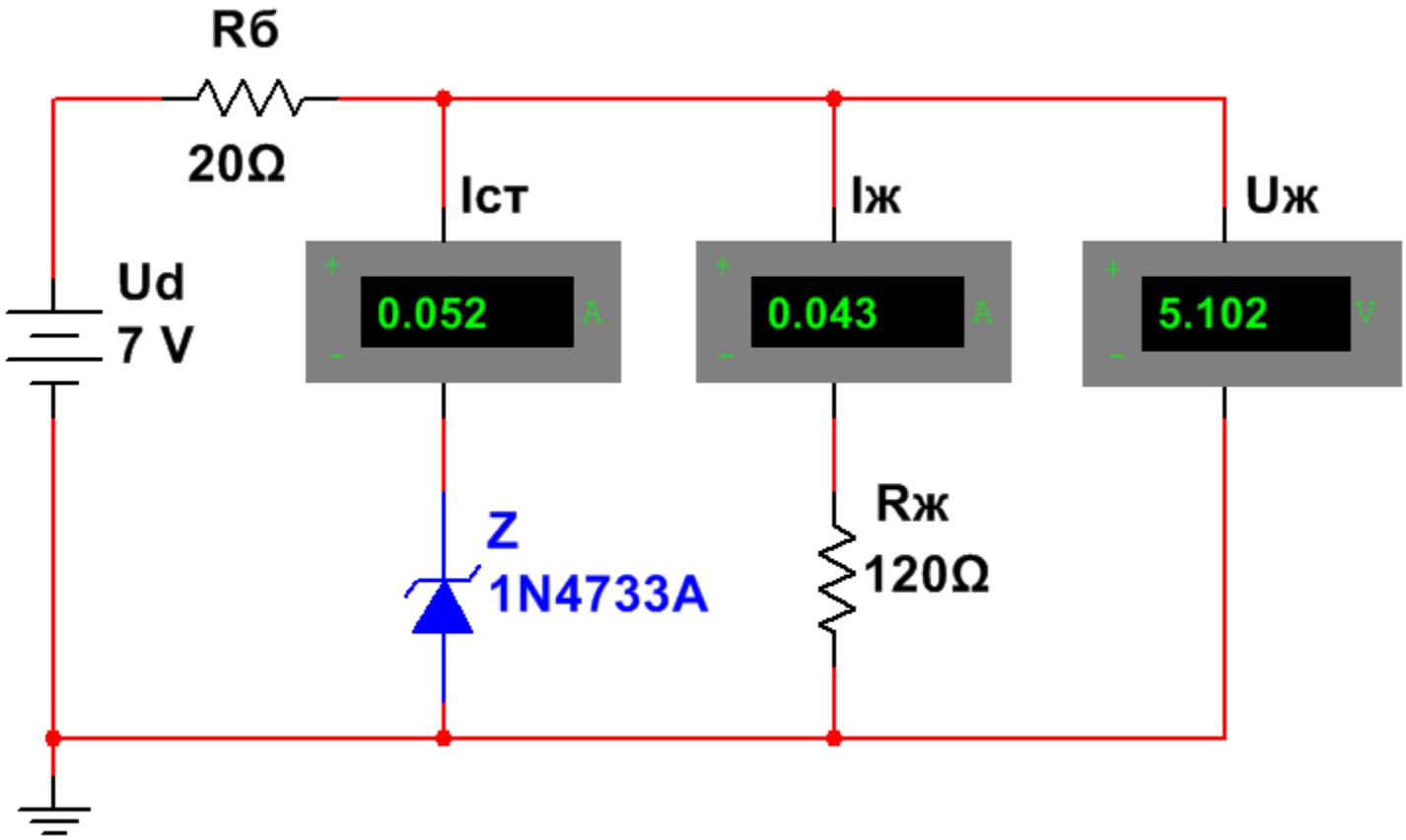
Негізгі шарттар

$$U_{\text{ст.}} = U_{\text{ж}}$$

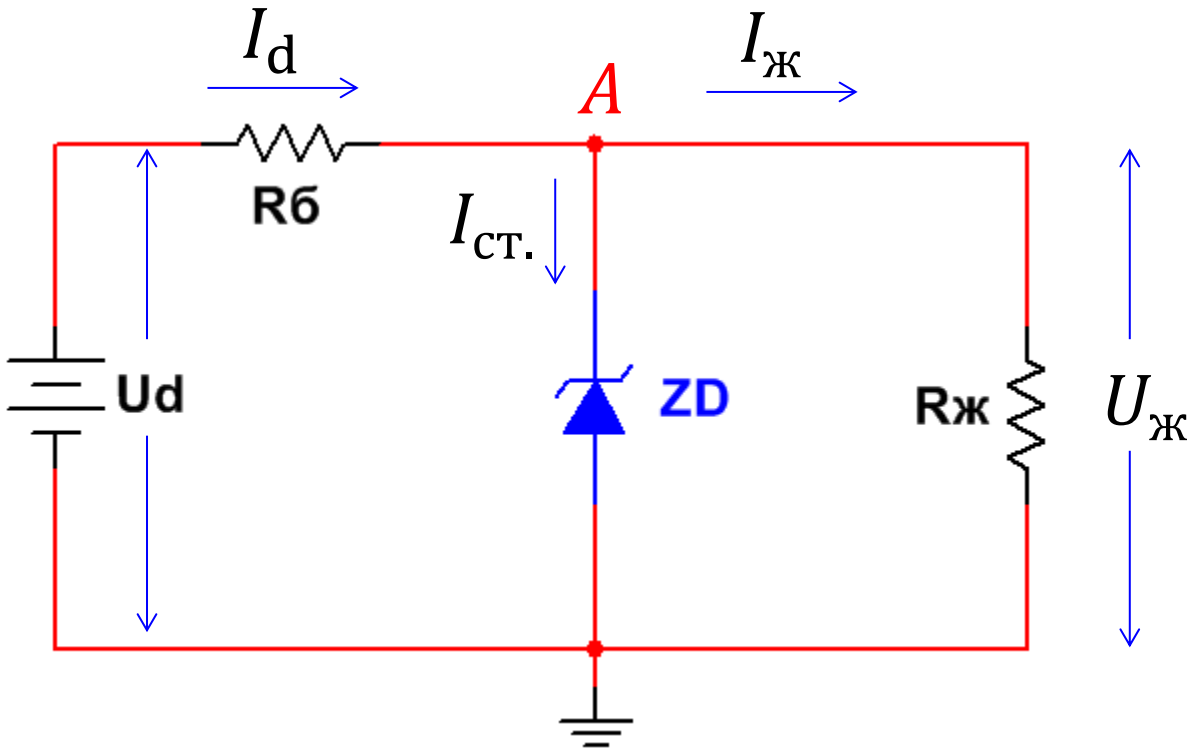
$$I_{\text{ст.}min} \leq I_{\text{ст.}} \leq I_{\text{ст.}max}$$

Параметрлік кернеу тұрақтандырғыш

Стабилитрон 1N4733A (Si).
P=1 Вт. $I_{ст.\ min}$=49 мА. $U_{ст}$= 5,1 В.



Параметрлік кернеу тұрақтандырғыш

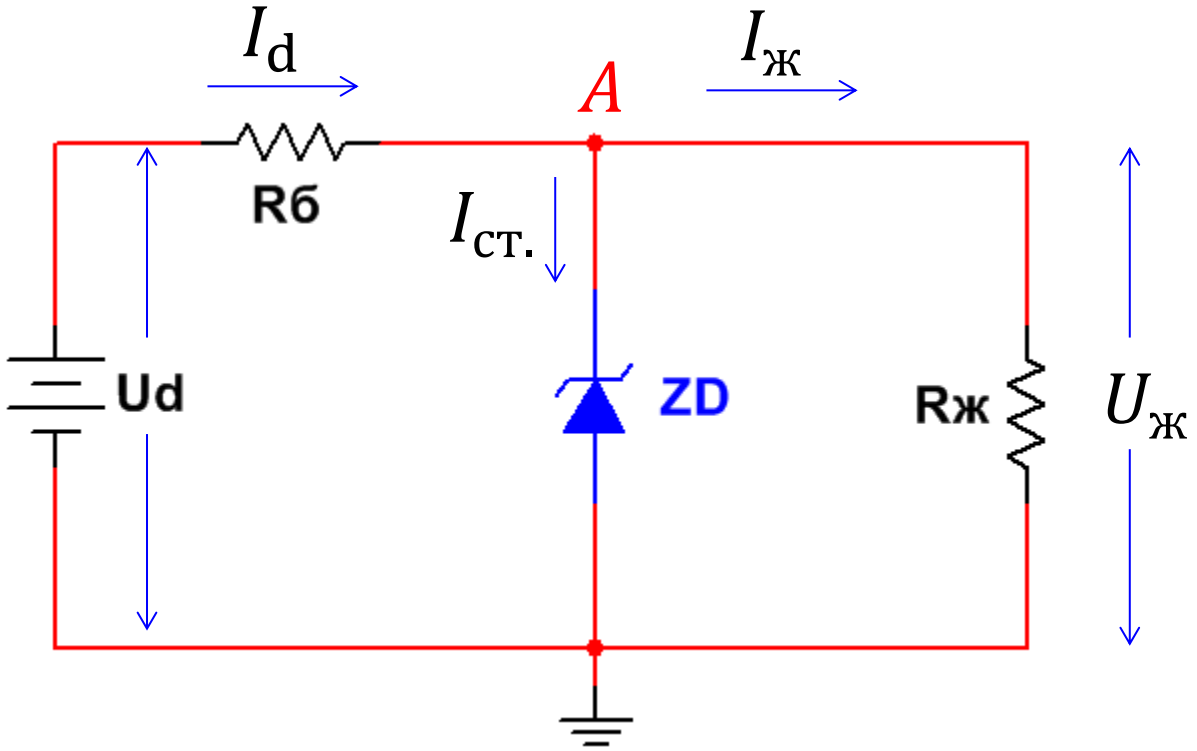


$$A \rightarrow I_d = I_{ст.} + I_ж \quad (1)$$

$$U_d = U_{R_б} + U_ж \parallel U_{ст} \quad (2)$$

$$U_{R_б} = (I_ж + I_{ст.})R_б;\ I_d = U_{R_б}/R_б$$

Стабилитрон тогын ($I_{ст.}$) анықтау



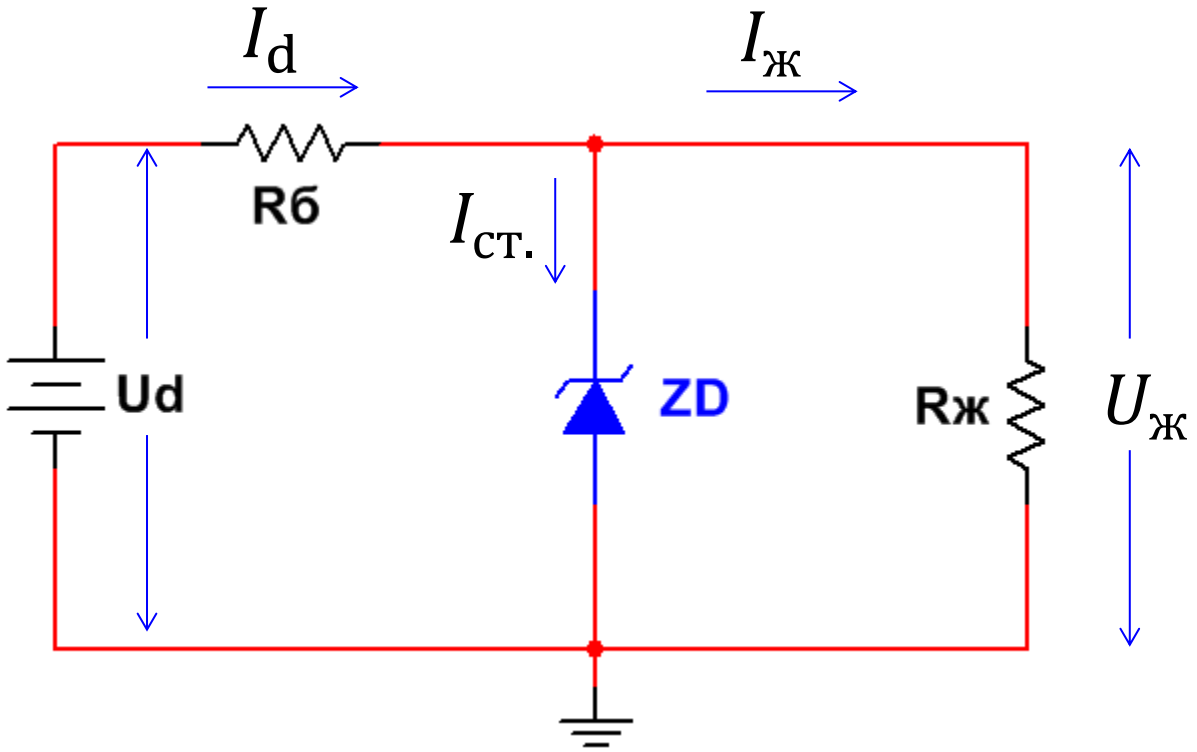
$$U_{R_б} = U_d - U_ж$$

$$I_{ст.} = I_d - I_ж = \frac{U_d - U_ж}{R_б} - \frac{U_ж}{R_ж} \quad (3)$$

$$U_ж \approx const$$

$$I_{ст.min} \rightarrow U_{d\,min}; R_{ж\,min}$$
$$I_{ст.max} \rightarrow U_{d\,max}; R_{ж\,max}$$

Балласт кедергі ($R_б$) шамасын анықтау



Әдетте балласты кедергі ($R_б$) шамасын $I_{ст.min}$ ток мәні шығатындай таңдайды, осы ток мәнінен бастап стабилитрон жұмыс істейді:

$$R_б = \frac{U_{d\,min} - U_ж}{I_{ст.\,min} + U_ж / R_{ж\,min}} \quad (4)$$

Қуат шамасын анықтау

$$I_{\text{ст.}\,max} = \frac{U_{\text{d}\,max} - U_{\text{ж}}}{R_{\text{б}}} - \frac{U_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}\,max}} \quad (5)$$

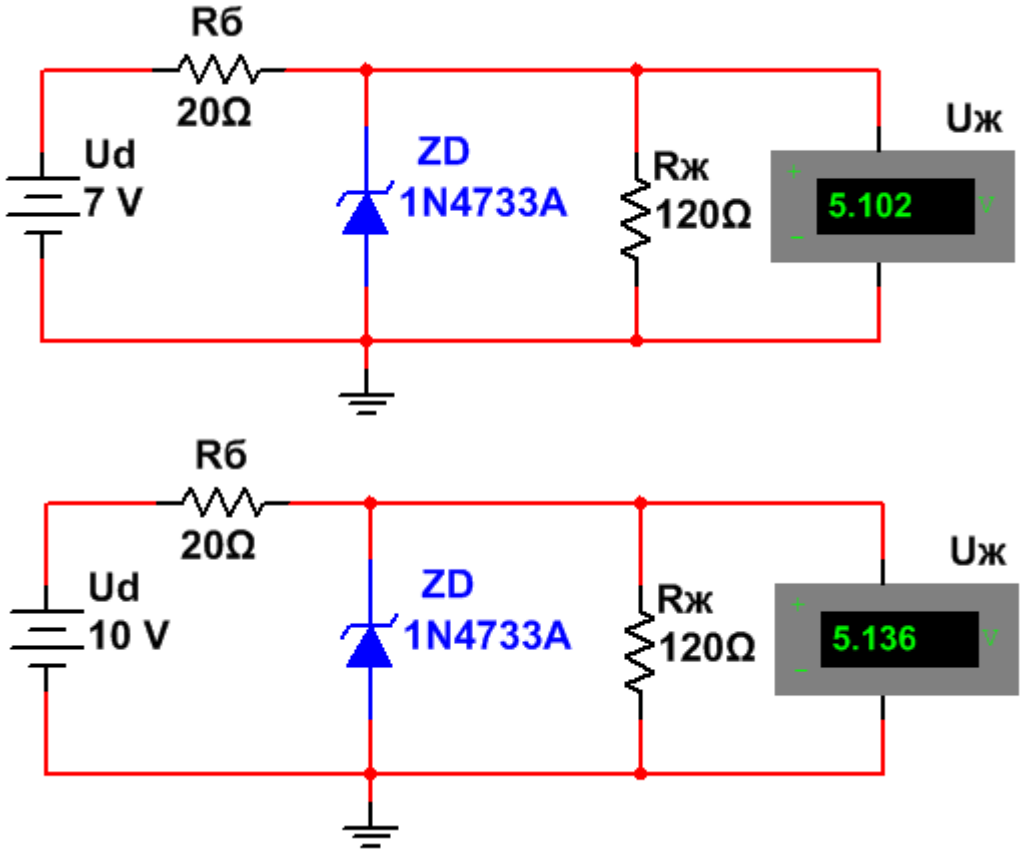
Стабилитрон мен балласт резистор шашырата алатын максимал қуаттар келесі түрде анықталады:

$$P_{\text{ст.}\,max} = U_{\text{ст.}} I_{\text{ст.}\,max} \quad (6)$$

$$P_{R_{\text{б}}\,max} = \frac{(U_{\text{d}\,max} - U_{\text{ст}})^2}{R_{\text{б}}} \quad (7)$$

Тұрақтылық коэффициенті

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{d}}}{U_{\text{d}}} \Big/ \frac{\Delta U_{\text{ж}}}{U_{\text{ж}}} \qquad (8)$$



$\Delta U_{\text{d}} = 3$ В

$\Delta U_{\text{ж}} = 0{,}034$ В

$K_{\text{ст}} \approx 45$

$K_{\text{ст}} = 1$ кезінде тұрақтандыру болмайды.

Параметрлік тұрақтандырғыштар үшін $K_{\text{ст}} = 20 \div 50$

Параметрлік кернеу тұрақтандырғыш

$$\Delta U_{\text{ж}} = \Delta U_d \frac{r_{\text{д}} \parallel R_{\text{ж}}}{R_{\text{б}} + r_{\text{д}} \parallel R_{\text{ж}}} \quad (9)$$

$R_{\text{ж}} \gg r_{\text{д}}$ және $R_{\text{б}} \gg r_{\text{д}}$ екенін ескерсек:

$$\Delta U_{\text{ж}} \approx \Delta U_d \frac{r_{\text{д}}}{R_{\text{б}}} \quad (10)$$

$r_{\text{д}} \parallel R_{\text{ж}} \approx 3{,}9$ Ом

$r_{\text{д}} \approx 4$ Ом

Тұрақтылық коэффициенті

(10) → (8)

$$K_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{ж}}}{U_d} \frac{R_{\text{б}}}{r_{\text{д}}} \quad (11)$$

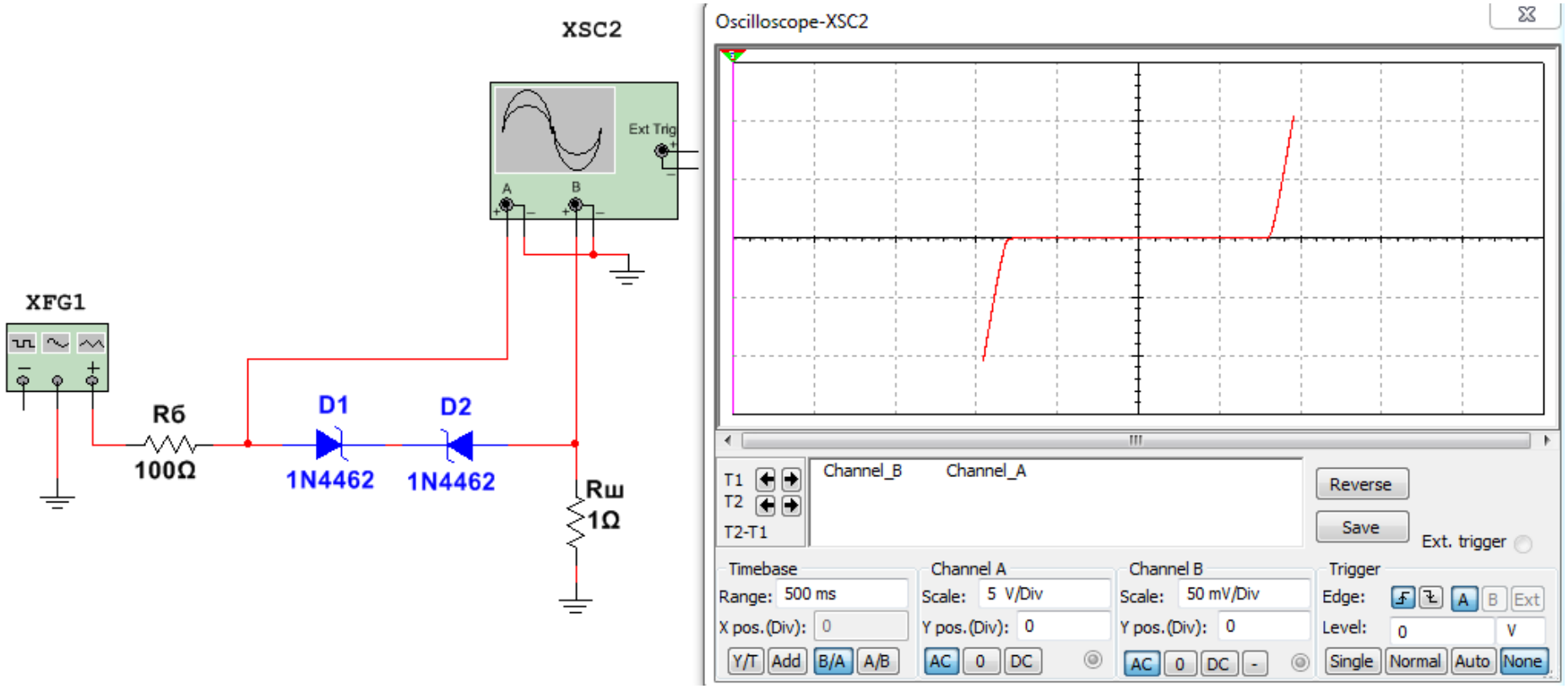
$$\text{ПӘК} = \frac{\frac{U_{\text{ст.}}}{U_d}}{1 + \frac{I_{\text{ст.}}}{I_{\text{ж}}}} \approx 22\%$$

Шығыс кедергісі

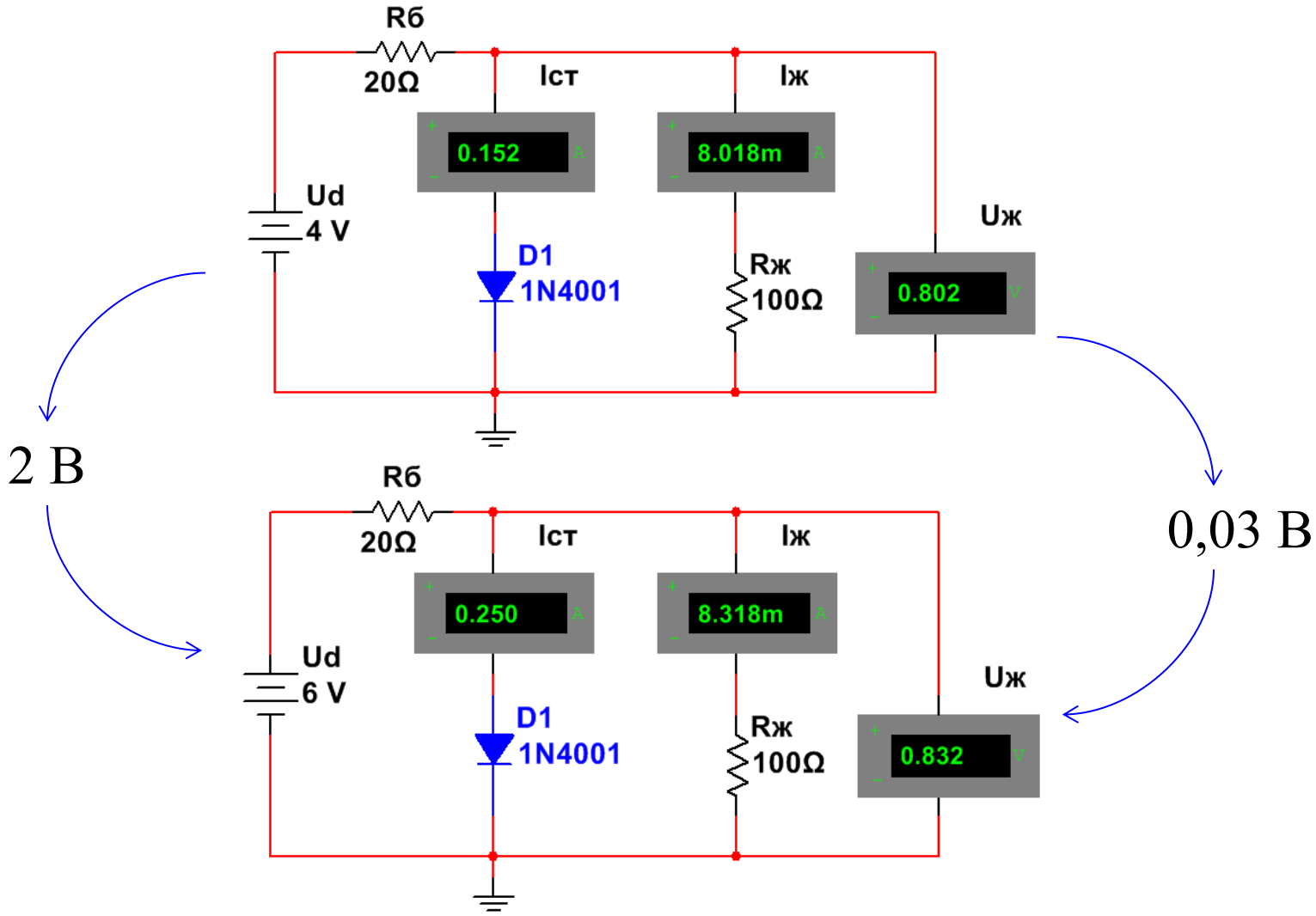
$$R_{\text{шығ}} = r_{\text{д}} \parallel R_{\text{б}} \approx r_{\text{д}} \quad (12)$$

$R_{\text{шығ}} \approx 3{,}25$ Ом

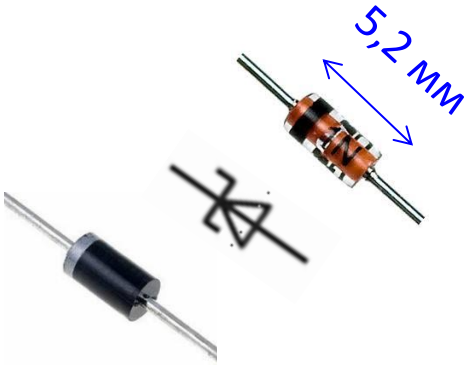
Екі анодты стабилитронның ВАС-ы



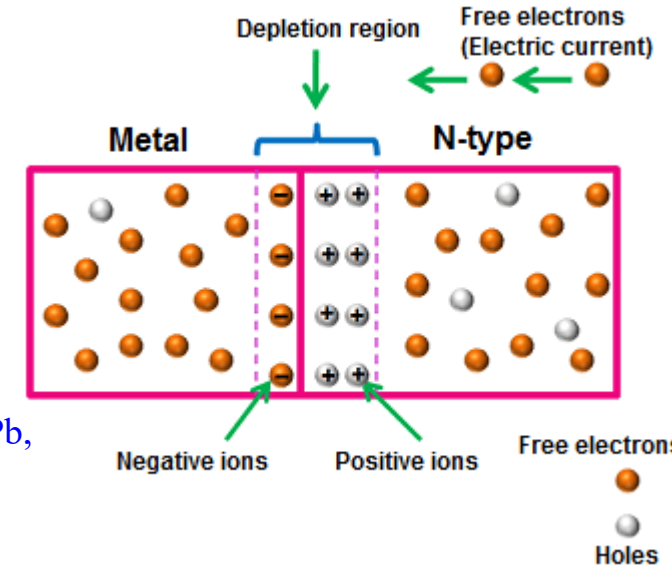
Стабистор


Rб
20Ω
Iст
Iж
0.152
8.018m
Ud
4 V
D1
1N4001
Rж
100Ω
Uж
0.802
2 В
0,03 В
Rб
20Ω
Iст
Iж
0.250
8.318m
Ud
6 V
D1
1N4001
Rж
100Ω
Uж
0.832

Шоттки диоды (1938)

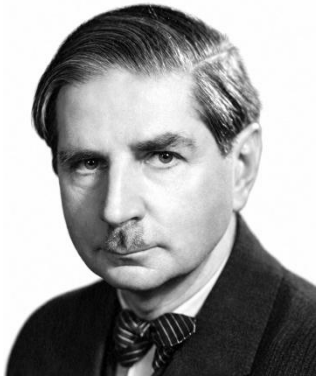


$$A_M > A_Ж$$



Ag, Au, Pt, Pb, W, Mo, Al

Si, GaAs



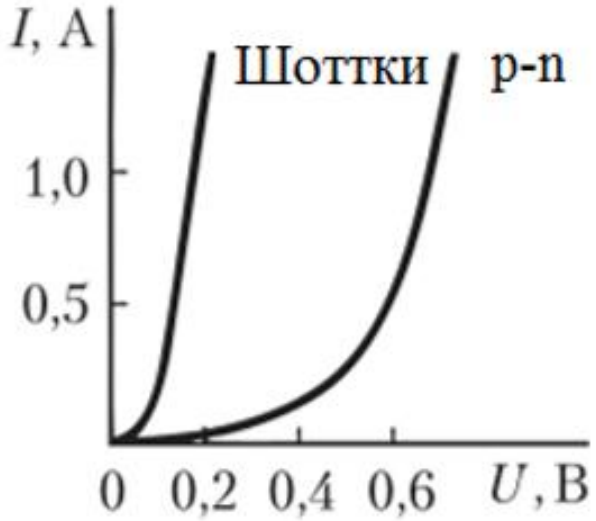
Вальтер Шоттки (1886-1976)

$$\varphi_{ж} = \frac{A_M - A_Ж}{q}$$

Шоттки өткеліндегі тосқауылдық (жапсарлық) электр өрісі түгелге дерлік жартылай өткізгіш аймағында болады, себебі металда заряд тасымалдаушылардың концентрациясы және электр өткізгіштігі жоғары. Электрондардың металда қайта таралуы атомаралық қабатта жүзеге асады.

A – шығу жұмысы

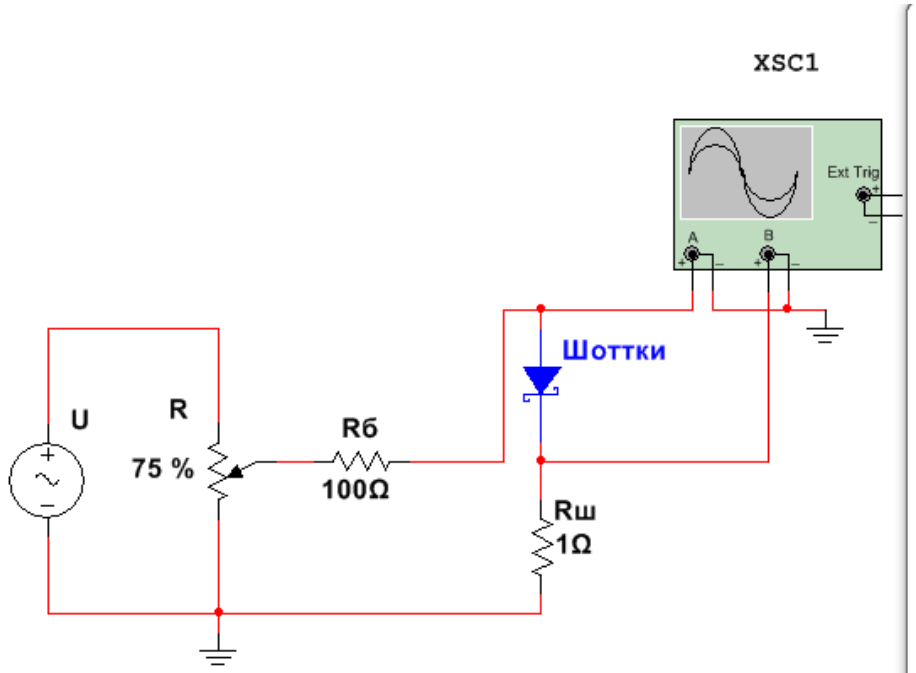
Шоттки диодының ВАС-ы

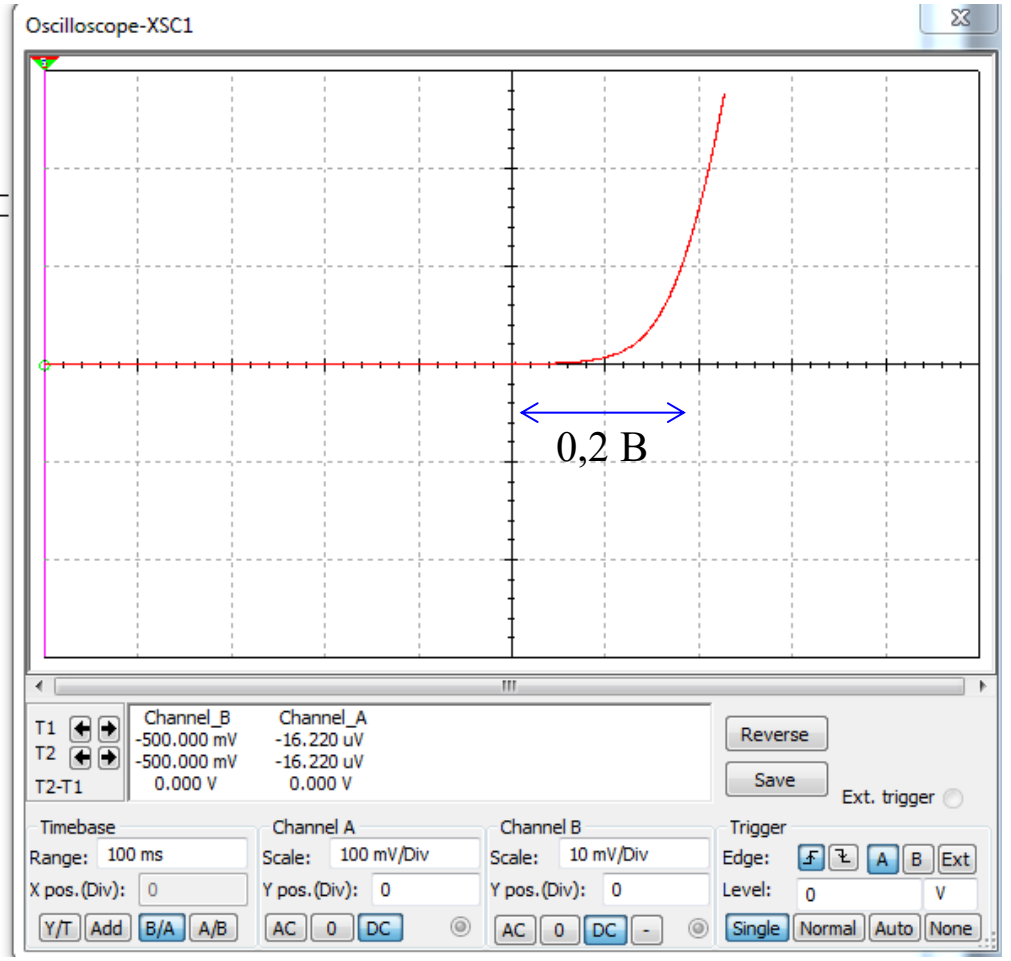


Басты кемшілігі рұқсат етілген кері кернеу мәні аз уақыттың өзінде шамадан асып кетсе Шоттки диоды қайтарымсыз істен шығады.

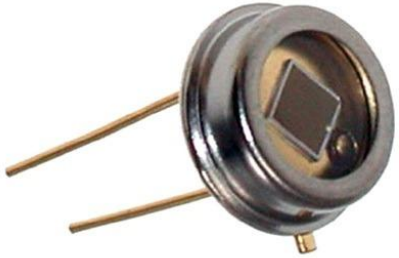
Кері ток күшінің температурадан тәуелділігі жоғары. Мысалы 30CPQ150 диоды үшін максимум рұқсат етілген кері кернеу шамасындағы кері ток күші 0,12 мА (+25°С), ал температура 100°С↑ 6 мА-ге жетеді.

Шоттки диодының ВАС-ы



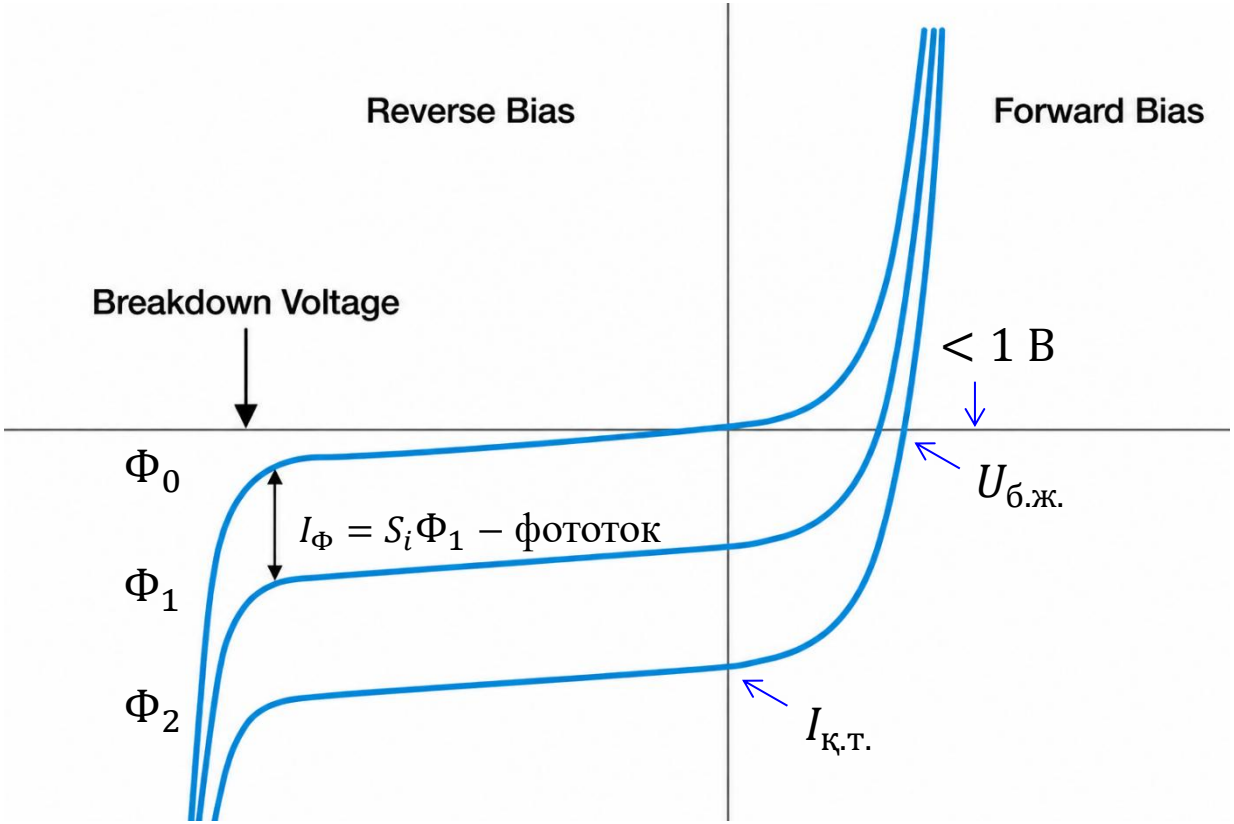


Фотодиод







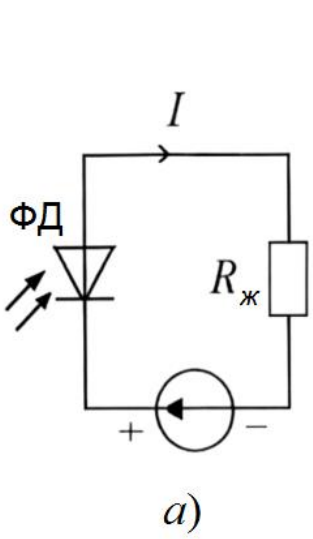


$$I_{кор} = I_S\left(e^{U/\varphi_T} - 1\right) - I_ф. \quad (13) \qquad \Rightarrow \qquad I_{кор} = I_{диф} - (I_S + I_\Phi). \quad (13*)$$

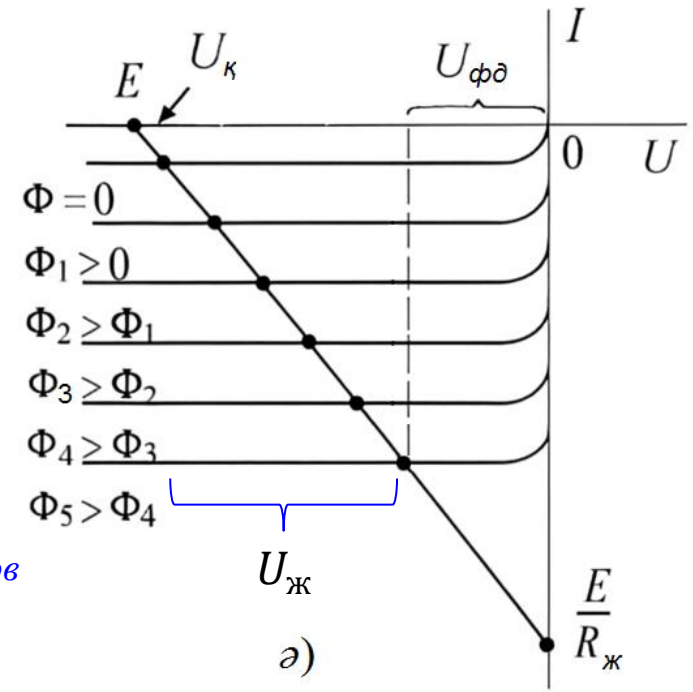
$$I_{к.т.} = -I_\Phi \qquad U_{б.ж.} = \varphi_T \ln\left(\frac{I_\Phi}{I_S} + 1\right) \quad (14)$$

I_S – кері ток

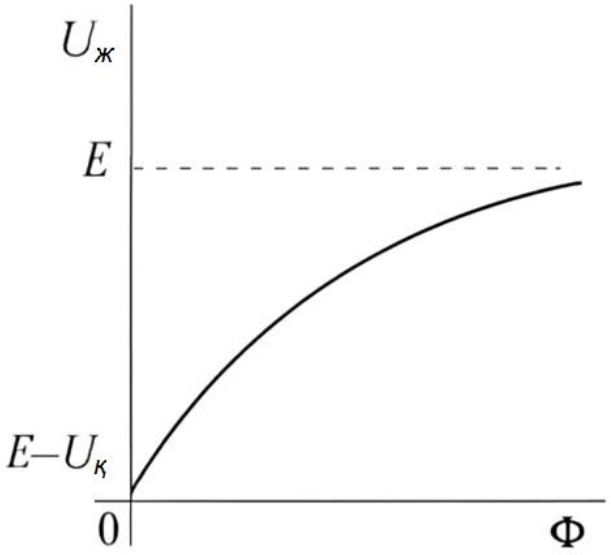
ФД жүктеме қисығын тұрғызу



а)



ә)



б)

Прянишников

Жүктеме қисығын тұрғызу үшін кернеу өсінде қорек көзінің кернеуін (Е), ал ток өсінде қысқа тұйықталу ($E/R_ж$) тогын белгілеп аламыз (*ә* суреті). Осы нүктеледі қосатын қисық *жүктеме қисығы* деп аталады. Осы қисықтың ФД ВАС қисықтарын кесіп өткен жері жүктемедегі ($R_ж$) кернеу шамасын анықтауға мүмкіндік береді:

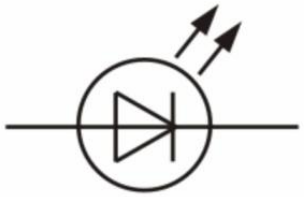
$$U_ж = E - U_{ФД}. \quad (15)$$

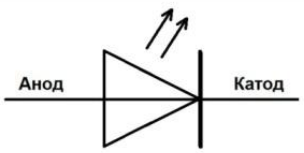
$$\Delta\lambda = 0.4 \div 2 \text{ мкм}; \quad S_i = 10^{-3} \div 1 \frac{\text{мкА}}{\text{люкс}}; \quad I_қ = 10^{-2} \div 1 \text{ мкА}$$

$I_қ$ – қараңғылық тогы

Жарық диоды (LED)

$$E_\phi = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \qquad E_\phi \approx E_g \qquad \lambda \approx \frac{hc}{E_g}$$



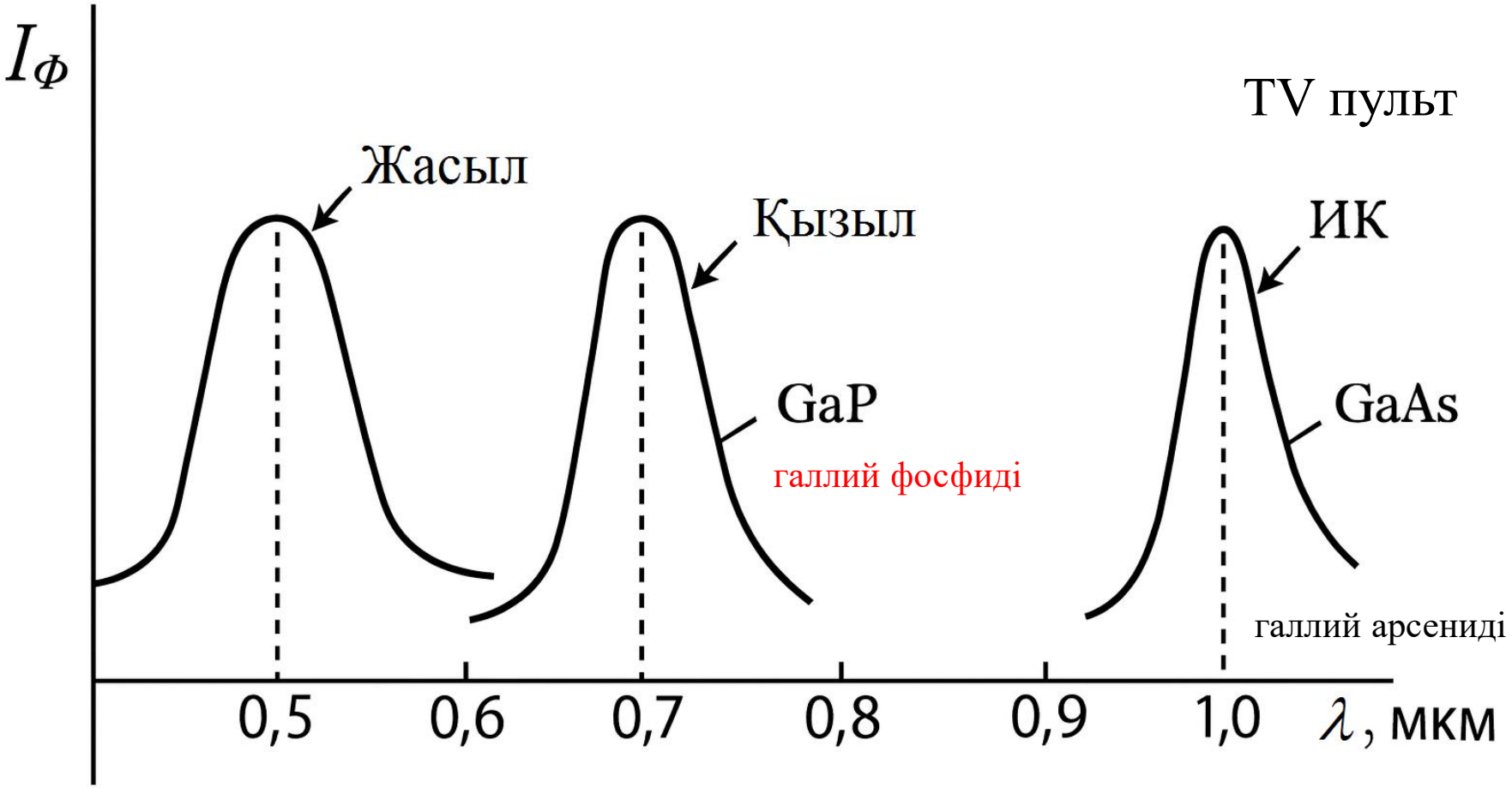




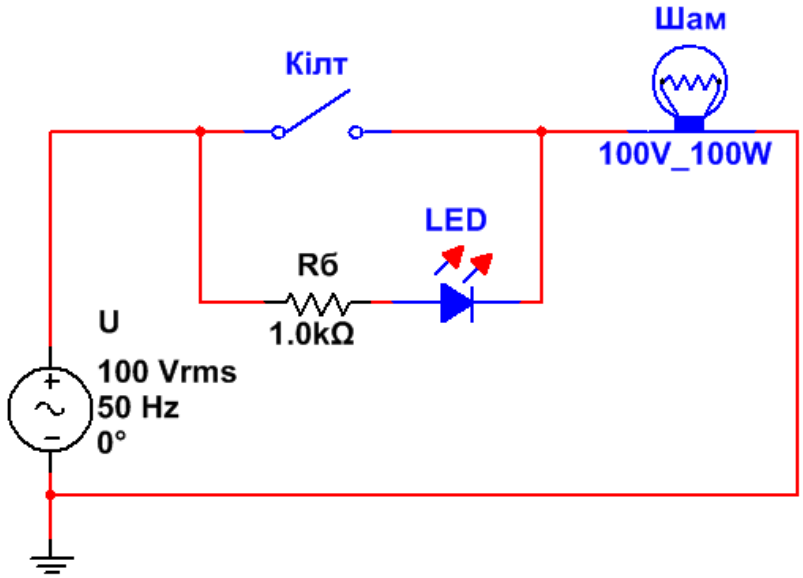
Typical LED Characteristics			
Semiconductor Material	Wavelength	Colour	V_F @ 20mA
GaAs	850-940nm	Infra-Red	1.2v
GaAsP	630-660nm	Red	1.8v
GaAsP	605-620nm	Amber	2.0v
GaAsP:N	585-595nm	Yellow	2.2v
AlGaP	550-570nm	Green	3.5v
SiC	430-505nm	Blue	3.6v
GaInN	450nm	White	4.0v

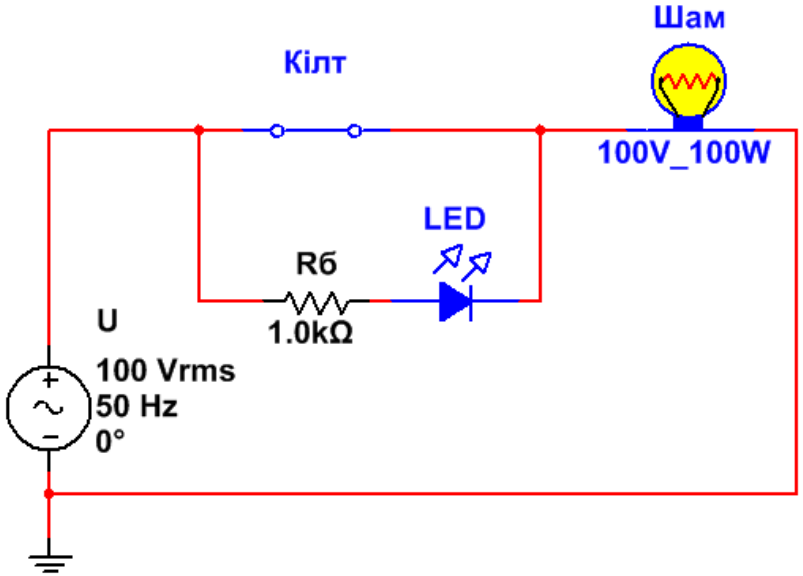
https://www.electronics-tutorials.ws

ЖД спектрлік сипаттамасы



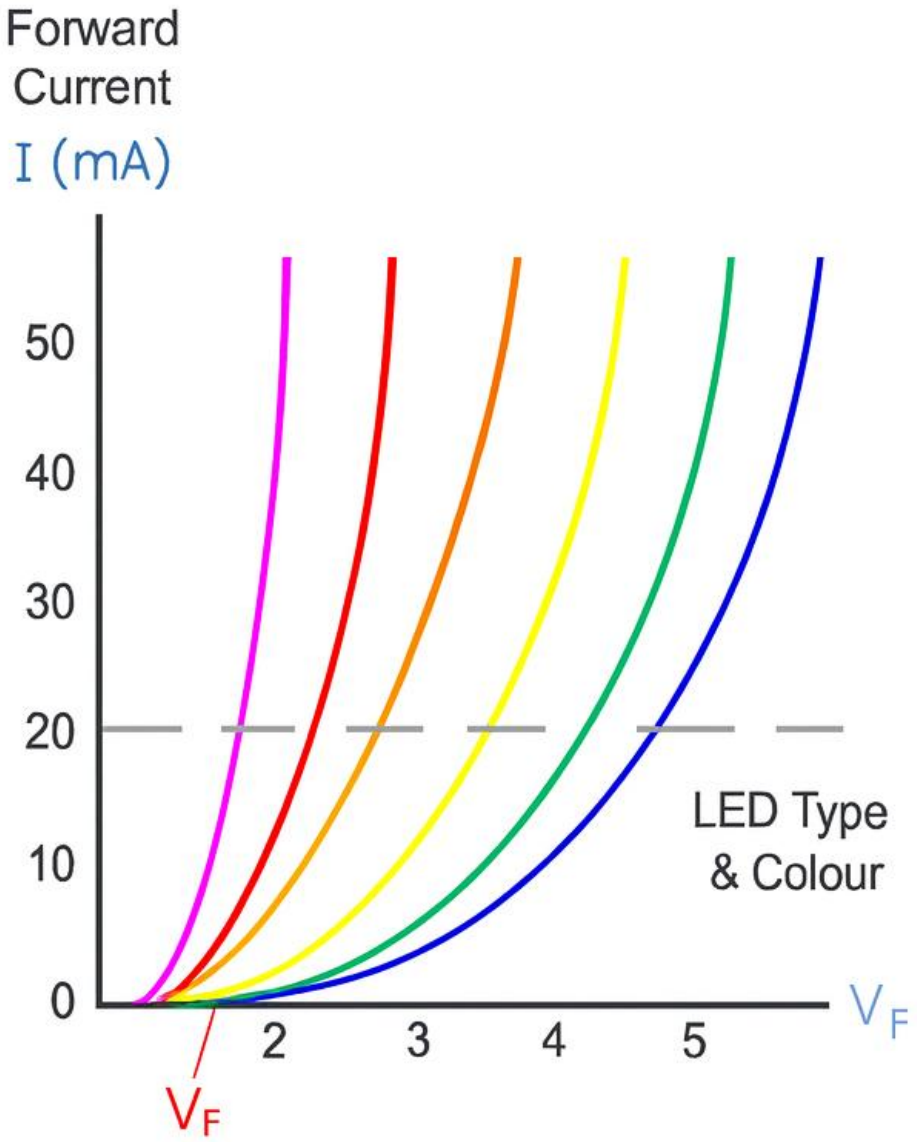
Жарық диодын қолдану





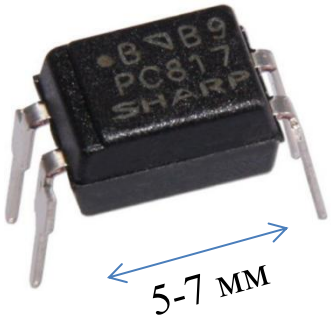
$$R_б = \frac{U - U_{VD}}{I_{VD}}$$

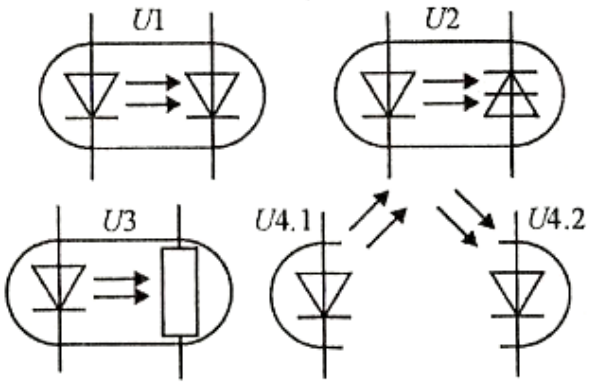
Жарық диодтарының ВАС-ы

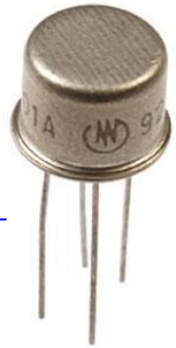


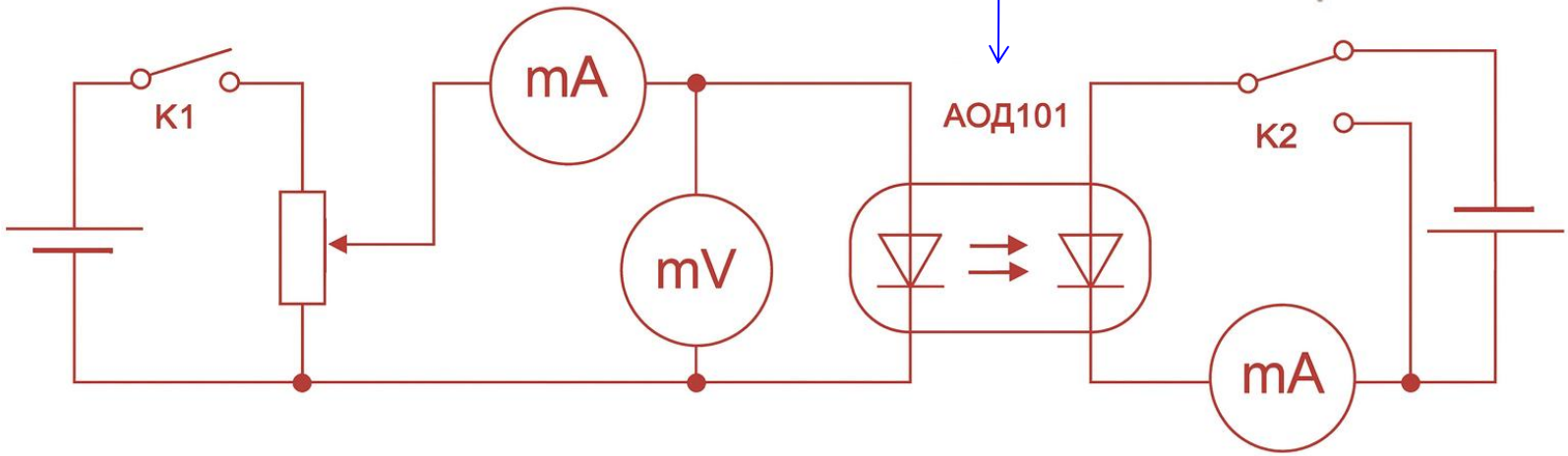
https://www.electronics-tutorials.ws

Оптрон (оптикалық жұп)









ФД-ның ВАС-н алуға арналған электр тізбегі