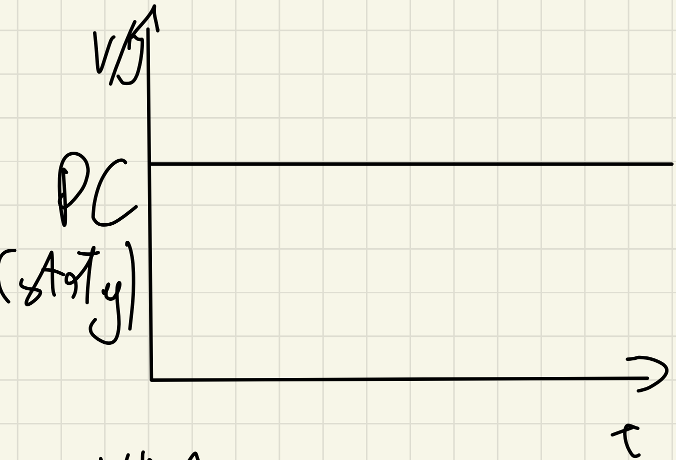
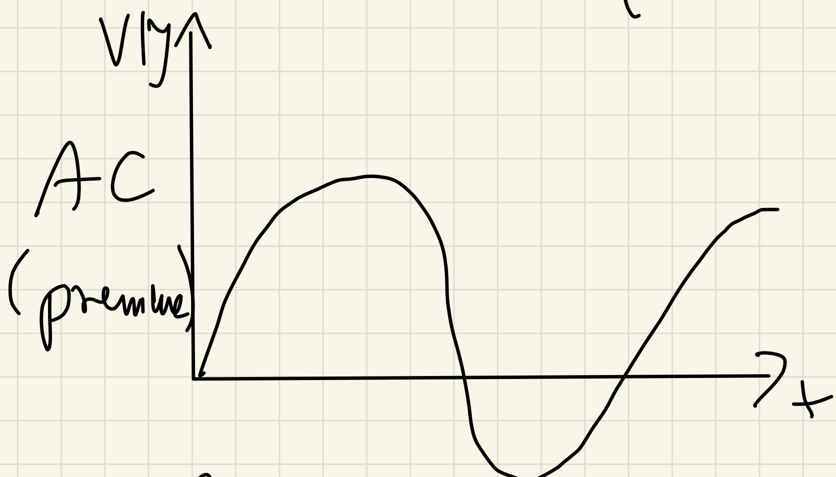
Rodzaje przebiegów elektrycznych





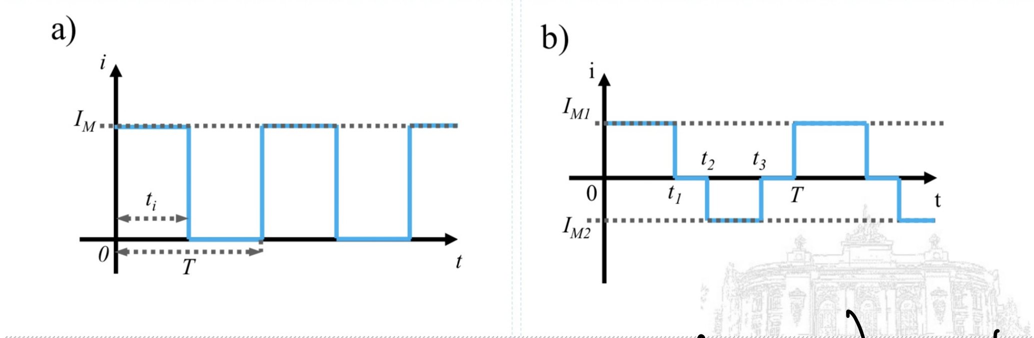
- okresowy
- zmienny w czasie
- symetryczny względem osi X (wart. śr.)

Wart. charakterystyczne

$$X_{śr} = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)\,dt$$

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T x^2(t)\,dt}$$

Zadanie 1. Oblicz wartość średnią przebiegu jak na rysunku.



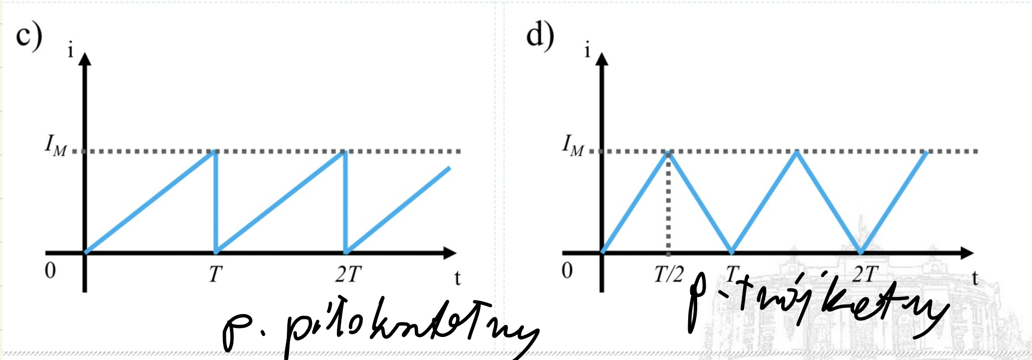
a) $$X_{śr} = \frac{t_i}{T} I_m \cdot \frac{T-t_i}{T}\cdot 0) = \frac{t_i}{T} I_m$$

$$x_{śr} = \frac{1}{T}\left(\int_0^{t_1} I_m\,dt + \int_{t_1}^{T} 0\,dt\right) =$$

$$= \frac{1}{T} I_m \cdot t_1$$

b) $X_{śr} = \frac{1}{T}\left(\int_0^{t_1} I_{M_1}\,dt + \int_{t_1}^{t_2} 0\,dt + \int_{t_2}^{t_3} I_{M_2}\,dt + \int_{t_3}^{T} 0\,dt\right) = \frac{1}{T}\cdot\left(I_{M_1}(t_1-0) + I_{M_2}(t_3-t_2)\right)$

Zadanie 1. Oblicz wartość średnią przebiegu jak na rysunku.



Przebieg piłokształtny (trójkątny)

c) $I_m = a\cdot T + 0 \qquad x(t) = \frac{I_m}{T}\cdot t$

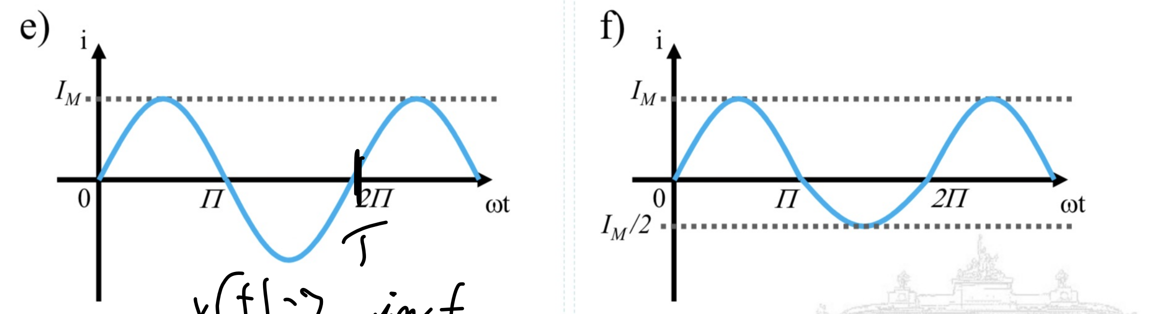
$$X_{śr} = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{I_m}{T}\cdot t\,dt = \frac{1}{T}\left(\frac{I_m}{T}\cdot\frac{t^2}{2}\Big|_0^T\right) =$$

$$= \frac{1}{\cancel{T}}\cdot\left(\frac{I_m}{\cancel{T}}\cdot\frac{T^{\cancel{2}}}{2}\right) = \frac{I_m}{2}$$

d) analogicznie

$$x(t) = \begin{cases} \frac{2I_m}{T}\cdot t, & \left(0, \frac{T}{2}\right) \\ -\frac{2I_m}{T}\cdot t + 2I_m, & \left(\frac{T}{2}, T\right) \end{cases}$$

Zadanie 1. Oblicz wartość średnią przebiegu jak na rysunku.



$x(t) = I_m \sin t$

e) $X_{śr} = \frac{1}{T}\left(\int_0^T I_m \sin t \, d\omega t\right) = \frac{1}{T}\left(-I_m \cos t \Big|_0^T\right)$

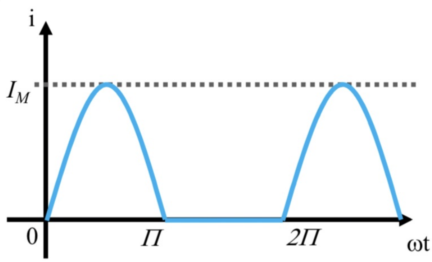
$= \frac{1}{T}\left(-I_m \cos 2\pi + I_m \cos 0\right) = \frac{1}{T}\cdot 0 = 0$

f)

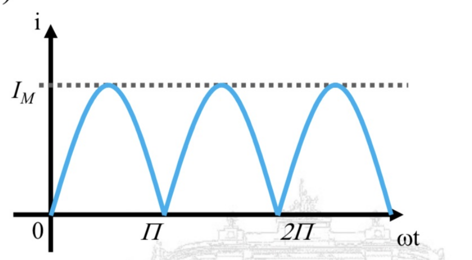
$$T = 2\pi \qquad x(t) = \begin{cases} I_m \sin \omega t & (0, \pi) \\ \frac{I_m}{2} \sin \omega t & (\pi, 2\pi) \end{cases}$$

Zadanie 1. Oblicz wartość średnią przebiegu jak na rysunku.

g)



h)



g

$$x(t) = \begin{cases} I_m \sin \omega t & (0, \pi) \\ 0 & , (\pi, 2\pi) \end{cases}$$

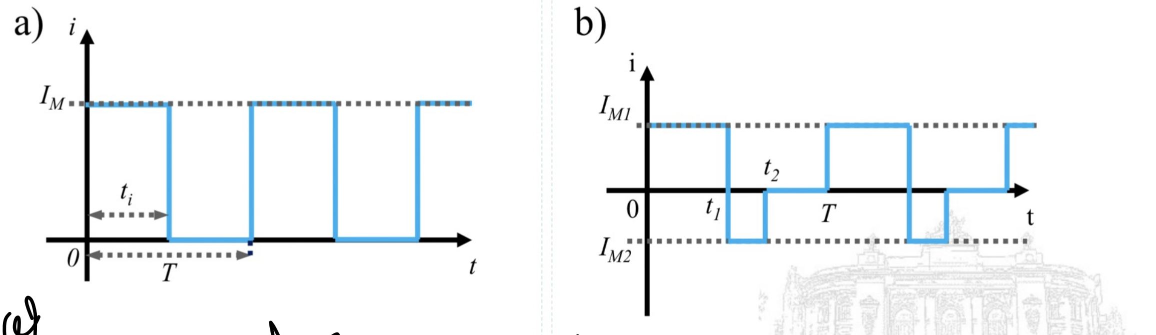
$$X_{śr} = \frac{1}{T} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t \, d\omega t =$$

$$= \frac{1}{T} \left(- I_m \cos \pi - I_m \cos (0) \right) =$$

$$= \frac{2 I_m}{T} = \frac{I_m}{\pi}$$

b) analogicznie, ale okres T

Zadanie 2. Narysuj przebieg funkcji kwadratowej oraz oblicz wartość skuteczną przebiegu jak na rysunku.



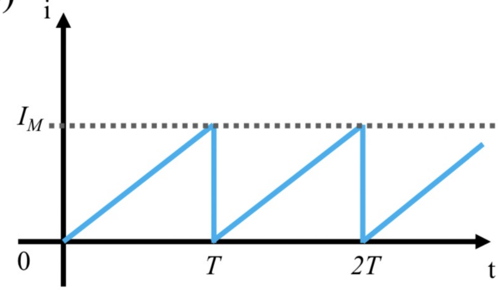
a)

$$x(t) = \begin{cases} I_m, & (0, t_1) \\ 0, & (t_1, T] \end{cases}$$

$$x^2(t) = \begin{cases} I_m^2, & (0, t_1) \\ 0, & (t_1, T] \end{cases}$$

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{t_1} I_m^2 \, dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\left(I_m^2 t \Big|_0^{t_1}\right)} = I_m \cdot \sqrt{\frac{t_1}{T}}$$

c)



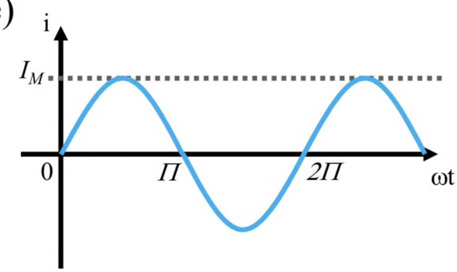
$$x^2(t) = \frac{I_m^2}{T^2} \cdot t^2$$

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{I_m^2}{T^2} \cdot t^2\, dt} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T}\left(\frac{I_m^2}{T^2} \cdot \frac{t^3}{3}\Big|_0^T\right)} = \sqrt{\frac{1}{\cancel{T}} \cdot \left(\frac{I_m^2}{\cancel{T^2}} \cdot \frac{\cancel{T^3}}{3}\right)}$$

$$= \sqrt{\frac{I_m^2}{3}} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$$ ← współczynnik kształtu

e)



$$x^2(t) = I_m^2 \sin^2 \omega t$$

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t} =$$

$$= \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t \, d\omega t}$$

$$\sin^2 x = 1 - \cos^2 x$$

$$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$$

$$\sin^2 x = 1 - \cos^2 x - \sin^2 x$$

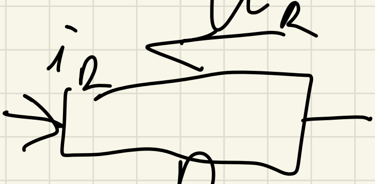
$$\sin^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2}$$

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \frac{1}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{2} \, d\omega t} =$$

$$= \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\sin 2\pi}{2} - \frac{\sin 0}{2}\right)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi}\left(\frac{\pi}{2} - 0\right)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

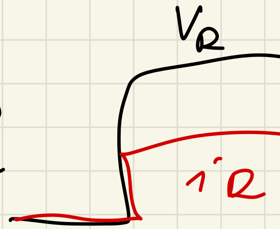
Ćwiczenie 2

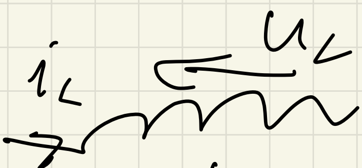
powtórzenie - el. liniowe



rezystor

$$V_R = i_R \cdot R$$



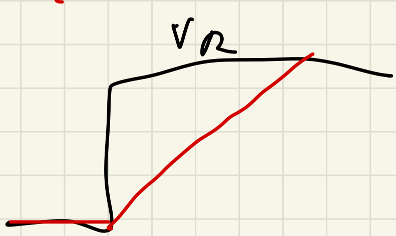


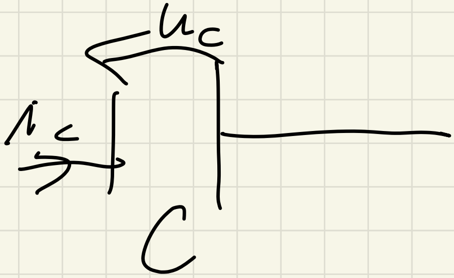
Cewka (dławik)

$$V_L = L\frac{di_L}{dt}$$

prąd nie może zmienić się skokowo!

$$i_L = \frac{1}{L}\int V_L\, dt$$

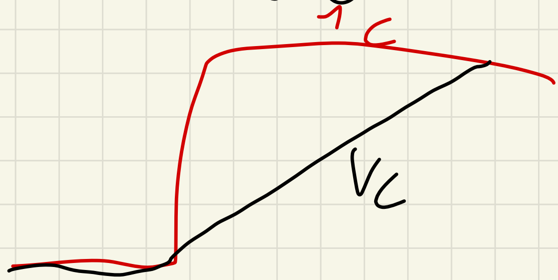




kondensator

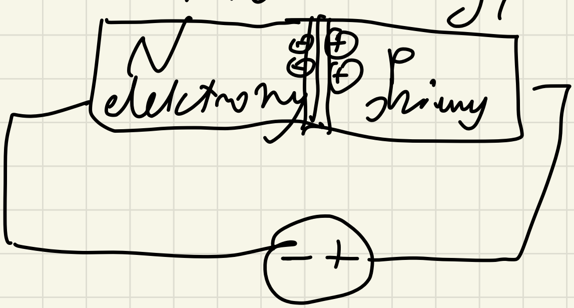
$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

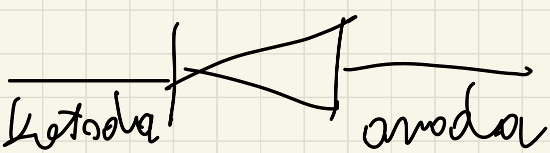
$$v_C = \frac{1}{C} \int u_C \, dt$$

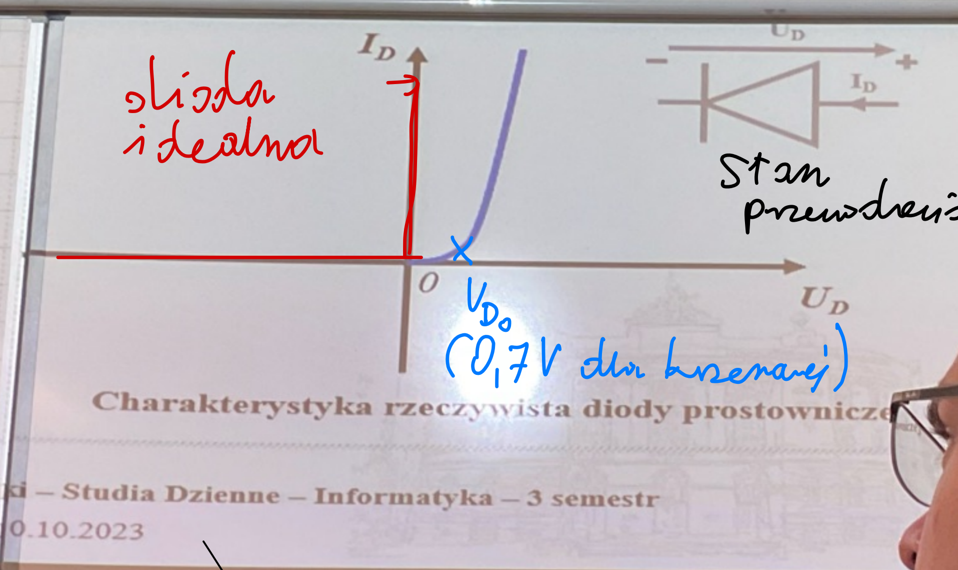


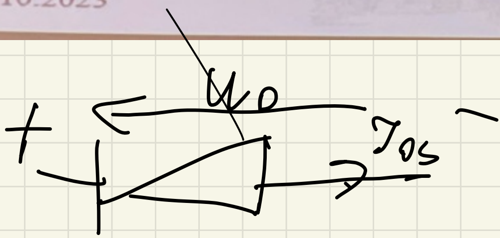
ELEMENTY ELEKTRONICZNE

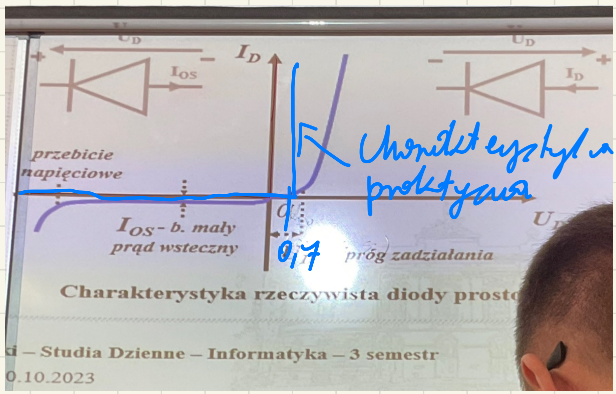
Dioda - el. półprzewodnikowy nieliniowy, charakterystyka $\frac{I}{U}$









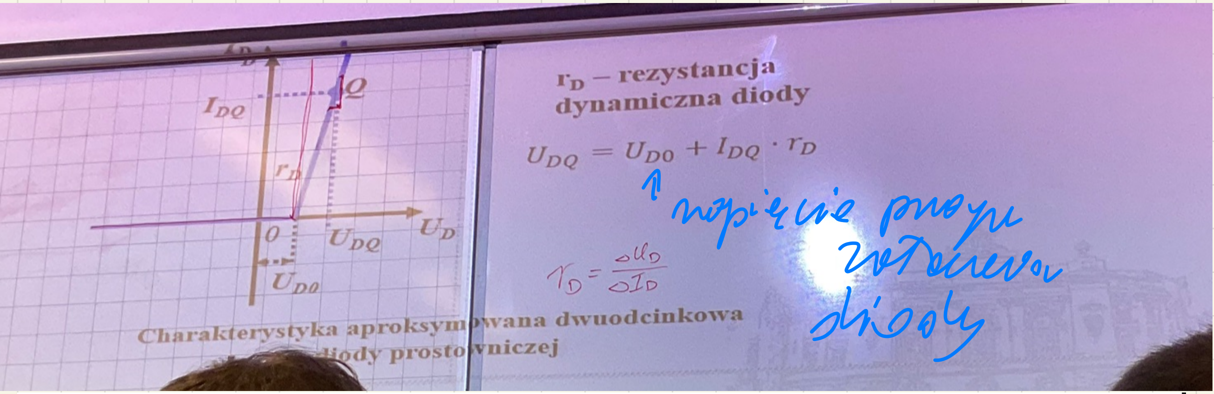


prąd w ogóle nie płynie od katody do anody !

$$I_D = I_{OS}\left(e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1\right), \quad U_T = \frac{kT}{q}$$

wzór Shockley'a

k – stała Boltzmana $1{,}38e^{-23}\left[\frac{J}{K}\right]$, T – temp. złącza $(273+t^{\circ})$, q – ładunek elementarny $1{,}6e^{-19}[C]$



Zadanie 1. Proszę wykazać, że rezystancja dynamiczna diody jest odwrotnie proporcjonalna do prądu przewodzenia diody I_D (temperatura złącza stała).

$$r_d = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_d} = \frac{dU_D}{dI_d} \qquad \frac{1}{r_D} = g_D = \frac{dI_D}{dU_D}$$

$$I_D = I_{0S}\left(e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1\right)$$

$$g_D = \frac{1}{U_T} \cdot I_{0S} \cdot e^{\frac{U_D}{U_T}}$$

$$I_D = I_{0S} \cdot e^{\frac{U_d}{U_T}} - I_{0S}$$

w stanie przewodzenia $I_{0S} \ll I_d$

$$I_D = I_{0S} \cdot e^{\frac{U_d}{U_T}}$$

$$e^{\frac{U_D}{U_T}} = \frac{I_d}{I_{0S}}$$

$$g_d = \frac{I_D}{U_T} \qquad r_d = \frac{U_T}{I_D}$$

$$r_d \approx \frac{kT}{qI_D}$$

Zadanie 2. W układzie energoelektronicznym prąd diody zmienił się z 1 A na 100 mA (temperatura złącza stała 300 K). O ile mV zmieniło się napięcie na diodzie?

Dane:

$I_{D1} = 1A$

$I_{D2} = 0{,}1A$

Szukane:

$\Delta U_D = U_{D2} - U_{D1}$

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = \frac{\cancel{I_{DS}} \cdot e^{\frac{U_{D2}}{U_T}}}{\cancel{I_{DS}} \cdot e^{\frac{U_{D1}}{U_T}}} \qquad (I_{DS} \ll I_D)$$

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = e^{\frac{\Delta U_D}{U_T}}$$

$$\Delta U_D = U_T \ln \frac{I_{D2}}{I_{D1}}$$

$$U_T = \frac{k \cdot T}{q} = 25{,}85\,mV$$

$$\Delta U_D = 25{,}85\,mV \cdot \ln 0{,}1 \approx -60\,mV$$

Zadanie 3. Ile razy zmienił się i jak (wzrósł lub zmalał) prąd przewodzenia diody (temperatura złącza stała T=300 K), jeżeli napięcia na diodzie wzrosło o około 40 mV.

$$\Delta U_D = 40\,mV$$

$$\Delta U_D = U_{D2} - U_{D1}$$

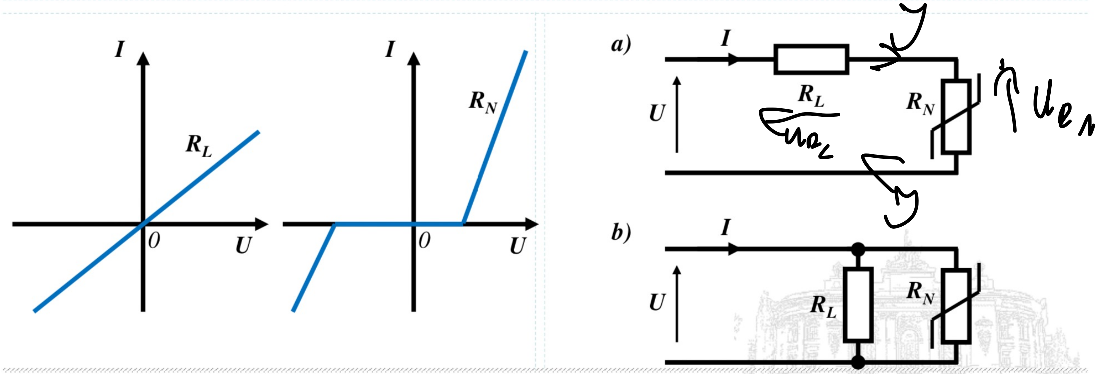
$$I_{D1} = I_{0S}\, e^{\frac{U_{D1}}{U_T}} \qquad I_{D2} = I_{0S} \cdot e^{\frac{U_{D2}}{U_T}}$$

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = e^{\frac{U_{D2} - U_{D1}}{U_T}} = e^{\frac{\Delta U_D}{U_T}}$$

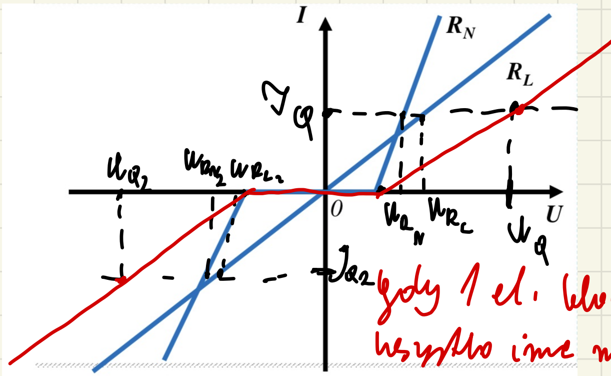
$$U_T = \frac{kT}{q} = 25{,}85\,mV$$

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = e^{\frac{40\,mV}{25{,}85\,mV}} = 4{,}7$$

Zadanie 4. W układzie jak na rysunku znaleźć graficznie wypadkową charakterystykę I=f(U) lub U=f(I). Charakterystyki prądowo-napięciowe elementów R_L i R_N są znane (R_L – element liniowy, R_N – element nieliniowy).



a)



Punkt pracy $Q(U, I)$

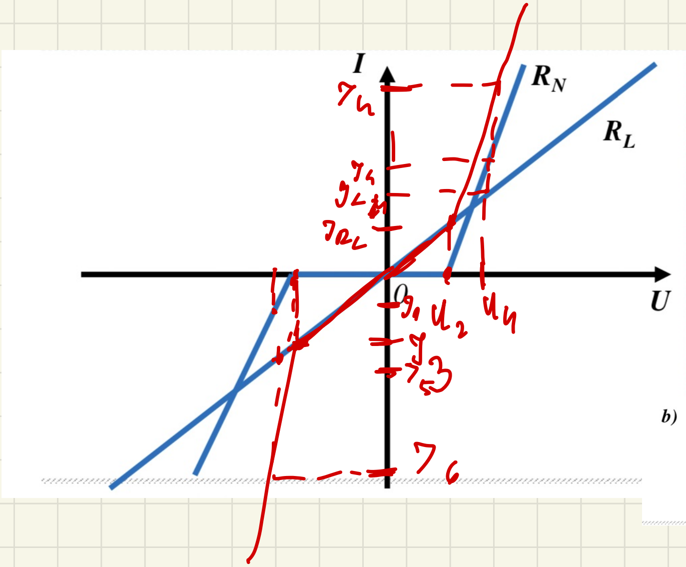
gdy 1 el. blokuje prąd, wszystko inne nie przewodzi

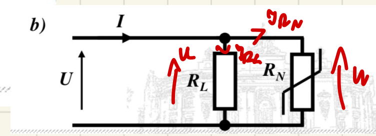
$Q_{R_L}(U_{R_L}, I_{R_L})$, $Q_{R_N}(U_{R_N}, I_{R_N})$

$U_Q = U_{R_L} + U_{R_N}$

$U_{Q_2} = U_{R_{L2}} + U_{R_{N2}}$

b)

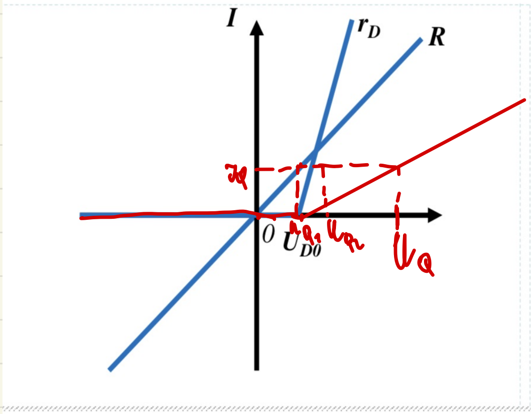


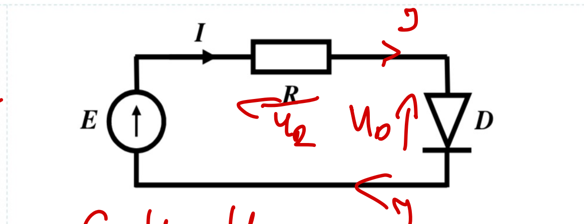


$I = I_{R_L} + I_{R_N}$

Zadanie 5. Proszę znaleźć graficznie punkt pracy diody półprzewodnikowej w układzie jak na rysunku, przyjmując dwuodcinkową aproksymację charakterystyku diody. Proszę obliczyć analitycznie współrzędne punktu pracy diody i rezystora.

Dane: U_{D0}=1 V, r_D=1 Ω, E=2U_{D0}, R=50 Ω.





$E = U_R + U_D$

$E = I \cdot R + I \cdot r_d + U_{D0}$

$2 = 51 \cdot I + 1$

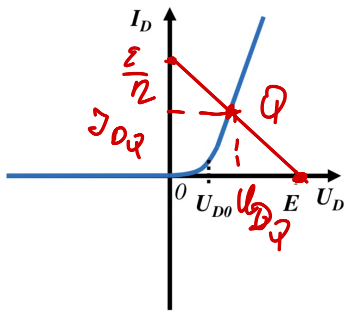
$I = \frac{1}{51} A \approx 20 mA$

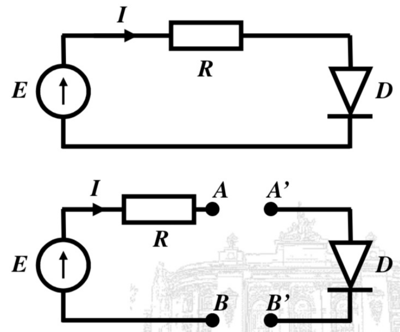
$U_R = 0{,}02 \cdot 50 = 1 V$

$U_D = I r_d + U_{D0} \approx 1 V$

$Q_D(1, 0{,}02)$ $Q_D(1, 0{,}02)$

Zadanie 6. Na charakterystyce I=f(U) diody półprzewodnikowej w układzie jak na rysunku narysować prostą obciążenia diody.





$Q_{x_0}(0, I_a) = \left(0, \frac{E}{R}\right)$

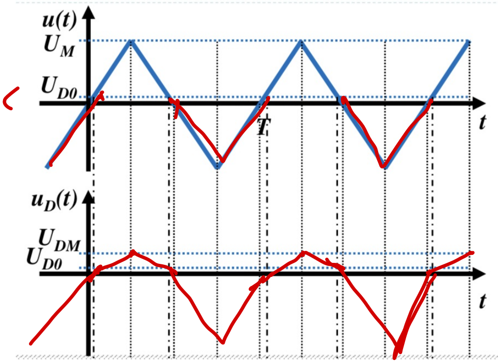
$Q_{y_0}(U_{a}, 0) = (E, 0)$

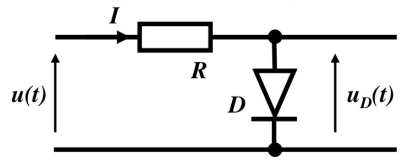
$E = I \cdot R + U_D$

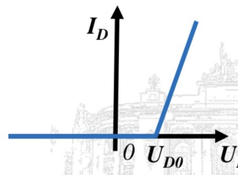
$I = \frac{E - U_D}{R}$ – równanie prostej obciążenia

Zadanie 7. Przyjmując dwuodcinkową aproksymację charakterystyki diody narysować przebieg napięcia na diodzie dla zadanego przebiegu wejściowego u(t).

Dane: U_{D0}=0.7 V, r_D=1 Ω, U_M=11 V, R=50 Ω.







poniżej U_{D0} dioda nie przewodzi -

- jest napięcie wejścia

$U_{DM} = ?$

$u(t) = U_M$

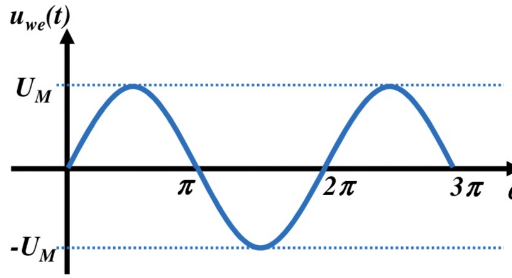
$U_M = I_M R + I_M r_d + U_{D0}$

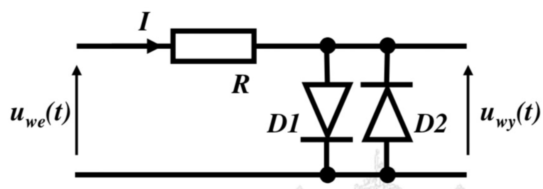
$I_M = \frac{U_M - U_{D0}}{R + r_d} = \frac{11 - 0{,}7}{51} = \frac{10{,}3}{51} \approx 200\,mA$

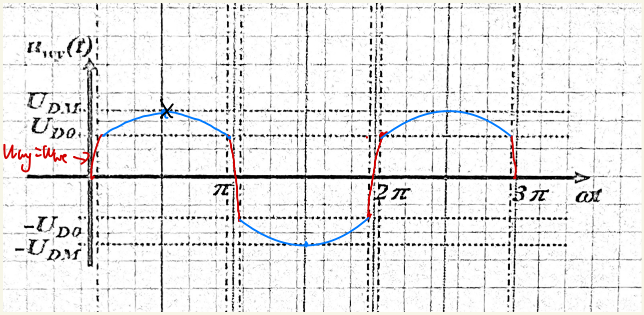
$U_{DM} = U_{D0} + I_D \cdot r_d = 0{,}7V + 0{,}2A \cdot 1 = 0{,}9V$

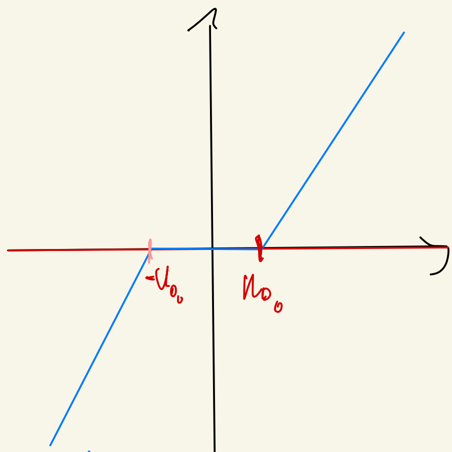
Zadanie 8. W układzie ogranicznika napięcia narysować przebieg napięcia wyjściowego $u_{wy}(t)$ dla zadanego napięcia wejściowego $u_{we}(t)$. Charakterystyki diody aproksymowane dwuodcinkowo. Jak przesuwa się punkt pracy diody D1 i D2?

Dane: U_{D0}=0.7 V, r_D=0,1 Ω, U_M=10 V, R=20 Ω.



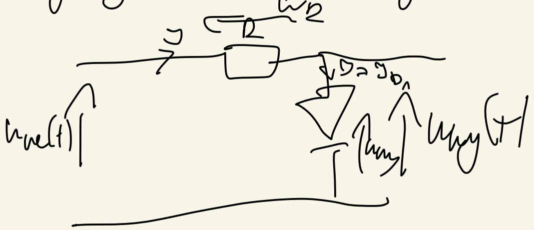






$U_D = U_{D0} + I_D \cdot r_D$

gdy $u_{we}(t) > U_{D0}$



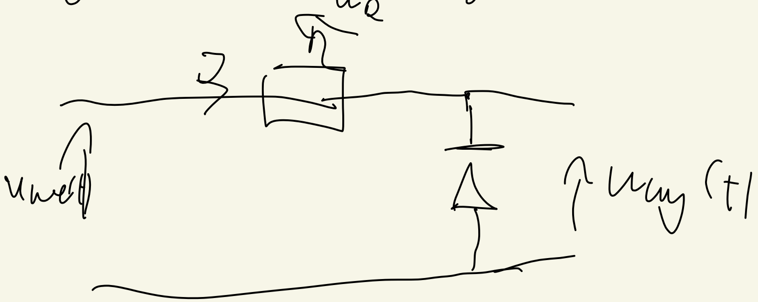
$$U_{we}(t) = i(t)\cdot R + U_{D0} + i(t)\cdot r_D$$

$$U_M = I_M \cdot R + U_{D0} + I_M \cdot r_D$$

$$I_M = \frac{U_M - U_{D0}}{R + r_d} = \frac{10-0,7}{20,1} \approx 0,46A$$

$$U_{DM} = U_{D0} + I_M \cdot r_d = 0,746V$$

gdy $u_{we}(t) < -u_{D_0}$



$$-U_M = -I_M \cdot R - u_{D_0} - I_M \cdot r_D$$

$$U_M = I_M \cdot R + u_{D_0} + I_M \cdot r_D$$

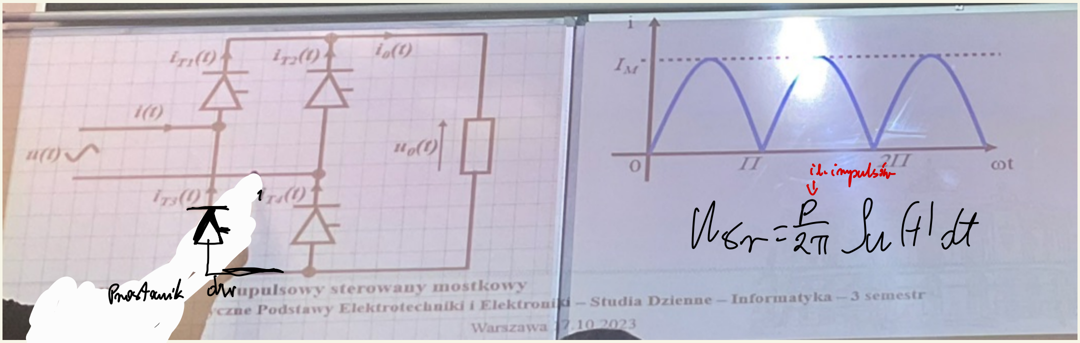
TYRYSTOR posiada dodatkowy pin/warstwę, która powoduje, że prąd nie przechodzi do momentu podania na ten pin odpowiedniego napięcia. Wówczas zachowuje się jak dioda.

Musi być spolaryzowany w kierunku przewodzenia

Idealny tyrystor traci właściwości przy $U < 0$.

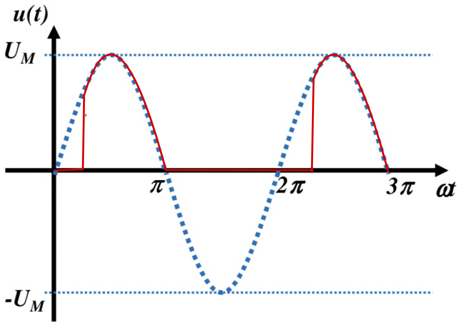
Typy prostowników

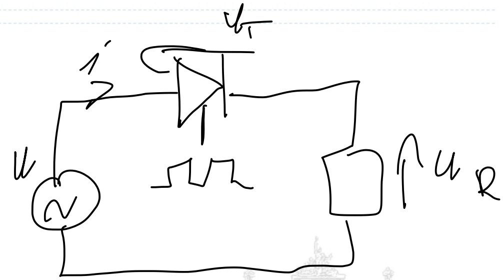
- jednopulsowy (nie)sterowany
- dwupulsowy sterowany
- 〃 〃 mostkowy

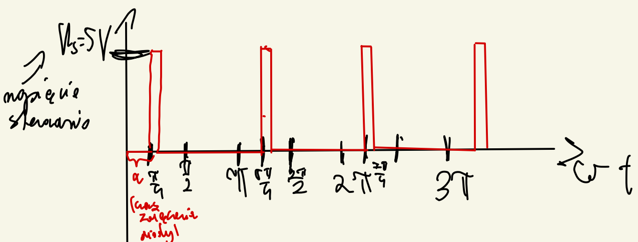


Zadanie 1. Proszę narysować prostownik jednopulsowy sterowany obciążony rezystancyjnie i obliczyć średnią wartość napięcia na obciążeniu dla kąta wysterowania $\alpha = \frac{\pi}{4}$, jeżeli tyrystor jest elementem idealnym, amplituda napięcia zasilającego $230\sqrt{2}$ V.

Proszę narysować przebieg napięcia na obciążeniu.







$$U_{śr} = \frac{1}{2\pi} \int u(t)\,dt =$$

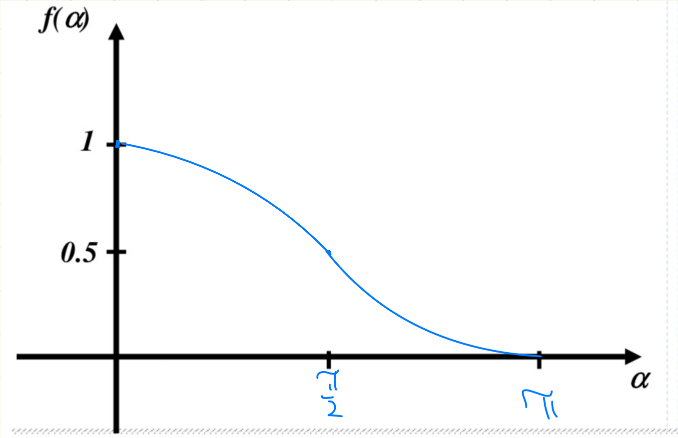
$$= \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} U_M \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= -\frac{U_M}{2\pi} \cos x \Big|_{\frac{\pi}{4}}^{\pi} = -\frac{U_M}{2\pi}\left(-1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) =$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left(230\sqrt{2}\,(2 + \sqrt{2})\right) = \frac{460\sqrt{2} + 460}{4\pi} = \frac{115\sqrt{2} + 115}{\pi}$$

$$\boxed{U_{śr} = \frac{U_M}{2\pi}(1 + \cos\alpha)}$$

Zadanie 2. Proszę narysować charakterystykę sterowania $f(\alpha) = \frac{U_{śr\alpha}}{U_{śr0}}$ dla prostownika z zadania 1 – jednopulsowego.



$$U_{śr\alpha} = \frac{U_M}{\pi}$$

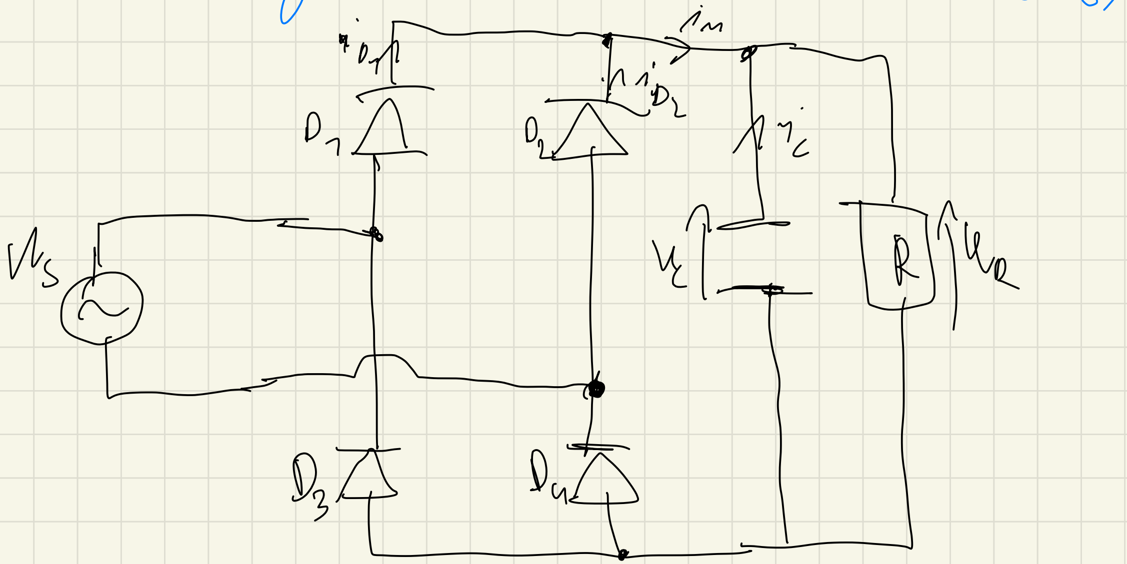
$$f(\alpha) = \frac{U_M}{2\pi}(1+\cos\alpha)\cdot\frac{\pi}{U_M} = \frac{1+\cos\alpha}{2} = \frac{1}{2} + \frac{\cos\alpha}{2}$$

Zadanie 3. Proszę narysować prostownik dwupulsowy, mostkowy, niesterowany, obciążony rezystancyjnie z filtrem pojemnościowym. Proszę narysować przebiegi: $u_s(t)$ – napięcie sieci zasilającej, $u_o(t)$ – napięcie odbiornika, $i_M(t)$ – prąd mostka, $i_c(t)$ – prąd kondensatora, $i_o(t)$ – prąd obciążenia, $i_s(t)$ – prąd źródła.

Kondensator – filtr napięcia (pojemnościowy)

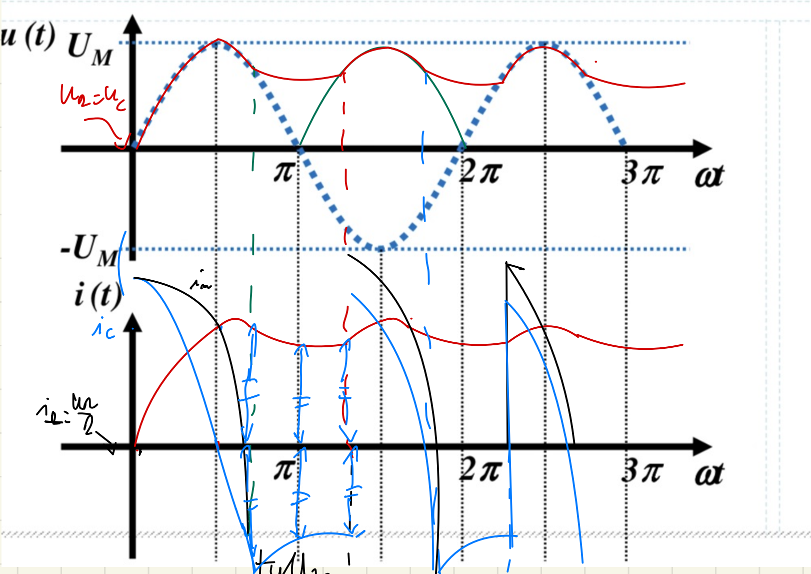
dla wyjścia bez filtra

Przewodzenie prądu – D_1 i D_4 ($u_s > 0$) lub D_2 i D_3 ($u_s < 0$)



$$i_C = C\frac{du_C}{dt} \qquad u_C = U_R$$

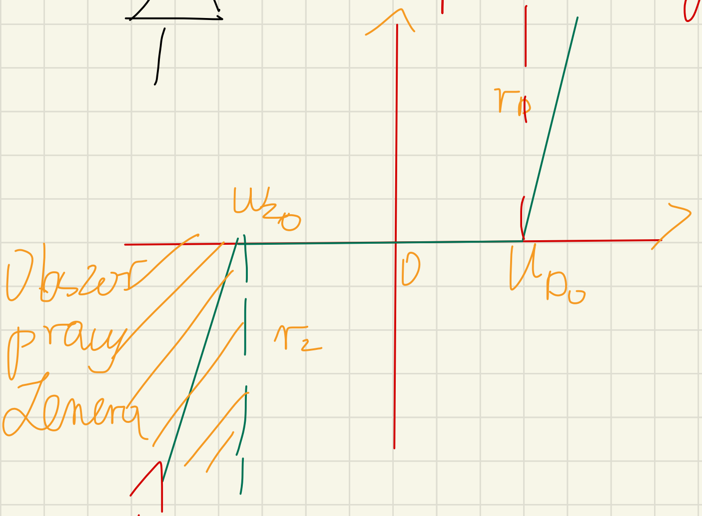
$$i_R = \frac{U_R}{R} \qquad i_m = i_C + i_R$$



$\frac{U_{20}}{CR}$

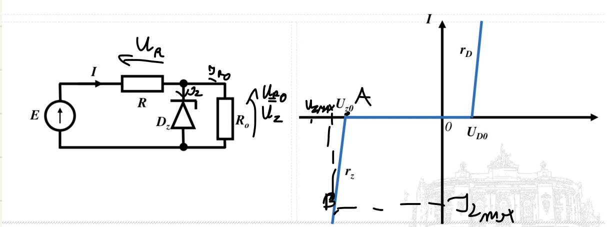
Dioda Zenera

pozwala na przewodzenie w kierunku przeciwnym



Tu przewodzi w przeciwnym kierunku $U_z = U_{z0} + I_z r_z$

Zadanie 4. W układzie stabilizatora parametrycznego proszę wyznaczyć zakres zmian rezystancji R_o zapewniający poprawną pracę układu.
Dane: E=24V, R=100 Ω, U_{z0}=4 V, P_z=400 mW, r_z=1Ω;



Dla napięcia stabilnego

$$R_0 \in (R_{0min}, R_{0max})$$

$$U_z = U_{z0} + I_z \cdot r_z$$

$$P_z = U_{zMAX} \cdot I_{zMAX} = 400 mW$$

$$U_{zMAX} \approx U_{z0} \Rightarrow P_z = U_{z0} I_{zMAX}$$

W punkcie A

$$U_z = U_{z0}, \quad I_z = 0$$

$$I = I_{R_0} + I_Z = I_{R_0}$$

$$\mathcal{E} = U_R + U_Z = I_{R_0} R + U_{Z_0}$$

$$U_R = \mathcal{E} - U_{Z_0}$$

$$I = \frac{\mathcal{E} - U_{Z_0}}{R}$$

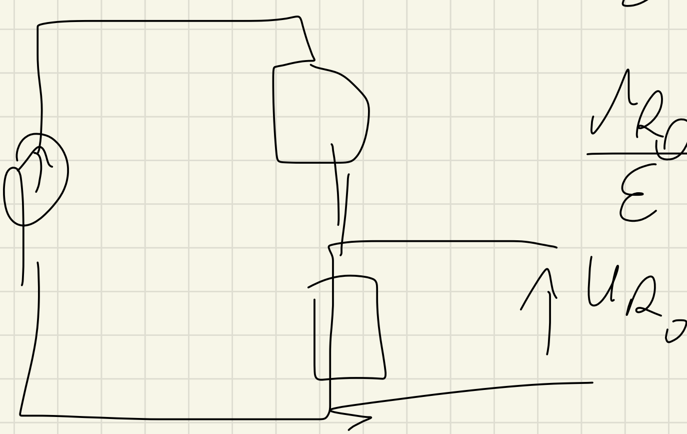
$$\mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot R_0$$

$$\mathcal{E} = \frac{(\mathcal{E} - U_{Z_0}) \cdot \cancel{R}}{\cancel{R}} + \frac{\mathcal{E} - U_{Z_0}}{R} R_0$$

$$0 = -U_{Z_0} + \frac{\mathcal{E} - U_{Z_0}}{R} \cdot R_0$$

$$R_0 = \frac{R\, U_{Z_0}}{\mathcal{E} - U_{Z_0}} = \frac{100 \cdot 4}{24 - 4} = 20\,\Omega$$

$$\mathcal{E}\ I\ (R + R_0)$$



$$\frac{U_{R_0}}{\mathcal{E}} = \frac{R_0}{R + R_0}$$

W punkcie B

$$I_Z = I_{Z\,MAX} = \frac{P_Z}{U_{Z\,MAX}} \approx \frac{P_Z}{U_{Z0}} = \frac{400mW}{4V} = 100mA = 0{,}1A$$

$$U_Z = U_{Z0} + I_{Z\,MAX} \cdot r_Z$$

$$E = U_R + U_Z = IR + U_{Z0} + I_{Z\,MAX}\, r_Z$$

$$I = I_{Z\,MAX} + I_{R0}$$

$$I_{R0} = \frac{U_{R0}}{R_0} = \frac{U_{Z0} + I_{Z\,MAX}\, r_Z}{R_0}$$

$$E = \left(I_{Z\,MAX} + \frac{U_{Z0} + I_{Z\,MAX}\, r_Z}{R_0}\right) R + U_{Z0} + I_{Z\,MAX}\, r_Z$$

$$\frac{U_{Z0} + I_{Z\,MAX}\, r_Z}{R_0} R = E - U_{Z0} - I_{Z\,MAX}\, r_Z - I_{Z\,MAX} R$$

$$R_0 = \frac{(U_{Z0} + I_{Z\,MAX}\, r_Z)\, R}{E - U_Z - I_{Z\,MAX}(R + r_Z)} =$$

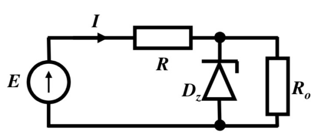
$$= \frac{(4 + 0{,}1 \cdot 0{,}1) \cdot 100}{24 - 4 - 0{,}1\,(100 + 0{,}1)} = \frac{401}{9{,}99} =$$

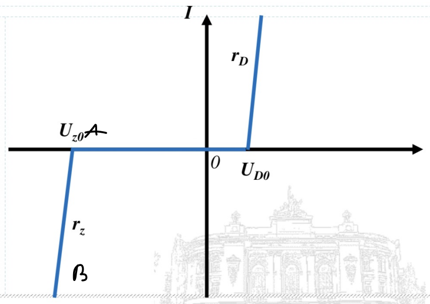
$$= 40{,}14\,\Omega$$

$R_0 \in (20\Omega, 4014\Omega)$

Zadanie 5. W układzie stabilizatora parametrycznego jak w zadaniu 4 rezystor R=100 Ω zastąpiono rezystancją R=1000 Ω. Jak zmieniły się wartości R_{omax} i R_{omin}?

Dane: E=24 V, R=1000 Ω, U_{z0}=4 V, P_z=400 mW, r_z=0,1Ω;





A

$$R_0 = \frac{R\,U_{z0}}{E-U_{z0}} = \frac{1000\cdot 4}{24-4} = \frac{4000}{20} = 200\Omega$$

B

$$R = \frac{R(U_{z0}+I_{zmax}\,r_z)}{E-U_{z0}-I_{zmax}(R+r_z)} = \frac{1000(4+0{,}1\cdot 0{,}1)}{24-4-0{,}1\cdot 1000{,}1} = \frac{4010}{-80{,}1} = -50{,}06\Omega$$

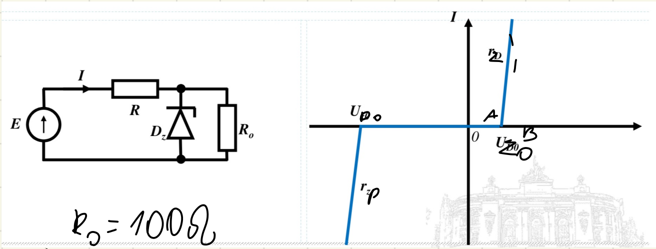
$I_z - I_{zmax} = 0{,}1\,mA$

za duży spadek

nie płynie mały

I_{MAX}

Zadanie 7. W układzie stabilizatora parametrycznego proszę wyznaczyć zakres zmian rezystancji R_{min} oraz R_{max} zapewniający poprawną pracę układu.
Dane: $E=24$ V, $U_{z0}=4$ V, $P_z=400$ mW, $r_z=0.1\ \Omega$, $R_o=100\ \Omega$;



w A

$\cancel{I_z} = 0 \quad U_z = U_{z0} \qquad I = I_z + I_{R_0}$

$E = U_R + U_{R_0} = I(R+R_0)$

$E = U_R + U_{z0} = IR + U_{z0}$

$E - I(R+R_0) - E = E - U_{z0} + IR_0$

$I = \frac{U_{z0}}{R} = \frac{4}{100} \qquad E = I(R+R_0)$

$E = IR + U_{z0} \qquad R = \frac{E}{I} - R_0 = 500\Omega$

$IR = E - U_{z0}$

w B

$P = U_{z0} \cdot I_{zMAX} \Rightarrow I_{zMAX} = \frac{P}{U_{z0}} = 0,1A$

$U_{z\,max} = U_{z0} + I_z r_z$

$I = I_z + I_{R_0}$

$$\mathcal{E} = U_R + U_z = I R + U_{z0} + I_R r_z$$

$$I_{R_0} = \frac{U_{R_0}}{R_0} = \frac{U_{z0} + I_R r_z}{R_0}$$

$$\mathcal{E} = \left(\frac{U_{z0} + I r_z}{R_0} + I_z\right) R + I_z r_z$$

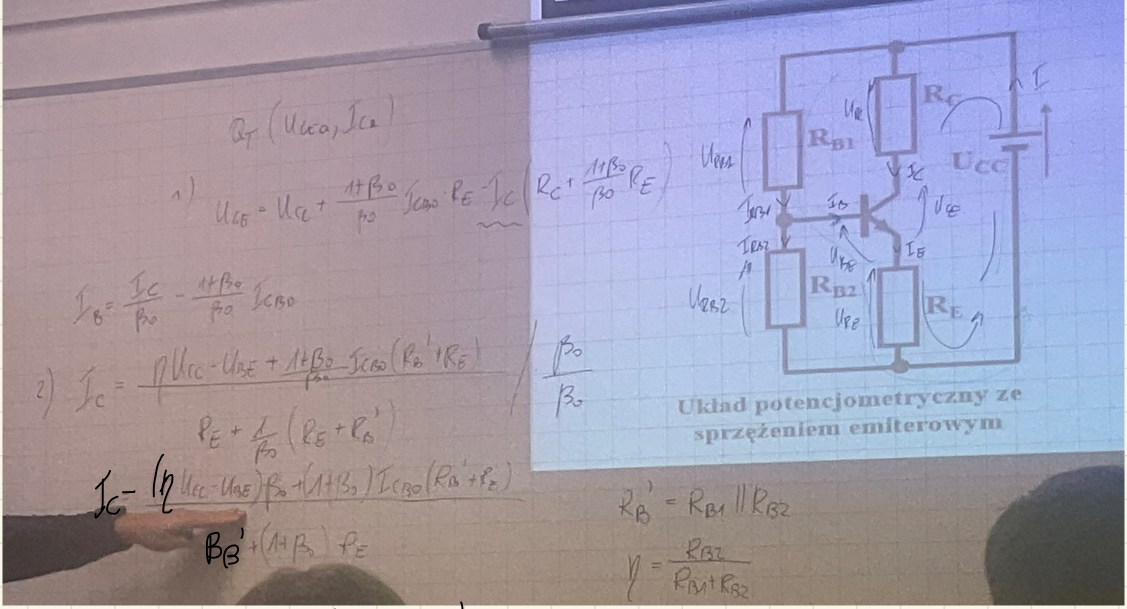
$$R = \frac{\mathcal{E} - U_{z0} - I_z r_z}{\frac{U_{z0} + I_z r_z}{R_0} + I_z} = \frac{24-4-0{,}1 \cdot 0{,}1}{\frac{4 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1}{100} + 0{,}1} =$$

$$= \frac{19{,}99}{\frac{4{,}01}{100} + 0{,}1} = \frac{19{,}99}{0{,}1401} \approx 142{,}68\,\Omega$$

$$R \in (142{,}68\,\Omega, 500\,\Omega\rangle$$

Zadanie 6. W układzie stabilizatora parametrycznego proszę wyznaczyć zakres zmian napięcia zasilającego E_{min} oraz E_{max}, jeżeli:

Dane: R=100 Ω, U_{z0}=4 V, P_z=400 mW, r_z=5 Ω, R_o=200 Ω;



$$S_1 = \frac{dI_C}{dI_{CB0}} \Bigg|_{\substack{U_{BE} = const \\ \beta = const}} = \frac{(1+\beta_0)(R_B' + R_E)}{R_B' + (1+\beta_0) R_E}$$

Dane

$U_{CC} = 12$

$R_C = 2500\,\Omega$

$R_E = 500\,\Omega$

$U_{BE} = 0{,}7\,V$

$I_{CB0} = 10{,}17\,A$

$\beta = 200$

$R_{B1} = 10000\,\Omega$

$R_{B2} = 2000\,\Omega$

$$S_i = 4{,}26$$

$$S_u = \frac{dI_c}{dU_{BE}}\Bigg|_{\substack{I_{CBO}=\text{const}\\ I=\text{const}}} = -\frac{\beta}{R_B' + (1+\beta_0)R_E} =$$

$$= -\frac{200}{1667 + 201\,500} = -1{,}96 \cdot 10^{-3}$$

$$S_\beta = \frac{\partial I_c}{\partial \beta_0}$$

bez R_E

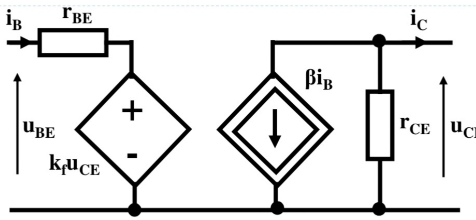
$$I_c = \frac{\eta\,(U_{CE} - U_{BE})\beta_0 + (1+\beta_0) I_{CB} \cdot R_B'}{R_B'}$$

$$S_1 = 201$$

$$S_u = -120 \cdot 10^{-3}$$

$$S_\beta = \frac{\eta\, U_{CC} - U_{BE} + I_{CBO} R_B'}{R_B'} = 0{,}78\, 10^{-3}$$

Zadanie 6. Proszę wyznaczyć podstawowe parametry wzmacniacza jednotranzystorowego w układzie WE (wspólny emiter), WB (wspólna baza), WK (wspólny kolektor)



Model mało-sygnałowy tranzystora dla niskich i średnich częstotliwości

Wzmocnienie napięciowe [V/V].

$$k_u = \frac{u_{wy}}{u_{we}} \quad \text{dla } i_{wy}=0$$

Dynamiczna rezystancja wejściowa [Ω]

$$r_{we} = \frac{u_{we}}{i_{we}} \quad \text{dla } i_{wy}=0$$

Dynamiczna rezystancja wyjściowa [Ω]

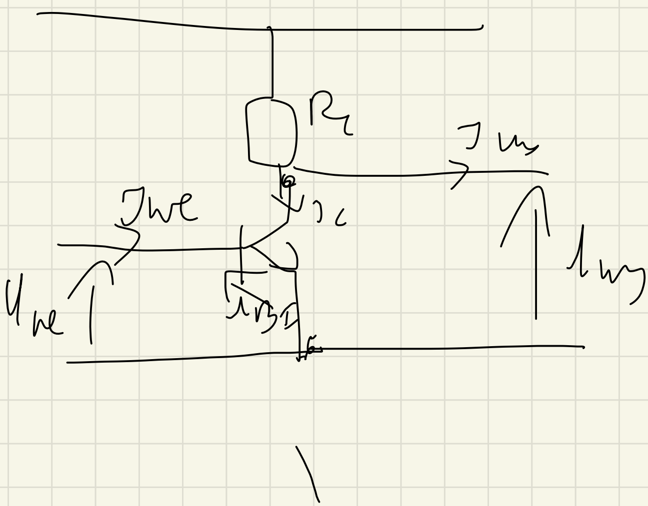
$$r_{wy} = \frac{u_{wy}}{i_{wy}} \quad \text{dla } u_{we}=0$$

$$U_{BE} = i_B r_{BE} + k_f u_{CE}$$

$$i_C = i_B \beta + \frac{u_{CE}}{r_{CE}}$$

$$\begin{bmatrix} u_{BE} \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{BE} & k_f \\ \beta & \frac{1}{r_{CE}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_B \\ u_{CE} \end{bmatrix}$$

Dla analizy AC O-UC



1) $U_{BE} = U_{we}$

$i_{we} = i_B$

$U_{wy} = U_{CE}$

$i_{wy} = i_C - \frac{U_{RC}}{R_C} =$

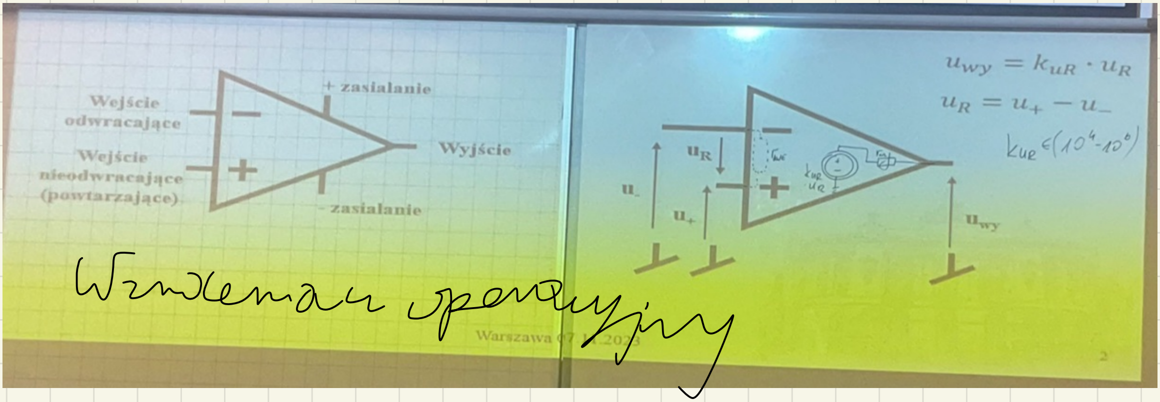
$= i_C = i_{wy} - \frac{U_{CE}}{R_C}$

$$k_u = \frac{u_{ву}}{u_{вх}}\Big|_{I_{ву}=0} =$$

$$I_{вх} = \frac{u_{вх}}{r_{Б}} \qquad \cancel{k + u_{ву}}$$

$$-\frac{u_{CE}}{R_C} = u_{BE}\beta + \frac{u_{CE}}{r_{CE}}$$

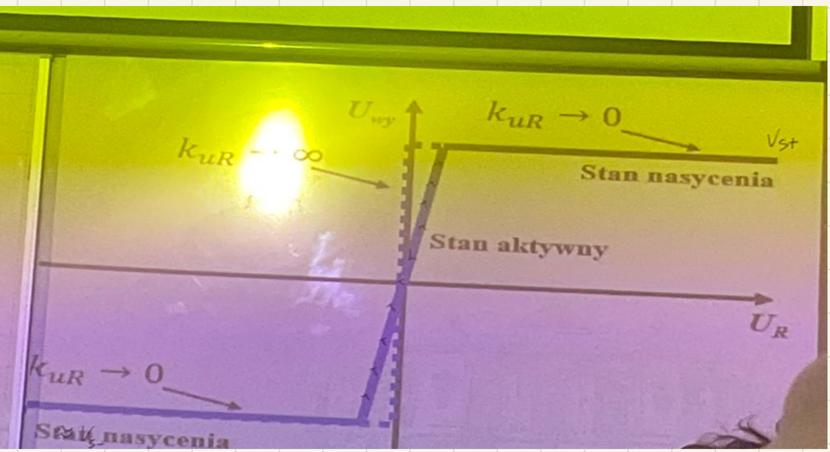
$$K_u = \frac{-\frac{\beta}{r_{BE}}}{\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L}} = \frac{-\beta R_C}{r_{BE}}$$

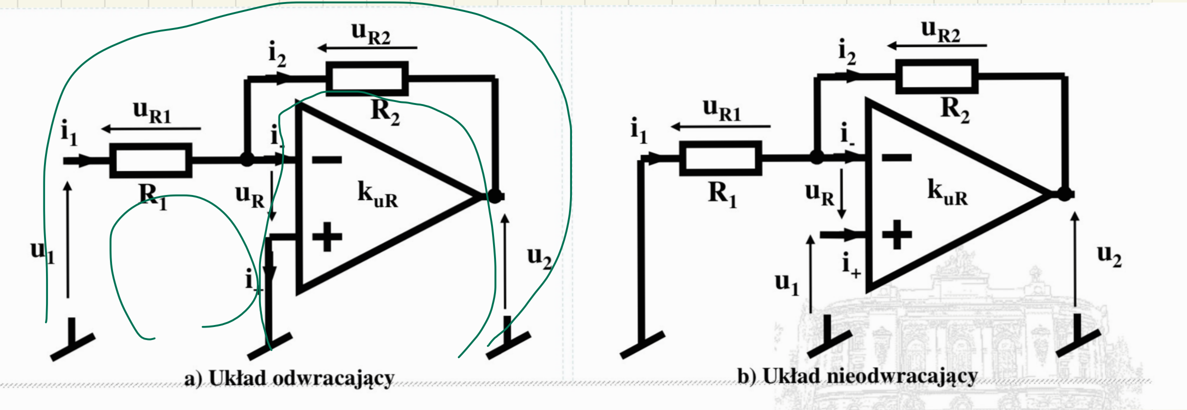


Wzmacniacz operacyjny

Dla idealnego

r_we -> 0 => i_ = i_ przybliżone 0
r_wy -> 0 => u_wy - k_ur*Ur
K_ur -> niesk. => u_wy -> niesk





a) Układ odwracający

b) Układ nieodwracający

$$\begin{cases} u_1 + u_R = u_{R1} \\ u_2 + u_{R2} + u_{R1} = u_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u_1 + \dfrac{u_2}{k_{uR}} = i_1 R_1 \\ u_2 + i_2 R_2 + i_1 R_1 = u_1 \end{cases}$$

$$k_u = \frac{u_2}{u_1} = ?$$

$$\begin{cases} i_1 = \dfrac{u_1}{R_1} + \dfrac{u_2}{k_{uR} R_1} \\ u_2 + i_2 R_2 + \cancel{u_1} + \dfrac{u_2}{k_{uR}} = \cancel{u_1} \end{cases}$$

$$i_2 = -\frac{u_2}{k_{uR} R_2} - \frac{u_2}{R_2} =$$

$$= -\frac{u_2}{R_2}\left(\frac{1}{k_{uR}} + 1\right)$$

$$i_2 = i_1$$

$$-\frac{u_2}{R_2}\left(\frac{1}{k_{uR}} + 1\right) = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_1 k_{uR}}$$

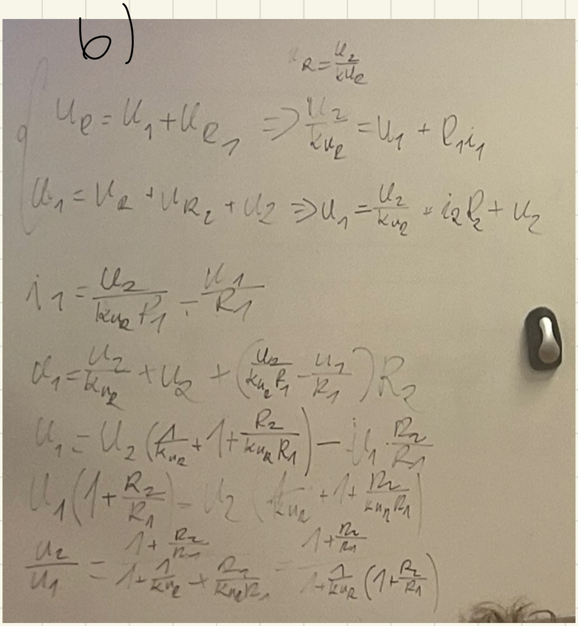
$$\frac{U_1}{R_1} = -U_2\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2 k_{u2}} + \frac{1}{R_1 k_{u2}}\right)$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{-1}{R_1\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{k_{u2}}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\right)} =$$

$$= \frac{-1}{\frac{R_1}{R_2} + \frac{1}{k_{u2}}\left(\frac{R_1+R_2}{R_2}\right)} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1+\frac{1}{k_{u2}}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

jeżeli $k_{u2} \to \infty$ $\quad k_u = -\frac{R_2}{R_1}$

b)



$u_R = \frac{U_2}{k_{u2}}$

$$\begin{cases} U_e = U_1 + U_{e1} \Rightarrow \frac{U_2}{k_{u2}} = U_1 + R_1 i_1 \\ U_1 = U_R + U_{R_2} + U_2 \Rightarrow U_1 = \frac{U_2}{k_{u2}} + i_2 R_2 + U_2 \end{cases}$$

$$i_1 = \frac{U_2}{k_{u2} R_1} - \frac{U_1}{R_1}$$

$$U_1 = \frac{U_2}{k_{u2}} + U_2 + \left(\frac{U_2}{k_{u2} R_1} - \frac{U_1}{R_1}\right) R_2$$

$$U_1 = U_2\left(\frac{1}{k_{u2}} + 1 + \frac{R_2}{k_{u2} R_1}\right) - U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_1\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = U_2\left(\frac{1}{k_{u2}} + 1 + \frac{R_2}{k_{u2} R_1}\right)$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1+\frac{R_2}{R_1}}{1+\frac{1}{k_{u2}}+\frac{R_2}{k_{u2} R_1}} = \frac{1+\frac{R_2}{R_1}}{1+\frac{1}{k_{u2}}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

$k_{u2} \to \infty$

$$k_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$