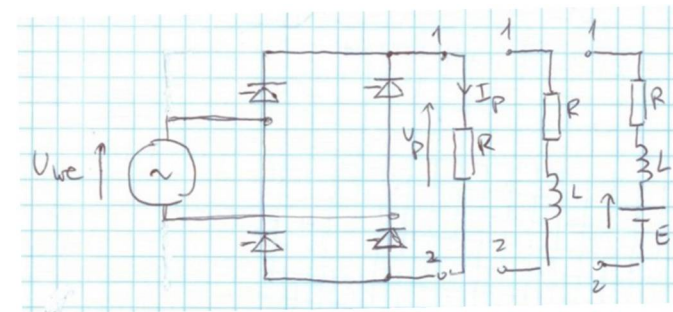
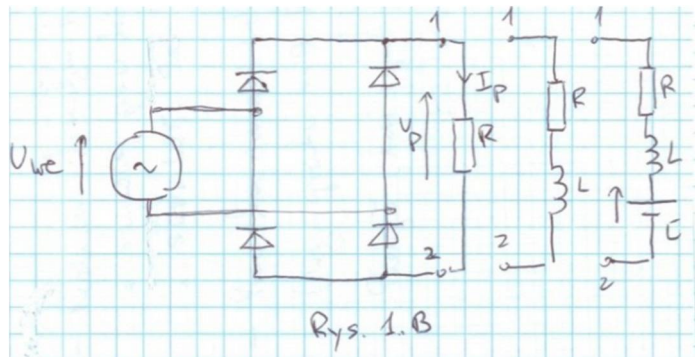
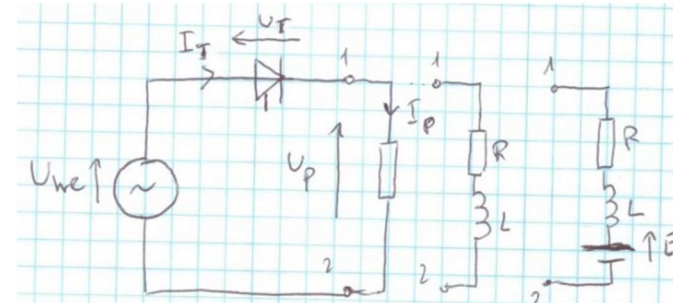
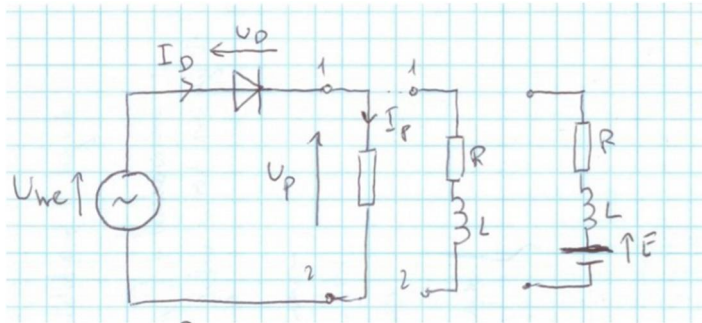


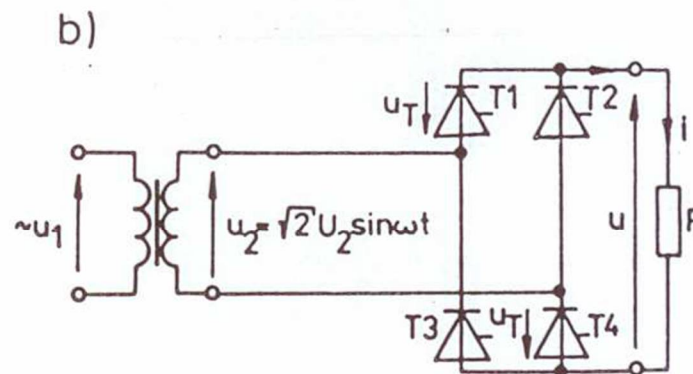
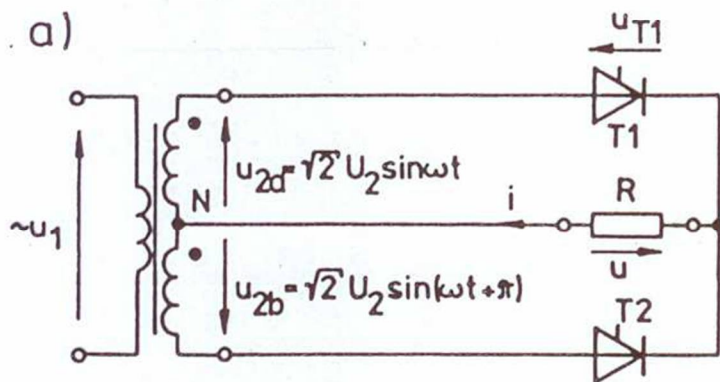
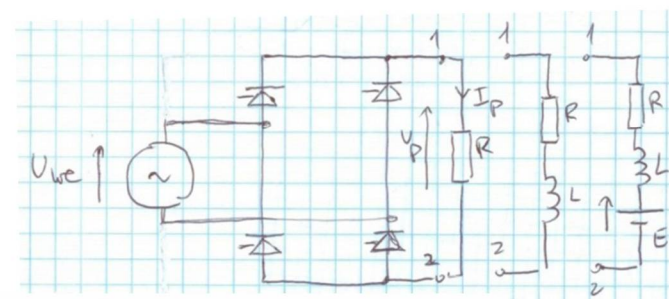
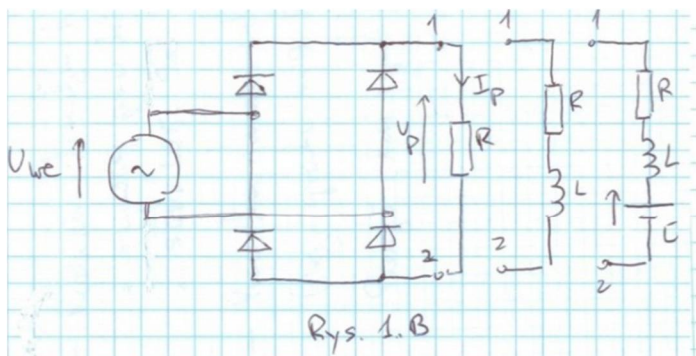
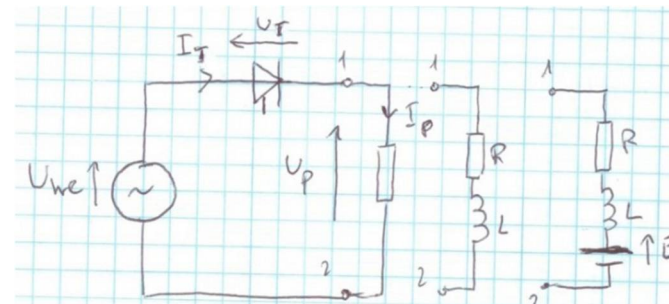
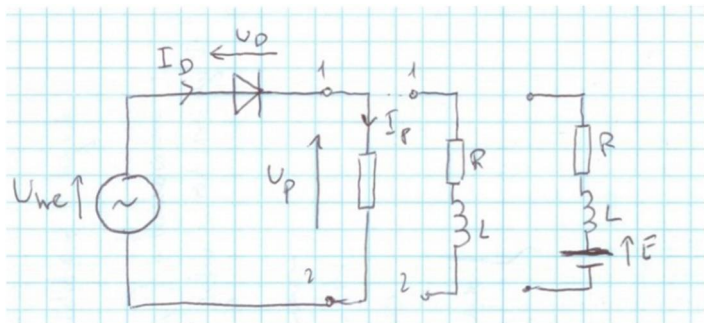
Prostowniki tyrystorowe

cz. 1

RESUME – prostowniki jednofazowe ($p=1$, $p=2$) diodowe i tyrystorowe



RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe



RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Wartość średnia napięcia wyprostowanego

$$p=1 \quad U_{sr} = U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\sigma_z}^{\sigma_w} U_m \sin \omega t \, d\omega t = \frac{U_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\sigma_z}^{\sigma_w}$$

$$U_d = \frac{U_m}{2\pi} (\cos \sigma_z - \cos \sigma_w) = \frac{\sqrt{2}|U|}{2\pi} (\cos \sigma_z - \cos \sigma_w)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2\pi} = 0,225 \quad U_d = 0,225 |U| (\cos \sigma_z - \cos \sigma_w)$$

$$p=2 \quad U_{sr} = U_d = \frac{2}{2\pi} \int_{\sigma_z}^{\sigma_w} U_m \sin \omega t \, d\omega t = \frac{U_m}{\pi} [-\cos \omega t]_{\sigma_z}^{\sigma_w}$$

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} (\cos \sigma_z - \cos \sigma_w) = \frac{\sqrt{2}|U|}{\pi} (\cos \sigma_z - \cos \sigma_w)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\pi} = 0,45$$

$$U_d = 0,45 |U| (\cos \sigma_z - \cos \sigma_w)$$

RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Prostownik diodowy

Typ obciążenia	σ_z	σ_w
R	0	π
RL	0	z wykresu $\sigma_w > \pi$
RE	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) < \frac{\pi}{2}$	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) > \frac{\pi}{2}$
RLE	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) < \frac{\pi}{2}$	z wykresu

wykres

$$\sigma_w = f(\sigma_z, \varepsilon, \operatorname{tg} \varphi)$$

$$\varepsilon = \frac{E}{U_m}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R}$$

RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Prostownik tyrystorowy

Typ obciążenia	α	α_w
R	kąt α	π
RL	narzuca	z wykresu $\alpha_w > \pi$
RE	sterowanie	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) > \frac{\pi}{2}$
RLE	prostownika	z wykresu

$$U_T > 0$$

Wykres

$$U_w = f(\alpha, E, \text{tg}\varphi)$$

$$E = \frac{E}{U_m}$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{\omega L}{R}$$

Prostownik diodowy

Typ obciążenia	α	α_w
R	0	π
RL	0	z wykresu $\alpha_w > \pi$
RE	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) < \frac{\pi}{2}$	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) > \frac{\pi}{2}$
RLE	$\arcsin\left(\frac{E}{U_m}\right) < \frac{\pi}{2}$	z wykresu

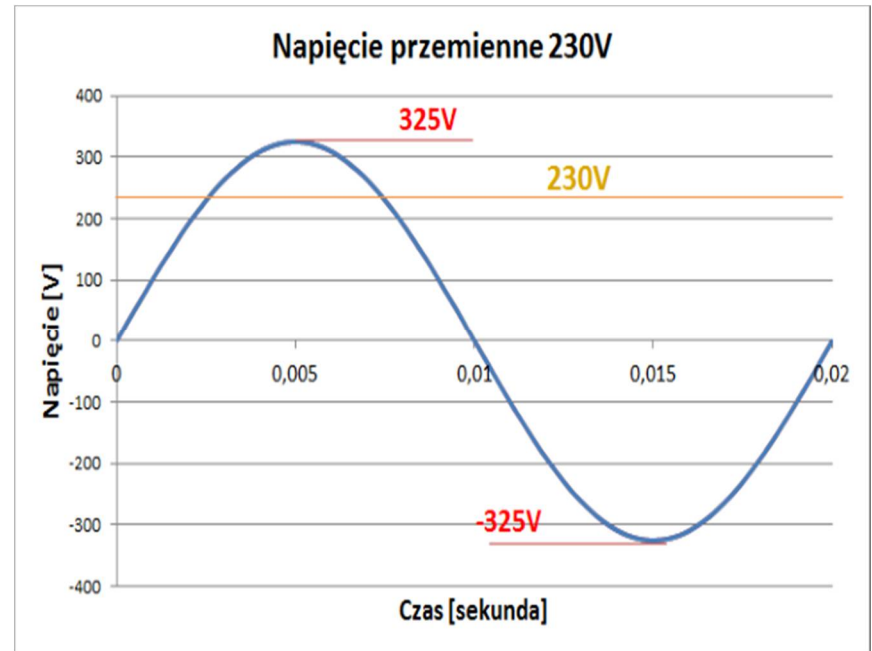
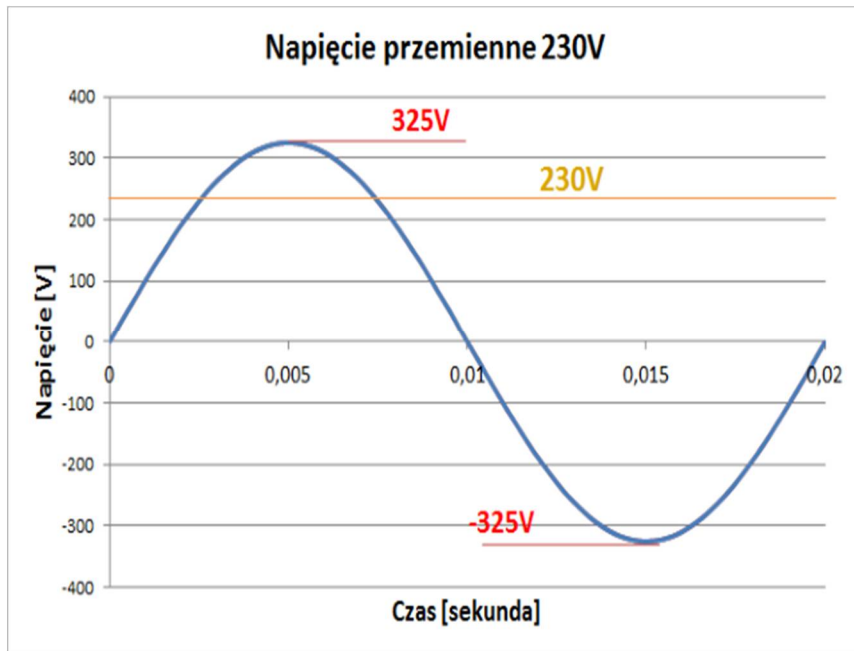
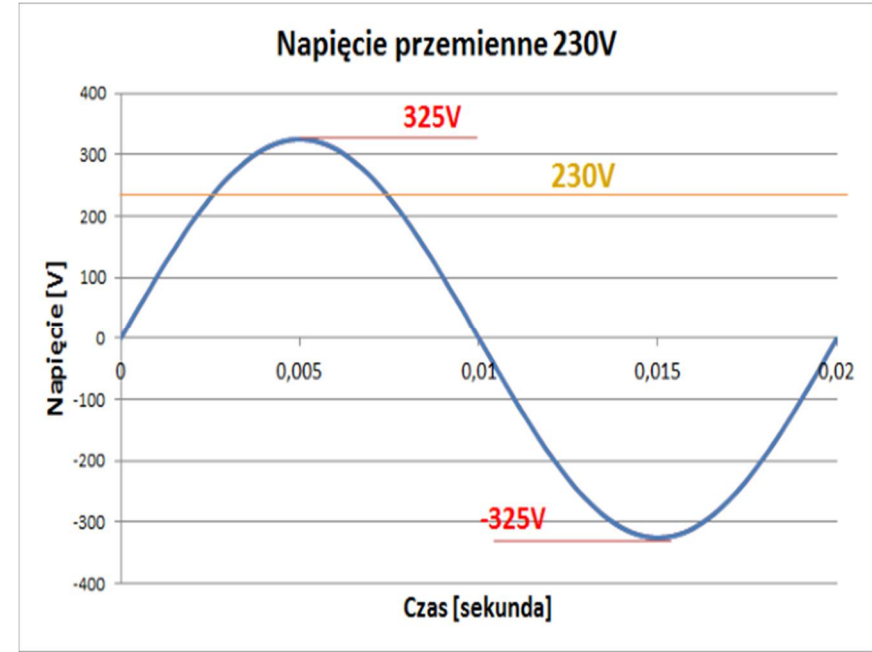
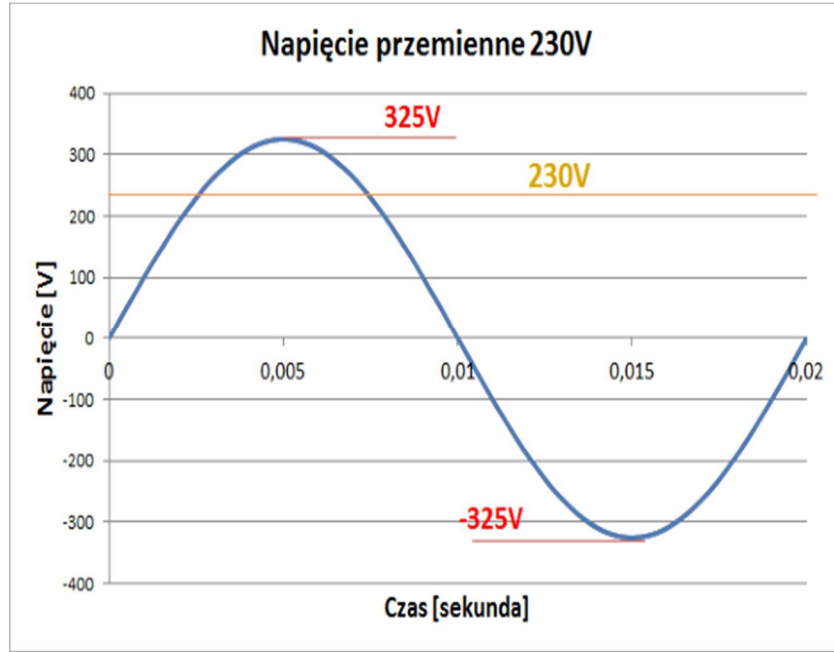
Wykres

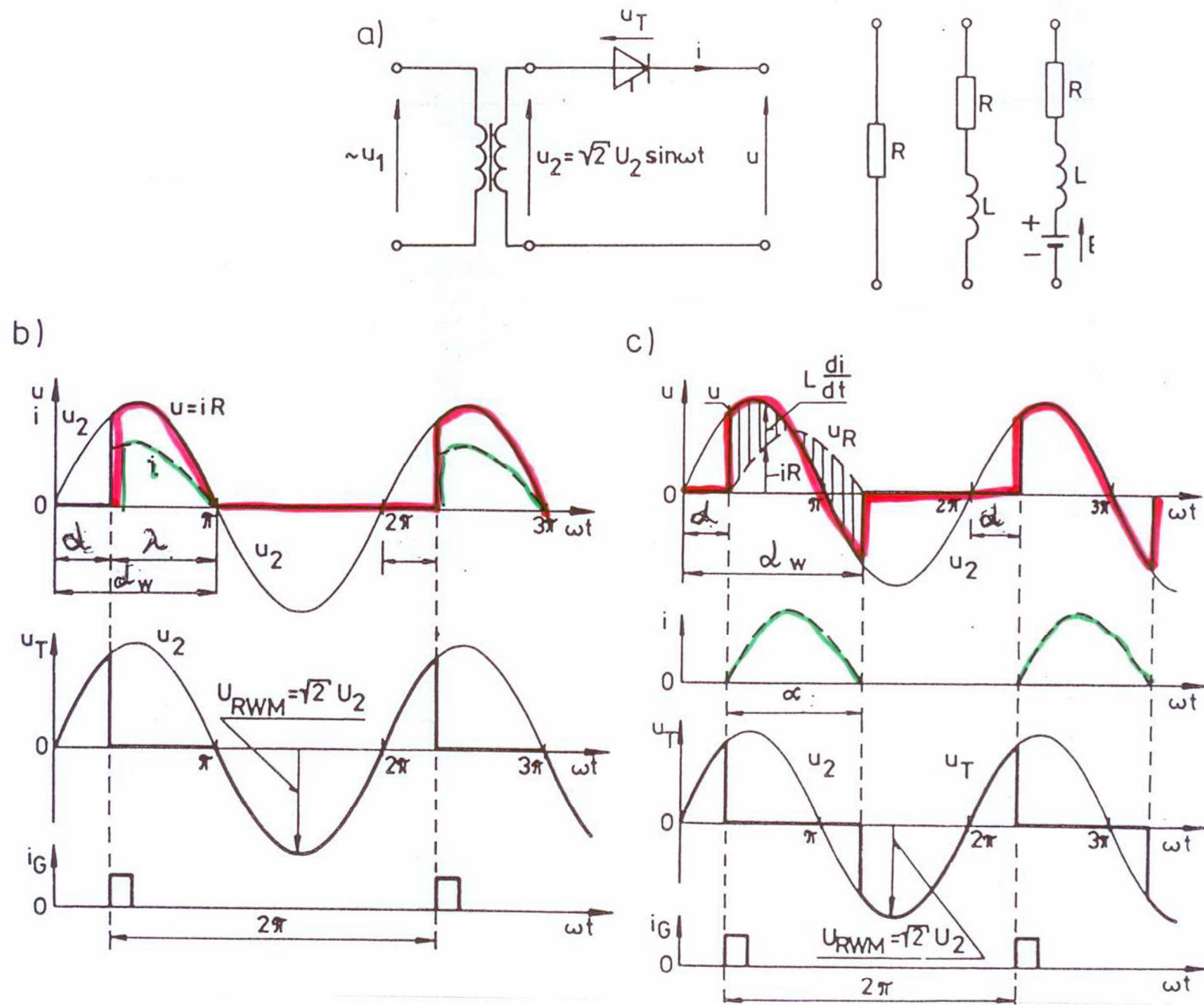
$$U_w = f(\alpha, E, \text{tg}\varphi)$$

$$E = \frac{E}{U_m}$$

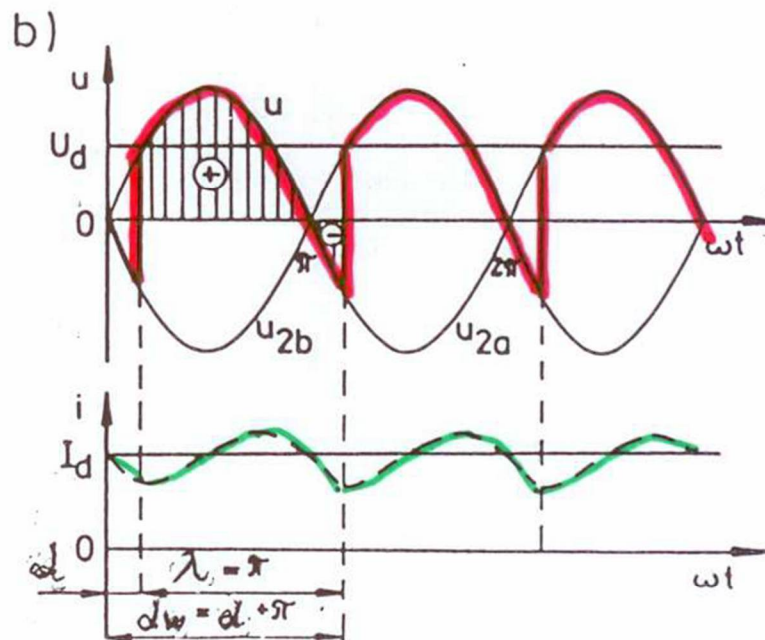
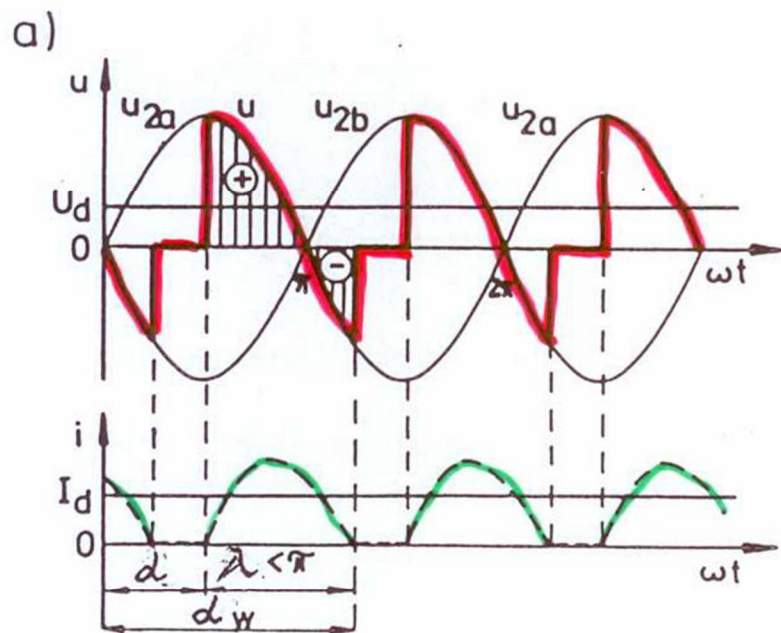
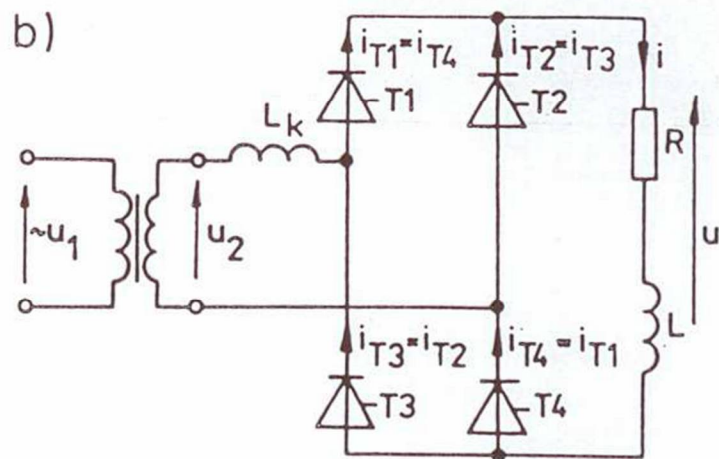
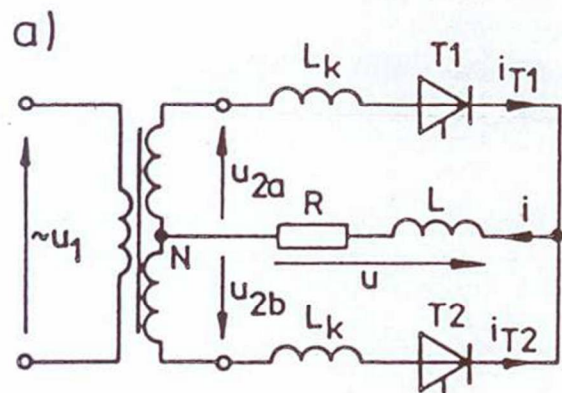
$$\text{tg}\varphi = \frac{\omega L}{R}$$

RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe





Rys. 3.4. Jednospulowy prostownik tyrystorowy: a) schemat, b) przebiegi napięć i prądu odbiornika przy obciążeniu R, c) przebiegi napięć i prądu odbiornika przy obciążeniu RL



Rys. 3.8 Przebiegi napięć i prądu obciążenia w dwupulsowych prostownikach tyrystorowych obciążonych RL (komutacja natychmiastowa): a) przewodzenie impulsowe, b) przewodzenie ciągłe

Prąd prostownika

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}|U|}{R} \left\{ [\cos\varphi \cdot \sin(\omega(t + \vartheta_Z - \varphi) - \varepsilon)] + [\varepsilon - \cos\varphi \cdot \sin(\omega(t + \vartheta_Z - \varphi))]e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

Prąd prostownika

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}|U|}{R} \left\{ [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi) - \varepsilon] + [\varepsilon - \cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi)]e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

$$\text{dla : } \varepsilon = \frac{E}{\sqrt{2}|U|} \quad E = 0 \rightarrow \varepsilon = 0$$

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}|U|}{R} \left\{ [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi)] - [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi)]e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

Prąd prostownika

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}|U|}{R} \left\{ [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi) - \varepsilon] + [\varepsilon - \cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi)]e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

$$\text{dla : } \varepsilon = \frac{E}{\sqrt{2}|U|} \quad E = 0 \rightarrow \varepsilon = 0$$

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}|U|}{R} \left\{ [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi)] - [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t + \vartheta_Z - \varphi)]e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

$$\text{dla } \vartheta_Z = 0$$

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}|U|}{R} \left\{ [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t - \varphi)] - [\cos\varphi \cdot \sin(\omega t - \varphi)]e^{-\frac{R}{L}t} \right\}$$

RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Wartość średnia prądu

R, RL

$$I_{sr} = I_d = \frac{U_d}{R}$$

RL E

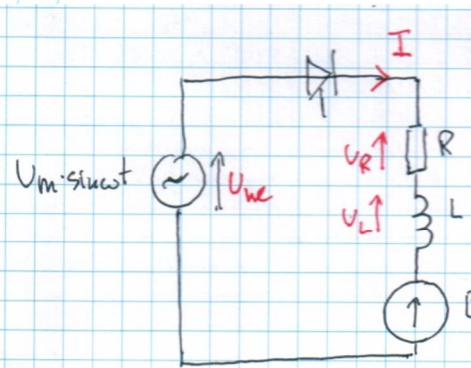
$$I_{sr} = \frac{U_{RL}(sr)}{R}$$

$$U_{RL} = U_m \cdot \sin \omega t - E$$

$$I_{sr} = I_d = \frac{1}{R} \frac{P}{2\pi} \int_{\alpha}^{\omega} (U_m \cdot \sin \omega t - E) d\omega t$$

$$I_d = \frac{1}{R} \frac{P}{2\pi} \left\{ \left[-U_m \cos \omega t \right]_{\alpha}^{\omega} - \left[E \omega t \right]_{\alpha}^{\omega} \right\}$$

$$I_d = \frac{1}{R} \frac{P}{2\pi} \left\{ U_m (\cos \alpha - \cos \omega) - E (\omega - \alpha) \right\}$$



dla I_d (w. średnia) $U_L = 0$

$$U_L = L \frac{di}{dt} \approx 0$$

$$i(t) = \frac{U_m \sin \omega t - E}{R} = \frac{U_m \sin \omega t - E}{R}$$

$$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(t) dt$$

RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

$$I_d = \frac{1}{R} \frac{P}{2\pi} \left\{ U_m (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_w) - E (\alpha_w - \alpha_2) \right\}$$

$$I_d = \frac{U_m}{R} \frac{P}{2\pi} \left[(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_w) - \frac{E}{U_m} (\alpha_w - \alpha_2) \right] \quad \alpha_w - \alpha_2 = \lambda$$

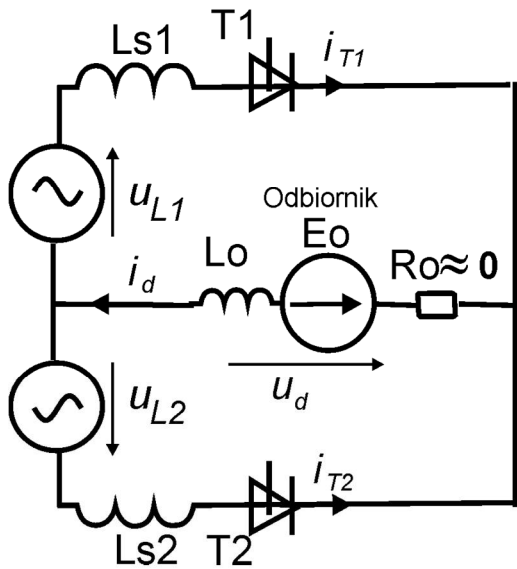
$$I_d = \frac{1}{R} \frac{P \cdot U_m}{2\pi} \left[(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_w) - \frac{E}{U_m} \frac{\lambda}{2\pi} \right]$$

$$I_d = \frac{1}{R} \left[\frac{P \cdot U_m}{2\pi} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_w) - E \frac{P \cdot \lambda}{2\pi} \right]$$

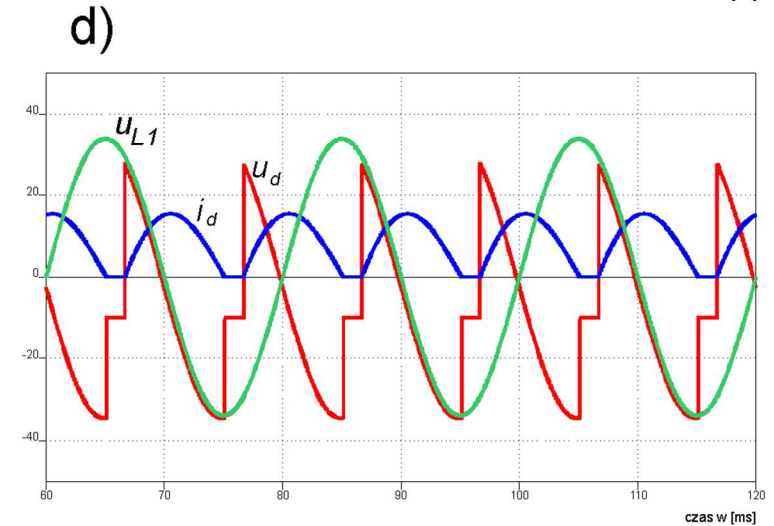
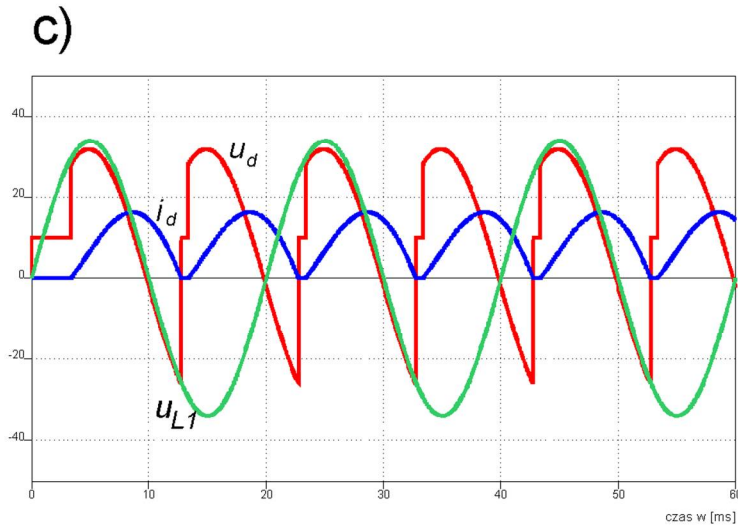
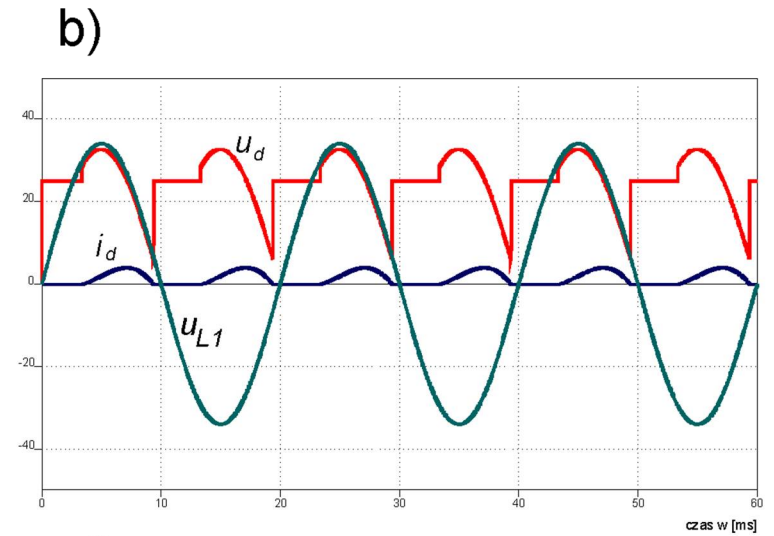
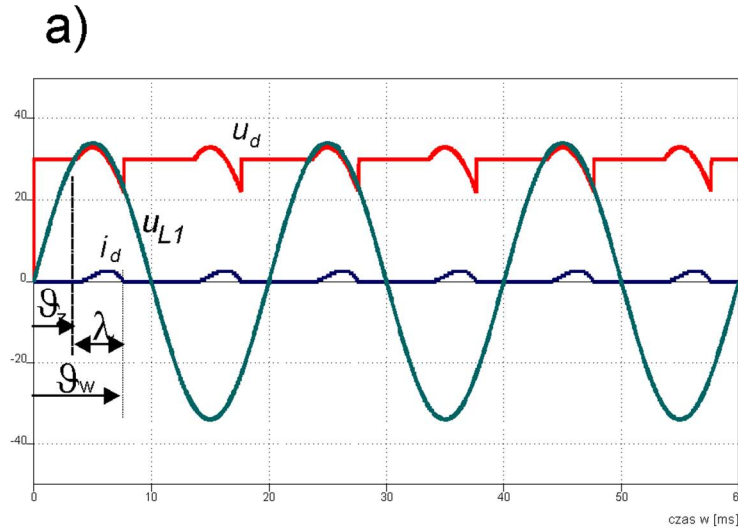
U_d

$$I_d = \frac{1}{R} \left(U_d - E \frac{P \cdot \lambda}{2\pi} \right)$$

RESUME – prostownik jednofazowy tyrystorowy (p=2) – obc. RLE



- a) $\alpha_Z = 60^\circ$ $\varepsilon = 0,88$ (~ 285 V)
- b) $\alpha_Z = 60^\circ$ $\varepsilon = 0,73$ (~ 235 V)
- c) $\alpha_Z = 60^\circ$ $\varepsilon = 0,29$ (~ 95 V)
- d) $\alpha_Z = 60^\circ$ $\varepsilon = -0,29$ (~ -95 V)



RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Przewodzenie ciągłe

dla $p \geq 2$ napięcie wyprostowane średnie

$$p=2 \quad \vartheta_w = \vartheta_2 + \pi$$

$$U_d = \frac{\sqrt{2}|U|}{\pi} [\cos \vartheta_2 - \cos(\vartheta_2 + \pi)] \quad \cos(\vartheta_2 + \pi) = -\cos \vartheta_2$$

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}|U|}{\pi} \cos \vartheta_2$$

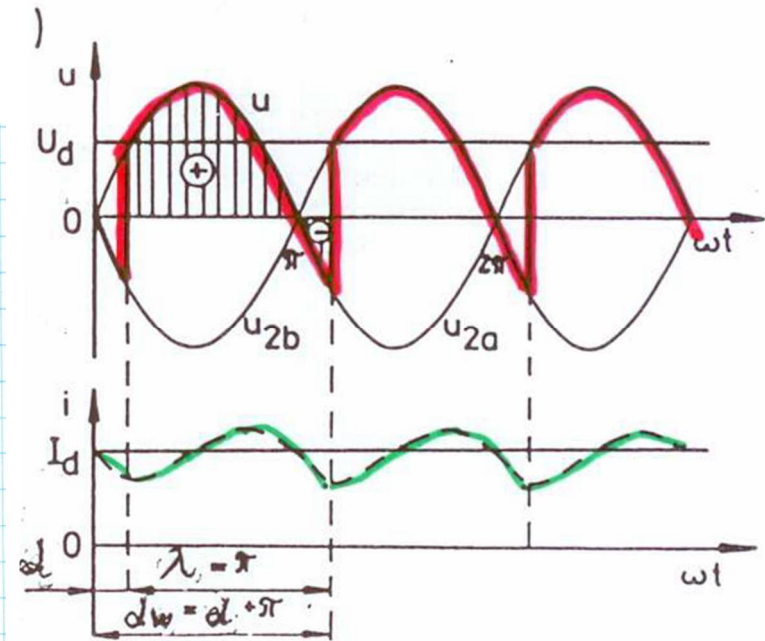
prostownik diodowy p=2 dla obciążenia R

$$\vartheta_2 = 0 \quad \vartheta_w = \pi$$

$$U_d = \frac{\sqrt{2}|U|}{\pi} [\cos 0 - \cos \pi] = \frac{\sqrt{2}|U|}{\pi} [1 - (-1)]$$

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}|U|}{\pi} = 0,9|U| = U_{d0}$$

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \vartheta_2$$



RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Przewodzenie ciągłe

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \vartheta_2$$

przed wyprostowaniem średni:

R, RL

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{U_{d0} \cos \vartheta_2}{R}$$

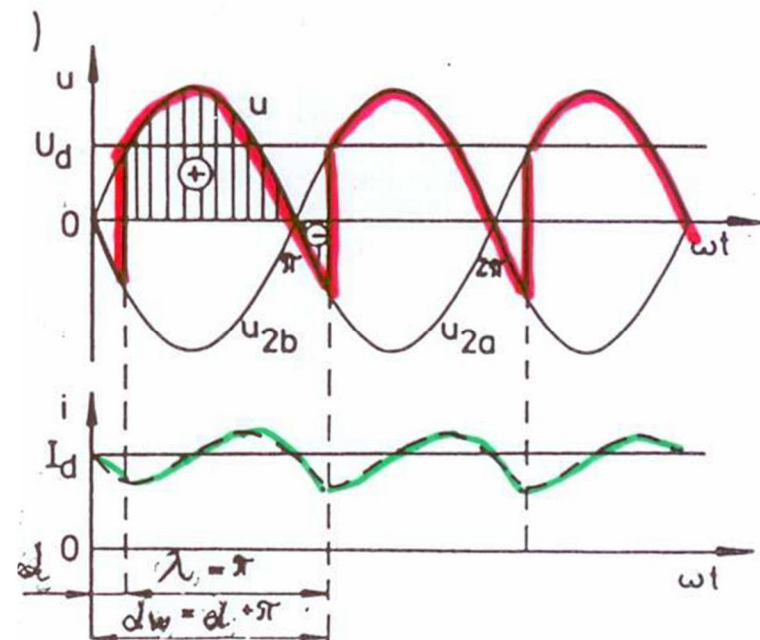
RLE

$$I_d = \frac{1}{R} \left(U_d - E \cdot \frac{p \cdot L}{2\pi} \right)$$

$$\lambda = \vartheta_2 - \vartheta_1 = \pi$$

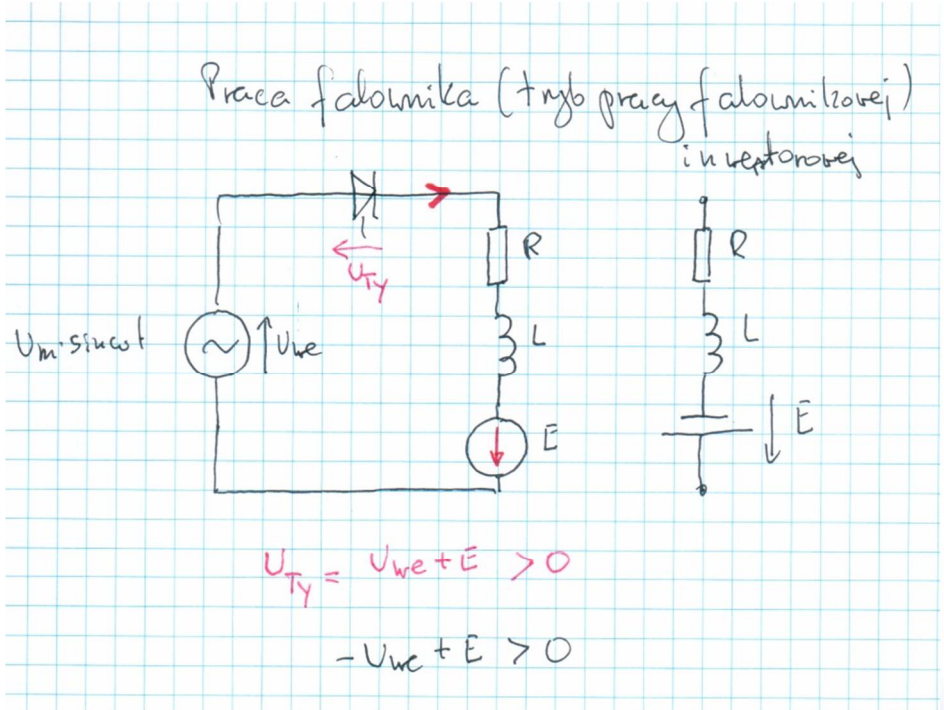
$$I_d = \frac{1}{R} \left(U_d - E \cdot \frac{2 \cdot \pi}{2\pi} \right)$$

$$I_d = \frac{U_d - E}{R}$$

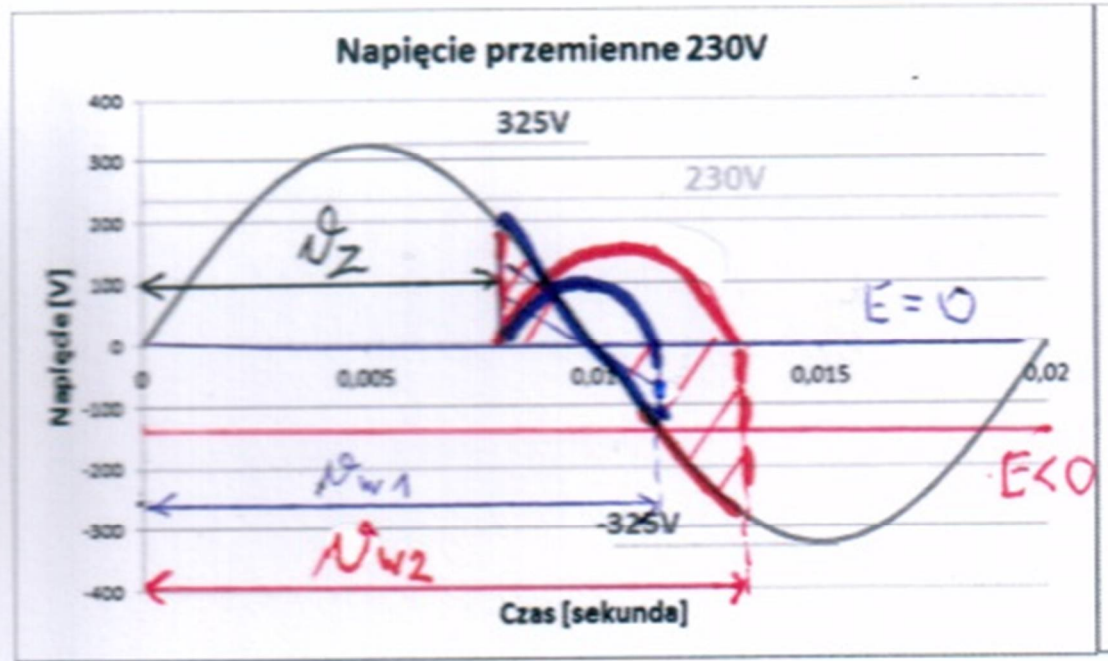


RESUME – prostowniki jednofazowe (p=1, p=2) diodowe i tyrystorowe

Tryb pracy falownikowej

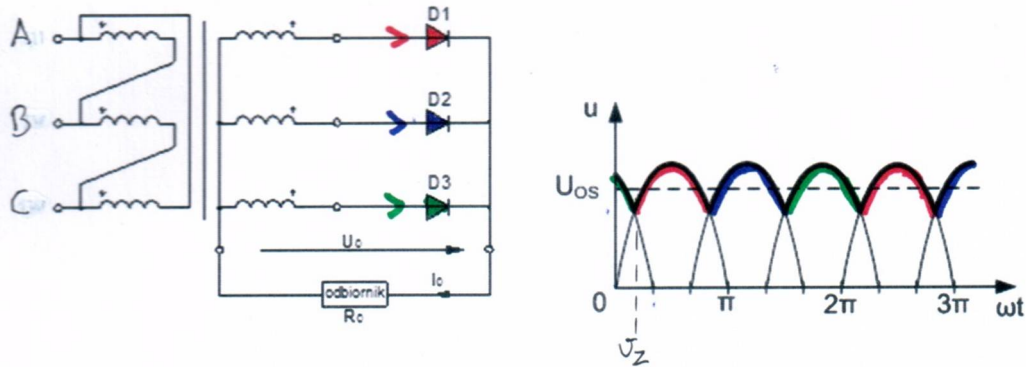


Tryb pracy falownikowej
(Tryb pracy inwertorowej)

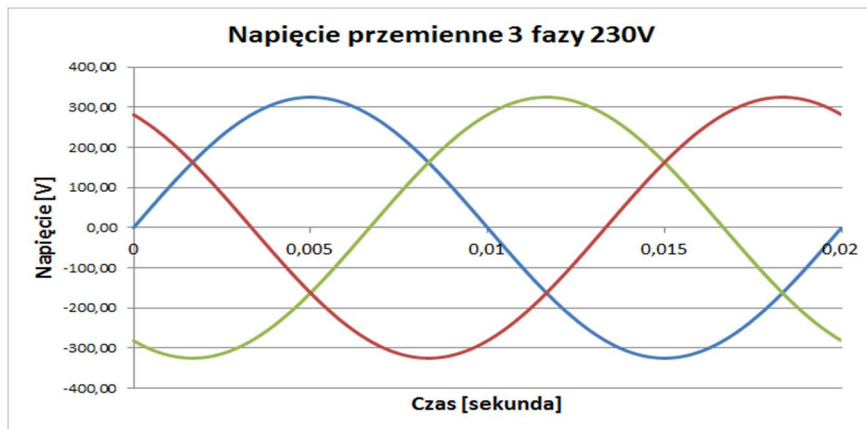


Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

Prostowniki trójfazowe diodowe

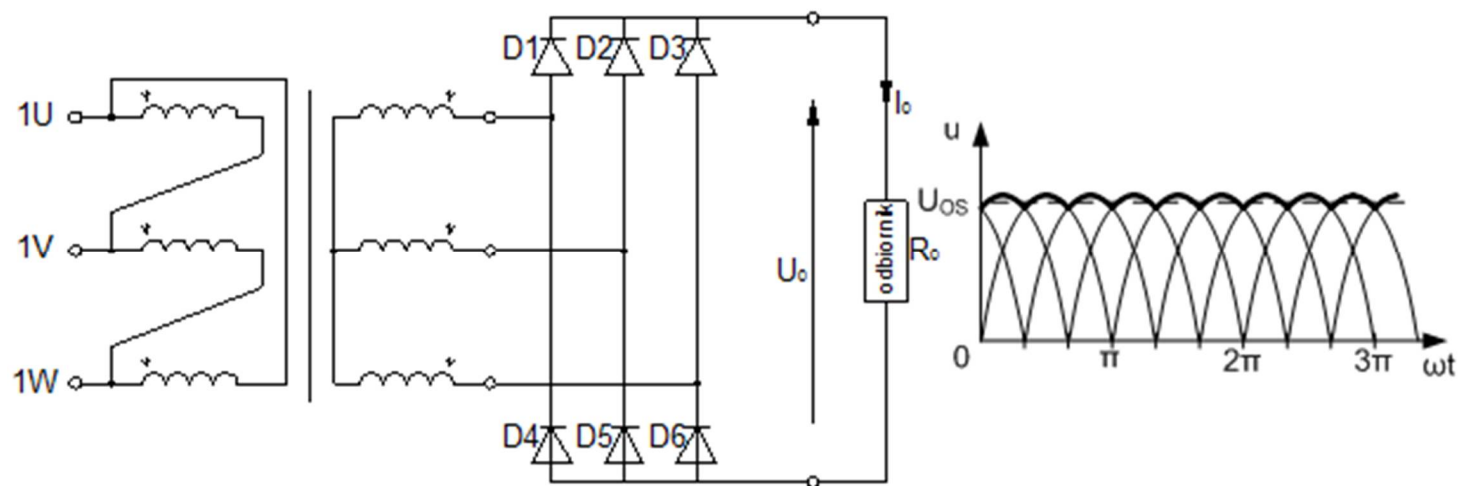
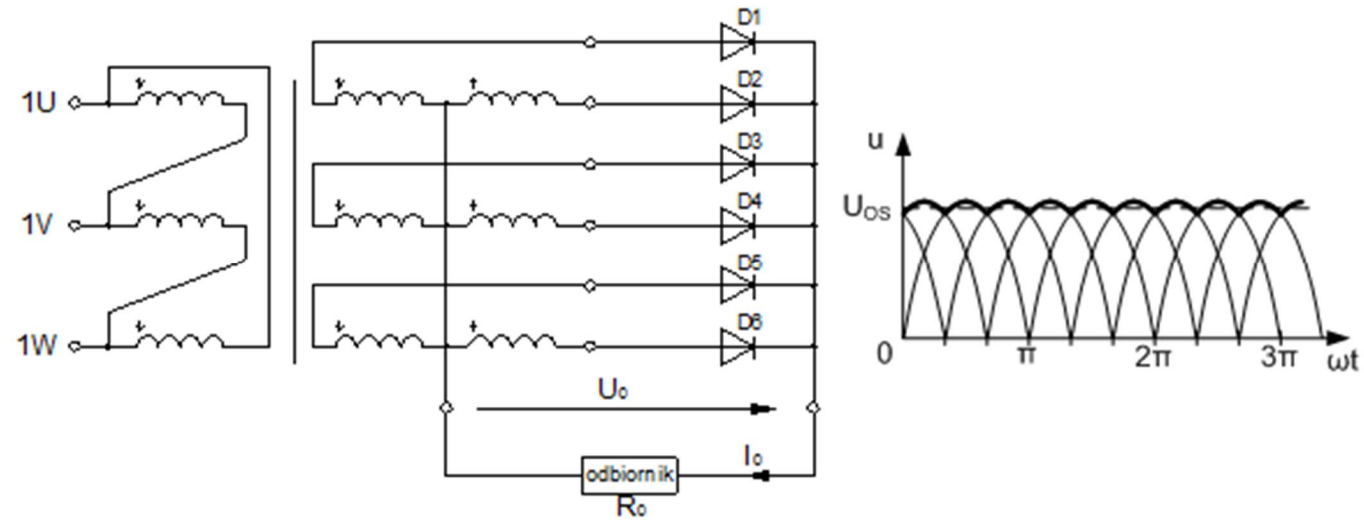


$$\varphi_Z = \frac{1}{2} \left(\pi - \frac{2\pi}{3} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{3\pi - 2\pi}{3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{6} \approx 30^\circ$$



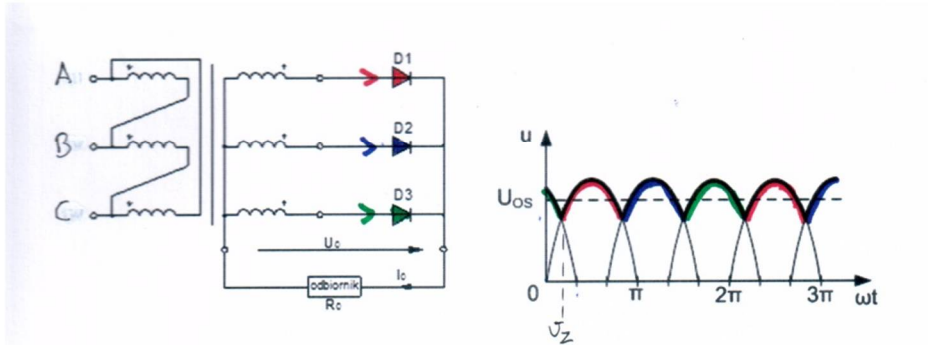
Prostowniki trójfazowe ($p=3$, $p=6$)

Prostowniki trójfazowe diodowe



Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

Prostowniki trójfazowe diodowe



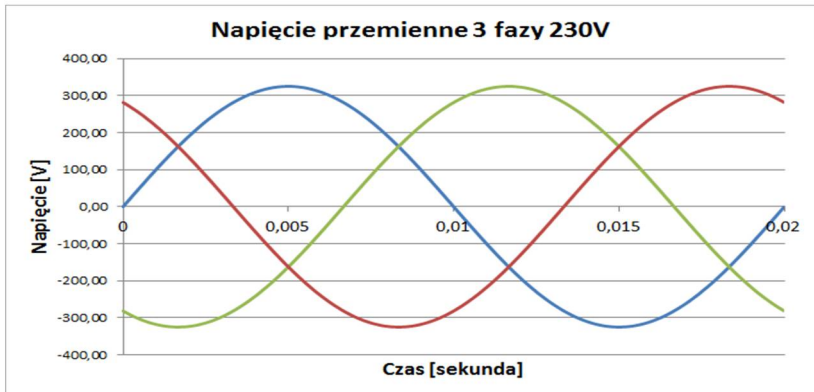
$$U_Z = \frac{1}{2} \left(\pi - \frac{2\pi}{3} \right) = \frac{1}{2} \frac{3\pi - 2\pi}{3} = \frac{1}{2} \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{6} \approx 30^\circ$$

Punkt komutacji naturalnej (diody)

$$U_Z = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$$

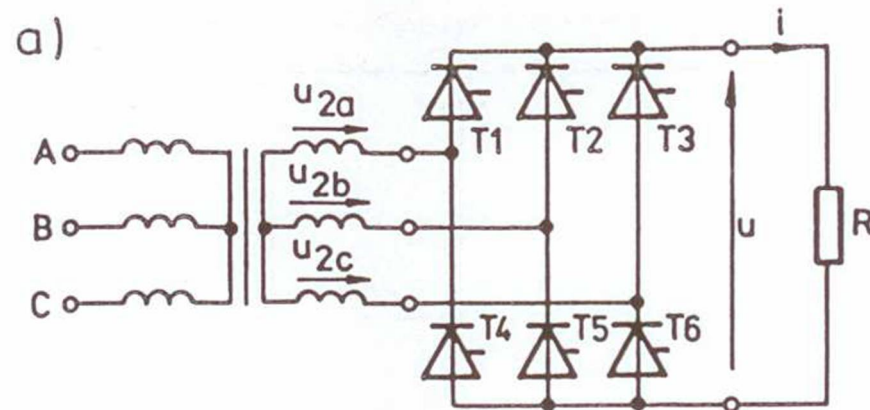
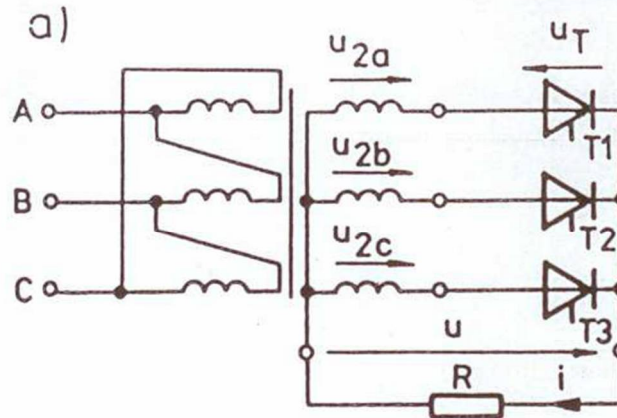
$p=3 \quad U_Z = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{3} = \alpha + \frac{\pi}{6}$
 $U_Z = \alpha + 30^\circ$
 Dioda $\alpha=0 \quad U_Z = 30^\circ \left(\frac{\pi}{6} \right)$

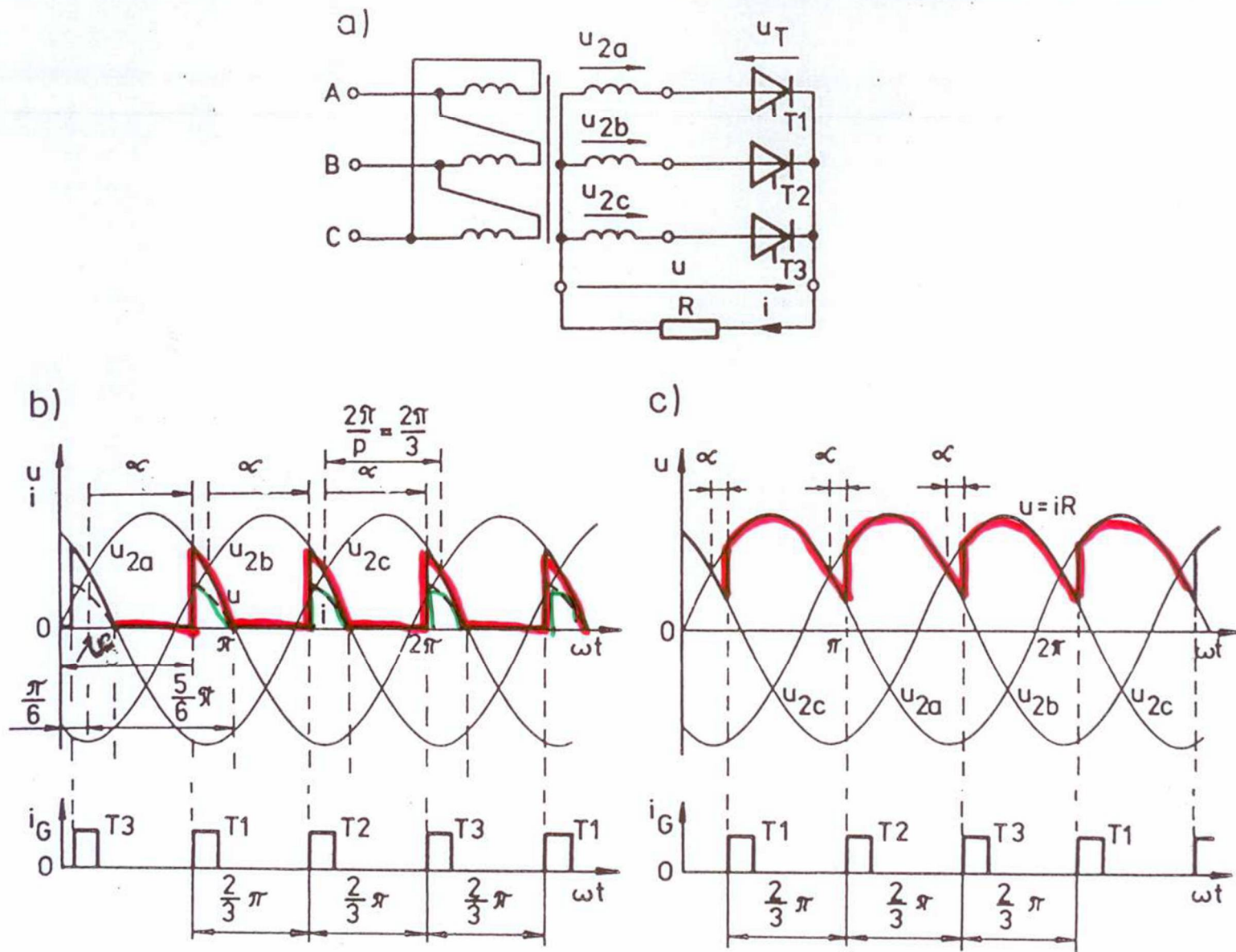
$p=6 \quad U_Z = \alpha + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6} = \alpha + \frac{\pi}{3}$
 $U_Z = \alpha + 60^\circ$
 Dioda $\alpha=0 \quad U_Z = 60^\circ \left(\frac{\pi}{3} \right)$



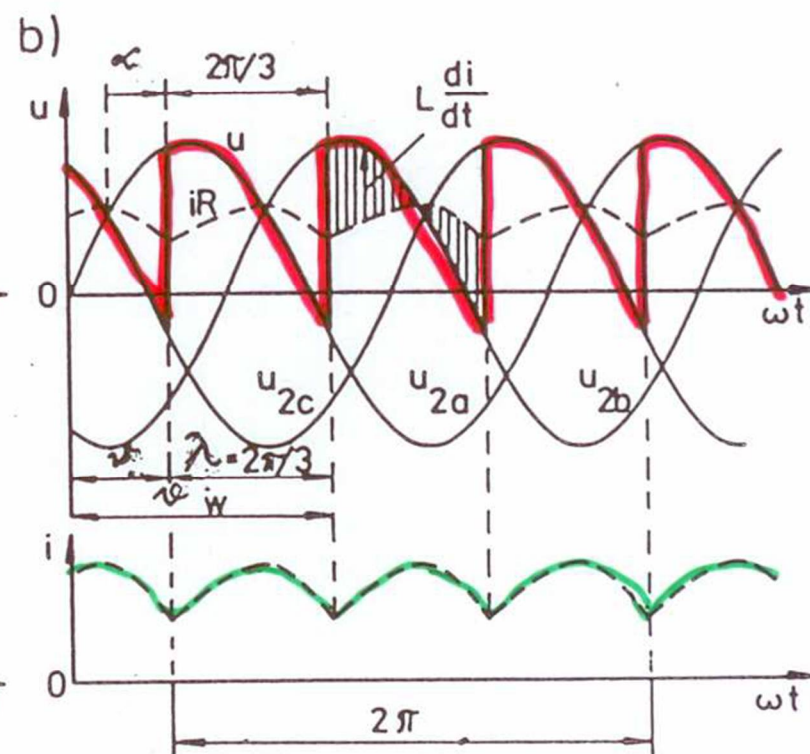
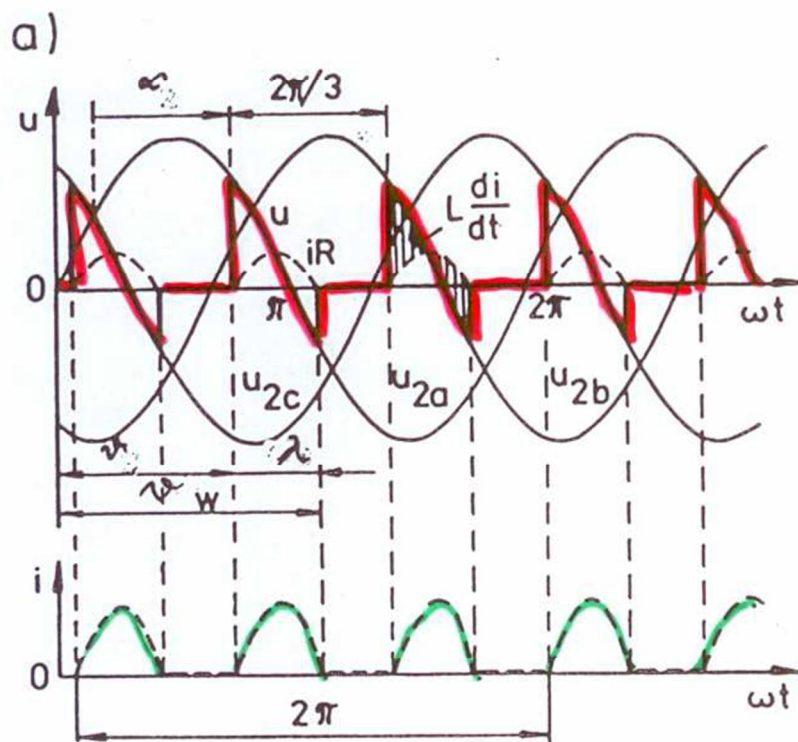
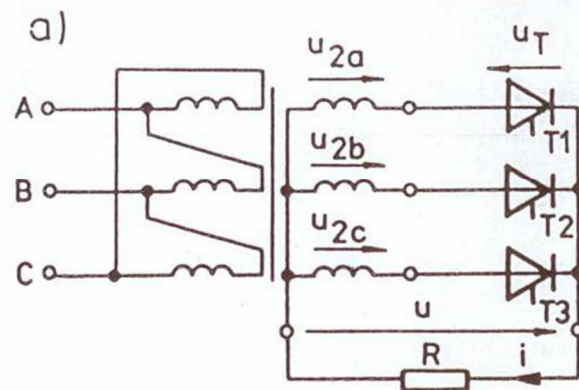
Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

Prostowniki trójfazowe tyrystorowe



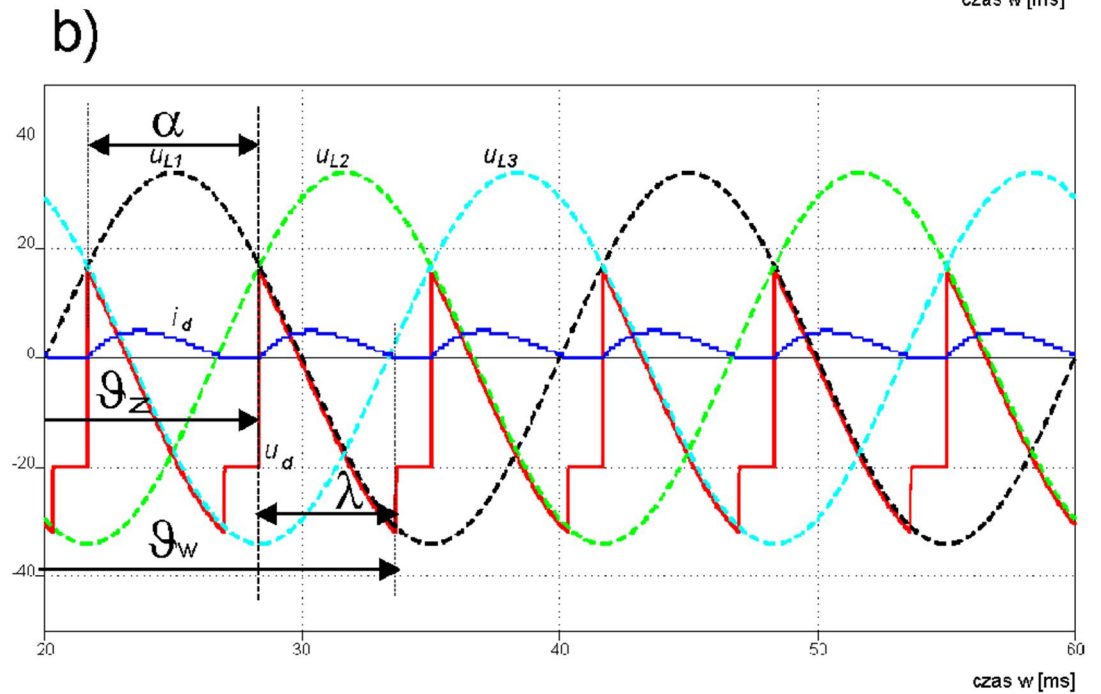
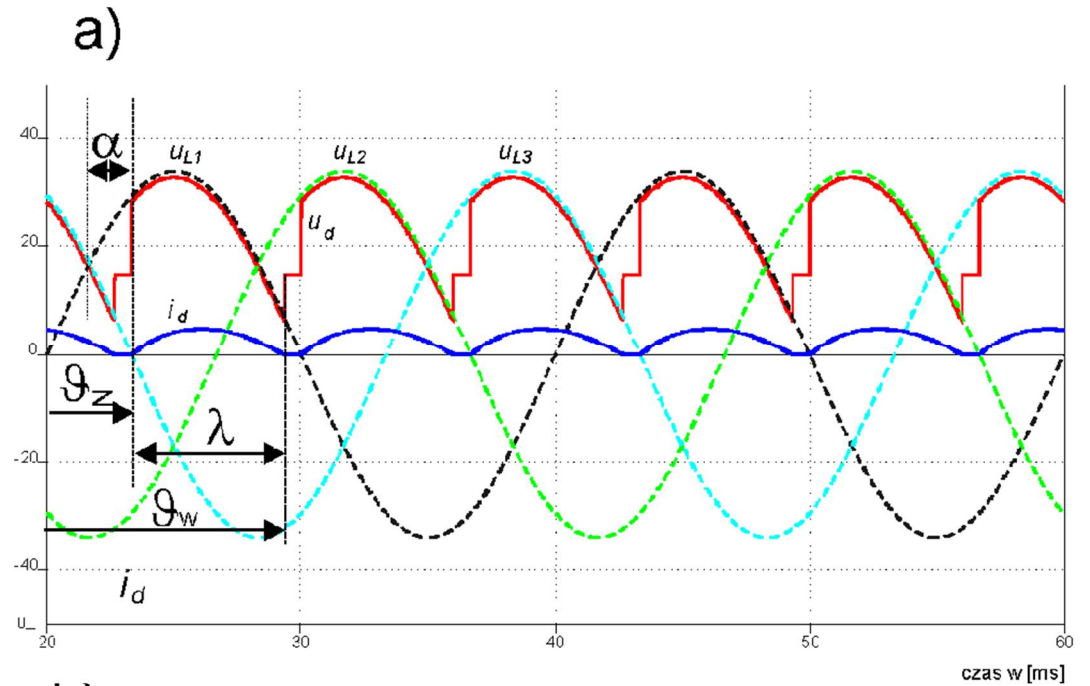
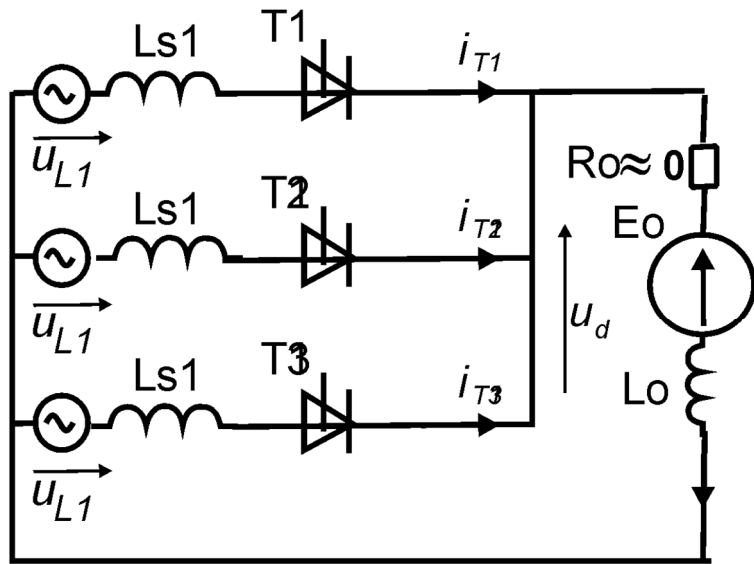


Rys. 3.9 Trójfazowy prostownik tyrystorowy obciążony R (komutacja natychmiastowa):
 a) schemat, b) przebiegi napięć i prądu obciążenia przy przewodzeniu impulsowym, c) przebiegi
 napięć i prądu obciążenia przy przewodzeniu ciągłym



Rys. 3.10 Przebiegi napięć i prądu obciążenia w trójfazowym prostowniku tyrystorowym obciążonym RL (komutacja natychmiastowa): a) przewodzenie impulsowe, b) przewodzenie ciągłe

Prostownik trójfazowy (p=3) – obc. RLE



Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

Pr. Diadowy

$$U_{sr} = U_d = \frac{P}{2\pi} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} U_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$p=3$

$$U_d = \frac{3}{2\pi} U_m \left[-\cos \omega t \right]_{\sigma_1}^{\sigma_2}$$

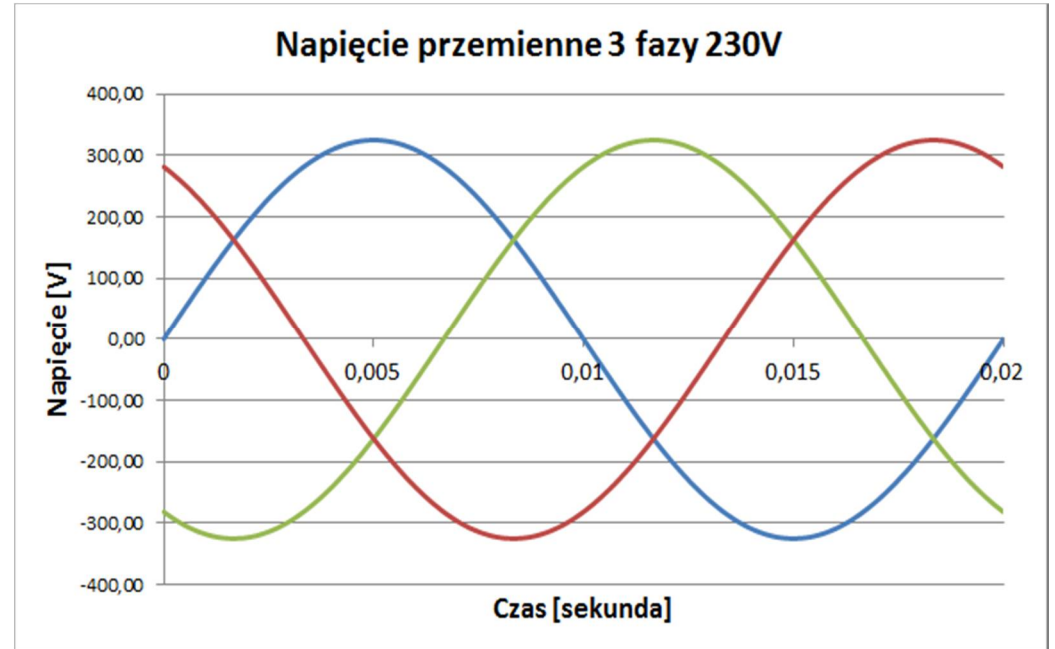
$$\sigma_1 = \frac{\pi}{6} \quad (30^\circ)$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 + \frac{2\pi}{3} = \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} = \frac{5\pi}{6}$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 + 120^\circ = 30^\circ + 120^\circ = 150^\circ$$

$$U_d = \frac{3}{2\pi} U_m (\cos 30^\circ - \cos 150^\circ) = \frac{3}{2\pi} U_m \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \right]$$

$$U_d = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2\pi} \cdot U_m = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cdot \sqrt{2} |U| = 1,17 |U| = U_{d0}$$



Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

$$p=6 \quad U_{s1} = U_d = \frac{6}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} U_m \cdot \sin \omega t \, d\omega t$$

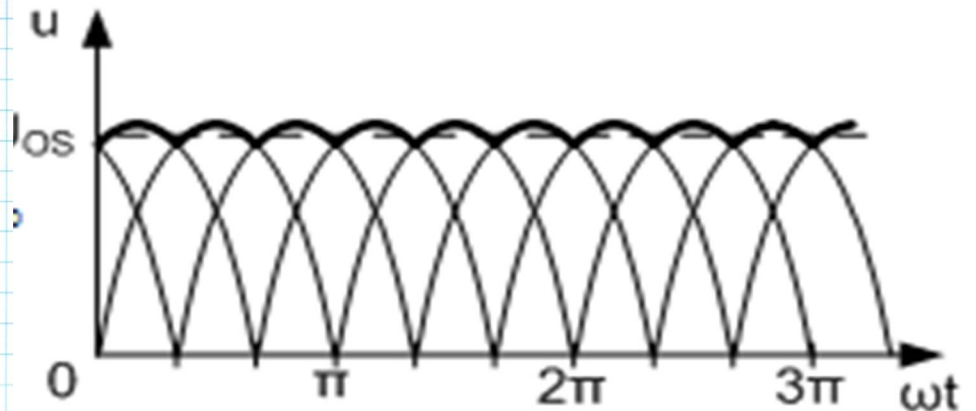
$$U_d = \frac{6}{2\pi} U_m \left[-\cos \omega t \right]_{\theta_1}^{\theta_2} = \frac{6}{2\pi} U_m \left[\cos 60^\circ - (-\cos 60^\circ) \right]$$

$$\theta_1 = 60^\circ$$

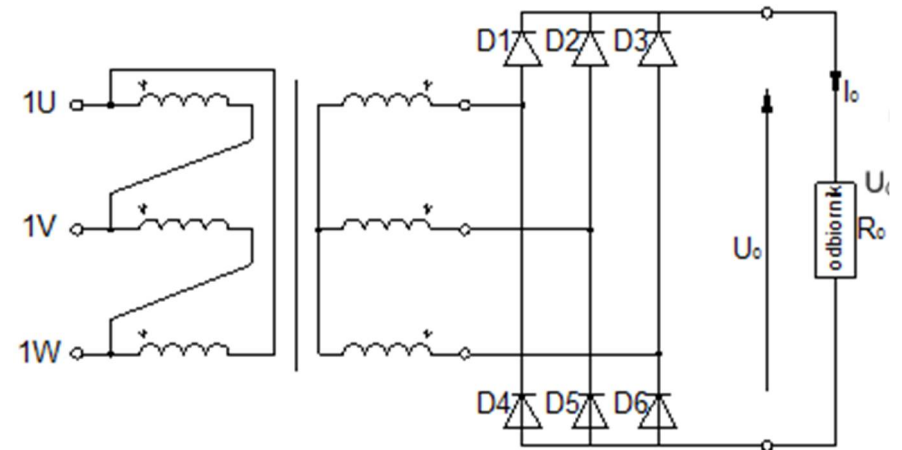
$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{2\pi}{6} = \frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{6} = \frac{2}{3}\pi$$

$$\theta_2 = 60^\circ + 60^\circ = 120^\circ$$

$$U_d = \frac{6}{2\pi} \cdot U_m = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt{2} |U| = 1,35 |U| = U_{d0}$$



$$U_{d0} = \frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cdot \sqrt{2} |U| \quad \text{dla } p=2, 3, 6$$



Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

Prostownik sterowany (tynystorowy)

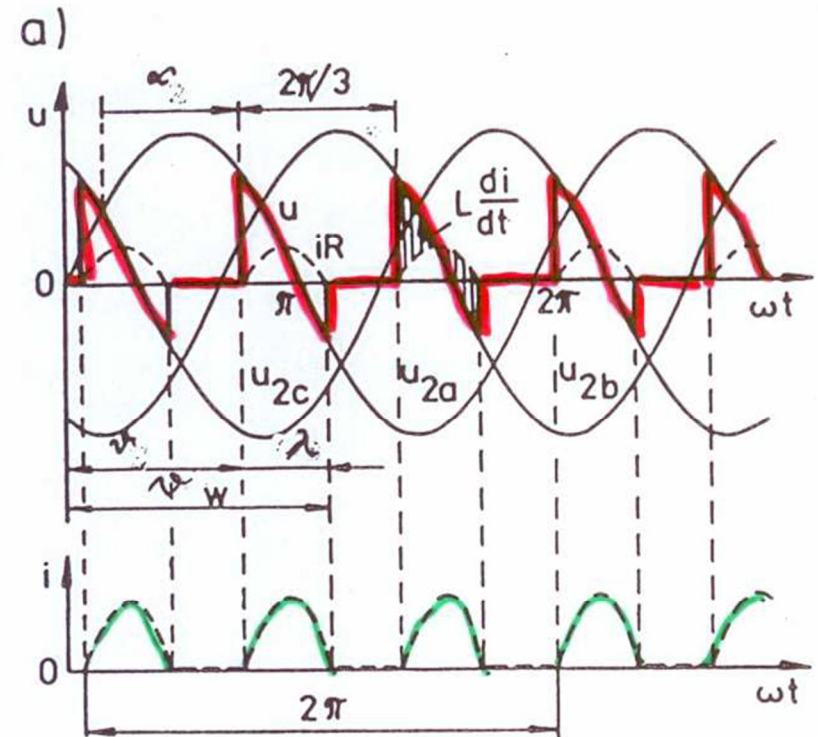
p=3, p=6 sterowanie kątem załasczenia od punktu komutacji naturalnej (kąt α)

p=2 $\alpha_2 = \alpha$

p=3, 6 α_w

$$U_d = \frac{p}{2\pi} \int_{\alpha_w}^{\alpha_w + \pi} U_m \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{p}{2\pi} U_m (\cos \alpha_w - \cos(\alpha_w + \pi))$$

wzory na I_d b. z.



Prostowniki trójfazowe (p=3, p=6)

Przeobracanie ciężył

$$v_w = v_2 + \frac{2\pi}{p}$$

$$\cos v_2 - \cos(v_2 + \frac{2\pi}{p})$$

z trygonometrii: $\cos \delta - \cos \delta = -2 \sin \frac{\delta + \delta}{2} \cdot \sin \frac{\delta - \delta}{2}$

$$\cos v_2 - \cos(v_2 + \frac{2\pi}{p}) = -2 \sin \frac{v_2 + v_2 + \frac{2\pi}{p}}{2} \sin \frac{v_2 - v_2 - \frac{2\pi}{p}}{2} =$$

$$= -2 \sin(v_2 + \frac{\pi}{p}) \sin(-\frac{\pi}{p}) = 2 \sin \frac{\pi}{p} \cdot \sin(v_2 + \frac{\pi}{p})$$

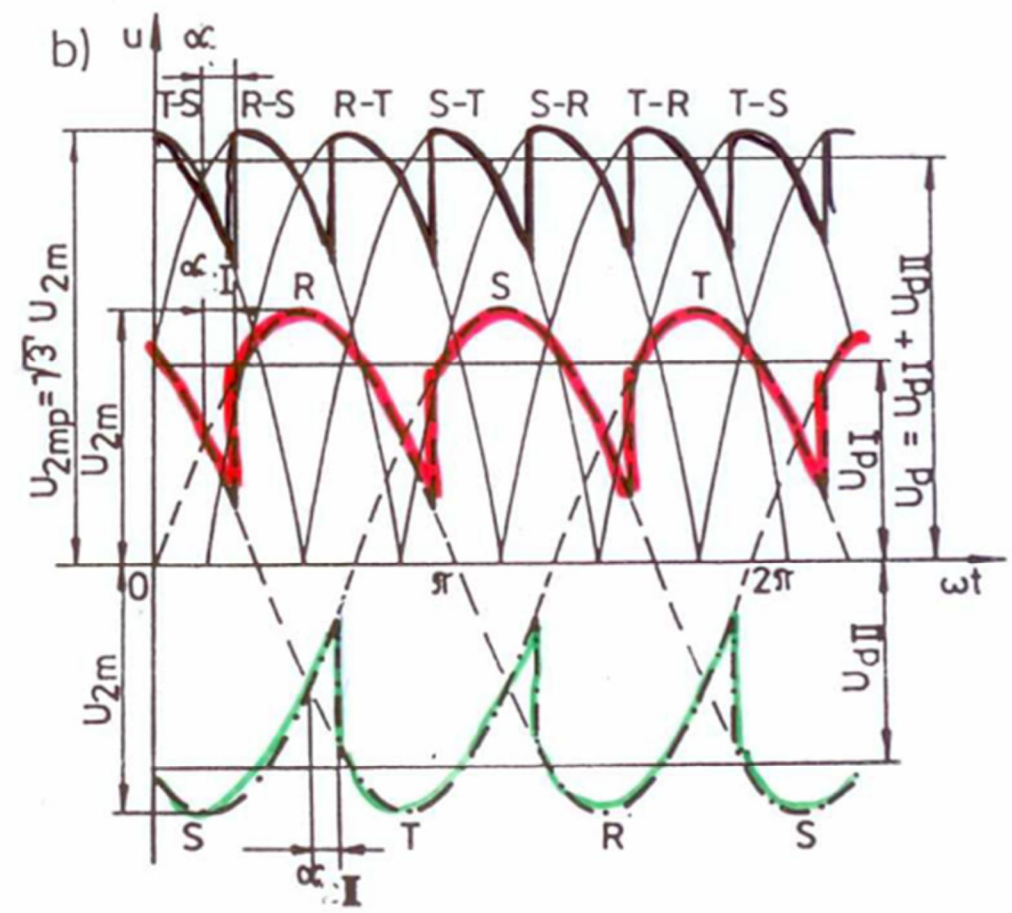
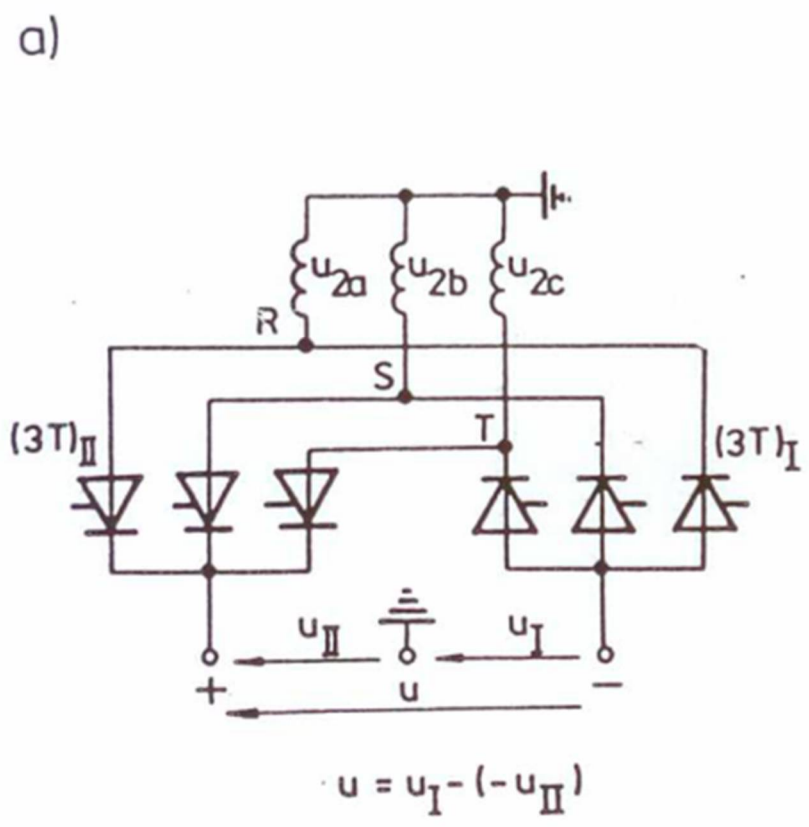
$$\sin \delta = \cos(\frac{\pi}{2} - \delta) \quad \cos(-\delta) = \cos \delta$$

$$\begin{aligned} \sin(v_2 + \frac{\pi}{p}) &= \cos(\frac{\pi}{2} - v_2 - \frac{\pi}{p}) = \cos(v_2 - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}) \\ &= \cos[v_2 - (\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p})] = \cos \alpha \end{aligned}$$

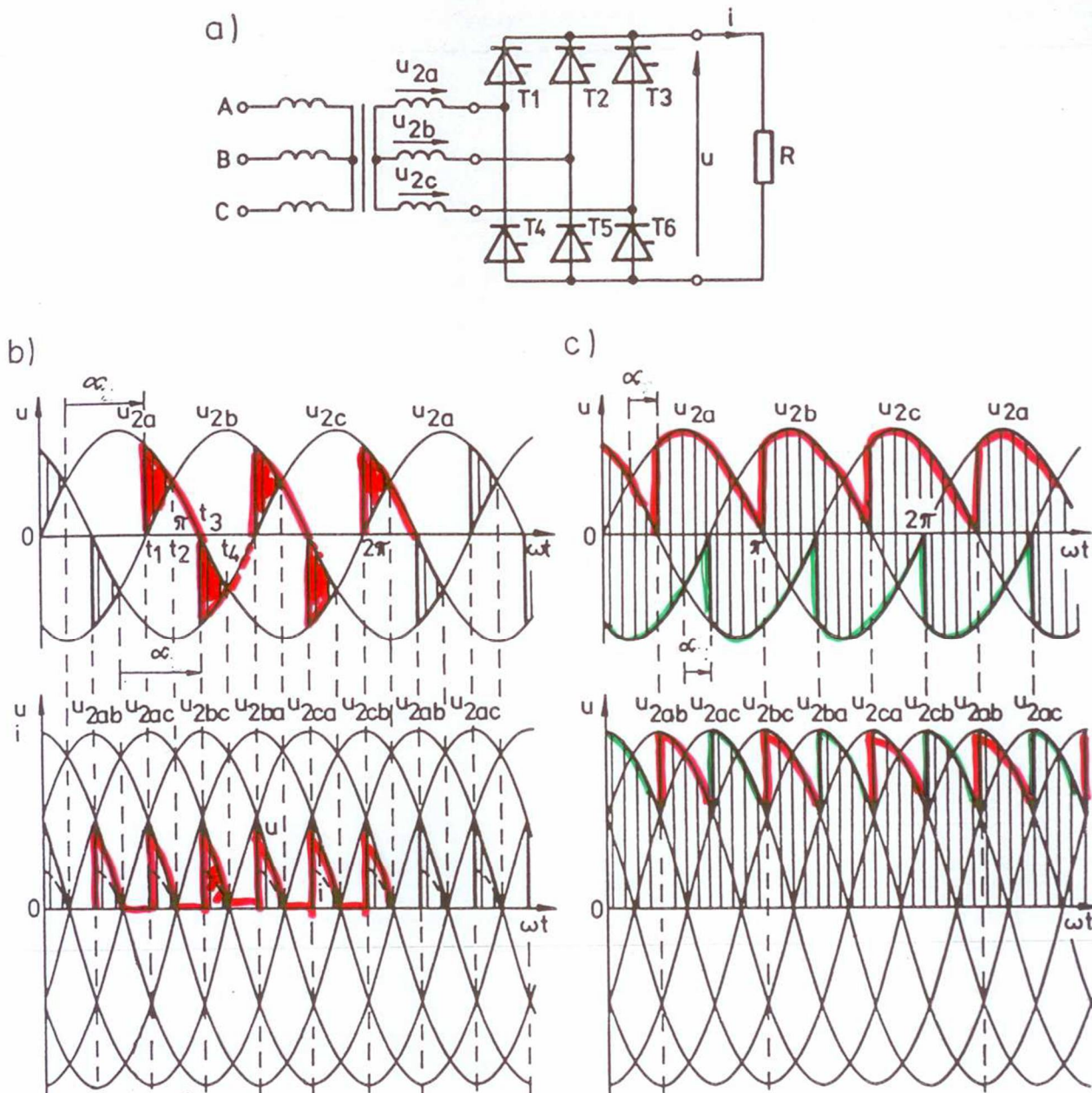
$$\cos v_2 - \cos(v_2 + \frac{2\pi}{p}) = 2 \sin \frac{\pi}{p} \cos \alpha$$

$$U_d = \frac{p}{2N} V_m \cdot 2 \sin \frac{\pi}{p} \cdot \cos \alpha = \frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cdot V_m \cos \alpha$$

$$U_d = \frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cdot \sqrt{2} |U| \cdot \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha$$



Rys. 3.13 Interpretacja tyrystorowego 3-fazowego mostka prostownikowego: a) schemat, b) przebiegi napięcia wyprostowanego



Rys. 3.14 Tyrystorowy 3-fazowy prostownik mostkowy obciążony R (komutacja prosta natychmiastowa): a) schemat, b) przebiegi napięć i prądu obciążenia przy przewodzeniu impulsowym, c) przebiegi napięć i prądu obciążenia przy przewodzeniu ciągłym