



Politechnika Wrocławska



Prostowniki małej mocy



Główne parametry transformatora sieciowego

- Moc (jednofazowe do 3kW)
- Znamionowe napięcie wejściowe
 - (np. 230V +10% -15%)
- Częstotliwość pracy (np. 50Hz)
- Napięcie i prąd wtórny (lub przekładnia)
- Prąd biegu jałowego
- Napięcie izolacji
- Ciężar, wymiary
- Temperatura pracy



Rodzaje transformatorów sieciowych

- Rdzenie typu EI, zwijane, toroidalne
- Materiał rdzenia
 - Blachy gorąco walcowane
 - Blachy zimnowalcowane



Związek mocy z wymiarami

$S[\text{cm}^2]@P[\text{W}]$	Blacha/Rdzeń	$B_{\text{max}}[\text{T}]$
$S \approx 1,25 \cdot \sqrt{P_1}$	Blacha gorącowałcowana Rdzeń EI	1T
$S \approx 1,1 \cdot \sqrt{P_1}$	Blacha gorącowałcowana Rdzeń EI	1.1T
$S \approx \sqrt{P_1}$	Blacha gorącowałcowana Rdzeń zwijany	1.5T
$S \approx 0.8 \cdot \sqrt{P_1}$	Blacha gorącowałcowana Rdzeń toroidalny	1.6T



Transformator cd

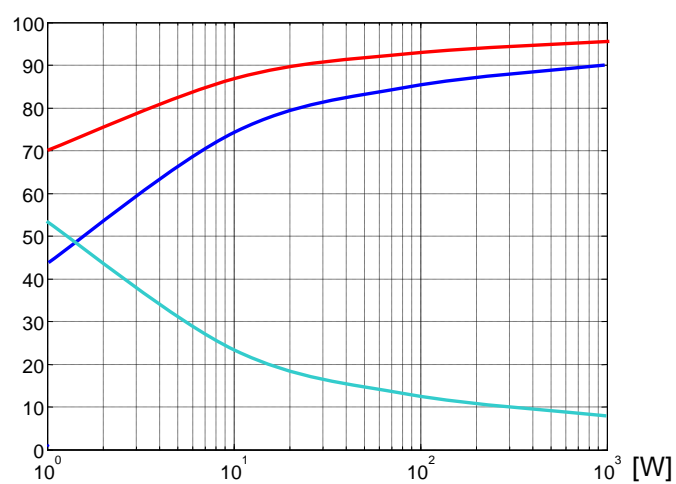
$$\frac{U}{Z} = \sqrt{2} \pi f B_{\max} S$$

Uwagi:

1. Średnice drutów dobierane są do maksymalnej gęstości prądu,
2. Prąd jałowy ?



„Orientacyjna sprawność” transformatorów



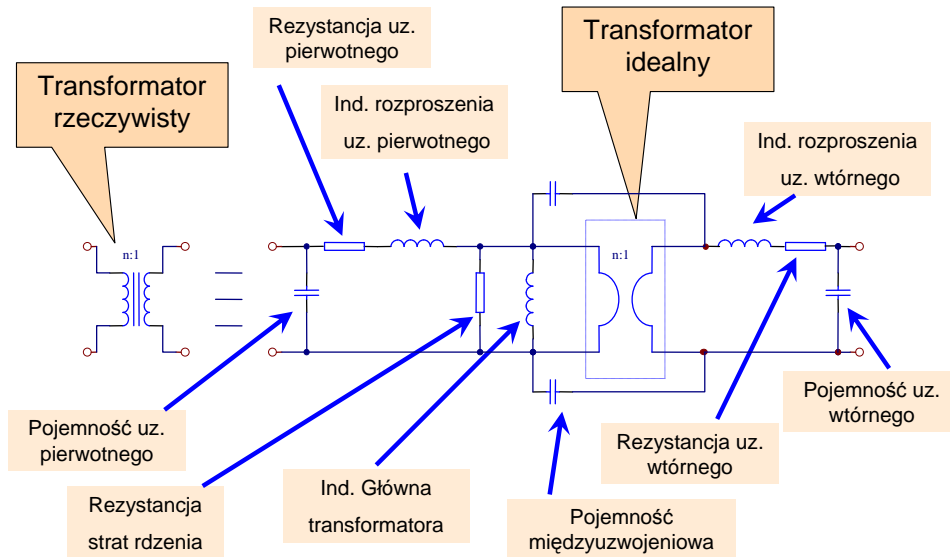


Transformatory



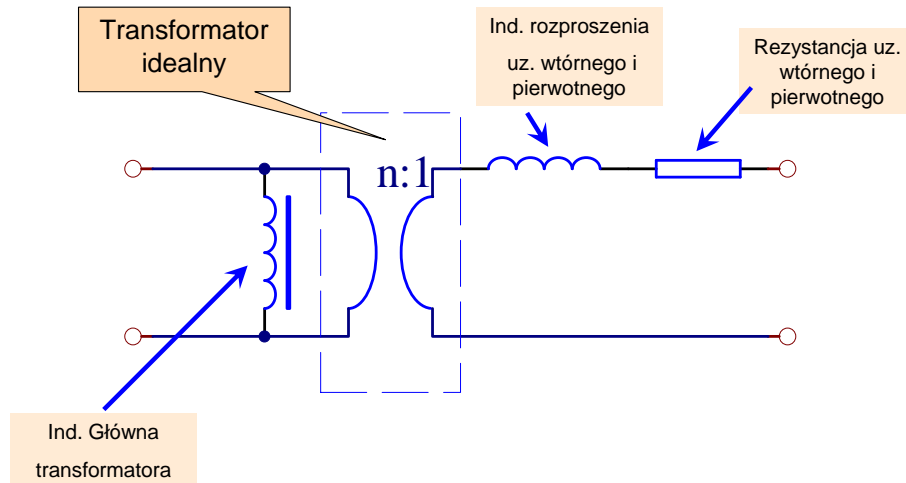


Model transformatora



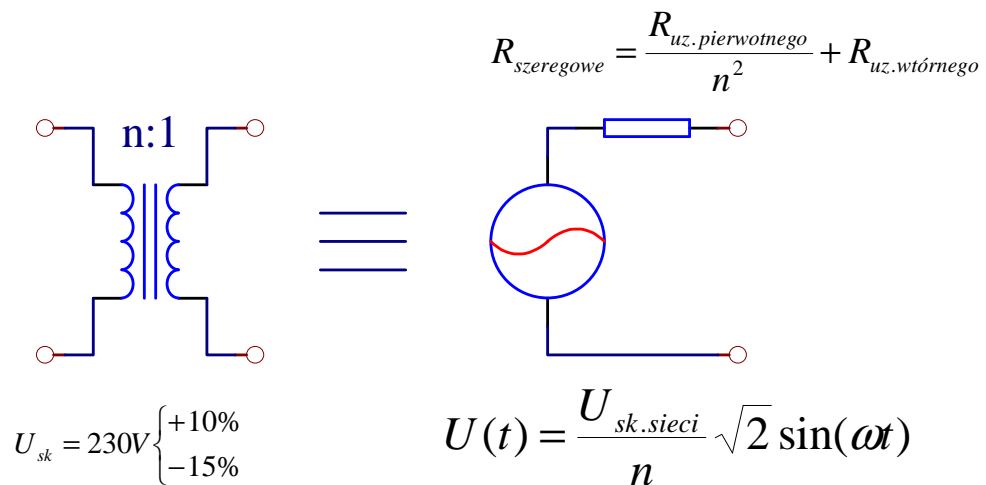


Model uproszczony transformatora dla małych częstotliwości



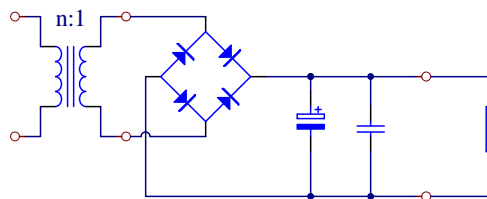
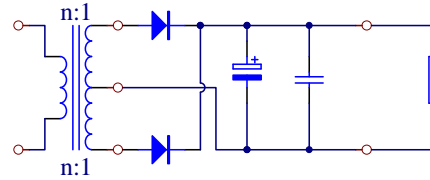
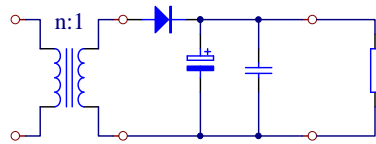


Model uproszczony transformatora



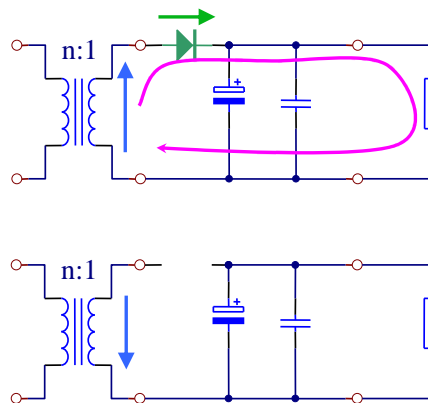


Rodzaje prostowników



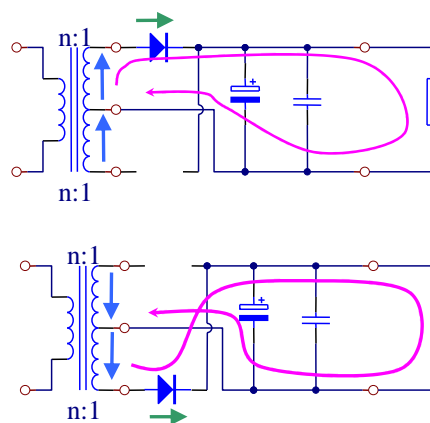


Prostownik jednopółwkowy zasada działania



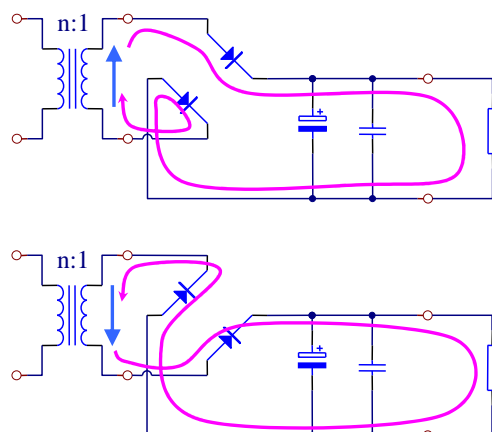


Prostownik dwupołówkowy



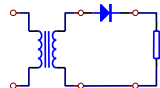


Prostownik mostkowy zasada działania

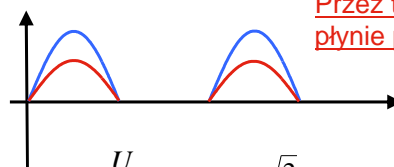




Prostowniki - obciążenie rezystancyjne

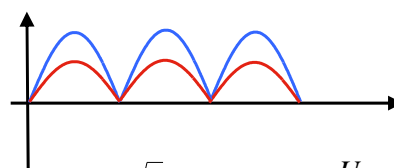
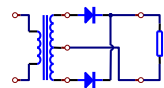
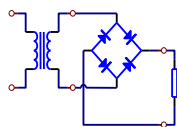


Prąd i napięcie
na obciążeniu
rezystancyjnym

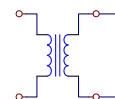


Przez transformator
płynie prąd stały !!!

$$I_{\dot{s}r} = \frac{U_{\dot{s}r}}{R_0} \quad U_{\dot{s}r} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E_{sk} \quad U_{sk} = \frac{E_{sk}}{2}$$

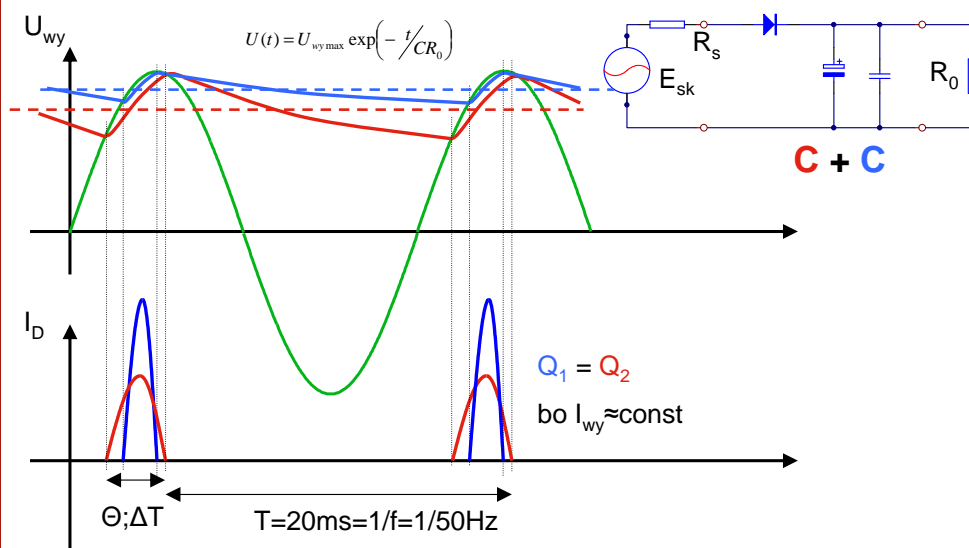


$$U_{\dot{s}r} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E_{sk} \quad I_{\dot{s}r} = \frac{U_{\dot{s}r}}{R_0} \quad U_{sk} = E_{sk}$$





Prostownik jednopółwkowy





Podstawowe zależności dla prostownika jednopółkowego

Wyjściowe napięcie szczytowe :

$$U_{wy.max} \approx \sqrt{2}E_{sk} - U_D$$

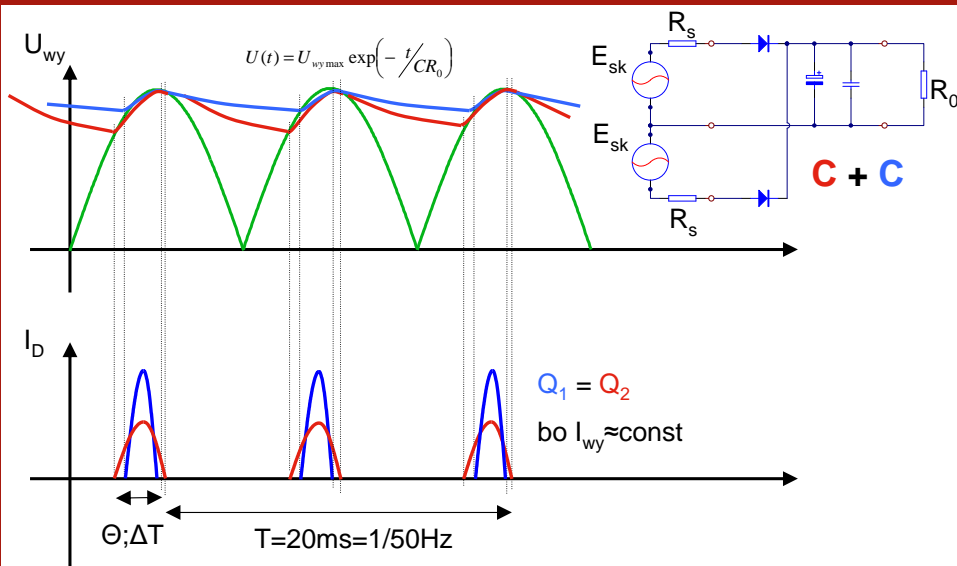
Napięcie tętnień (międzyszczytowe) :

$$U_t \approx \frac{Q}{C} = \left(\frac{U_{wy.max}}{R_0} \right) \frac{T}{C} = \frac{U_{wy.max}}{fR_0C}$$

Te zależności trzeba umieć wyprowadzić !



Prostownik dwupołwkowy





Podstawowe zależności dla prostownika dwupołwkowego

Wyjściowe napięcie szczytowe :

$$U_{wy.max} \approx \sqrt{2}E_{sk} - U_D$$

Dla mostkowego:

$$U_{wy.max} \approx \sqrt{2}E_{sk} - 2U_D$$

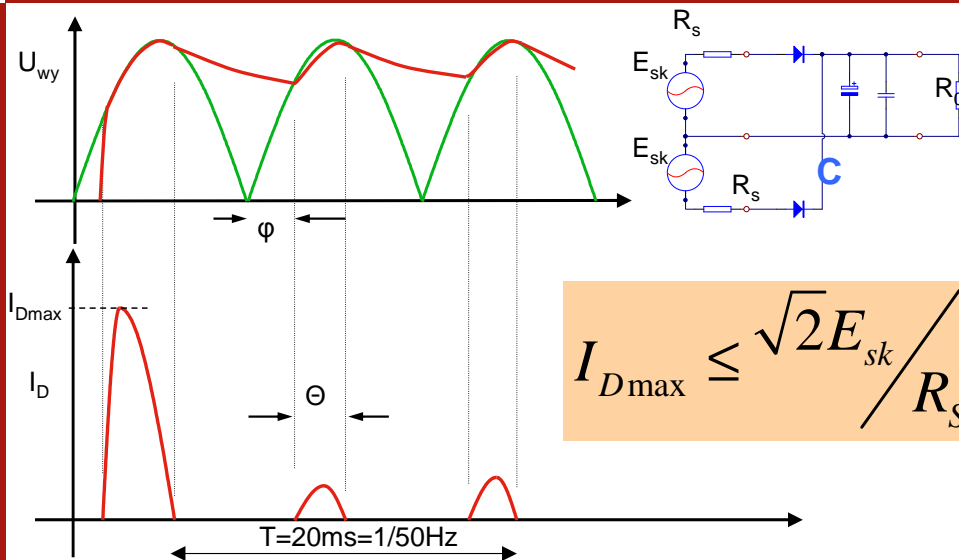
Napięcie tętnień :

$$U_t \approx \frac{Q}{C} = \left(\frac{U_{wy.max}}{R_0} \right) \frac{T/2}{C} = \frac{U_{wy.max}}{2fR_0C}$$

Te zależności trzeba umieć wyprowadzić !



Prąd szczytowy włączania „surge current”





Główne parametry

- Dane:

- $E_{sk} = U_{sieci} / n_{(przekładnia)}$
- R_s - rezystancja szeregową transformatora
- U_D - spadek napięcia na diodzie

- Parametry do obliczenia

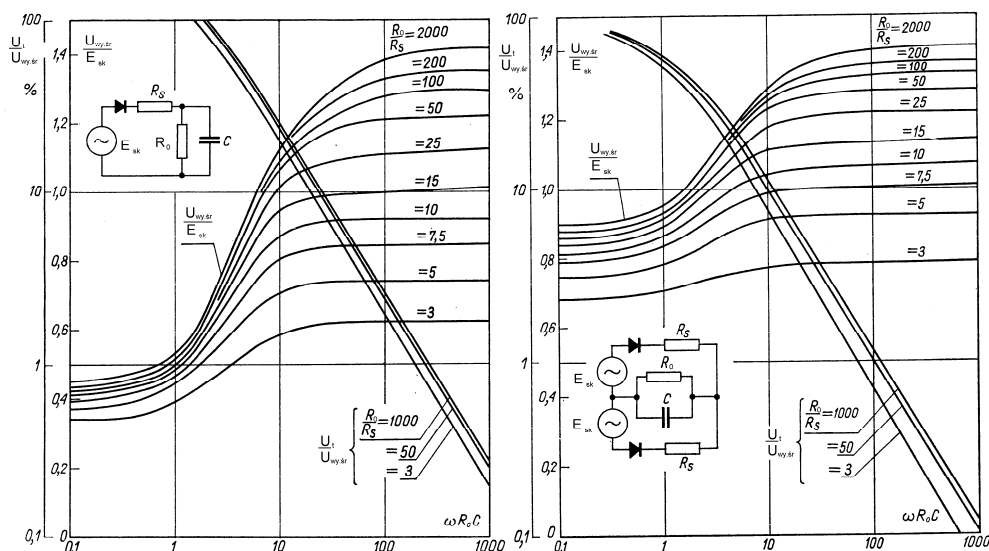
- $U_{wy.sk.}; U_{wy.śr.}; U_{wy.max.}; U_{wy.min.}; U_{tętnień.}; U_{R \text{ diody}}$
- $I_{d.śr.}; I_{d.sk.}; I_{d.max.}; I_{wy.śr}$
- $\Theta; \Delta T$ - kąt przepływu; czas przewodzenia
- $k_t = U_{tętnień} / U_{wy.śr.}$ - współczynnik tętnień
- $\eta_u = U_{wy.śr} / E_{sk}$ - wsp. wykorzystania napięcia



Projektowanie prostownika - diagramy Schade'go

[J. Baranowski, G. Czajkowski; Układy elektroniczne. Cz. WNT 2004]

[T. Zagajewski; Układy elektroniki przemysłowej, WKŁ 1978]



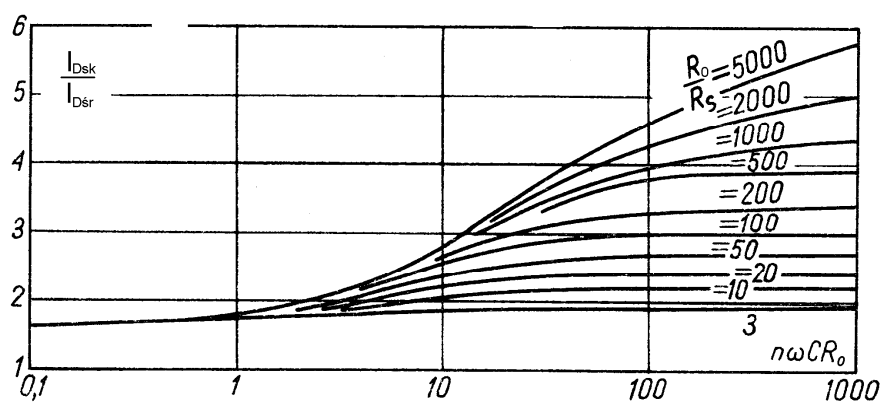
[J. Baranowski, G. Czajkowski; Układy elektroniczne. Cz. WNT 2004]

[T. Zagajewski; Układy elektroniki przemysłowej, WKŁ 1978]



Projektowanie prostownika - diagramy

$$I_{Dskuteczny}/I_{Dsr}$$



n – liczba faz (1,2,3,6)

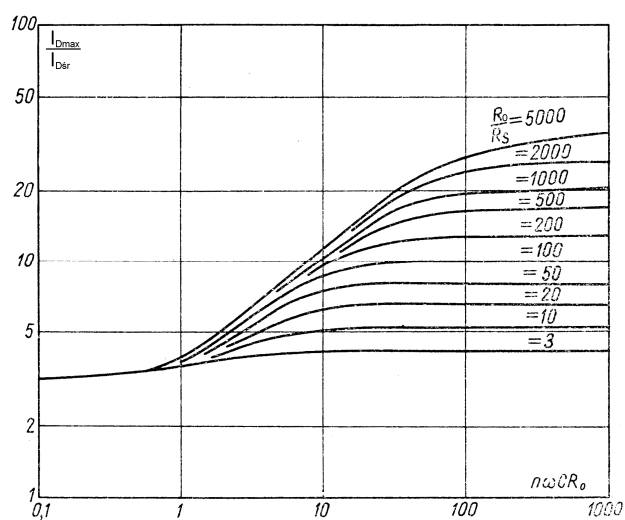
[J. Baranowski, G. Czajkowski; Układy elektroniczne. Cz. WNT 2004]

[T. Zagajewski; Układy elektroniki przemysłowej, WKŁ 1978]



Projektowanie prostownika - diagramy

$$I_{Dmax}/I_{Dsr}$$



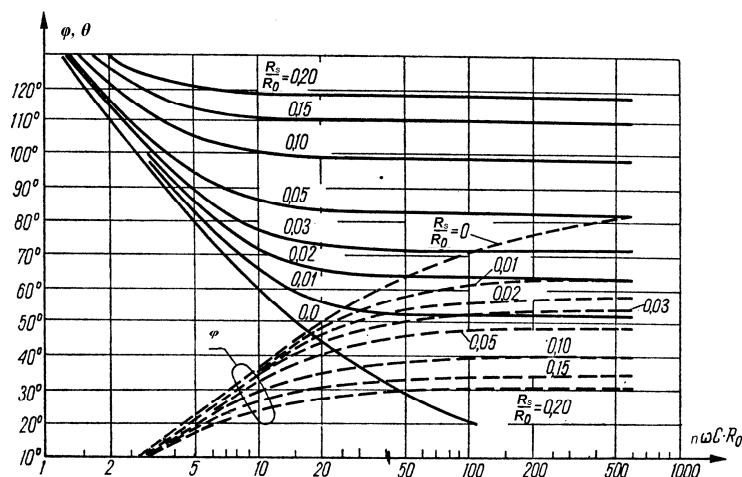
n – liczba faz (1,2,3,6)

[J. Baranowski, G. Czajkowski; Układy elektroniczne. Cz. WNT 2004]

[T. Zagajewski; Układy elektroniki przemysłowej, WKŁ 1978]



Projektowanie prostownika - diagramy kąt przepływu θ i kąt „początkowy” φ



[J. Pawłowski; Podstawowe układy elektroniczne :nieliniowe układy analogowe, WKŁ 1979]

[J. Pawłowski; Podstawowe układy elektroniczne :wzmacniacze i generatory, WKŁ 1979]



Zależności dla $\omega R_0 C \gg 1$ i $R_0 \gg R_s$

Gdy C rośnie

- Maleją tętnienia $\sim 1/nfCR_0$!!!!
- Maleje kąt przepływu
 - Rośnie prąd szczytowy diody
 - Rośnie prąd skuteczny diody i transformatora (grzeje się)



Moc tracona w diodzie

$$P_{D.czynna} = \frac{1}{T} \int_0^T u_D(t) i_D(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_D^2(t) R_{D.szer.} dt =$$

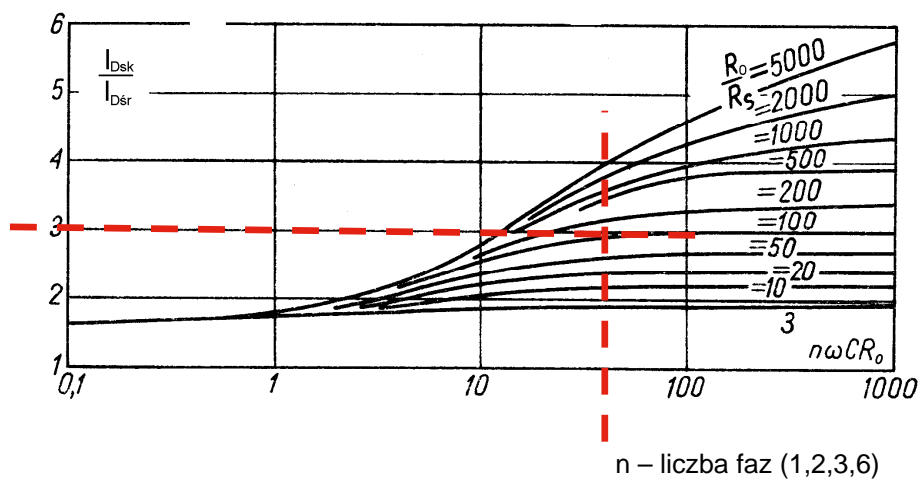
$$= U_D I_{D.śr} + \boxed{I_{D.sk.}^2 R_{D.szer.}}$$

$$\begin{aligned} P_{D.czynna} &= 0.7V \cdot 1A + (3A)^2 \cdot 0.1\Omega = \\ &= 0.7W + 0.9W \end{aligned}$$



Projektowanie prostownika - diagramy

$$I_{Dskuteczny}/I_{Dsr}$$



[J. Baranowski, G. Czajkowski; Układy elektroniczne. Cz. WNT 2004]

[T. Zagajewski; Układy elektroniki przemysłowej, WKŁ 1978]

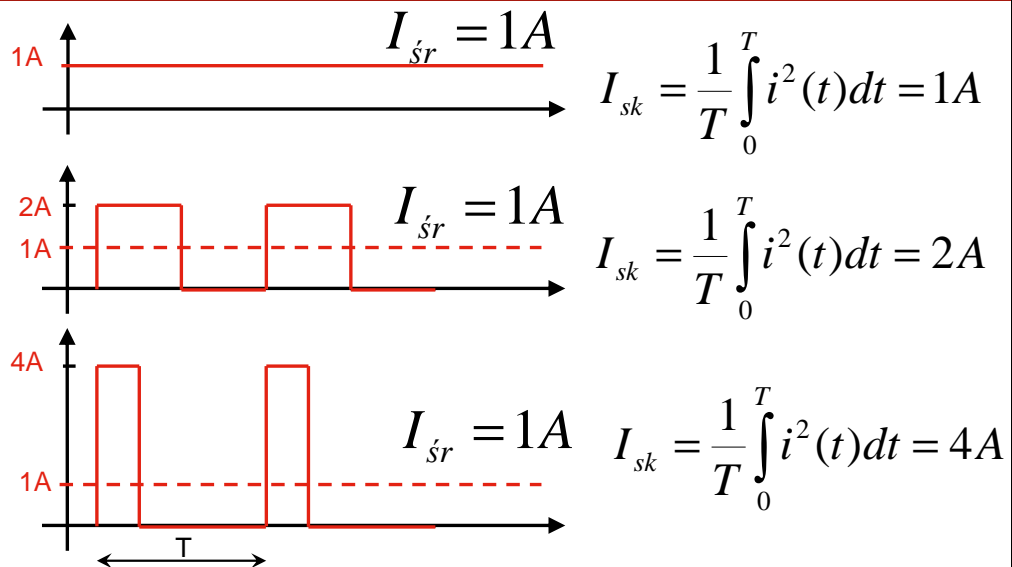


Porównanie zasilaczy

	Jedno-wy	Dwu- wy	Mostkowy
C dla uzyskania jednakowych tętnień	$C = \frac{U_{wy \max}}{U_t} \frac{1}{fR_0}$	$\frac{1}{2}(..)$	$\frac{1}{2}(..)$
Prąd maksymalny diody (i skuteczny)	duży	mniejszy	mniejszy
Napięcie wsteczne diody	$2E_{\max}$	$1(..)$	$\frac{1}{2}(..)$
Zawartość harmonicznych prądu w sieci	duża; Wszystkie- w tym DC ???	duża; nieparzyste	duża; nieparzyste

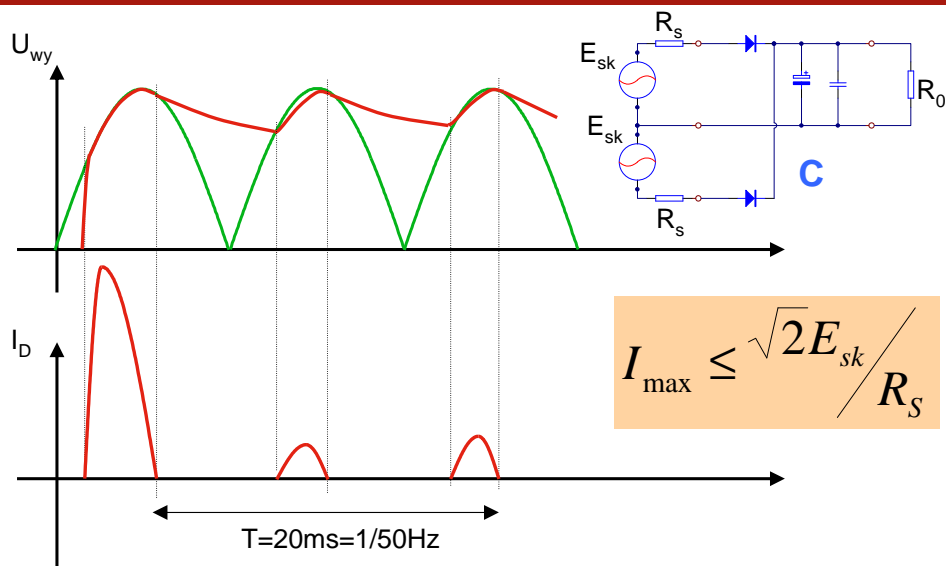


Prąd skuteczny impulsów prądowych



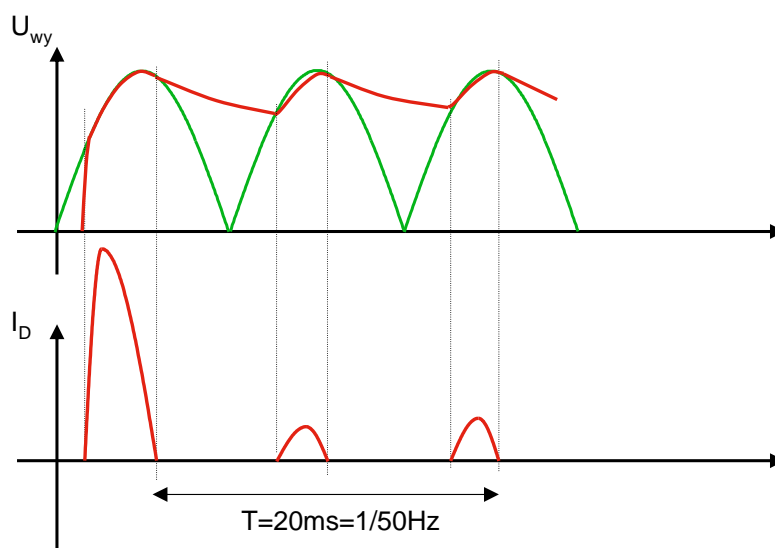


Rząd szczytowy włączania „surge current”



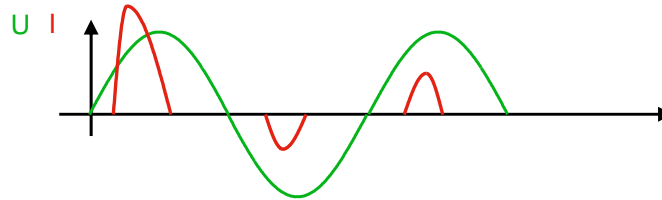


Zniekształcenia prądu sieci energetycznej. Norma IEC555





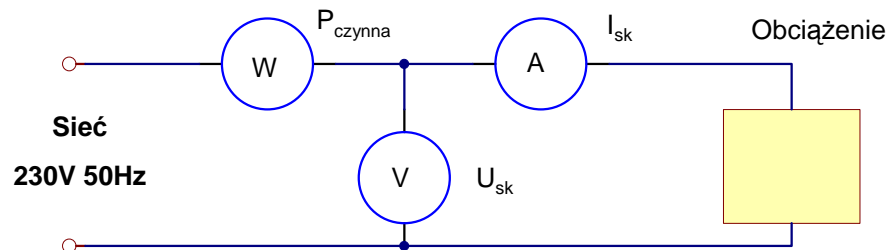
Zniekształcenia prądu sieci energetycznej. Norma IEC555



- Zawartość harmoniczných (do 40 harmoniczných)
- Fluktuacje napięcia związane z regulacją obciążeń
- Prąd włączania (?)



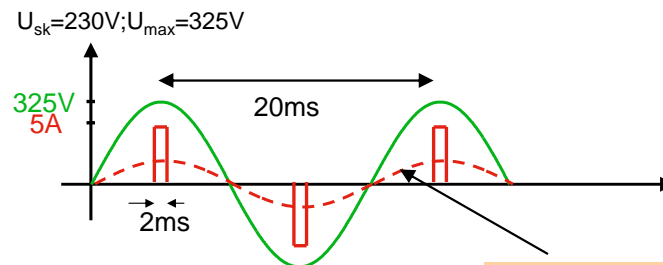
Zniekształcenia prądu sieci energetycznej. Współczynnik mocy



$$\eta = \frac{P_{czynna}}{U_{sk} \bullet I_{sk}} \leq 1 \quad \left[\frac{W}{VA} \right] = \left[\frac{W}{Var} \right]$$



Współczynnik mocy η przykład



Przy takim prądzie $\eta=1$

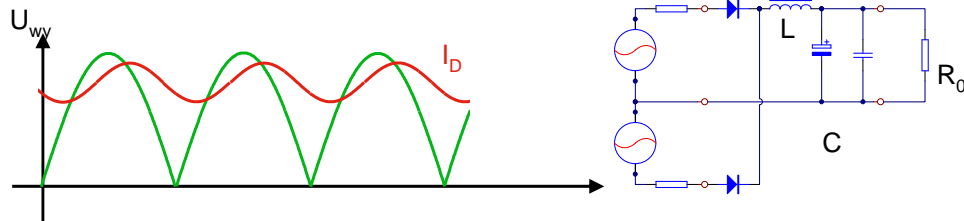
$$I_{sk} = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \approx \frac{1}{20ms} (5A)^2 (2 + 2ms) = 5A$$

$$P_{czynne} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt \approx 320V \cdot 5A \cdot \frac{4ms}{20ms} = 320W$$

$$\eta = \frac{P_{czynna}}{U_{sk} \cdot I_{sk}} \approx \frac{320W}{230V \cdot 5A} \approx 0,28 \left[\frac{W}{VA} \right]$$



Filtry indukcyjno - pojemnościowe



Skutki:

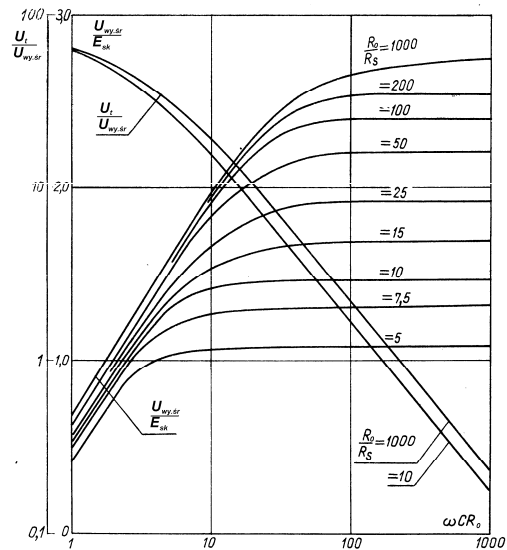
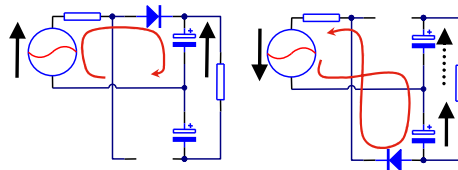
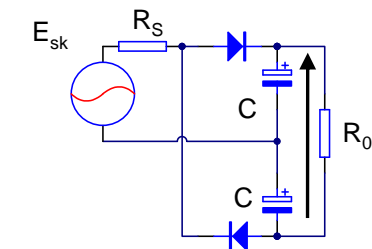
- Polepszenie filtracji – zmniejszenie tętnień
- Znaczne Zmniejszenie zawartości harmonicznych
- Większy koszt
- Dławik musi być duży ze względu na jego nasycanie

Dla $L > L_{kr}$ kąt przepływu prądu jest pełny

$$L > L_{krytyczne} = \frac{R_L}{3\omega}$$

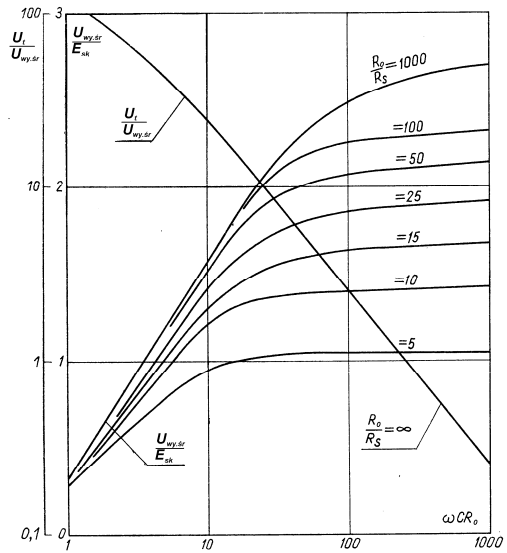
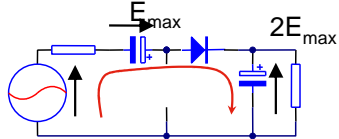
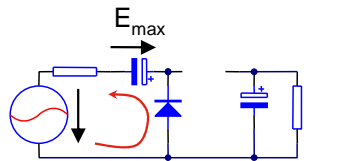
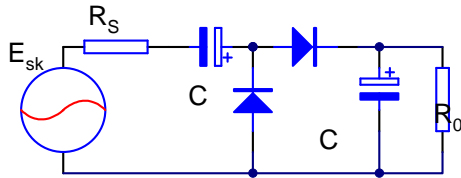


Symetryczny podwajacz napięcia (Delona)



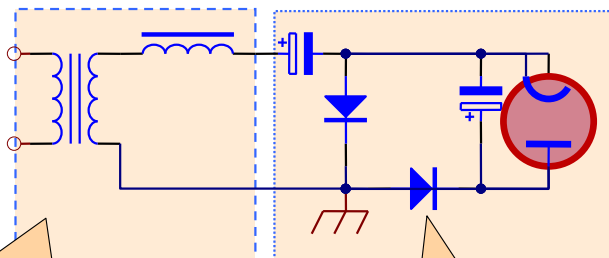


Nie symetryczny podwajacz napięcia (Villarda)





Przykład



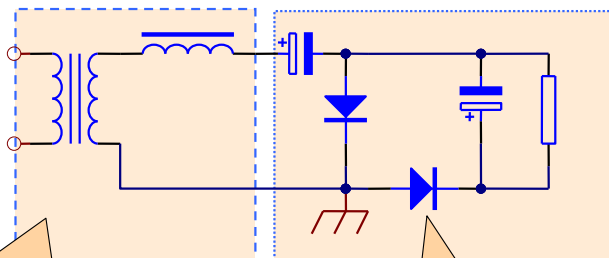
Transformator z dużym rozproszeniem jako „dławikiem”, co wygładza i stabilizuje prąd

Podwajacz napięcia

Kuchnia mikrofalowa !!!



Przykład



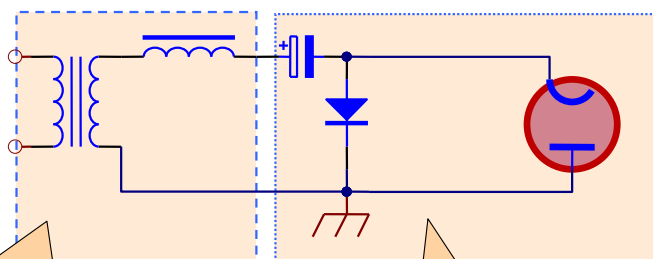
Transformator z dużym rozproszeniem jako „dławikiem”, co wygładza i stabilizuje prąd

Podwajacz napięcia

Kuchnia mikrofalowa !!!



Przykład



Transformator z dużym rozproszeniem jako „dławikiem”, co wygładza i stabilizuje prąd

Podwajacz napięcia

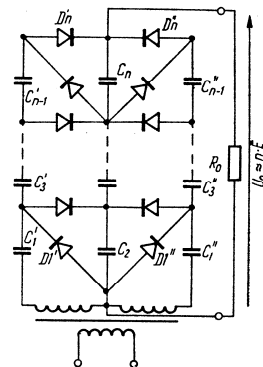
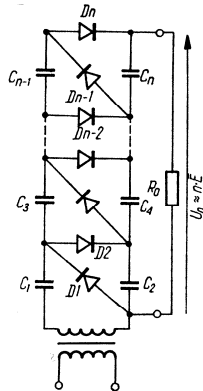
Kuchnia mikrofalowa !!!



Powielacze napięcia niesymetryczny i symetryczny (sposób działania do samodzielnego przemyślenia)

$$C \geq \frac{2n(n+2)}{fR_0}$$

$$U_{wy.śr} = n\sqrt{2E_{sk}} - U_t$$



$$U_t \approx \frac{I_{wy.śr}}{fC} \left(\frac{2}{3}n^3 + \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{6}n \right)$$

$$U_t \approx \frac{I_{wy.śr}}{fC} \left(\frac{1}{6}n^3 + \frac{1}{4}n^2 + \frac{1}{12}n \right)$$



Główne zagadnienia

- Transformator (parametry, rodzaje, schemat zastępczy)
- Główne rodzaje prostowników
- Praca z obciążeniem rezystancyjnym
- Obciążenie pojemnościowe (cechy charakterystyczne dla różnych rodzajów prostowników)
- Zniekształcenia wnoszone do sieci przez zasilacze - główne zadania normy IEC555
- Zasilacze z filtrem indukcyjno-pojemnościowym
- Powielacze napięcia (schematy, zasada działania)