

# 12. Zasilacze



Zasilacz jest to układ elektroniczny (urządzenie), którego zadaniem jest przekształcanie napięcia zmiennego na napięcie stałe o odpowiednich, z punktu widzenia odbiornika, parametrach.

## standardy zasilania sieciowego

W większości krajów na świecie obowiązuje **napięcie** 220-240V.

### **Ale np:**

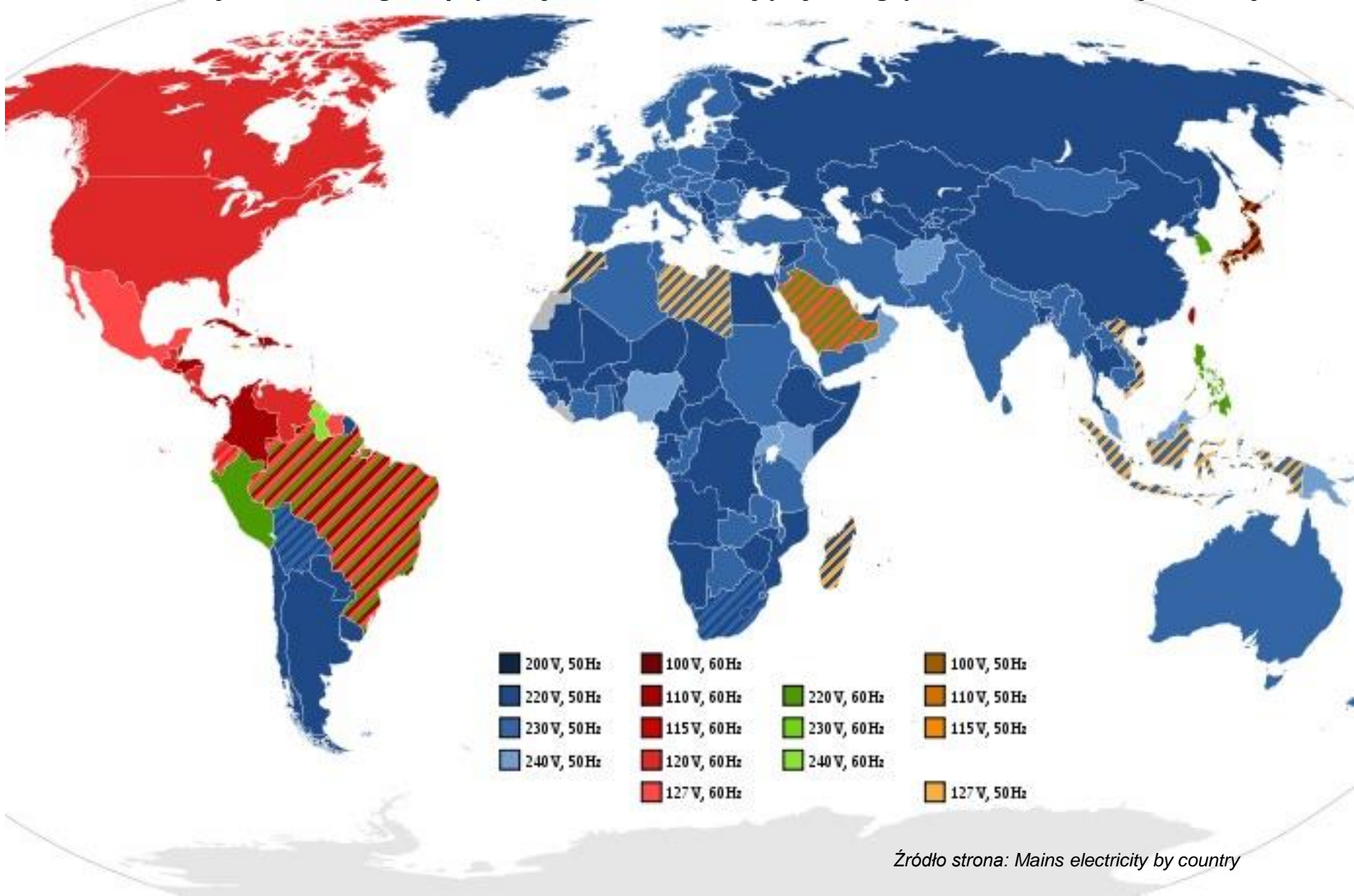
Japonia, USA, Kanada, Meksyk, kraje Ameryki Środkowej, Wenezuela, Kolumbia, Ekwador używają napięcia z zakresu 100-127V.

Ze względów historycznych w niektórych krajach stosuje się mieszane napięcie: Brazylia, Wietnam, Indonezja, Arabii Saudyjska, Maroko, Libia, Madagaskar, na wielu wyspach na Pacyfiku.

**Częstotliwość** napięcia w sieci elektroenergetycznej w Europie wynosi 50 Hz, w Amerykach w większości (m.in. w Brazylii, Kanadzie oraz USA) 60 Hz, wyjątkami są Argentyna, Boliwia, Chile, Paragwaj oraz Urugwaj gdzie jest 50 Hz.

Japonia w swojej części zachodniej używa 60 Hz, a w części wschodniej 50 Hz. Systemy te połączone są czterema konwerterami częstotliwości o łącznej mocy 1500MW.

**standardy sieci niskiego napięcia tj. sieci dostarczającej energię do odbiorców indywidualnych**



Źródło strona: Mains electricity by country

**wartość skuteczna napięcia  
przemiennego odpowiada takiej  
wartości napięcia stałego, która  
da taki sam efekt cieplny**

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_m \sin \omega t)^2 dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi f$$

Pierwszą na szeroką skalę sieć energetyczną prądu stałego uruchomił Thomas Edison w 1882 r. na Manhattanie.

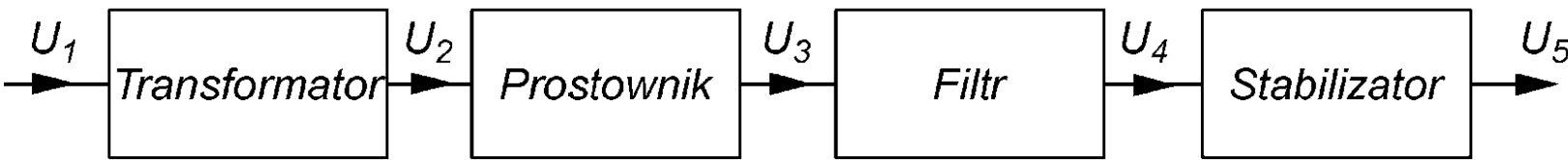
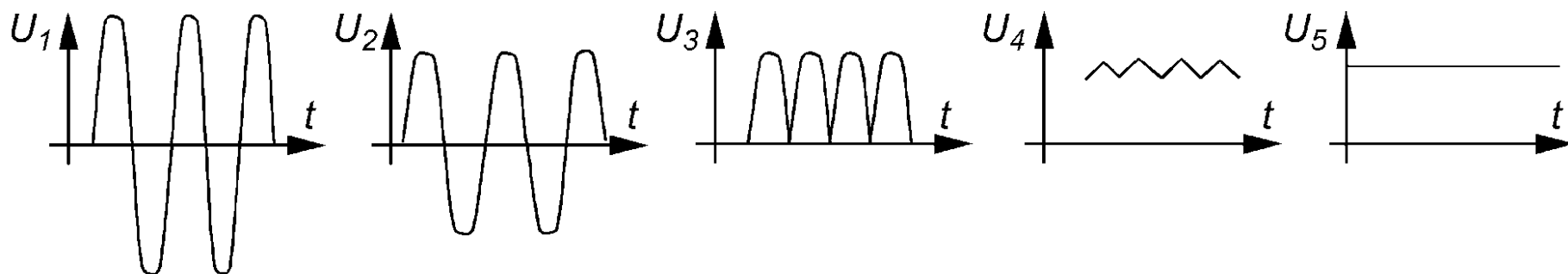
Pięć lat później w 1887 r. Nicola Tesla opatentował sieć prądu zmiennego jako formę przesyłania energii.

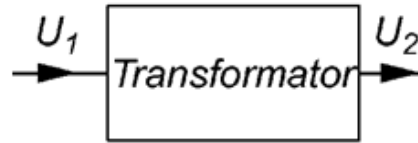
Rozpoczęła się walka dwóch wynalazców, o prestiż i wielkie pieniądze. Wygrał Tesla. W rezultacie pod koniec XIX wieku, linie prądu zmiennego wyparły linie prądu stałego. O wyborze prądu zmiennego zdecydowały względy techniczne i ekonomiczne.

Strata energii podczas przesyłania jest proporcjonalna do kwadratu wartości prądu, a napięcie przemiennie można transformować uzyskując małe prądy a wysokie napięcia. Moc, a więc iloczyn prądu i napięcia, zachowuje przy tym wartość tę samą.

# Zasilacz o działaniu ciągłym

Podstawowymi funkcjami zasilacza jest transformacja napięcia zmiennego do odpowiedniej wartości, prostowanie, filtracja i stabilizacja.

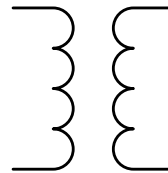




## Pierwsza funkcja transformatora dostosowanie wielkości napięcia do potrzeb obwodów zasilanych

Urządzenia elektroniczne zasilane jest z publicznej sieci energetycznej o wartości skutecznej napięcia 230 V i częstotliwości 50 Hz.

Napięcie to podawane jest na uzwojenie pierwotne transformatora

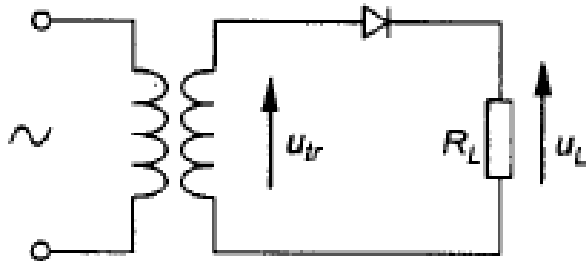


Po stronie wtórnej transformatora uzyskuje się napięcie na ogół obniżone, gdyż napięcie potrzebne do zasilania układów elektronicznych zwykle jest stosunkowo małe.

## Drugą funkcją transformatora jest odizolowanie galwaniczne zasilanych obwodów od sieci energetycznej

Energia przekazywana jest poprzez pole magnetyczne transformatora i nie ma bezpośredniego (galwanicznego) połączenia odbiorników ze źródłem energii

# Prostownik jednopółkowy



przebieg napięcia na wyjściu

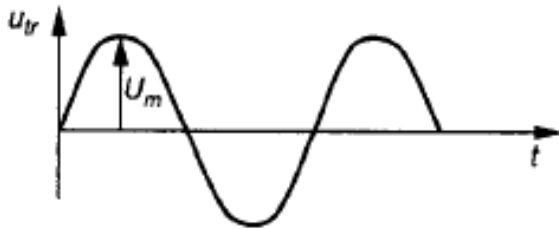
$$u = \begin{cases} U_m \sin \omega t & \text{dla } 0 \leq \omega t \leq \pi \\ 0 & \text{dla } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

wartość średnia napięcia na obciążeniu

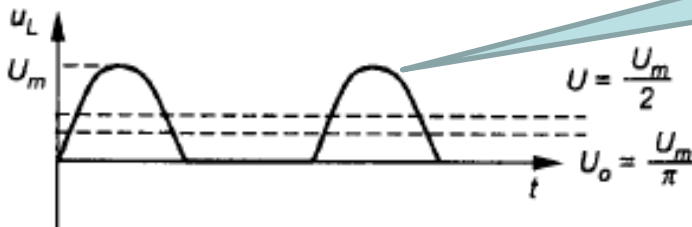
$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_m}{\pi}$$

wartość średnia prądu w obciążeniu

$$I_0 = \frac{U_0}{R_L} = \frac{U_m}{\pi R_L}$$

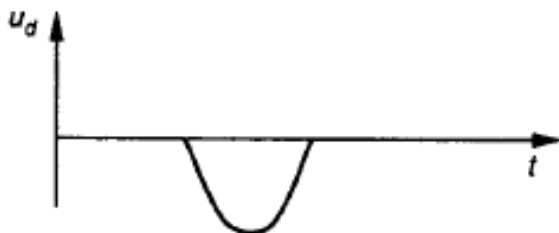


*Prąd w obwodzie prostownika płynie tylko w dodatniej połowie napięcia sinusoidalnego powodując spadek napięcia  $U_L$  na obciążeniu  $R_L$*



wartość skuteczna napięcia na obciążeniu

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \frac{U_m}{2}$$

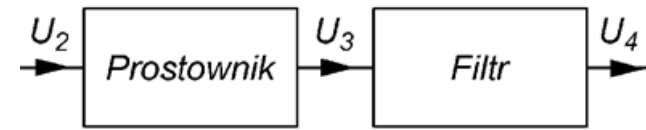


współczynnik tętnień dla prostownika jednopółkowego bez filtru

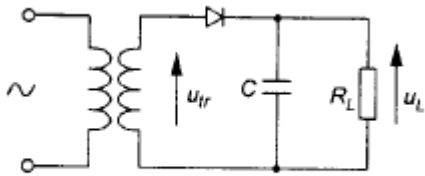
$$k_t = \frac{\text{wartość skuteczna składowej zmiennej przebiegu wyjściowego}}{\text{wartość składowej stałej (czyli wartość średnia) przebiegu wyjściowego}} = 1,21$$



# Prostownik jednopółkowy z filtrem



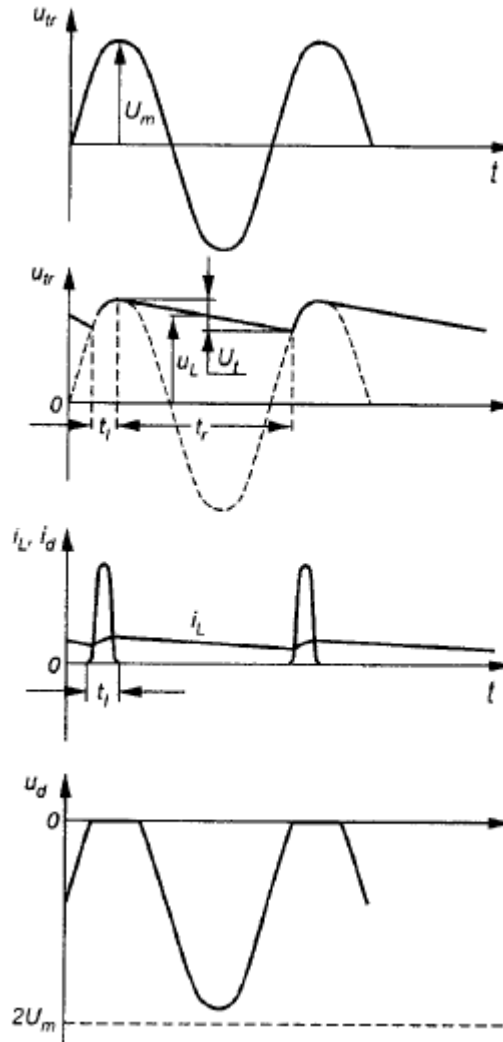
W celu zmniejszenia składowej zmiennej na wyjściu prostownika stosuje się filtrowanie napięcia wyjściowego poprzez dołączenie kondensatora C równoległe do obciążenia  $R_L$



cj

współczynnik tętnień

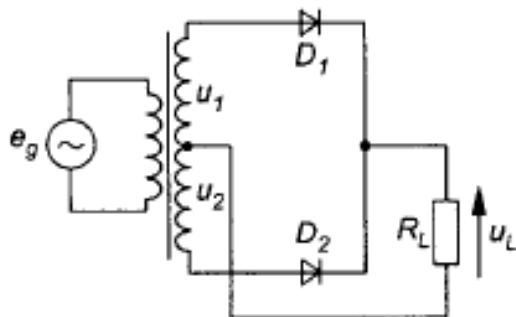
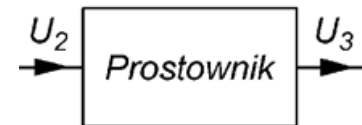
$$k_t = \frac{1}{2\sqrt{3} f C R_L}$$



Kondensator ładuje się przez diodę do napięcia równego amplitudzie  $U_m$  napięcia przemiennego po czym rozładowuje się przez obciążenie aż do chwili, gdy dioda zacznie znowu przewodzić tj. gdy napięcie na jej anodzie osiągnie wartość większą niż na katodzie. Składowa zmienna napięcia wyjściowego, charakteryzowana międzyszczytowym napięciem tętnień  $U_t$ , jest tym mniejsza im większa jest stała czasowa obwodu  $\tau = R_L C$ . Zwiększenie stałej czasowej obwodu prowadzi zarazem do wzrostu składowej stałej napięcia wyjściowego.

W granicznym przypadku gdy  $\tau = R_L C \rightarrow \infty$  to  $U_L \rightarrow U_m$  i  $U_t \rightarrow 0$

# Prostownik dwupołówkowy z dzielonym uzwojeniem transformatora

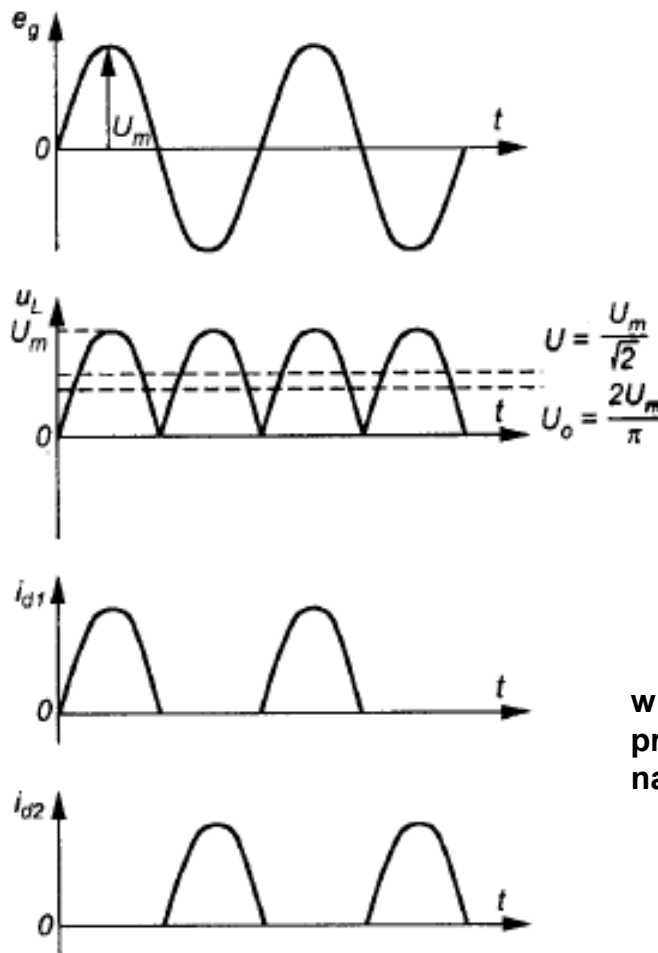


w uzwojeniu wtórnym transformatora uzyskuje się dwa napięcia sinusoidalne o jednakowych amplitudach, lecz przesunięte względem siebie w fazie o  $180^\circ$ , tj.

$$u_1(t) = -u_2(t)$$

współczynnik tętnień

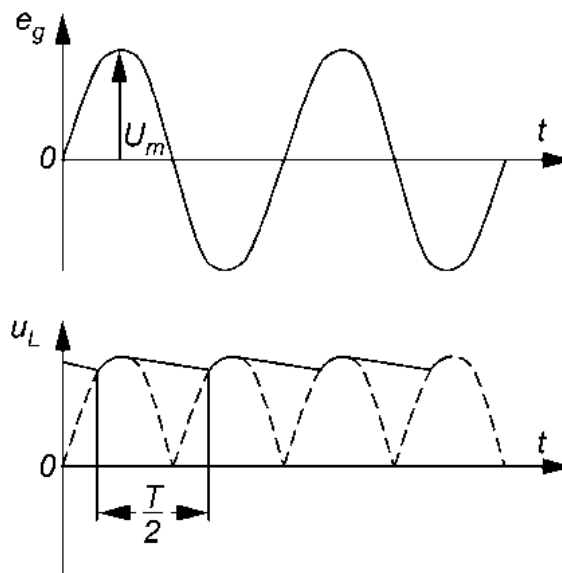
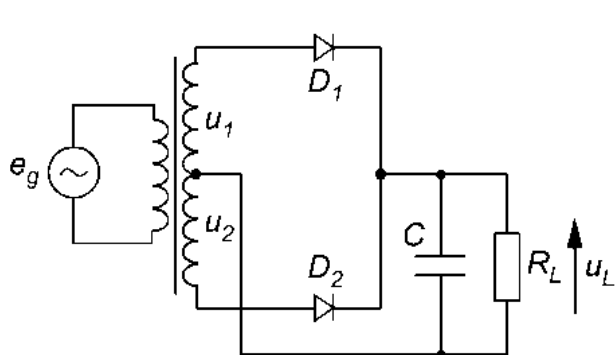
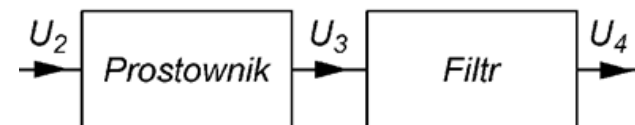
$$k_t = 0,48$$



na rezystorze obciążenia uzyskuje się wyprostowane napięcie dwupołówkowe, którego wartość średnia  $U_0$  jest dwa razy większa niż w przypadku prostownika jednopołówkowego

w jednym półokresie przewodzi dioda  $D_1$ , a w następnym dioda  $D_2$  itd.

# Prostownik dwupołkowy z dzielonym uzwojeniem transformatora z filtrem



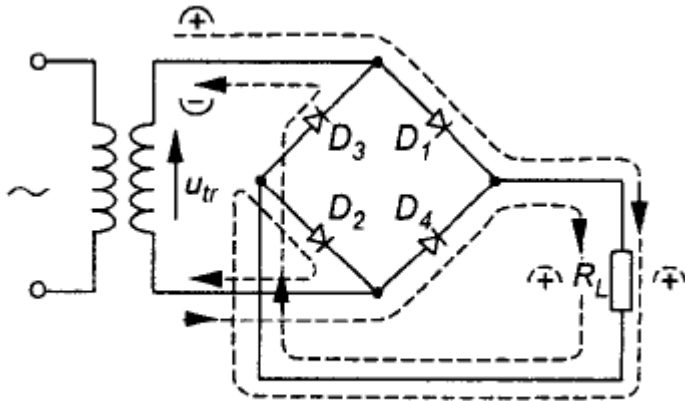
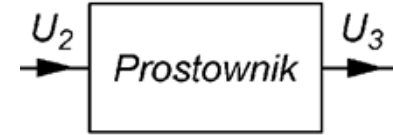
Kondensator ładuje się przez diodę do napięcia równego amplitudzie  $U_m$  napięcia przemiennego po czym rozładowuje się przez obciążenie, aż do chwili, gdy dioda zacznie znowu przewodzić tj. gdy napięcie na jej anodzie osiągnie wartość większą niż na katodzie. Dzieje się to dwukrotnie w każdym okresie napięcia zasilającego.

Współczynnik tętnień dwukrotnie mniejszy w porównaniu z układem jednopołkowym.

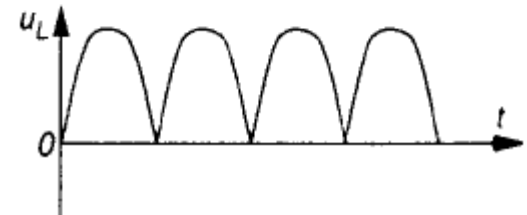
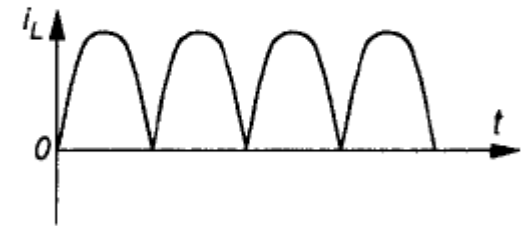
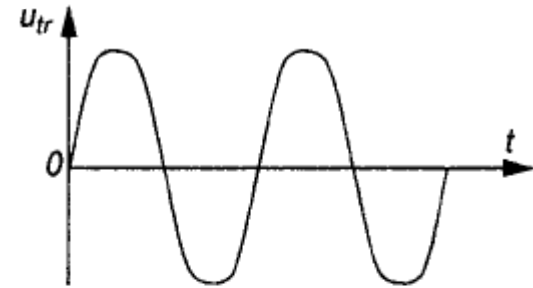
współczynnik tętnień

$$k_t = \frac{1}{4\sqrt{3} f C R_L}$$

# Prostownik dwupołówkowy mostkowy (układ Graetza)



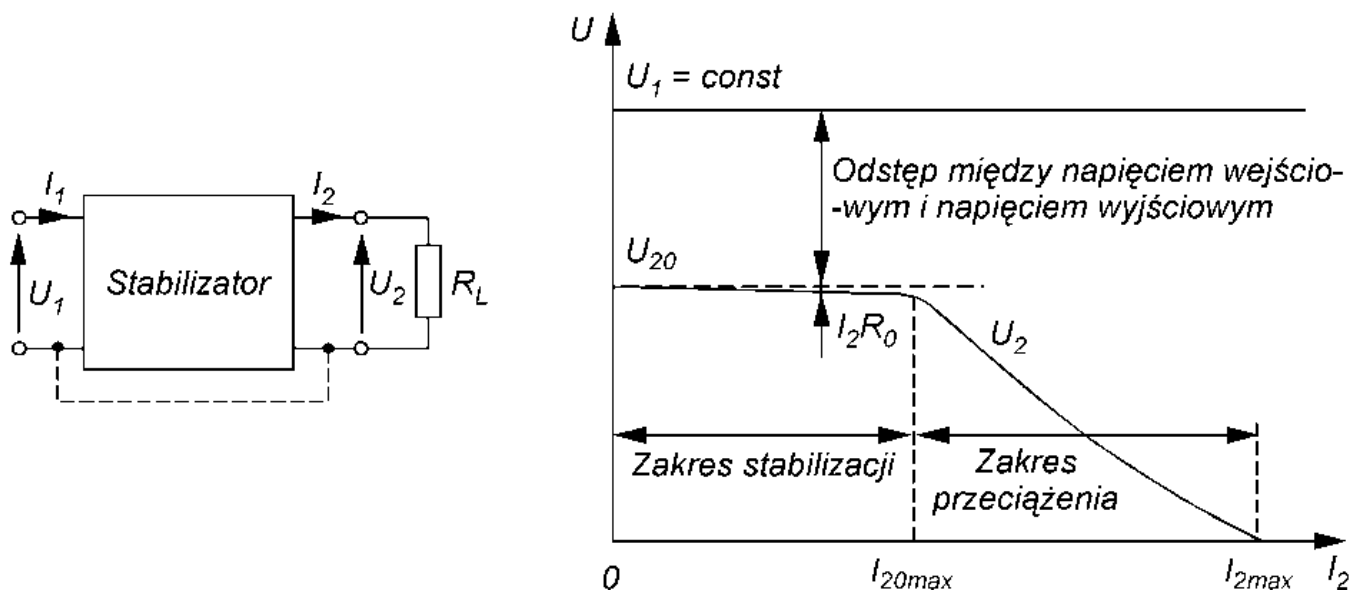
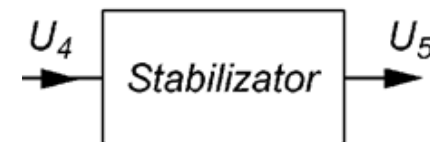
W dodatnim półokresie napięcia wejściowego prąd płynie w obwodzie  $D_1$ ,  $R_L$ ,  $D_2$ , natomiast w ujemnym półokresie w obwodzie  $D_4$ ,  $R_L$ ,  $D_3$ . Kierunek przepływu prądu przez obciążenie jest w obu półokresach jednakowy i dlatego na obciążeniu otrzymuje się wyprostowane napięcie dwupołówkowe.



zastosowanie filtra daje efekt jak na slajdzie poprzednim

**Stabilizatory** służą do ustalania czyli stabilizacji napięć wyjściowych zasilacza przy zmianach prądu obciążenia i wahaniach napięcia dostarczanego z poprzednich stopni zasilacza.

Stabilizator powinien też zapewniać eliminację tętnień, tzn. powinien spełniać funkcję filtra wygładzającego.

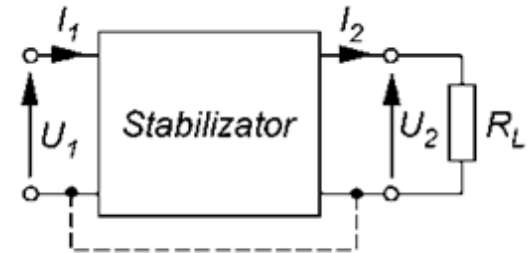


W charakterystyce stabilizatora wyodrębnia się dwie części: zakres stabilizacji (normalnej pracy) i zakres przeciążenia.

W zakresie stabilizacji utrzymywana jest stała wartość napięcia wyjściowego w funkcji wzrostu poboru prądu wyjściowego.

W zakresie przeciążenia występuje znaczna zależność napięcia od prądu i zanikają właściwości stabilizujące układu.

# Parametry stabilizatorów



$U_{20}$  - nominalne (znamionowe) napięcie stabilizacji,

$I_{20max}$  - największy prąd wyjściowy w zakresie stabilizacji,

$I_{2max}$  - największy prąd wyjściowy zwarciovoy,

$U_{1min}$  ,  $U_{1max}$  - zakres dopuszczalnych zmian napięcia wejściowego,

współczynnik stabilizacji napięcia , unormowany współczynnik stabilizacji napięcia

$$S_U = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$$

$$S_{UN} = \frac{\Delta U_2 / U_2}{\Delta U_1 / U_1} = S_U \frac{U_1}{U_2}$$

współczynnik temperaturowy , rezystancja wyjściowa

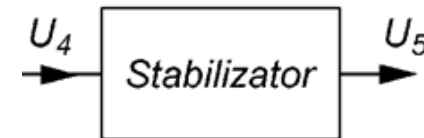
$$S_T = \frac{\Delta U_2}{U_2 \Delta T}$$

$$R_0 = \frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$$

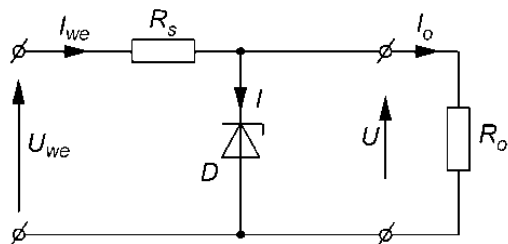
sprawność energetyczna

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1}$$

# Stabilizator parametryczny

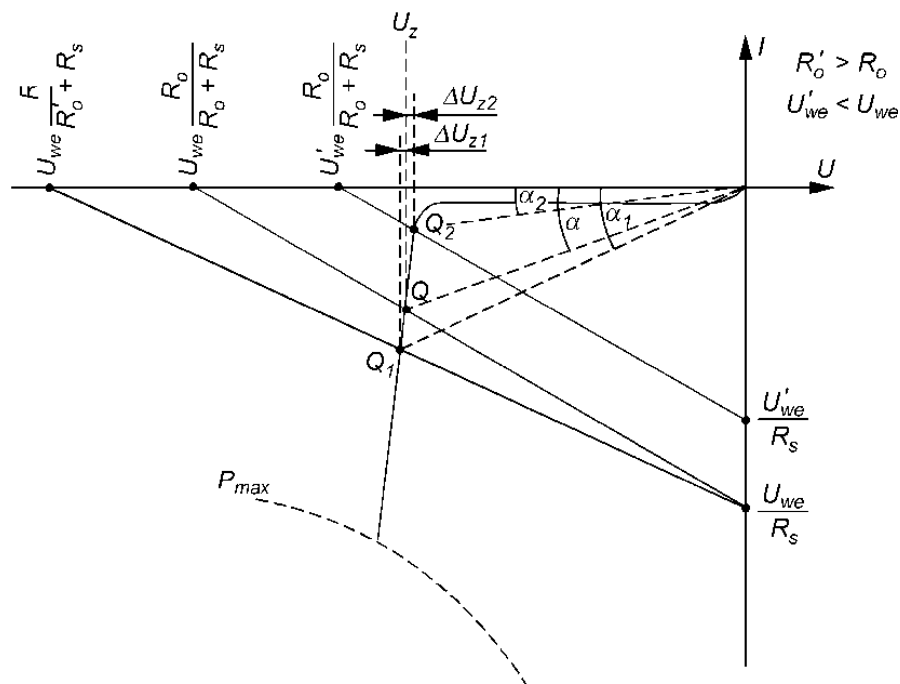


a)



Najprostszy układ stabilizacji napięcia. Jego działanie polega na zmianie rezystancji statycznej diody pod wpływem zmian napięcia wejściowego i prądu obciążenia.

b)



W warunkach stacjonarnych punkt pracy diody jest w miejscu jej charakterystyki oznaczonym literą Q na prostej obciążenia określonej równaniem

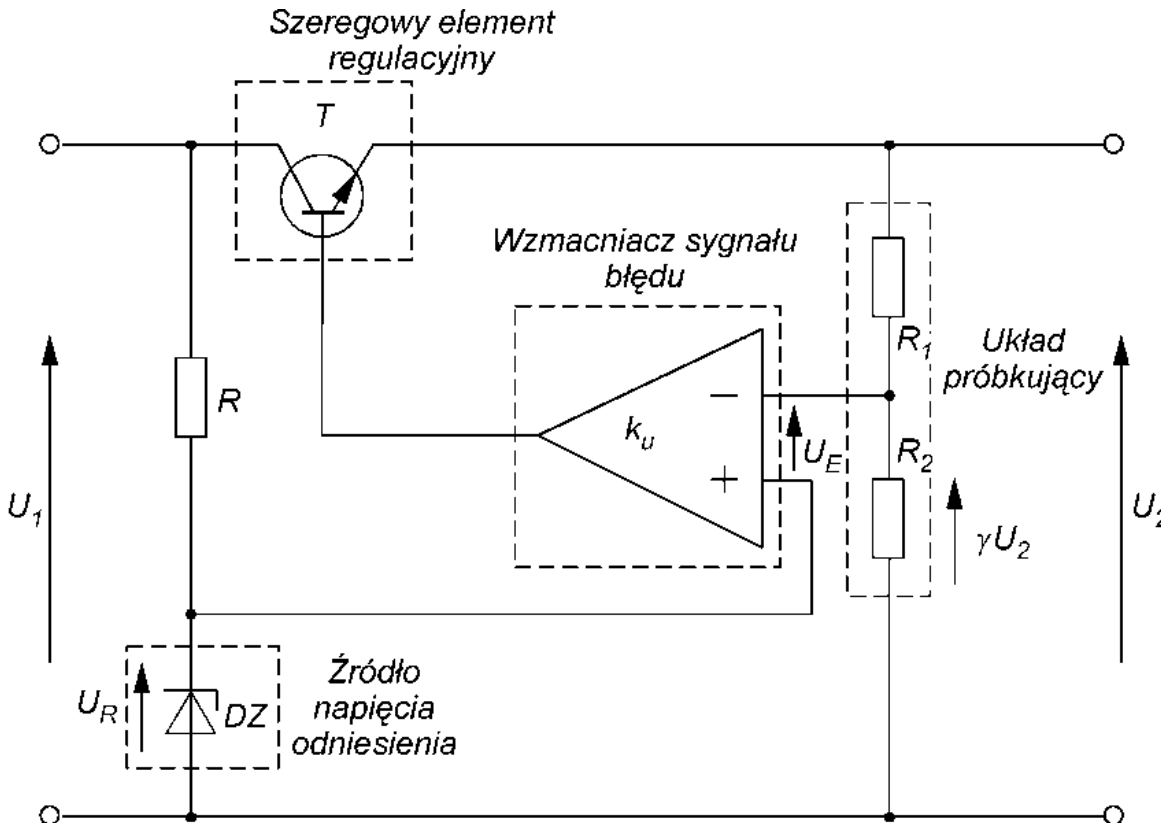
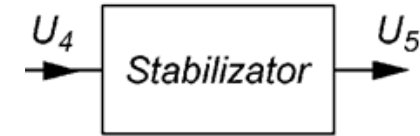
$$U_{we} = (I + I_0) R_s + U$$

1. Niech rezystancja obciążenia zwiększy się do wartości  $R'_0$ , gdzie  $R'_0 > R_0$

Następuje wtedy przesunięcie punktu pracy z punktu Q do Q<sub>1</sub>. Powoduje to zwiększenie przepływu prądu przez diodę, co pozwala zachować prawie taką samą wartość napięcia na obciążeniu  $R_0$ , mimo iż prąd przez nie płynący zmniejszył się.

2. Niech napięcie wejściowe  $U_{we}$  zmaleje do wartości  $U'_{we}$ , gdzie  $U'_{we} < U_{we}$   
Punkt pracy przemieści się z Q na Q<sub>2</sub>  
 Wtedy przez diodę popłynie mniejszy prąd, na  $R_0$  pozostanie prawie taka sama wartość napięcia.

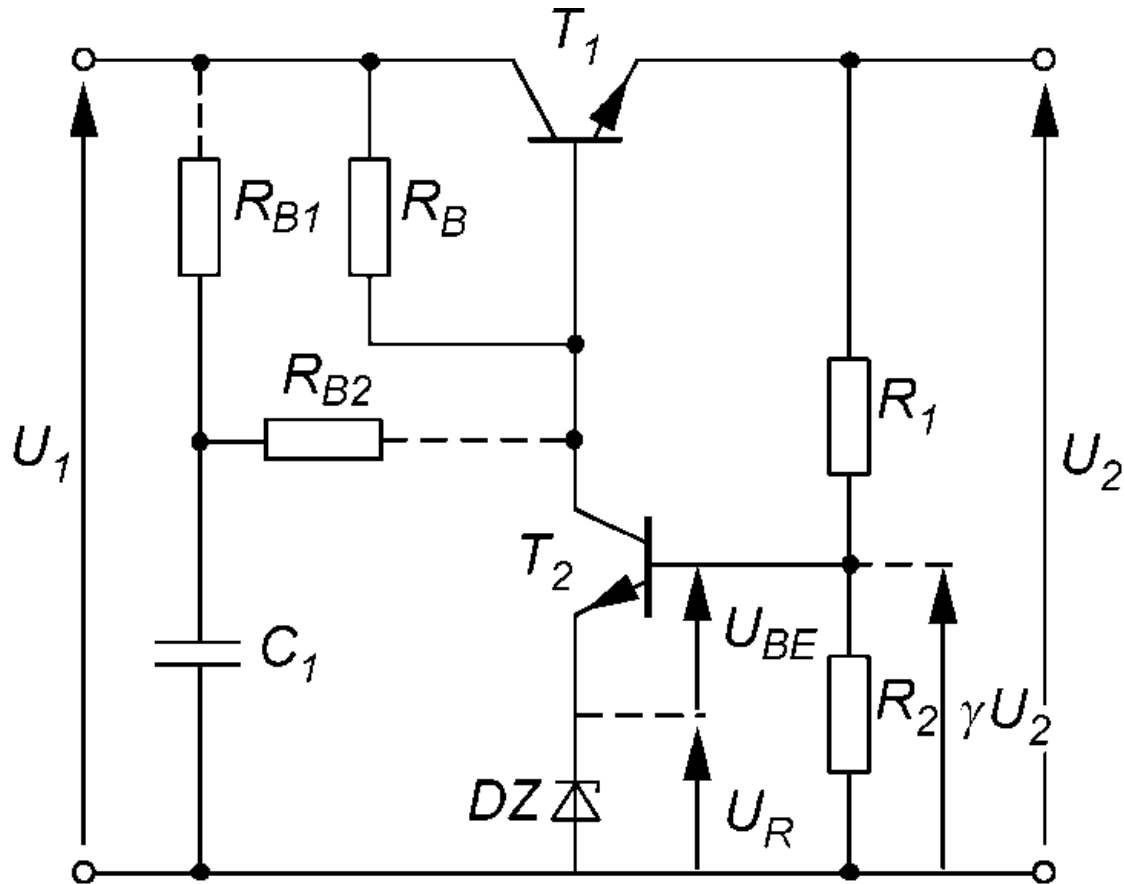
# Stabilizator ze sprzężeniem zwrotnym



Sygnał sterujący powstaje w ciągłym procesie porównywania napięcia wyjściowego  $U_2$  ze stałym napięciem odniesienia  $U_R$ . Różnica napięć  $U_R$  i napięcia  $U_2 \gamma = U_2 \frac{R_2}{R_1+R_2}$  nazywa się sygnałem błędu  $U_E$ . Napięcie sygnału błędu po wzmacnieniu przez wzmacniacz steruje pracą tranzystory  $T$ .



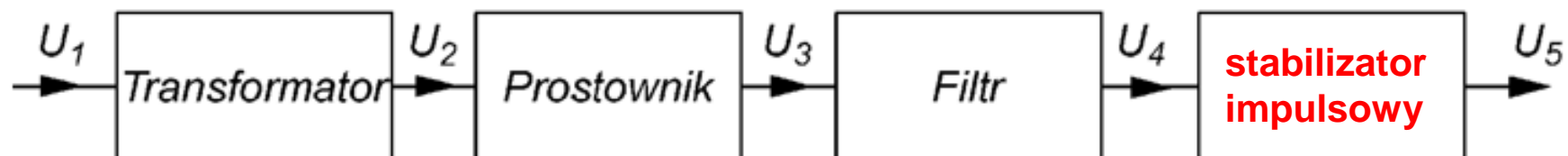
# Stabilizator – przykładowa realizacja układowa



**Stabilizator ze sprzężeniem zwrotnym z  
jednotranzystorowym wzmacniaczem błędu**

# zasilacze impulsowe

## Schemat blokowy zasilacza impulsowego z kluczkowaniem po stronie wtórnej

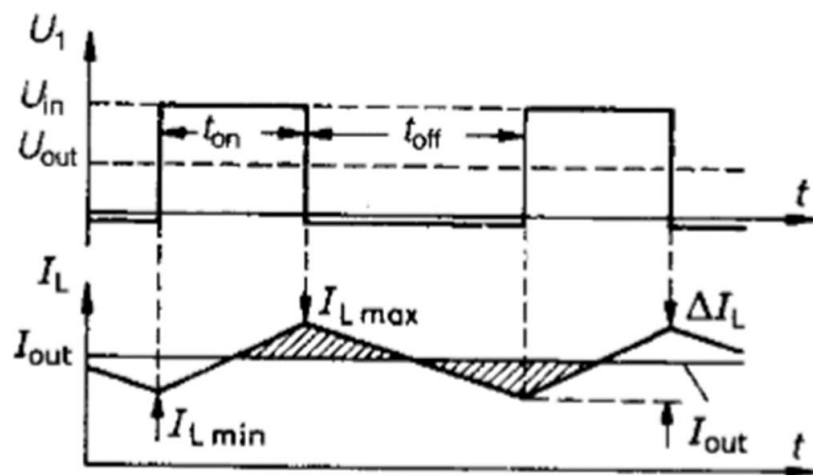
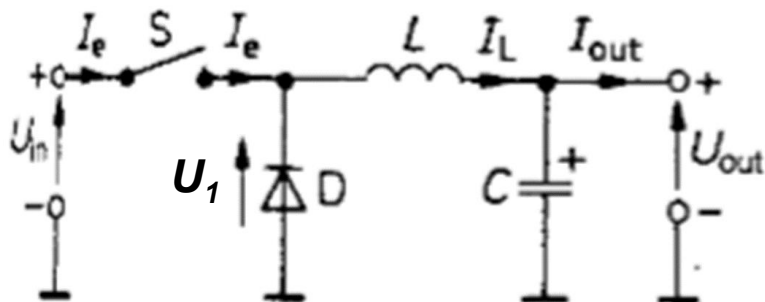


stabilizator impulsowy z kluczkowaniem po stronie wtórnej transformatora

# zasada pracy stabilizatora impulsowego

stosowane nazewnictwo:

stabilizator impulsowy, stabilizator impulsowy napięcia, komutator DC-DC, przetwornica napięcia stałego, układ przekazywania energii z indukcyjnym obwodem ładowania



napięcie wyjściowe

$$U_{out} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} U_{in} = p U_{in}$$

$p$  – współczynnik wypełnienia

Przy zwarciu klucza przez cewkę płynie prąd o wartości proporcjonalnej do różnicy napięcia wejściowego i wyjściowego, czasu zwarcia klucza a odwrotnie proporcjonalny do wielkości indukcyjności cewki.

W tym czasie w polu magnetycznym cewki gromadzona jest energia magnetyczna proporcjonalna do kwadratu prądu i wielkości jej indukcyjności.

Po otwarciu klucza prąd nadal płynie w tym samym kierunku (wykorzystywana jest właściwość cewki indukcyjnej – prąd nie zmienia się w sposób gwałtowny i jest podtrzymywany).

Prąd ten płynie w oczku: masa, dioda D (spolaryzowana w tej fazie pracy w kierunku przewodzenia), cewka indukcyjna L, kondensator C, masa.

Wielkość prądu maleje w czasie.

## LM2678-5

impulsowy stabilizatora napięcia firmy Texas Instruments

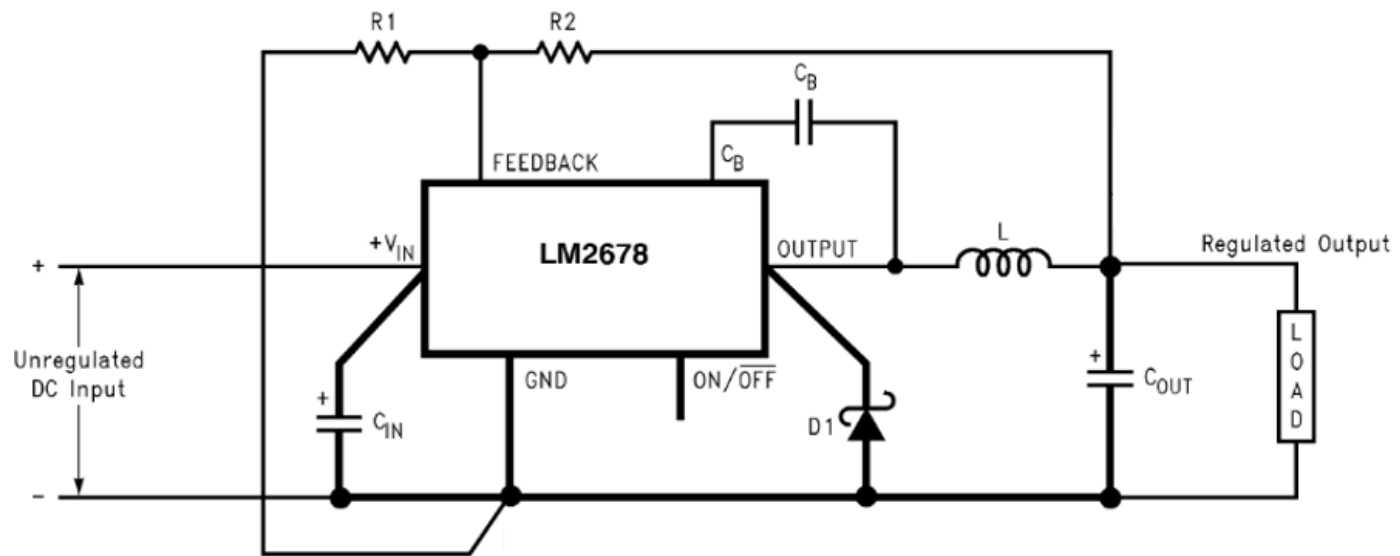


$U_{we} = \text{od } 8 \text{ V do } 40 \text{ V}$

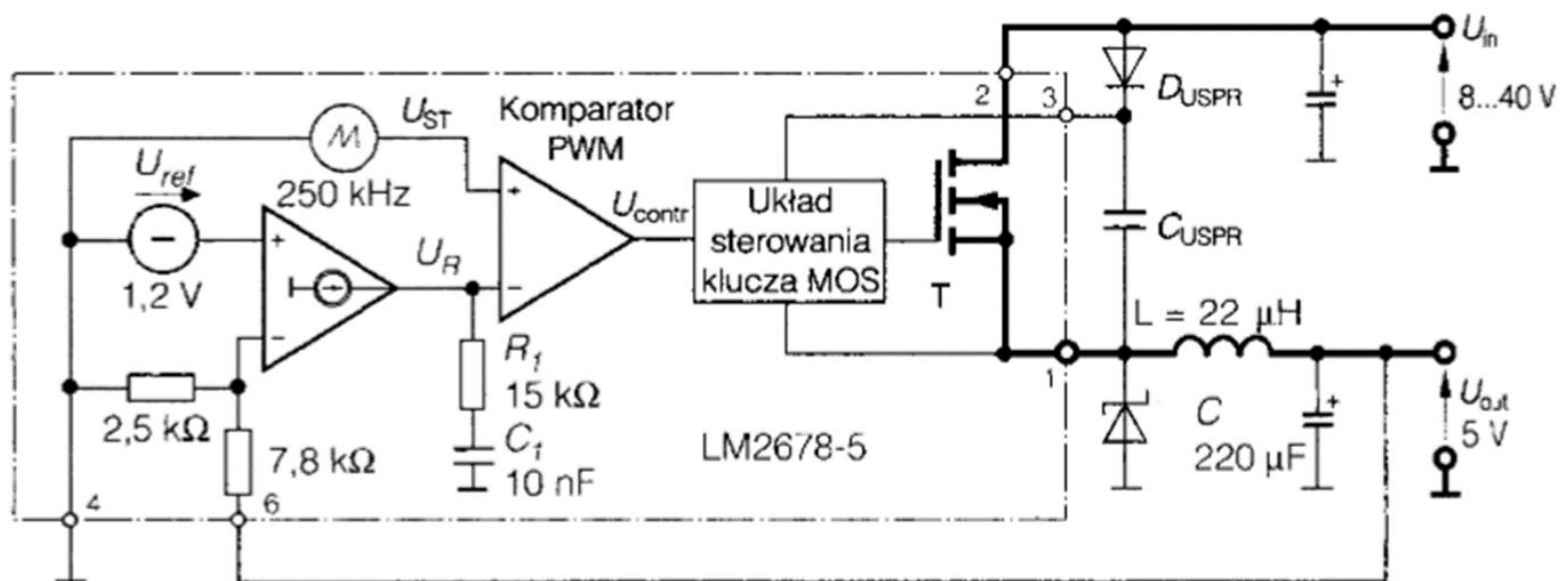
$U_{wy} = 5 \text{ V}$

$I_{max} = 5 \text{ A}$

częstotliwość przełączania 250 kHz



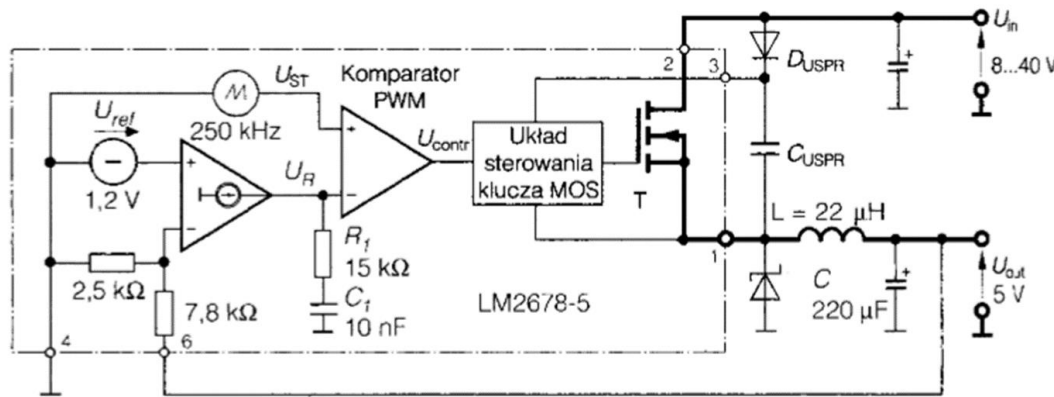
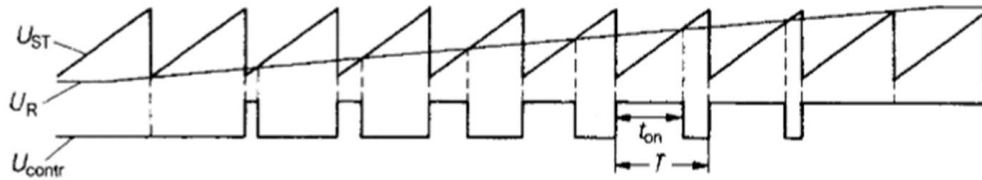
Sygnal sterujący pracą stabilizatora wytwarzany jest w modulatorze szerokości impulsów i wzmacniaczu błędów.



Modulator szerokości impulsów zawiera generator przebiegu piłokształtnego i komparator.

Wzmacniacz błędów na jednym wejściu ma napięcie odniesienia  $U_{ref}$ , na drugie wejście, poprzez dzielnik napięcia, doprowadzane jest napięcie wyjściowe tworząc pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego.

$U_{ST}$  – napięcie generatora przebiegu piłokształtnego  
 $U_R$  – napięcie wzmacniacza błędu  
 $U_{contr}$  – napięcie sterujące kluczem MOS



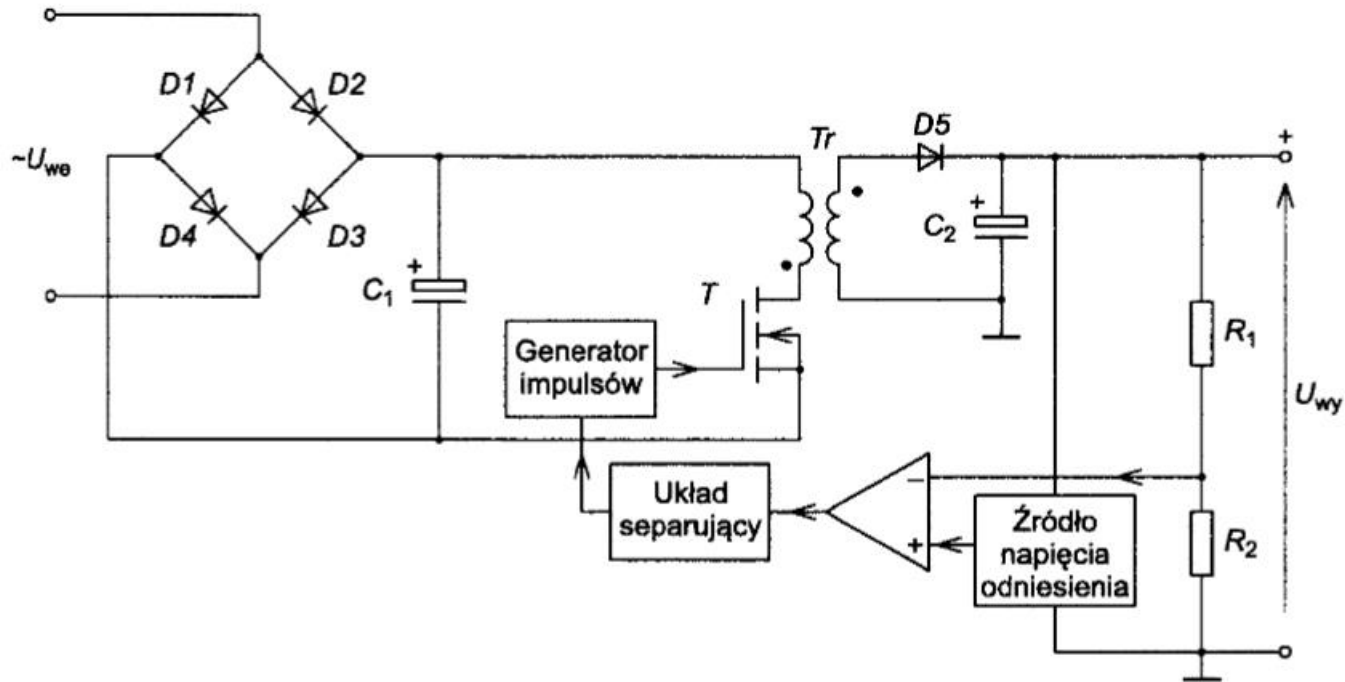
W przypadku gdy napięcie wzmacniacza błędu rośnie (dzieje się to wtedy, gdy napięcie wyjściowe spada – uwaga: odwrócenie fazy na wzmacniaczu błędu!) rośnie współczynnik wypełnienia przebiegu sterującego pracą klucza.

Do cewki indukcyjnej przekazywana jest coraz większa ilość energii celem wyrównania zapotrzebowania na wzrastający prąd obciążenia.

napięcie wyjściowe określa dzielnik napięcia sprzężenia zwrotnego i wielkość napięcia referencyjnego

$$U_{out} = \frac{2,5+7,8}{2,5} U_{ref} = 5 V$$

# Zasilacz impulsowy z kluczkowaniem po stronie pierwotnej



Klucz – tranzystor T - jest na potencjale sieci energetycznej

Tr – cewka magazynująca energię podczas kluczkowania i jednocześnie transformator wysokiej częstotliwości przekazujący napięcie na wyjście oraz separujący obwód wyjściowy od wejściowego

W obwodzie sprzężenia zwrotnego też jest układ separujący.

Separatorem może być mały transformator impulsowy lub transoptor



# Właściwości zasilaczy

## Zasilacze o działaniu ciągłym

- mają małą sprawność od 24% do 50%.
- mają większe gabaryty
- pracują na częstotliwości sieci energetycznej 50 Hz
- są mało skomplikowane układowo

## Zasilacze impulsowe

- mają dużą sprawność od 70% do 90%
- mają małe gabaryty
- pracują na częstotliwości kilkuset kHz w związku z tym stosowane elementy indukcyjne mają małe wymiary
- są skomplikowane układowo

# 12. Zasilacze

KONIEC

## Źródła

Tietze U., Schenk Ch: Układy półprzewodnikowe. WNT, Warszawa 2009

Chwaleba A. i in.: Podstawy elektroniki. WNT, Warszawa 2021

Ferenczi O.: Zasilanie układów elektronicznych. Zasilacze impulsowe. WNT, Warszawa 1989