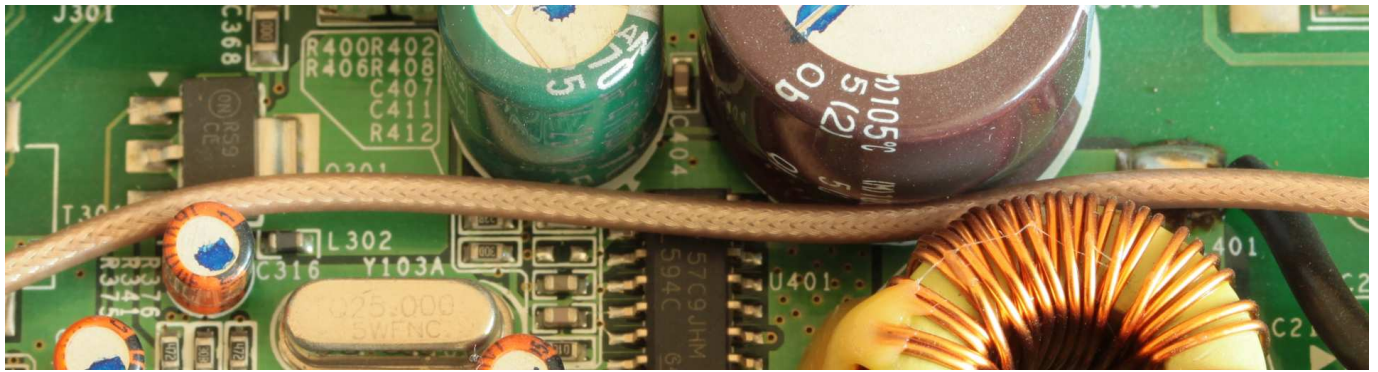




Analogowe układy urządzeń elektronicznych. Zagadnienia dotyczące parametrów, charakterystyki oraz budowy

- Wprowadzenie
- Obwód RLC
- Wtórnik emiterowy
- Wzmacniacze z tranzystorem bipolarnym
- Rodzaje wzmacniaczy z tranzystorem bipolarnym
 - Wzmacniacze mocy
 - Wzmacniacze selektywne
 - Układ Darlingtona
- Wzmacniacz operacyjny - układy pracy
- Filtry sygnałowe
- Rodzaje filtrów sygnałowych
 - Filtry pasywne
 - Filtry aktywne
- Generatory sygnałów
- Rodzaje generatorów sygnałów
 - Generatory sygnałów sinusoidalnych
 - Generatory sygnałów niesinusoidalnych
- Prostowniki jednofazowe
- Stabilizatory napięcia i zasilacze
- Komparatory sygnałów
- Modulacja AM, FM, PM
- Netografia i bibliografia

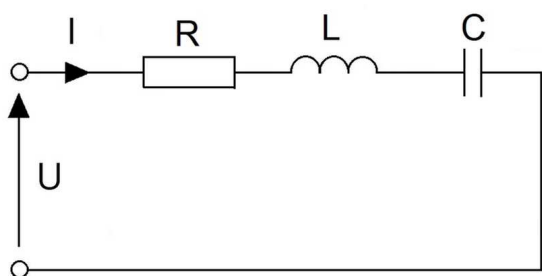
E-materiały do kształcenia zawodowego

Analogowe układy urządzeń elektronicznych. Zagadnienia dotyczące parametrów, charakterystyki oraz budowy

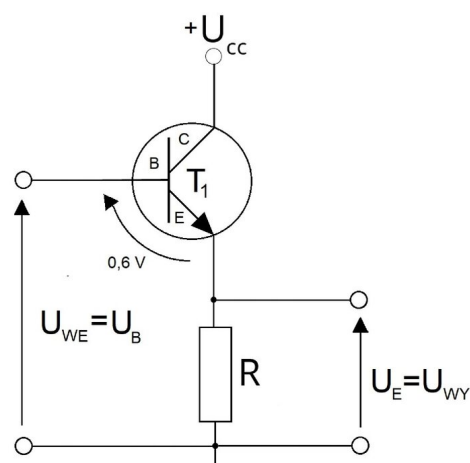
ELM.05 Eksploatacja urządzeń elektronicznych – Technik elektronik 311408

Konsultant merytoryczny: Katarzyna Sławińska

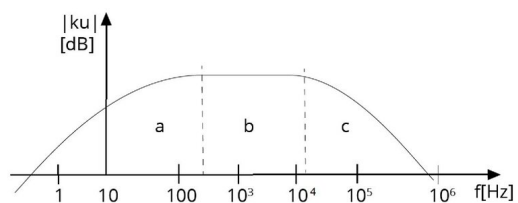
Spis treści



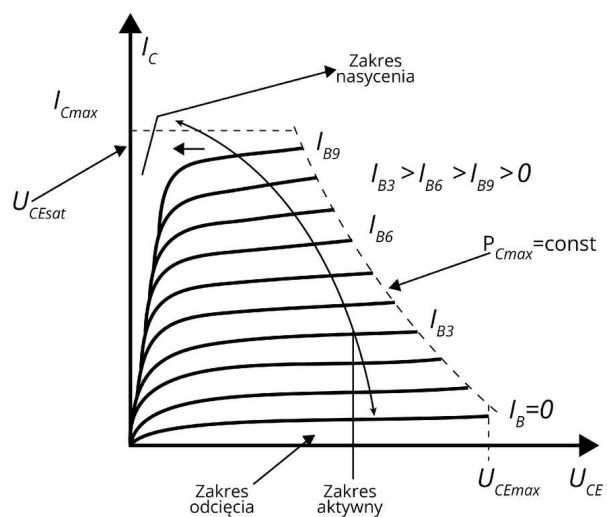
Obwód RLC



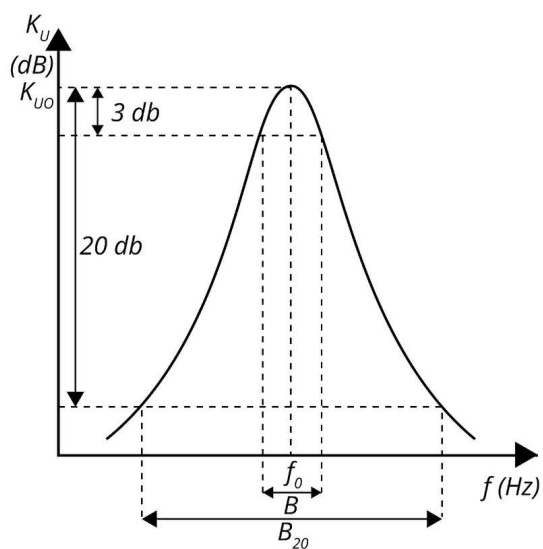
Wtórnik emiterowy



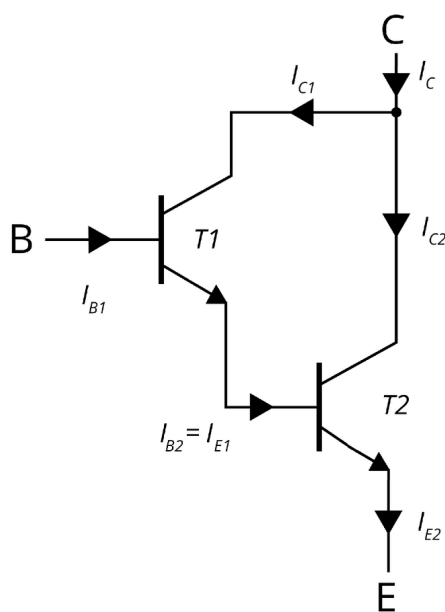
Wzmacniacze z tranzystorem bipolarnym



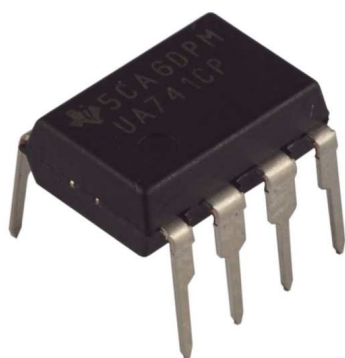
Wzmacniacze mocy



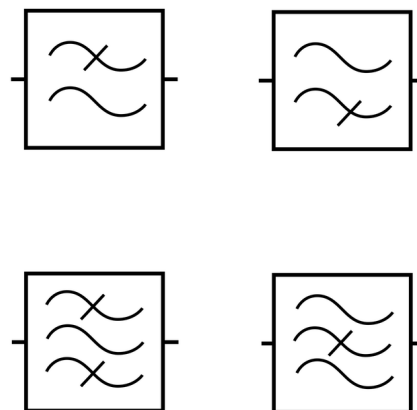
Wzmacniacze selektywne



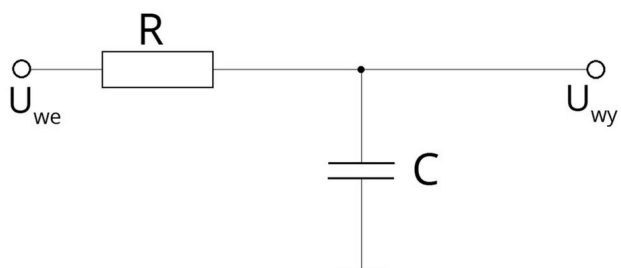
Układ Darlingtona



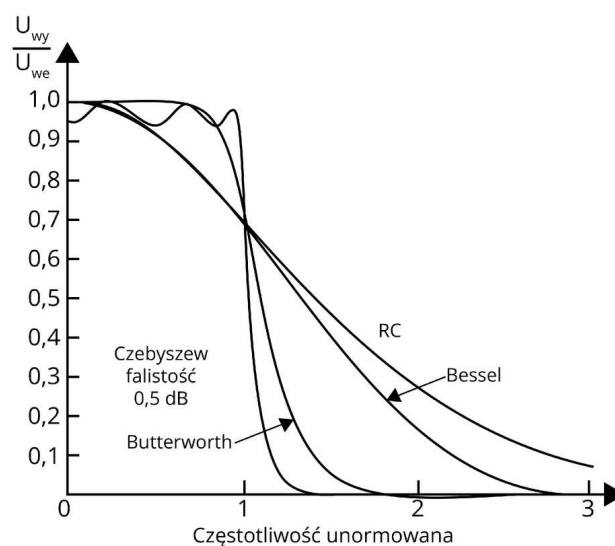
Wzmacniacz operacyjny - układy pracy



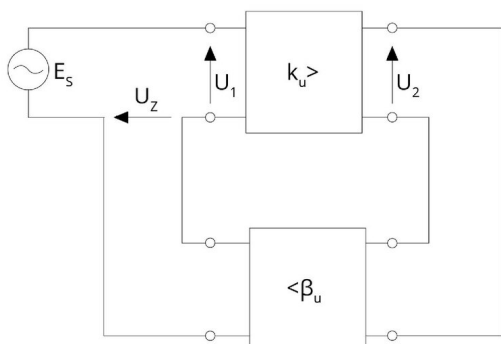
Filtry sygnałowe



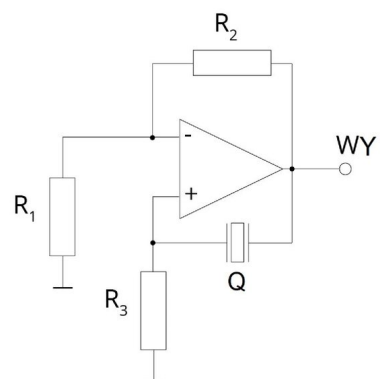
Filtry pasywne



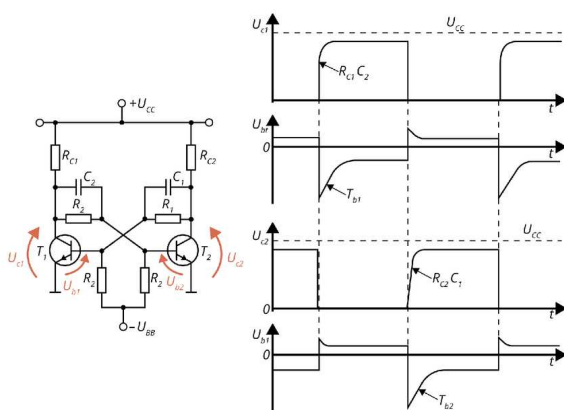
Filtry aktywne



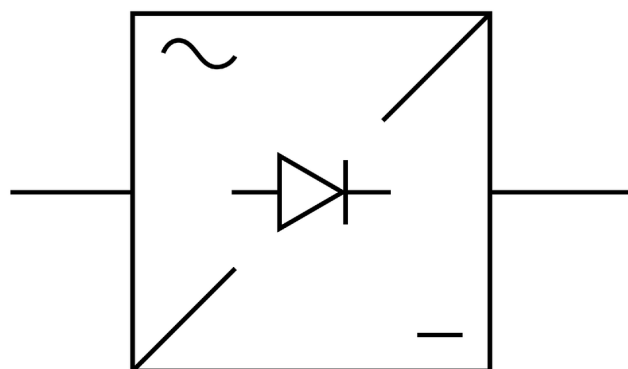
Generatory sygnałów



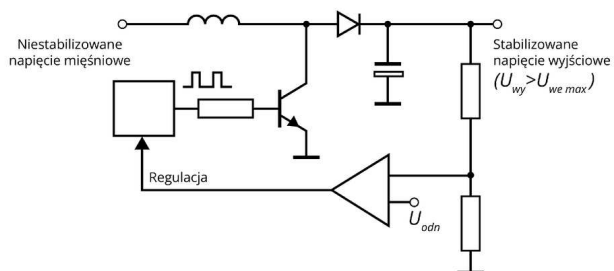
Generatory sygnałów sinusoidalnych



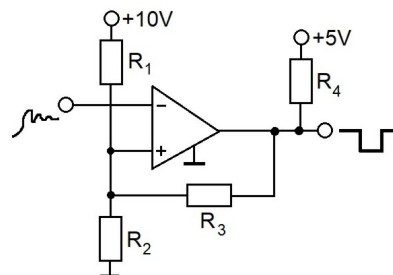
Generatory sygnałów niesinusoidalnych



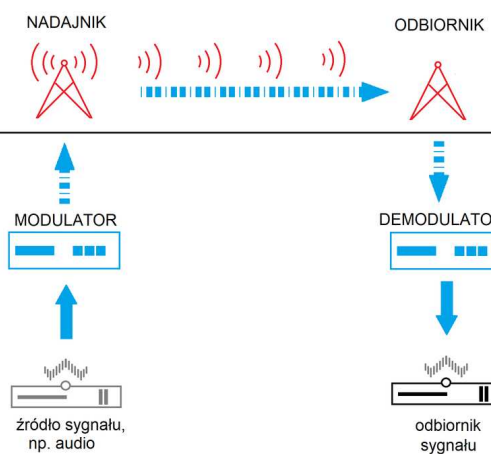
Prostowniki jednofazowe



Stabilizatory napięcia i zasilacze



Komparatory sygnałów



Modulacja AM, FM, PM

Netografia i bibliografia

[Powrót do materiału głównego](#)

Obwód RLC

Czym są analogowe układy urządzeń elektronicznych?

Analogowe układy urządzeń elektronicznych umożliwiają przetwarzanie sygnałów analogowych czyli wielkości określonych w każdej chwili czasu i posiadających nieskończony zbiór wartości. Opisuje je technika analogowa, zwana teorią obwodów i sygnałów, które mogą zmieniać się w sposób ciągły.

Analogowe układy urządzeń elektronicznych dzielimy na liniowe i nielinowe. Do tych ostatnich zaliczamy m.in. generator drgań (oscylator), pętlę sprzężenia fazowego, modulator, demodulator, prostownik i stabilizator (utrzymujący stałe napięcie na wyjściu).

Czym są obwody RLC?

Elementy pasywne (rezystancja, cewka, kondensator) mogą być w układzie połączone szeregowo, równolegle lub w sposób mieszany. Z punktu widzenia analizy tych układów, w podstawach elektrotechniki rozważa się przede wszystkim właściwości układu szeregowego i równoległego.

Dla obwodów zasilanych ze źródła napięcia sinusoidalnego o określonej częstotliwości f , elementy biernie są reprezentowane jako reaktancje zastępcze (wypadkowe) obwodu X lub susceptancje B :

- pojemnościowa

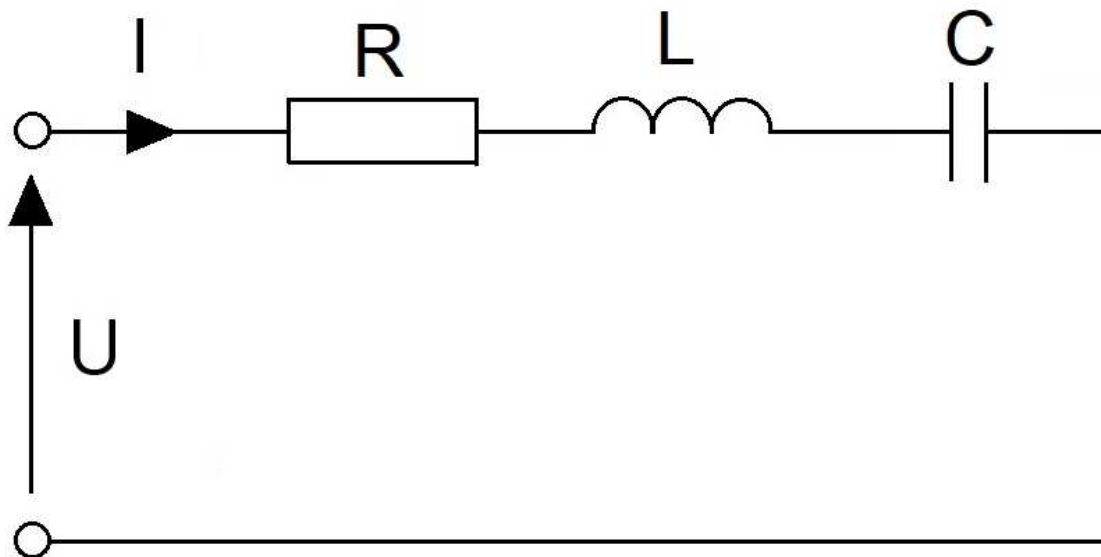
$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{B_c}$$

- indukcyjna

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{B_L}$$

Własności dwójnika szeregowego RLC:

- schemat układu:



Rys.1.1 Własności dwójnika szeregowego RLC - schemat układu

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- impedancja Z (całkowity opór w obwodzie prądu przemiennego (sinusoidalnie zmiennego))

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi} = R + j(X_L - X_C)$$

- moduł impedancji (zawada):

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- prawo Ohma:

$$U = Z \cdot I$$

- charakter obwodu:

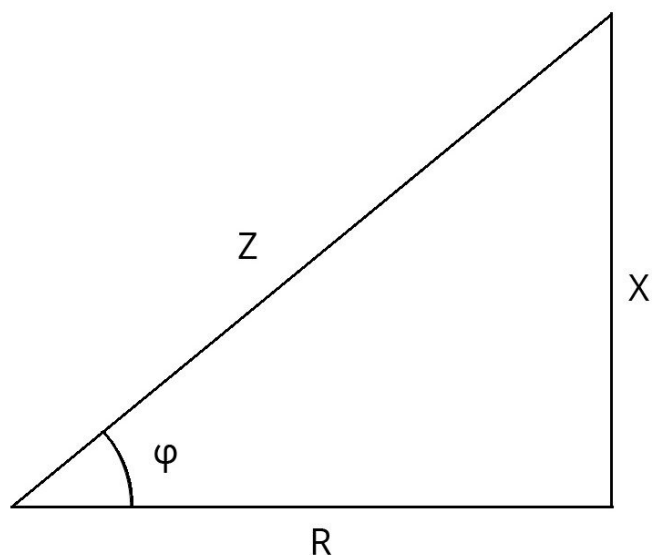
$$X = X_L - X_C$$

$X > 0$ – charakter indukcyjny

$X < 0$ – charakter pojemnościowy

$X = 0$ – charakter rezystancyjny

- trójkąt impedancji (prawdziwy dla obwodu RLC o charakterze indukcyjnym):



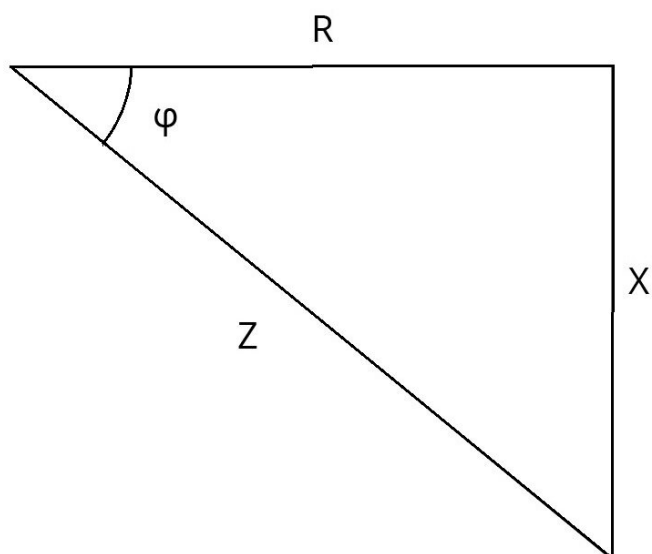
Rys.1.2 Własności dwójnika szeregowego RLC - trójkąt impedancji (prawdziwy dla obwodu RLC o charakterze indukcyjnym)

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$$

gdzie φ to kąt fazowy odbiornika (kąt pomiędzy napięciem i prądem).

- trójkąt impedancji (prawdziwy dla obwodu RLC o charakterze pojemnościowym):



Rys.1.3 Własności dwójnika szeregowego RLC - trójkąt impedancji (prawdziwy dla obwodu RLC o charakterze pojemnościowym).

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$$

- własności rezonansu:

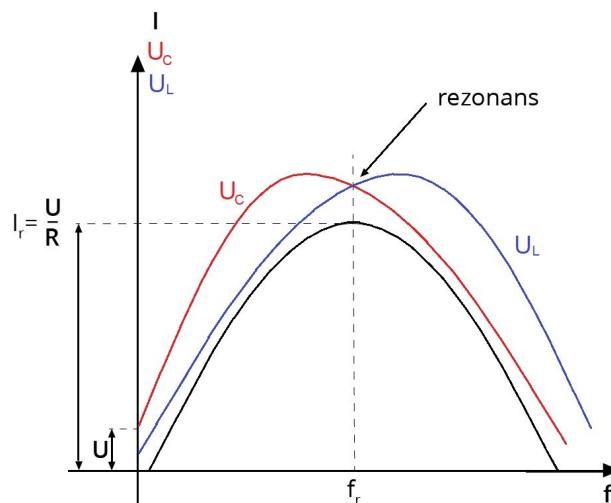
dla zależności poniżej występuje rezonans napięć (określa stan, w jakim znajduje się obwód), który stanowi zwarcie dla obwodu (może wystąpić uszkodzenie elementów). Natężenie prądu osiąga największą wartość, kąt przesunięcia fazowego jest równy zero, spadki napięć, co do wartości skutecznej, na elemencie indukcyjnym i pojemnościowym są sobie równe.

$$X_L = X_C$$

Częstotliwość rezonansową wylicza się ze wzoru:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

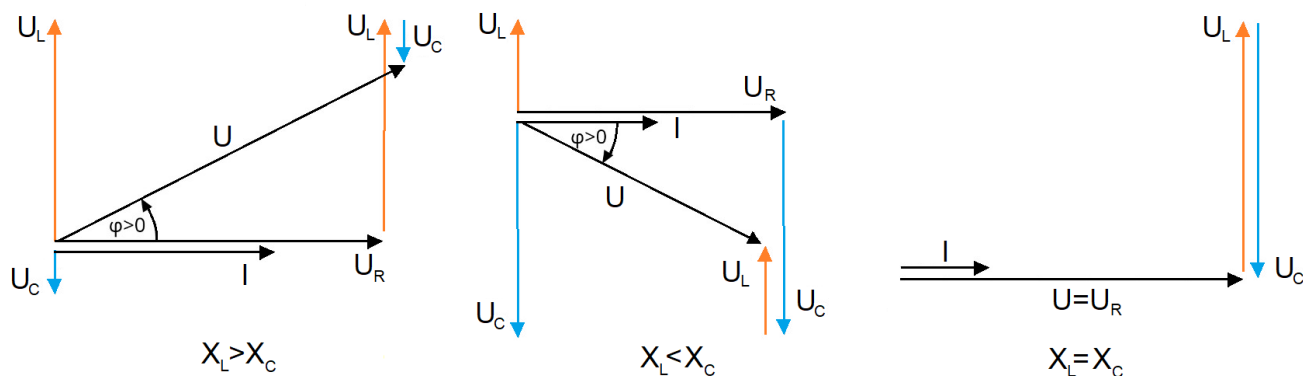
- charakterystyki częstotliwościowe:



Rys.1.4 Własności dwójnika szeregowego RLC - charakterystyki częstotliwościowe

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- wykresy wskazowe:

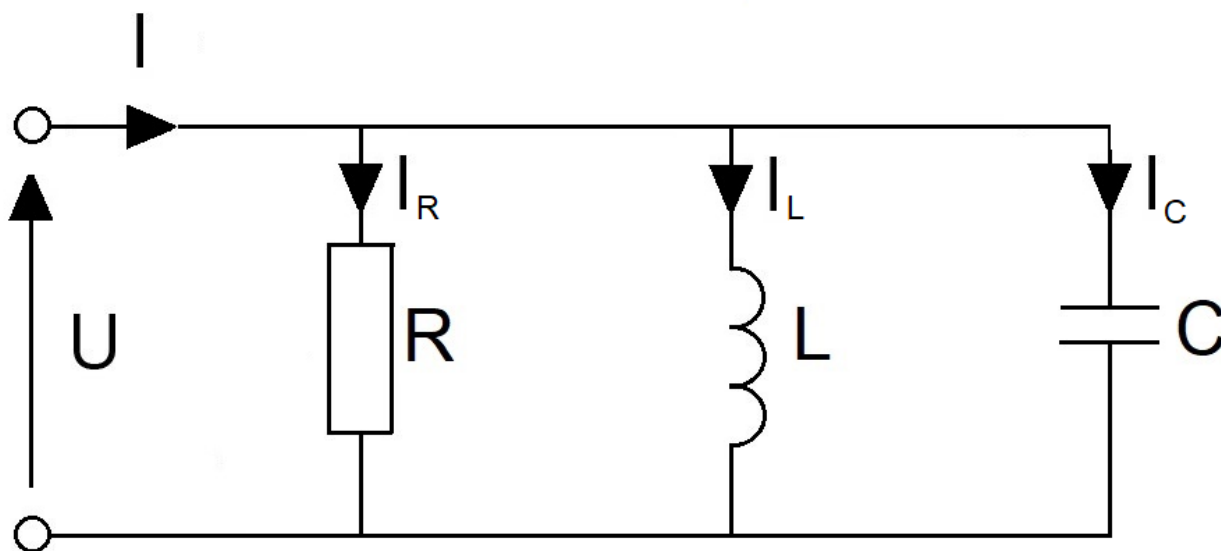


Rys.1.5 Własności dwójnika szeregowego RLC - wykresy wskazowe

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Własności dwójnika równoległego RLC:

- schemat układu:



Rys.1.6 Własności dwójnika równoległego RLC - schemat układu

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- admitancja Y (odwrotność impedancji; charakteryzuje całkowitą przewodność elektryczną w obwodach prądu przemiennego (sinusoidalnie zmiennego)):

$$Y^2 = G^2 + B^2$$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = Y \cdot e^{-j\varphi} = G + j(B_C - B_L)$$

- prawo Ohma:

$$I = Y \cdot U$$

- charakter obwodu:

$$B = B_C - B_L$$

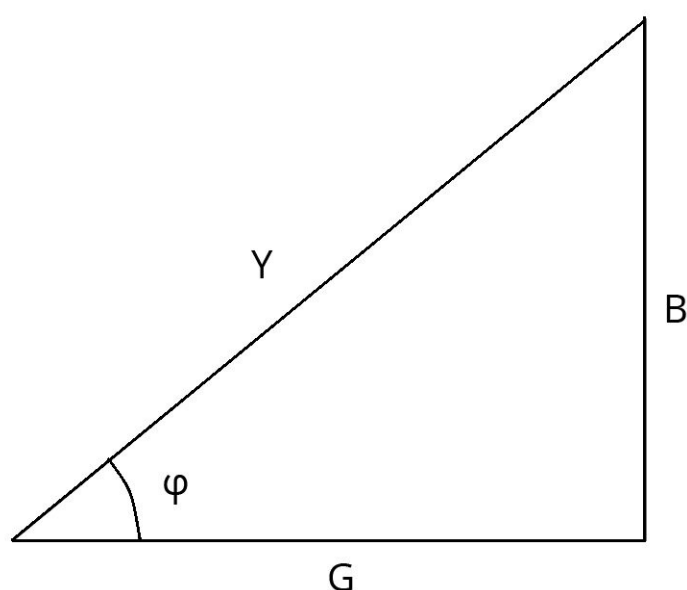
$B > 0$ – charakter pojemnościowy

$B < 0$ – charakter indukcyjny

$B = 0$ – charakter rezystancyjny

B – susceptancja obwodu

- trójkąt admitancji:



Rys.1.7 Własności dwójnika równoległego RLC - trójkąt admitancji

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- własności rezonansu:

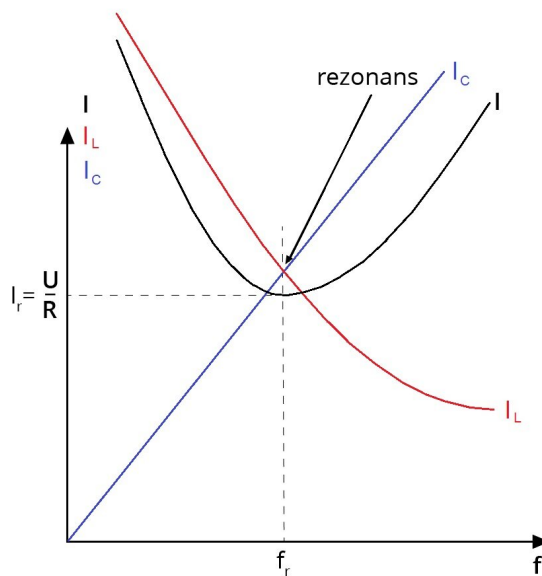
dla zależności przedstawionej poniżej występuje rezonans prądów, który stanowi przerwę w obwodzie i również jak w przypadku obwodu szeregowego może stanowić zagrożenie dla elementów układu

$$B_L = B_C$$

Częstotliwość rezonansową wylicza się ze wzoru:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

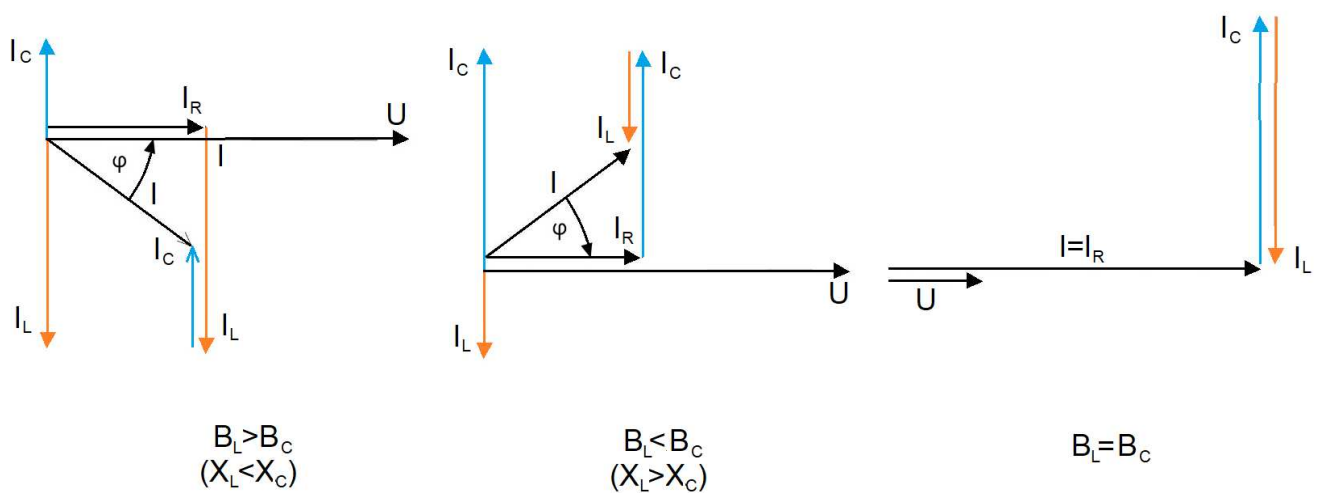
- charakterystyki częstotliwościowe:



Rys.1.8 Własności dwójnika równoległego RLC - charakterystyki częstotliwościowe

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- wykresy wskazowe:



Rys.1.9 Własności dwójnika równoległego RLC - wykresy wskazowe

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

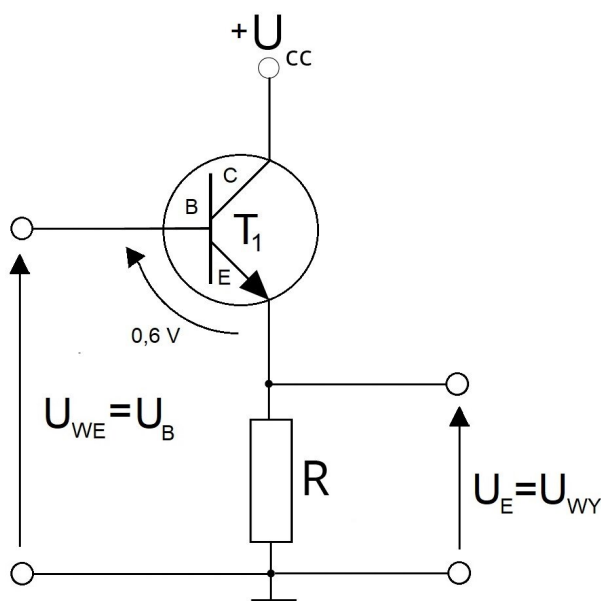
Wtórnik emiterowy

Wyjściem wtórnika emiterowego (Rys. 2.1) jest emiter tranzystora bipolarnego. Jest to wzmacniacz prądowy, który, przy praktycznie braku wzmocnienia napięciowego, jest również wzmacniaczem mocy. Dla tranzystora krzemowego napięcie wyjściowe $U_{WY} = U_E$ układu jest równe napięciu wejściowemu $U_{WE} = U_B$ pomniejszonemu o pojedynczy spadek napięcia na złączu baza – emiter, wynoszącym około 0,6 V. Zastosowanie wtórnika emiterowego związane jest z jego impedancją wejściową, znacznie większą niż dołączona impedancja wyjściowa. Oznacza to, że wtórnik emiterowy z dołączonym obciążeniem pobiera ze źródła mniejszą moc, niż bezpośrednio podłączone tylko obciążenie (chodzi o źródło sygnału, czyli U_{WE} , a nie źródło zasilania). Od strony wejścia sygnału prąd I_{we} jest znikomy, ze względu na dużą impedancję wejściową.

Uwaga! Wartość 0,6 V wynika z faktu, że tranzystor jest wykonany z krzemu (to najczęściej stosowany materiał). W przypadku mniej rozpowszechnionych tranzystorów: germanowego i arsenko-galowego, napięcie baza – emiter nie wynosi 0,6 V, gdyż napięcie polaryzacji zależy od właściwości materiałowych półprzewodnika (jest to tzw. napięcie wbudowane).

Parametrem każdego wzmacniacza jest współczynnik wzmocnienia. Cechą charakterystyczną wtórnika emiterowego jest współczynnik wzmocnienia napięciowego, który w przybliżeniu jest równy 1.

$$U_E = U_B - 0,6$$



Rys.2.1 Wtórnik emiterowy. C - kolektor tranzystora T1; B - baza tranzystora T1; E - emiter tranzystora T1

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

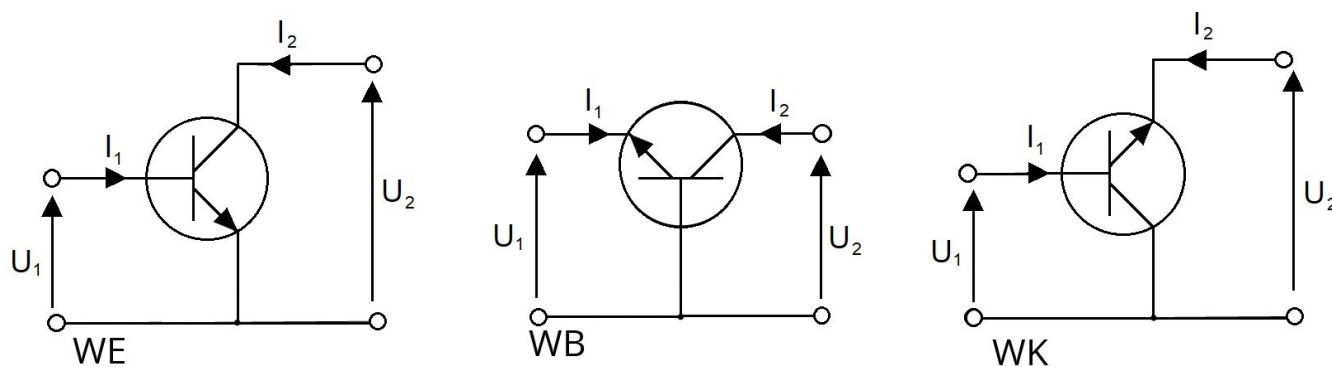
[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Wzmacniacze z tranzystorem bipolarnym

Tranzystory bipolarne są elementami o trzech końcówkach, w związku z czym mogą pracować w trzech układach połączeń. Analiza tych układów związana jest z ich przedstawieniem w postaci czwórnikowej.

Wyróżnia się więc konfiguracje pracy (Rys. 3.1): wspólnego emitera (WE), wspólnej bazy (WB) i wspólnego kolektora (WK). Każdy z układów charakteryzuje się pewnymi właściwościami, przy czym podstawową konfiguracją, wynikającą z najkorzystniejszych właściwości, do budowy wzmacniaczy jest układ wspólnego emitera. Konfiguracje wspólnego kolektora lub wspólnej bazy stosowane są w celu zapewnienia poziomu określonego parametru, np. dużej impedancji wejściowej (WK), separacji stopni wzmacniacza (WB).

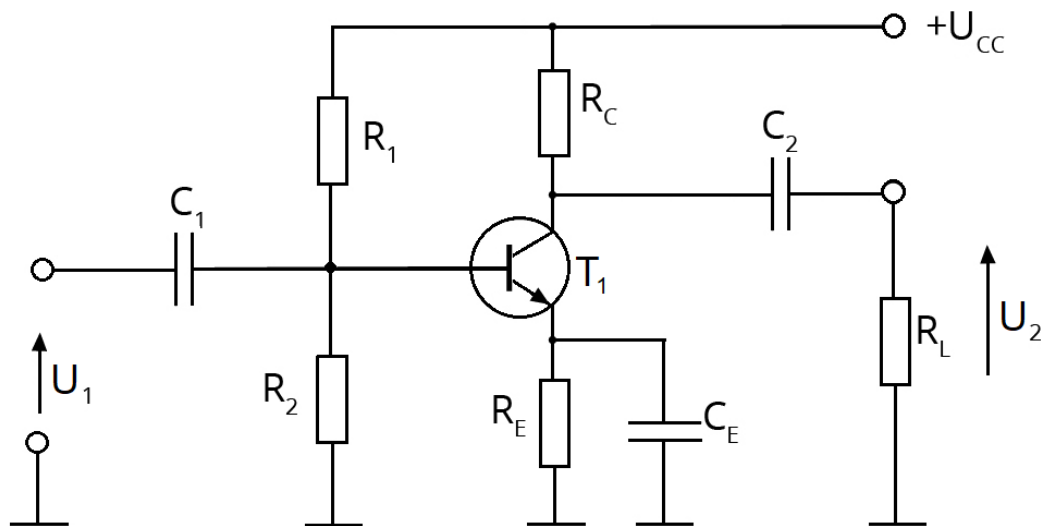


Rys. 3.1 Podstawowe układy pracy tranzystora bipolarnego: wspólny emiter WE, wspólna baza WB, wspólny kolektor WC.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Parametr	WE	WK	WB
wzmocnienie napięciowe	duże	mniejsze od 1	duże
wzmocnienie prądowe	duże	duże	mniejsze od 1
wzmocnienie mocy	bardzo duże	niewielkie	niewielkie
impedancja wejściowa	średnia	duża	mała
impedancja wyjściowa	średnia	mała	bardzo duża
przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego do sygnału wejściowego	180°	0°	0°

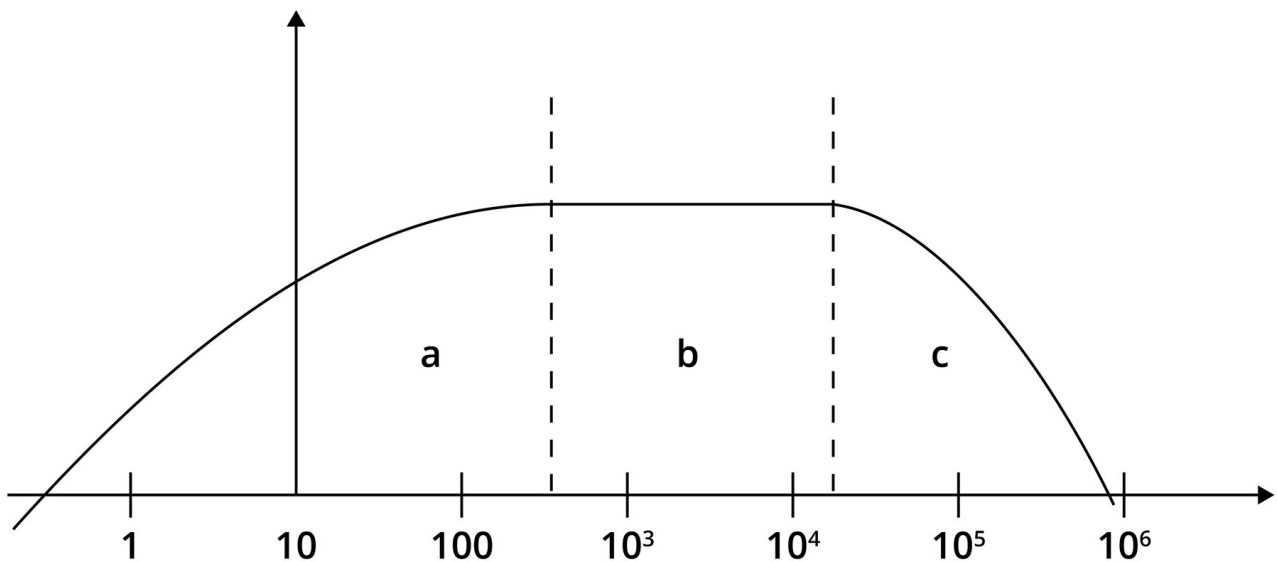
Ze względu na właściwości najczęściej stosuje się wzmacniacze pracujące w układzie wspólnego emitera (Rys. 3.2). Typowym układem jest wzmacniacz z potencjometrycznym zasilaniem bazy i sprzężeniem emiterowym. Zapewnia on dobrą stabilizację punktu pracy tranzystora. Na wejściu oraz wyjściu takiego wzmacniacza zastosowano kondensatory, których zadaniem jest przede wszystkim odseparowanie układu od zewnętrznych napięć stałych oraz sprzęgnięcie źródła sygnału i odbiornika z wzmacniaczem. Takie układy wzmacniaczy nazywane są wzmacniaczami ze sprzężeniem pojemnościowym.



Rys. 3.2 Wzmacniacz z tranzystorem bipolarnym w układzie wspólnego emitera.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Wzmacniacze ze sprzężeniem pojemnościowym stosowane są w szerokim paśmie częstotliwości (Rys. 3.3), dlatego znalazły zastosowanie dla sygnałów akustycznych. Spadek wzmocnienia przy małych częstotliwościach wynika ze wzrostu reaktancji kondensatorów C_1 i C_2 oraz kondensatora C_E . W zakresie dużych częstotliwości zmniejsza się wzmocnienie samego tranzystora, także z powodu pojemności montażowych i pasożytniczych związanych z elementami wzmacniacza. W środkowej części charakterystyki wzmocnienie jest praktycznie stałe i zakres ten nazywa się zakresem średnich częstotliwości.

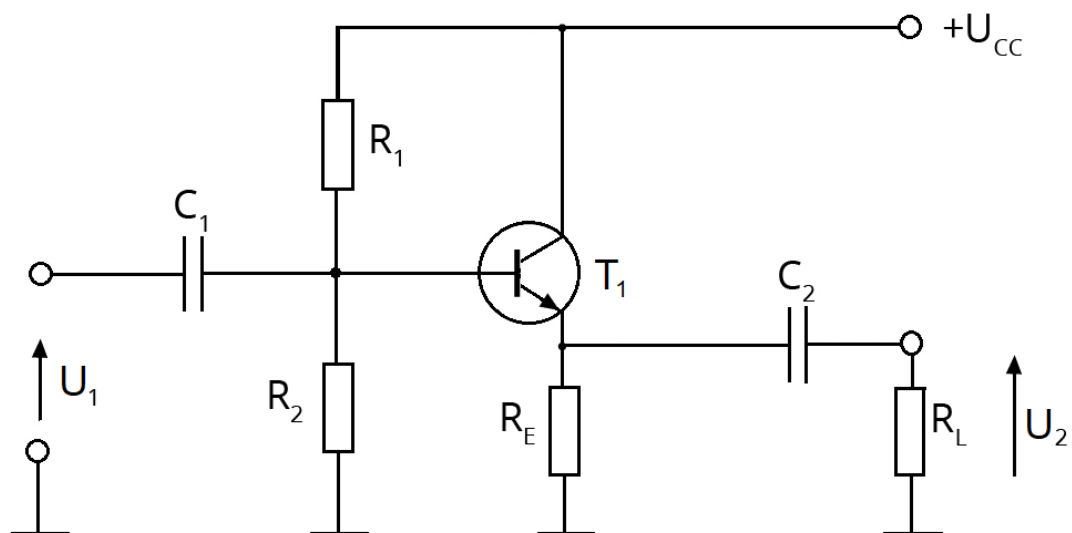


Rys. 3.3 Typowa charakterystyka amplitudowa wzmacniacza RC i jej podział na zakresy: a - małych, b - średnich, c - dużych częstotliwości

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

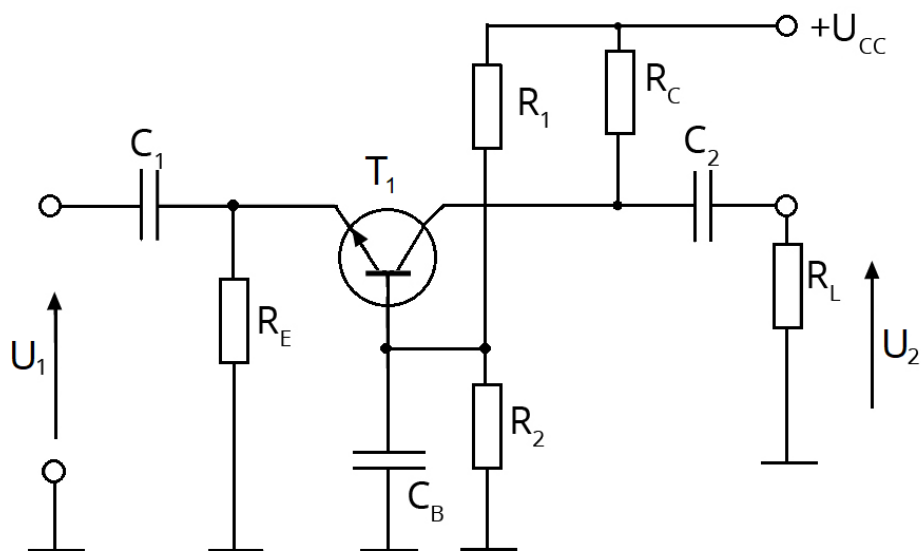
Podstawowymi parametrami roboczymi wzmacniacza są: wzmocnienie napięciowe, wzmocnienie prądowe, rezystancja wejściowa i rezystancja wyjściowa, pasma przenoszenia, częstotliwości dolnej i górnej. Z punktu wyznaczania parametrów wzmacniacza istotne jest wyznaczenie charakterystyki przenoszenia (pasma przenoszenia). Charakterystyka ta wyznacza zakres częstotliwości (częstotliwości dolna i górna), w którym tłumienie sygnału jest nie większe niż 3 dB, tzn. następuje spadek wartości amplitudy o 3 dB.

We wzmacniaczu ze wspólnym kolektorem (Rys. 3.4) wzmocnienie napięciowe jest mniejsze od 1, zaś dla układu z wspólną bazą (Rys. 3.5) wzmocnienie prądowe jest mniejsze od 1. Z tego powodu układy te są rzadziej stosowane jako oddzielne wzmacniacze, lecz wykorzystywane są ich właściwości w połączeniu ze wzmacniaczem w układzie wspólnego emitera (jest to wtórnik emiterowy).



Rys. 3.4 Wzmacniacz z tranzystorem w konfiguracji wspólnego kolektora

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.



Rys. 3.5 Wzmacniacz z tranzystorem w konfiguracji wspólnej bazy

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

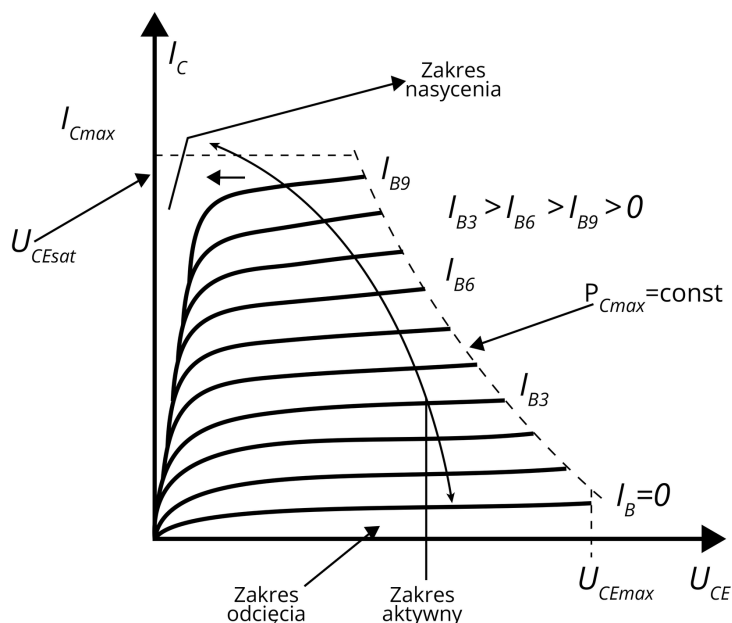
[Powrót do materiału głównego](#)

Wzmacniacze mocy

Wzmacniacze mocy są układami elektronicznymi, w których do obciążenia dostarczana jest duża moc, przy zachowaniu dużej sprawności (czyli stosunku mocy wyjściowej łącznej do poboru mocy z sieci) i małych zniekształceń (czyli różnorodnym zmianom sygnału w stosunku do oryginału).

Istotnym problemem we wzmacniaczach mocy jest zapewnienie odpowiedniego chłodzenia elementów. Jest to spowodowane faktem wydzielania się znacznych ilości ciepła. Wzmacniacze mocy znalazły zastosowanie m.in. w sprzęcie akustycznym.

Zastosowanie tranzystorów bipolarnych we wzmacniaczach mocy jest ograniczone maksymalnymi wartościami mocy strat, napięć i prądów (Rys. 3.6). Zakres pracy przedstawiany jest na podstawie charakterystyk wyjściowych tranzystora.



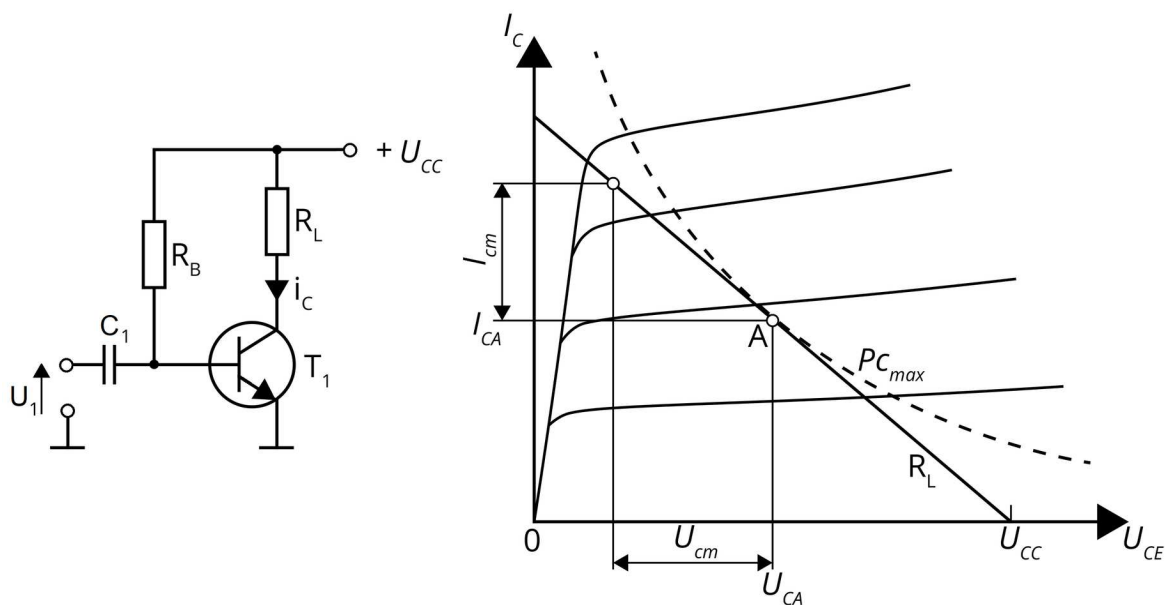
Rys.3.6 Dopuszczalny obszar pracy tranzystora bipolarnego

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Podstawowymi układami pracy wzmacniaczy mocy są:

- wzmacniacz z obciążeniem rezystancyjnym (Rys. 3.7);
- wzmacniacz z sprzężeniem transformatorowym (Rys. 3.8).

Wzmacniacz mocy z obciążeniem rezystancyjnym, włączonym w obwód kolektora, charakteryzuje się niewielką sprawnością, teoretycznie mogącą osiągnąć maksymalnie 25% (w praktyce nie przekracza 20%). Jest to spowodowane przepływem składowej stałej w obciążeniu i – w związku z tym – wydzielaniem się niepotrzebnych strat. W układzie tym największa moc wyjściowa jest ograniczona do wartości P_{Cmax} .



Rys.3.7 Wzmacniacz z obciążeniem rezystancyjnym w obwodzie kolektora: schemat i charakterystyka robocza. A - punkt pracy oraz określające go: I_{CA} - prąd kolektora, U_{CA} - napięcie kolektor-emitery, R_L - prosta obciążenia, U_{cm} - zakres napięcia od minimalnego do pkt pracy, I_{cm} - zakres prądu od pkt pracy do maksymalnego
 Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

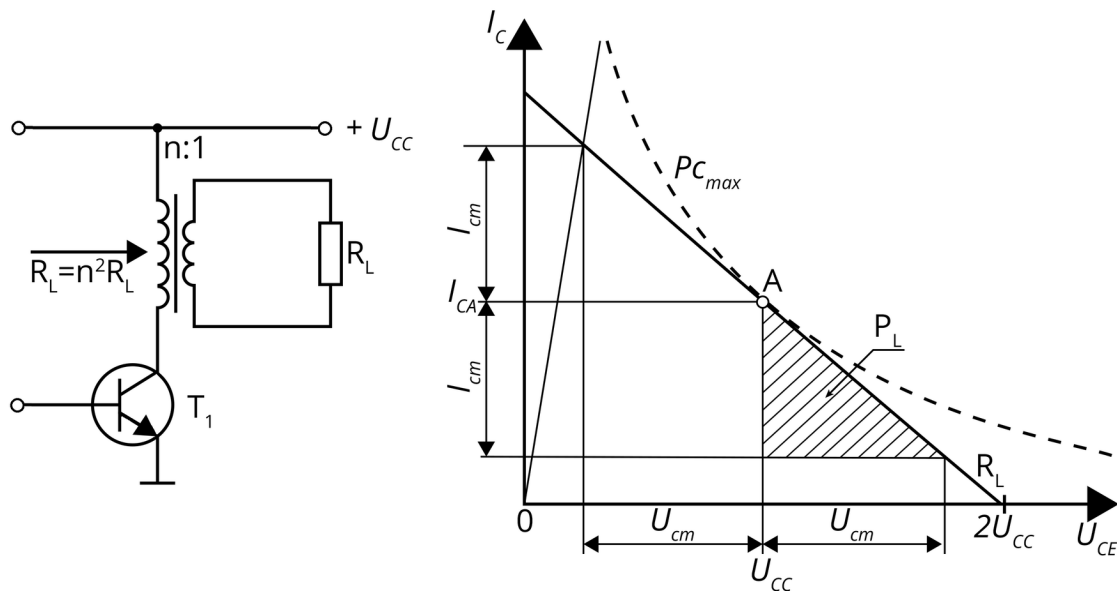
$$U_{CA} = \frac{U_{CC}}{2}$$

$$I_{CA} = \frac{2P_{C_{max}}}{U_{CC}}$$

Ze względu na wady wzmacniacz z obciążeniem rezystancyjnym nie jest stosowany w układach do wzmacniania sygnałów sinusoidalnych. Może być jednak używany do sterowania elektromagnesem, zasilania elementów grzejnych. Układ z rys.3.7 jest wykorzystaniem tranzystora bipolarnego jako klucza tranzystorowego. W układzie tym niewielki prąd bazy powoduje przepływ prądu w obwodzie kolektora o wielokrotnie większej wartości, zależnej od współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora. Oczywiście możliwość zastosowania tranzystora jest ograniczona maksymalnymi wartościami prądu kolektora, prądu bazy, napięcia kolektor-emitery. Należy również pamiętać, że zastosowanie elementów indukcyjnych, takich jak elektromagnes, wymusza bocznikowanie cewki diodą, spolaryzowaną w kierunku zaporowym w stosunku do źródła zasilania. Brak tej diody powoduje uszkodzenie tranzystora w wyniku pojawienia się dużego napięcia na kolektorze tranzystora w chwili jego wyłączenia.

Wzmacniacz mocy ze sprzężeniem transformatorowym ma dołączone poprzez transformator obciążenie do tranzystora. Takie rozwiązanie pozwala na dwukrotne zwiększenie sprawności wzmacniacza. W układzie maksymalna moc wyjściowa

ograniczona jest krzywą P_{Cmax} . Przy braku zniekształceń prądu kolektora i pełnymysterowaniu maksymalna sprawność osiąga wartość 50%. Ze względu na nieliniowość tranzystora i dodatkowe straty w transformatorze w rzeczywistym układzie sprawność wzmacniacza wynosi 30–40%. Ponieważ chwilowe wartości napięć pomiędzy kolektorem a emiterem mogą osiągnąć dwukrotną wartość napięcia zasilania U_{CC} , należy spełnić warunek $U_{CC} < U_{CEmax}/2$.



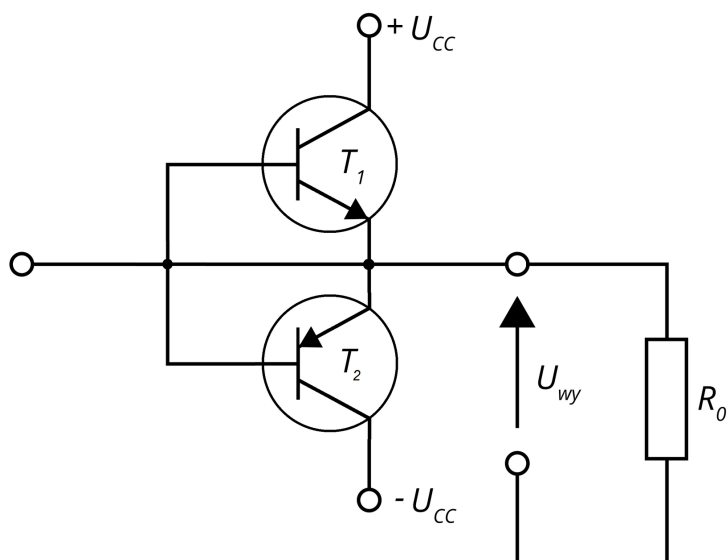
Rys.3.8 Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym: schemat i charakterystyka robocza

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Układ wzmacniacza ze sprzężeniem transformatorowym znalazł powszechnie zastosowanie w układach akustycznych. Jednak ze względu na konieczność zapewnienia dobrej jakości w całym zakresie częstotliwości akustycznych (16 Hz–20k Hz) wymaga się zastosowania dobrej jakości transformatora. Stosuje się odpowiednio nawinięte transformatory, wykonane z bardzo dobrych materiałów magnetycznych.

Podane powyżej wartości sprawności dla wzmacniaczy z obciążeniem rezystancyjnym i sprzężeniem transformatorowym odnosiły się do przypadku, w którym prąd kolektora płynie przez cały czas. Właściwości można poprawić, zakładając, że moc pobierana z zasilania będzie uzależniona odysterowania wzmacniacza. W związku z tym określa się tzw. klasy pracy wzmacniacza:

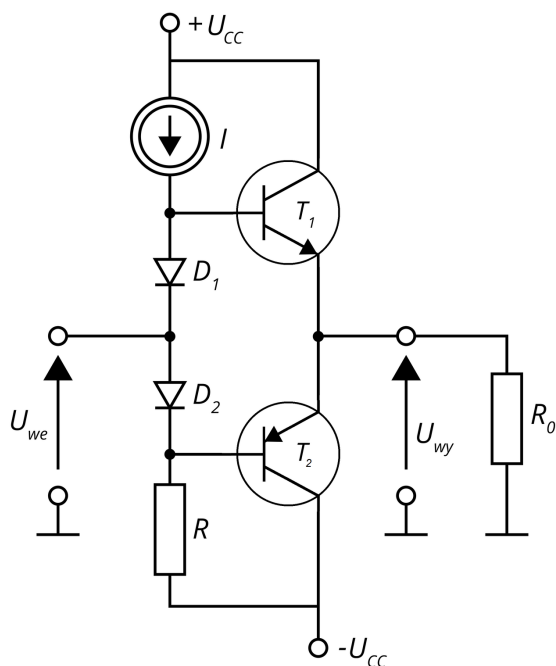
- klasa A – kąt przewodzenia wynosi 360° ; maksymalna sprawność nie przekracza 50%;
- klasa B – kąt przewodzenia wynosi 180° , w związku z czym należy zastosować dwa tranzystory wzmacniające sygnał przez pół okresu (układy przeciwobne); maksymalna sprawność wynosi ok. 78%;



Rys. 3. 9 Wzmacniacz tranzystorowy klasy B

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

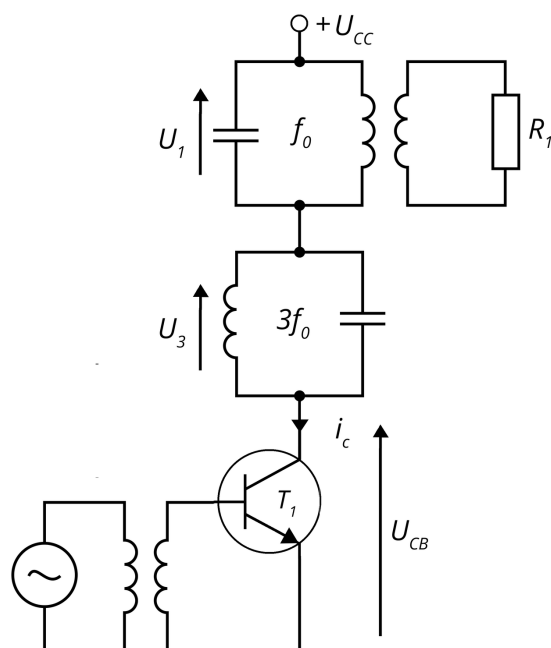
- klasa AB – kąt przewodzenia zawiera się w przedziale $180^\circ - 360^\circ$; jest to układ pośredni pomiędzy klasami A i B;



Rys. 3. 10 Wzmacniacz tranzystorowy klasy AB

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

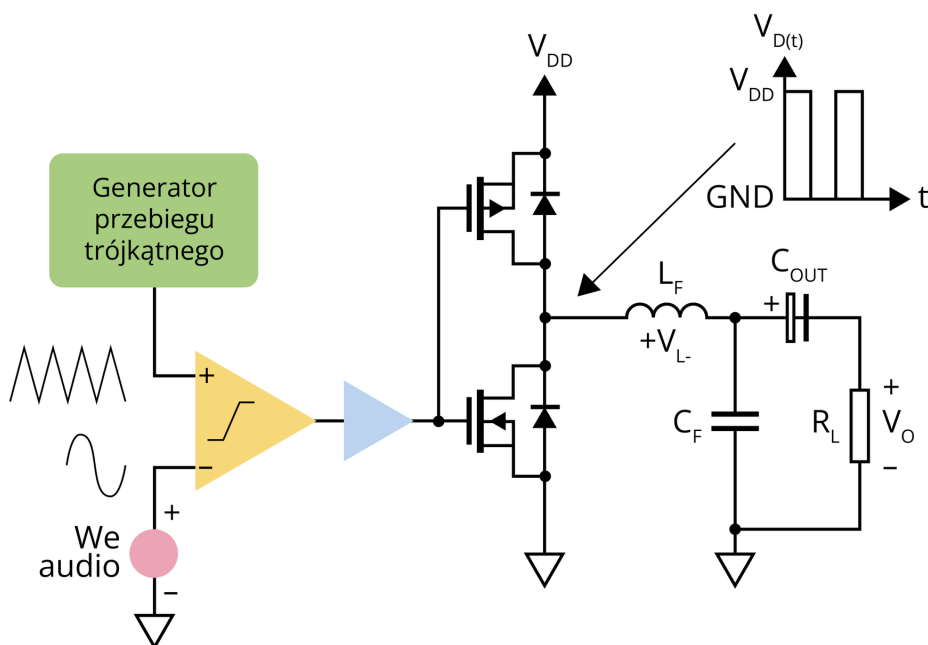
- klasa C – kąt przewodzenia jest mniejszy niż 180° ; nie może być stosowana we wzmacniaczach akustycznych, ponieważ nawet w układach przeciwobnych nie wzmacnia części sygnału i powoduje zniekształcenia (stosowane są np. w nadajnikach radiowych); praktyczna sprawność wynosi ok. 80%; odmianą jest klasa E, w której stosuje się obwody rezonansowe;



Rys. 3. 11 Wzmacniacz rezonansowy klasy E

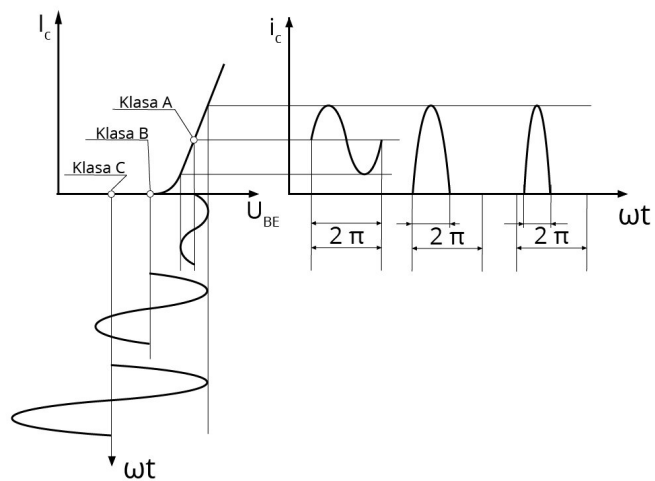
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- klasa D – układy, w których tranzystory przełącza się pomiędzy zatkanie a nasyceniem; wartość średnią prądu tranzystora uzyskuje się przez zmianę współczynnika wypełnienia; częstotliwość przełączania jest filtrowana przez filtr dolnoprzepustowy na wyjściu wzmacniacza; sprawność jest bliska 100%.



Rys. 3. 12 Wzmacniacz tranzystorowy klasy D

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.



Rys.3.13 Położenie spoczynkowego punktu pracy wzmacniacza klasy A, B, C

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

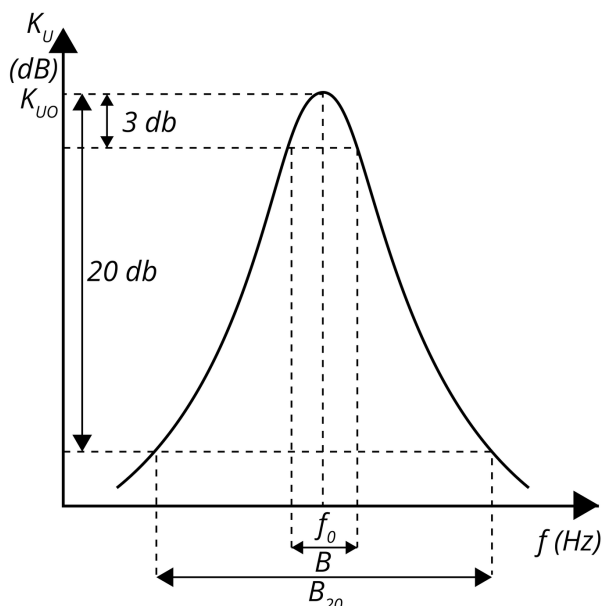
[Powrót do materiału głównego](#)

Wzmacniacze selektywne

Wzmacniacze selektywne stosowane są do wzmacniania sygnałów w określonym paśmie częstotliwości (Rys. 3.14). Poza tym pasmem sygnały powinny być możliwie silnie tłumione. Wzmacniacze selektywne znalazły zastosowanie w takich urządzeniach jak telewizory, odbiorniki radiowe, systemy łączności satelitarnej, ale również w układach telekomunikacyjnych oraz do filtracji sygnałów z czujników pomiarowych.

Zakres częstotliwości stosowania wzmacniaczy selektywnych rozciąga się od ułamków Hz do dziesiątek GHz. Z tego powodu występuje różnorodność elementów oraz sposobów realizacji wzmacniaczy selektywnych. Podział wzmacniaczy związany jest przede wszystkim ze sposobem wykonania obwodu odpowiedzialnego za selektywność układu. Wyróżnia się wzmacniacze dużych częstotliwości (z obwodami LC, filtrami piezoelektrycznymi lub liniami długimi) oraz wzmacniacze małych częstotliwości (z elementami RC lub cyfrowymi układami filtracji).

Najistotniejszymi parametrami wzmacniaczy selektywnych są wielkości związane z zakresem częstotliwości. Należy do nich częstotliwość środkowa i szerokość pasma. Ważnym parametrem określającym właściwości wzmacniacza jest także współczynnik prostokątności, który określa stromość zbocza charakterystyki amplitudowej (stosunek pasma przenoszenia 3 dB do pasma 20 dB).

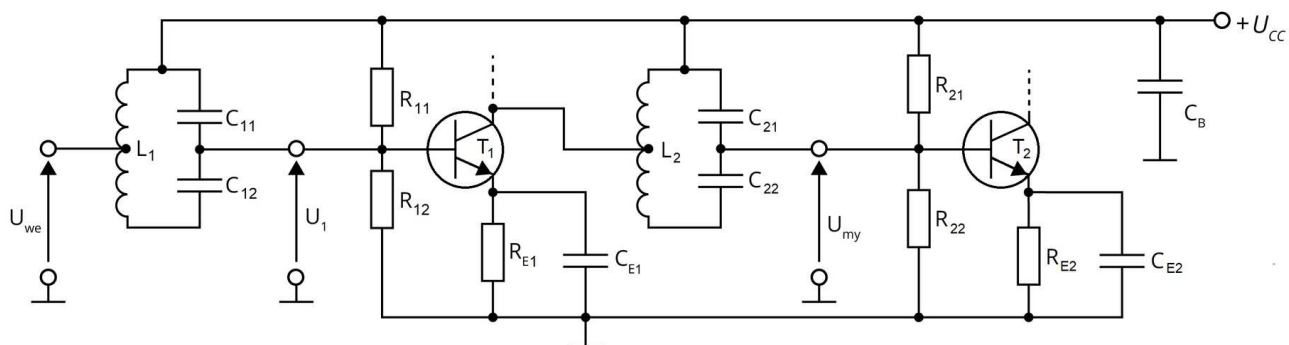


Rys.3.14 Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza selektywnego. f_0 - częstotliwość środkowa, B - 3-decybelowe pasmo przenoszenia, B_{20} - 20-decybelowe pasmo przenoszenia, p - współczynnik prostokątności

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

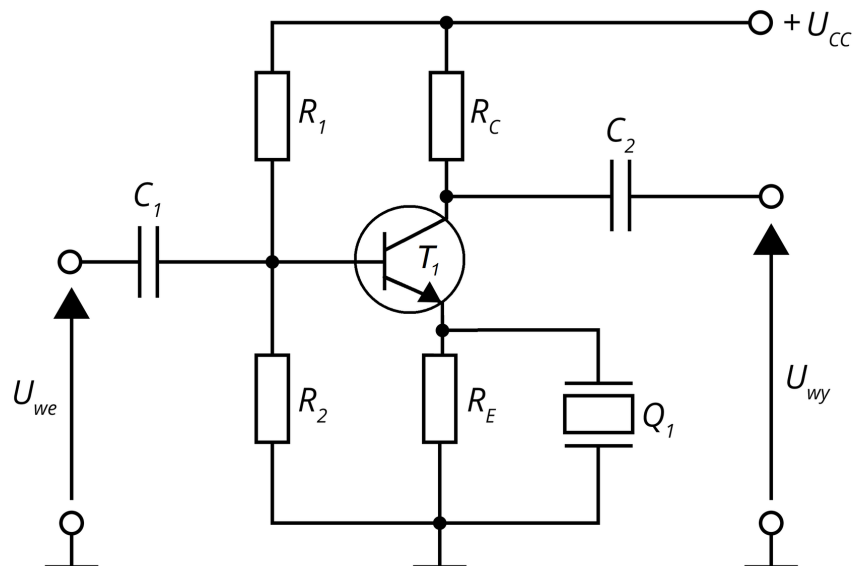
$$p = \frac{B}{B_{20}}$$

Przykłady wzmacniaczy selektywnych:



Rys.3.15 Przykład wzmacniacza selektywnego z obwodem rezonansowym LC

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.



Rys.3.16 Przykład wzmacniacza selektywnego z filtrem piezoelektrycznym

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Zastosowanie w wzmacniaczach selektywnych rezonatorów ma wpływ na osiągnięte parametry, tzn. na regulację szerokości pasma i transmisję mocy. Zastosowanie rezonatorów LC pozwala na uzyskanie zakresu częstotliwości rzędu kilkudziesięciu GHz, lecz wiąże się z stratami wynikającymi z rezystancji cewki. Z kolei zastosowanie w wzmacniaczach selektywnych rezonatora piezoelektrycznego (ceramicznego lub kwarcowego) pozwala na uzyskanie dużej dobroci i dużej stałości częstotliwości rezonansowej. Ponadto układy takie charakteryzują się dużą stromością charakterystyki amplitudowej.

[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Układ Darlingtona

Połączenie dwóch tranzystorów, w których prąd emitera pierwszego z nich jest równocześnie prądem bazy drugiego, nosi nazwę układu Darlingtona (Rys. 3.17). Układ taki zachowuje się tak, jak pojedynczy tranzystor. Cechą charakterystyczną jest duże wzmocnienie prądowe, równe iloczynowi współczynników wzmocnienia prądowego dla poszczególnych tranzystorów. Jeżeli każdy z tranzystorów charakteryzuje się wzmocnieniem prądowym β_1 i β_2 , to wzmocnienie prądowe układu Darlingtona określają zależności (wyprowadzone wzory są uproszczone, nie uwzględniają prądu bazy w prądzie emitera zarówno dla T1, jak i dla T2):

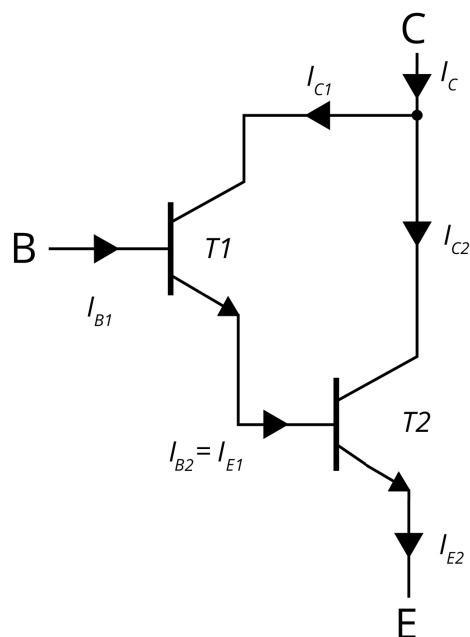
$$\beta_1 = \frac{I_{C1}}{I_{B1}}$$

$$\beta_2 = \frac{I_{C2}}{I_{B2}}$$

$$I_{C1} = \beta_1 \cdot I_{B1} = I_{B2}$$

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{B2} = I_{E2}$$

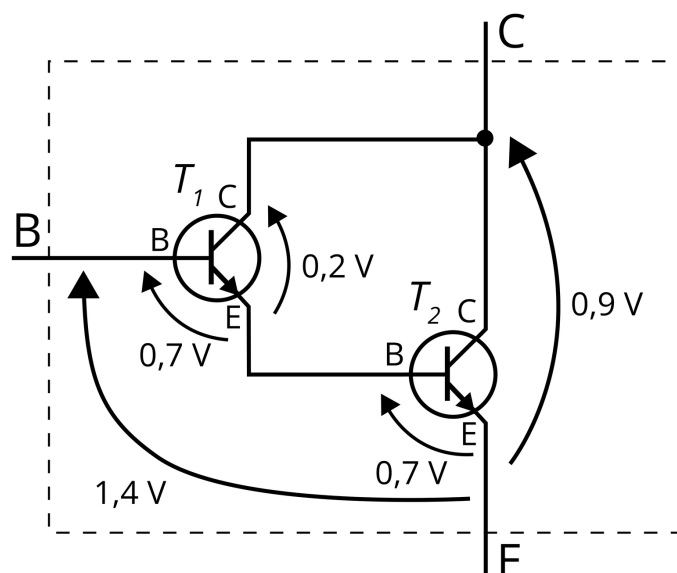
$$I_{E2} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot I_{B1}$$



Rys.3.17 Połączenie tranzystorów w układzie Darlingtona

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Duże wzmocnienie prądowe sprawia, że układ Darlingtona stosowany jest w miejscach, gdzie wymaga się dużych prądów. Przykładem takich układów są stabilizatory napięcia oraz końcowe wzmacniacze mocy. Ze względu na złożoną budowę, układ Darlingtona charakteryzuje się większymi spadkami napięć i mniejszą szybkością działania, niż pojedyncze tranzystory.



Rys. 3.18 Rozkład napięć w nasyconym tranzystorze Darlingtona

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

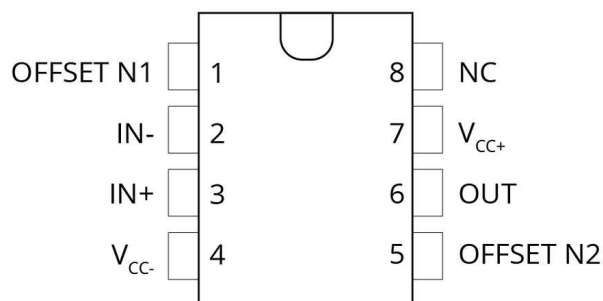
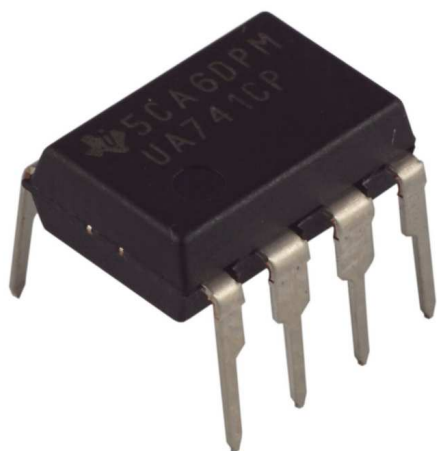
[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Wzmacniacz operacyjny - układy pracy

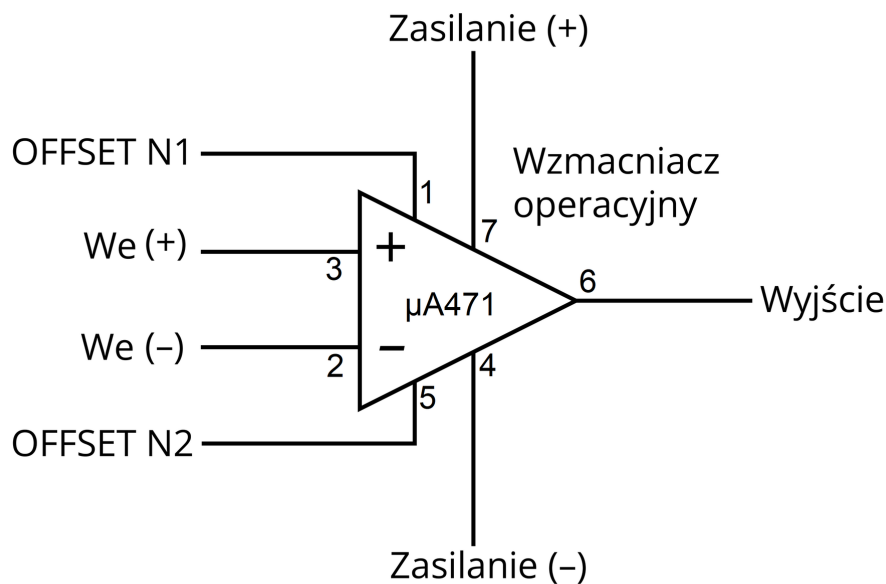
Wzmacniaczem operacyjnym nazywa się wzmacniacz prądu stałego o bardzo dużym wzmocnieniu, którego właściwości kształtuje się przez zewnętrzne sprzężenia zwrotne. Najważniejszymi parametrami wzmacniacza operacyjnego są:

- wzmocnienie napięciowe różnicowe,
- wzmocnienie napięciowe sumacyjne,
- współczynnik tłumienia sygnału sumacyjnego,
- rezystancja wejściowa różnicowa,
- rezystancja wejściowa sumacyjna,
- rezystancja wyjściowa,
- prąd wejściowy spoczynkowy (prąd polaryzacji),
- napięcie wejściowe niezrównoważenia,
- prąd wejściowy niezrównoważenia,
- dryft temperaturowy napięcia i prądu wejściowego niezrównoważenia,
- napięcie zasilania,
- szerokość pasma częstotliwości.



Rys. 4.1 Wzmacniacz operacyjny $\mu A741CP$ (IN+ – wejście nieodwracające wzmacniacza; IN- - wejście odwracające wzmacniacza; OUT – wyjście wzmacniacza, +V_{cc} – napięcie zasilania biegun dodatni; -V_{cc} - napięcie zasilania biegun ujemny; OFFSET – zewnętrzne wejście napięcia niezrównoważenia, NC – nie wykorzystany)

Źródło: materiały katalogowe firmy Texas Instruments, domena publiczna.

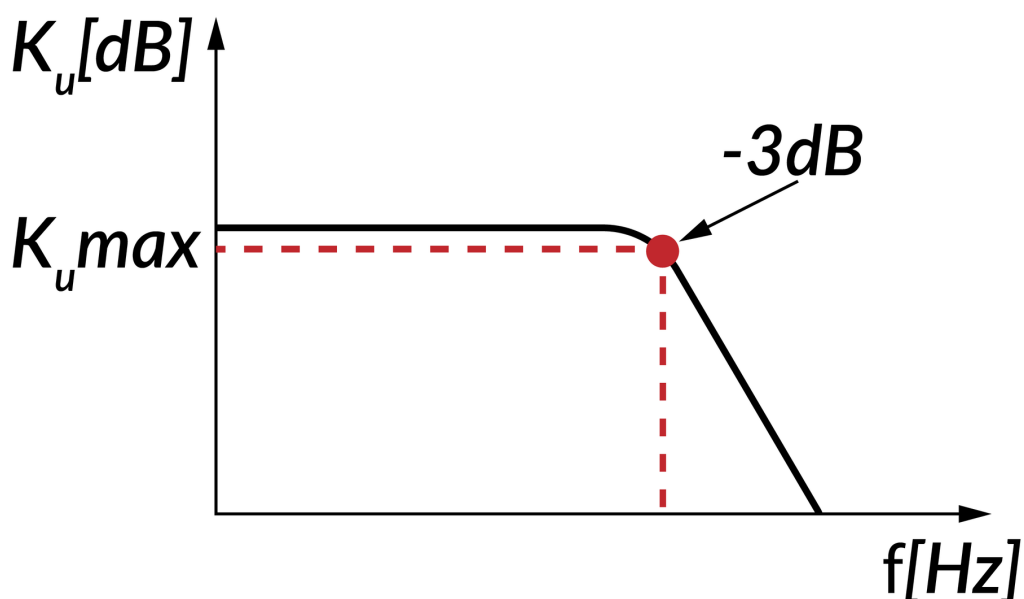


Rys. 4.2 Wzmacniacz operacyjny $\mu A741CP$ (IN+ – wejście nieodwracające wzmacniacza; IN- - wejście odwracające wzmacniacza; OUT – wyjście wzmacniacza, +Vcc – napięcie zasilania biegun dodatni; -Vcc - napięcie zasilania biegun ujemny;,, OFFSET – zewnętrzne wejście napięcia nie zrównoważenia, NC – nie wykorzystany)

Źródło: *Materiały katalogowe firmy Texas Instruments*, domena publiczna.

Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza operacyjnego określa zależność wzmocnienia napięciowego wzmacniacza w funkcji częstotliwości przy niezmienniej wartości amplitudy napięcia wejściowego.

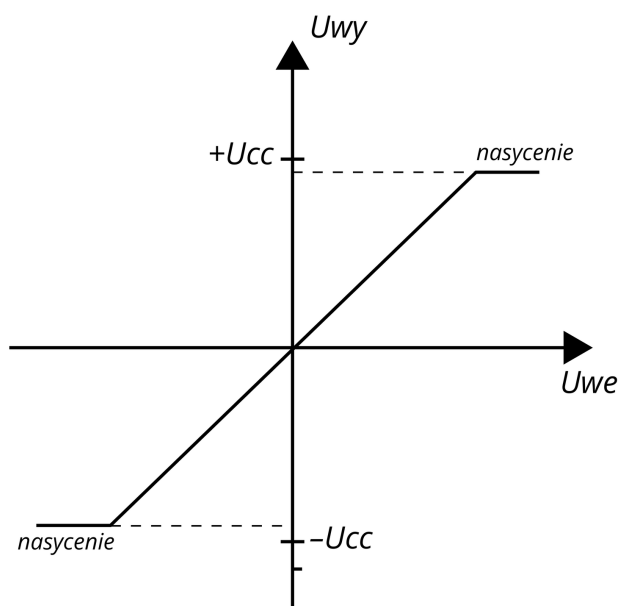
Na podstawie charakterystyki wyznacza się maksymalne wzmocnienie K_{Umax} oraz pasmo przenoszenia (które definiuje się jako częstotliwość, przy której wzmocnienie spada o 3 dB poniżej wartości maksymalnej).



Rys. 4.3 Charakterystyka amplitudowa wzmacniacza operacyjnego

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

Charakterystyka statyczna wzmacniacza operacyjnego określa zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego wzmacniacza. Jest to charakterystyka liniowa, lecz po przekroczeniu zakresu liniowości wzmacniacz operacyjny przechodzi do stanu nasycenia.



Rys. 4.4 Charakterystyka statyczna wzmacniacza operacyjnego

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

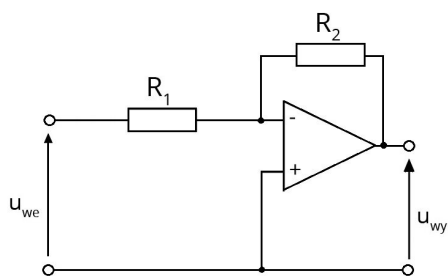
Do celów projektowych wstępnych przyjmuje się wzmacniacz operacyjny idealny, który charakteryzuje się bardzo dużym wzmocnieniem napięciowym (dążącym do nieskończoności), bardzo dużą rezystancją wejściową (dążącą do nieskończoności), małą rezystancją wyjściową (dążącą do zera) oraz bardzo szerokim pasmem częstotliwości (dążącym do nieskończoności). Ponadto idealny wzmacniacz powinien charakteryzować się napięciem wyjściowym równym zero przy równych napięciach na wejściach odwracającym i nieodwracającym, nieskończenie dużym dopuszczalnym prądem wyjściowym, zerowym prądem wejściowym oraz brakiem wpływu temperatury na jego parametry.

		Wzmacniacz idealny	μA 741	Inne WO
Wzmocnienie różnicowe K_U	V/V	$\rightarrow \infty$	10^5	$10^4 \dots 10^7$
Rezystancja wejściowa różnicowa R_{ID}	MΩ	$\rightarrow \infty$	1	$0,05 \dots 10^4$
Rezystancja wyjściowa R_O	Ω	$\rightarrow 0$	75	$50 \dots 200$
Częstotliwość graniczna f_T	MHz	$0 \rightarrow \infty$	1	$1 \dots 100$

Układy pracy wzmacniacza operacyjnego:

Wzmacniacz odwracający

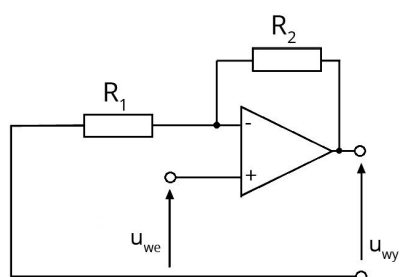
$$u_{wy} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_{we}$$



Rys.4.5 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - wzmacniacz odwracający

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Wzmacniacz nieodwracający

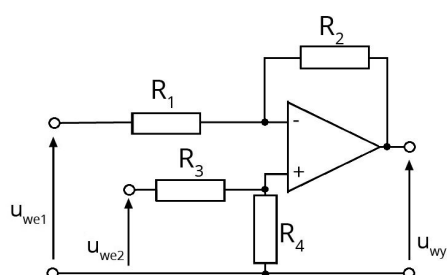


$$u_{wy} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot u_{we}$$

Rys.4.6 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - wzmacniacz nieodwracający. Współczynnik wzmocnienia prądowego to stosunek między prądem kolektora, a prądem bazy. Oznacza się go symbolem b, gdzie $b = I_C / I_B$.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Wzmacniacz różnicowy (odejmujący)



$$u_{wy} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot u_{we2} - \frac{R_2}{R_1} \cdot u_{we1}$$

Jeżeli:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

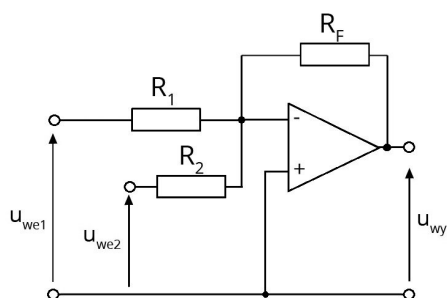
to:

$$u_{wy} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (u_{we2} - u_{we1})$$

Rys.4.7 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - wzmacniacz różnicowy czyli wzmacniacz dwuwęściowy zbudowany z dwóch tranzystorów pracujących w układzie wspólnego emitera, mających wspólny obwód emiterowy.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Wzmacniacz sumujący (sumator analogowy)

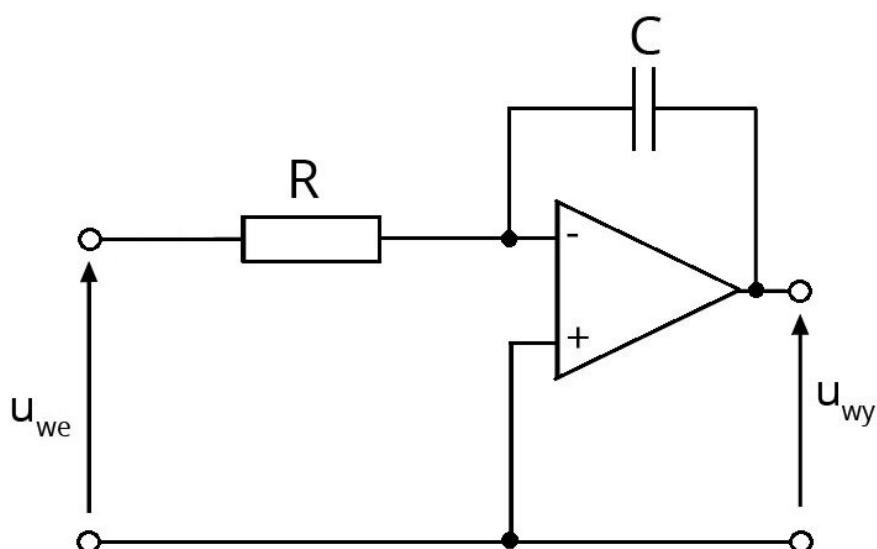


$$u_{wy} = -R_F \cdot \left(\frac{u_{we1}}{R_1} + \frac{u_{we2}}{R_2} \right)$$

Rys.4.8 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - sumator analogowy czyli wzmacniacz sumujący sygnały analogowe.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Wzmacniacz całkujący (integrator)



Rys.4.9 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - wzmacniacz całkujący

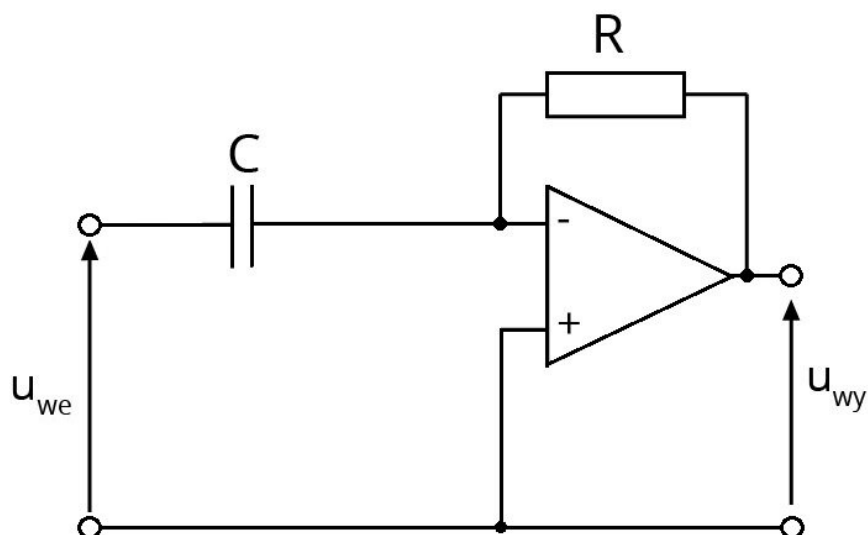
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

$$u_{wy} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot \int u_{we} dt$$

$$k_u = \frac{u_{wy}}{u_{we}} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot R \cdot C}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f - \text{pulsacja}$$

Wzmacniacz różniczkujący



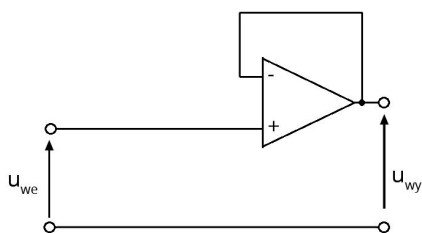
Rys.4.10 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - wzmacniacz różniczkujący

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

$$u_{wy} = -R \cdot C \cdot \frac{du_{we}}{dt}$$

$$k_u = -\frac{u_{wy}}{u_{we}} = -j \cdot \omega \cdot R \cdot C$$

Wtórnik napięciowy



$$u_{wy} = u_{we}$$

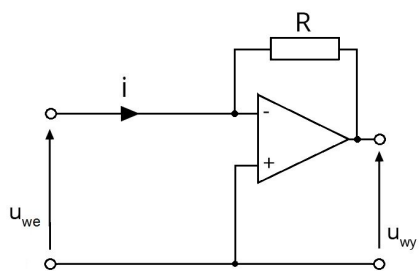
$$R_{we} \rightarrow \infty$$

Rys.4.11 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - wtórnik napięciowy

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Przetwornik I/U

$$u_{wy} = -R \cdot i$$



Rys.4.12 Układy pracy wzmacniacza operacyjnego - przetwornik I/U

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

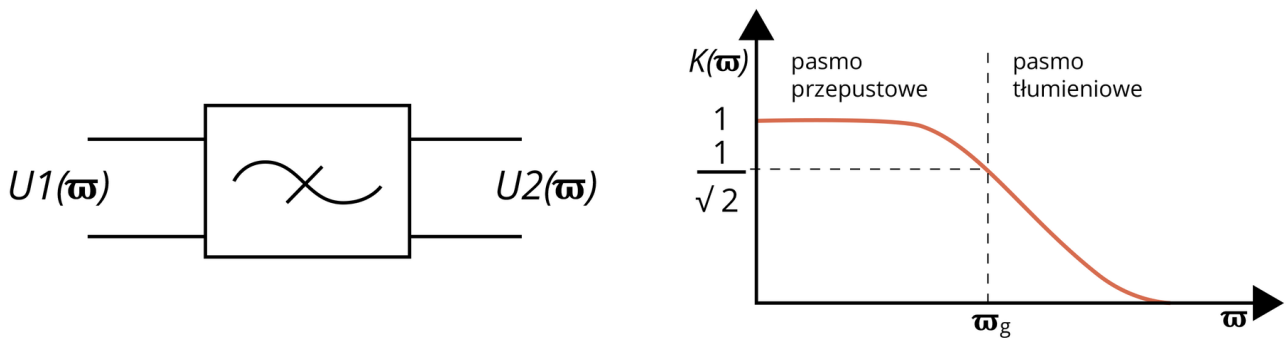
[Film instruktażowy](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

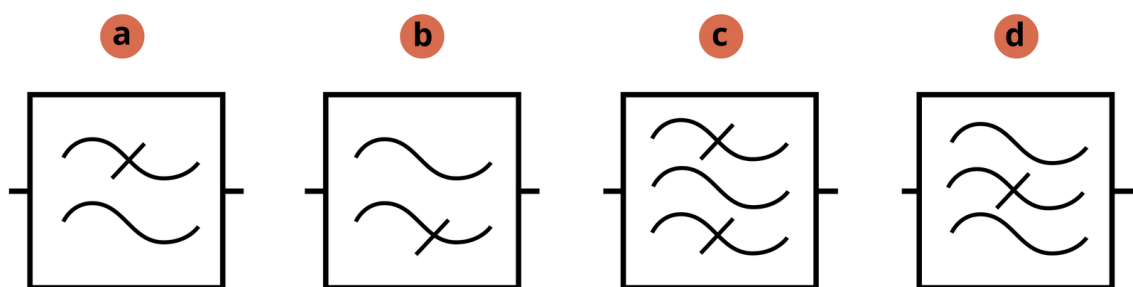
Filtry sygnałowe

Filtr to układ o strukturze czwórnika, którego zadaniem jest przepuszczanie sygnału (np. napięciowego) bez tłumienia w określonym paśmie częstotliwości (pulsacji) oraz tłumienie tego sygnału dla częstotliwości (pulsacji) poza tym pasmem. Filtry stosuje się zarówno w układach elektronicznych, jak i energetycznych (m.in. do filtracji wyższych harmoniczných generowanych przez przekształtniki energoelektroniczne).

Pasmo pulsacji filtra, w którym jest przepuszczany sygnał, nazywamy pasmem przepustowym, natomiast zakresem częstotliwości, w którym następuje tłumienie sygnału – pasmem tłumieniowym (Rys. 5.1). Częstotliwość oddzielająca oba te pasma nosi nazwę częstotliwości granicznej filtra f_g (pulsacji granicznej filtra ω_g). Ze względu na budowę i zastosowanie filtra może występować kilka pulsacji granicznych.



Rys.5.1 Symbol ogólny filtrów oraz położenie pasm częstotliwości na przykładzie filtra dolnoprzepustowego
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.



Rys.5.2 Symbole filtrów: a) dolnoprzepustowy, b) górnoprzepustowy, c) środkowoprzepustowy, d) środkowozaporowy

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Dla każdego filtra określana jest transmitancja częstotliwościowa, definiowana jako stosunek wartości sygnału wyjściowego (napięcia lub prądu) do wartości sygnału wejściowego w zależności od zmian częstotliwości:

$$K(f) = \frac{U_2(f)}{U_1(f)} \left[\frac{V}{V} \right]$$

Najczęściej transmitancja częstotliwościowa jest wyrażana w decybelach [dB]:

$$A(f) = -20 \cdot \log \frac{U_2(f)}{U_1(f)} [dB]$$

W zależności od zastosowanych elementów budowy filtrów wyróżnia się:

- filtry pasywne składające się tylko z elementów pasywnych LC lub RC;
- filtry aktywne, w których obok elementów pasywnych znajdują się elementy aktywne, takie jak np. wzmacniacze operacyjne (pozwala to na znacznie większą swobodę w projektowaniu charakterystyki częstotliwościowej).

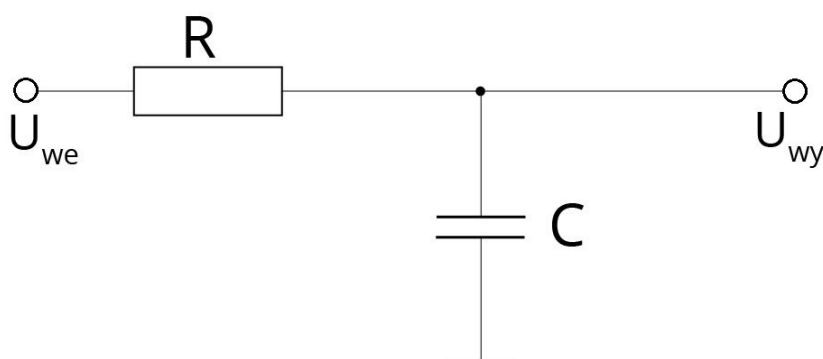
[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Filtry pasywne

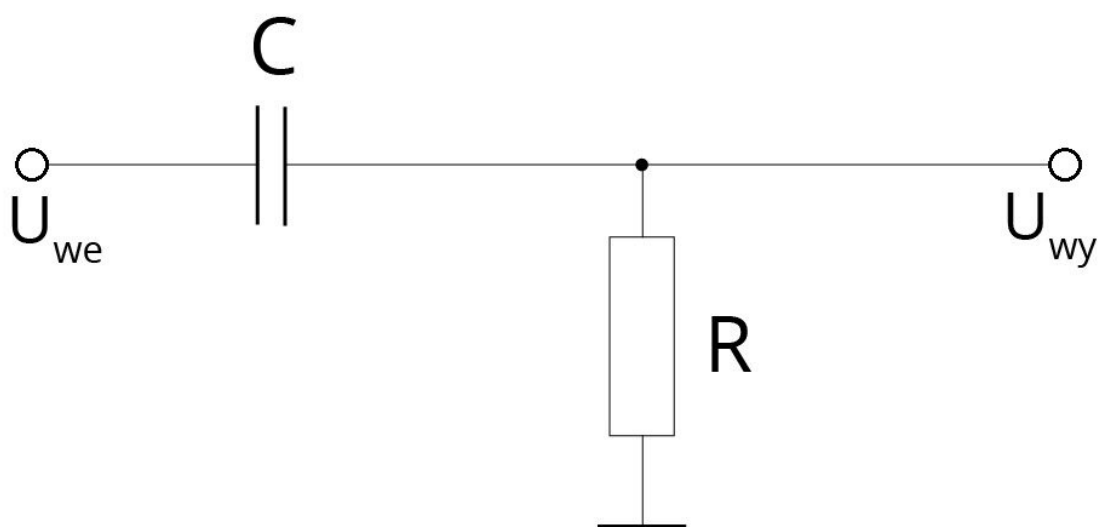
Podstawowymi i zarazem najprostszymi filtrami pasywnymi są filtry dolnoprzepustowy (Rys. 5.3) oraz górnoprzepustowy (Rys. 5.4), zbudowane z elementów RC. Są to układy typu dzielniki napięcia, dla których określona jest częstotliwość graniczna definiująca pasmo przepustowe (pasmo 3 dB). W przypadku prostego filtra częstotliwość graniczna określona jest wzorem:

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$



Rys.5.3 Filtr dolnoprzepustowy

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

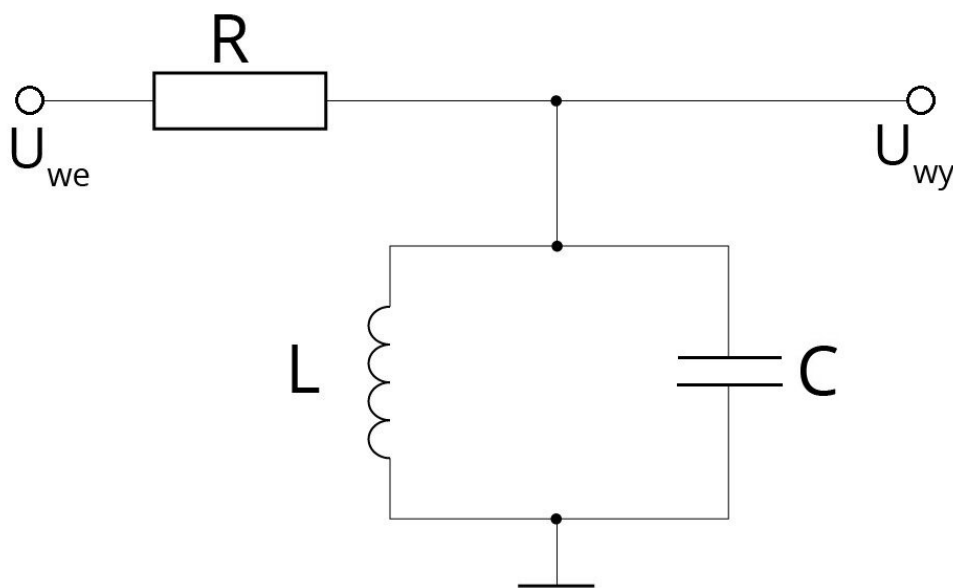


Rys.5.4 Filtr górnoprzepustowy

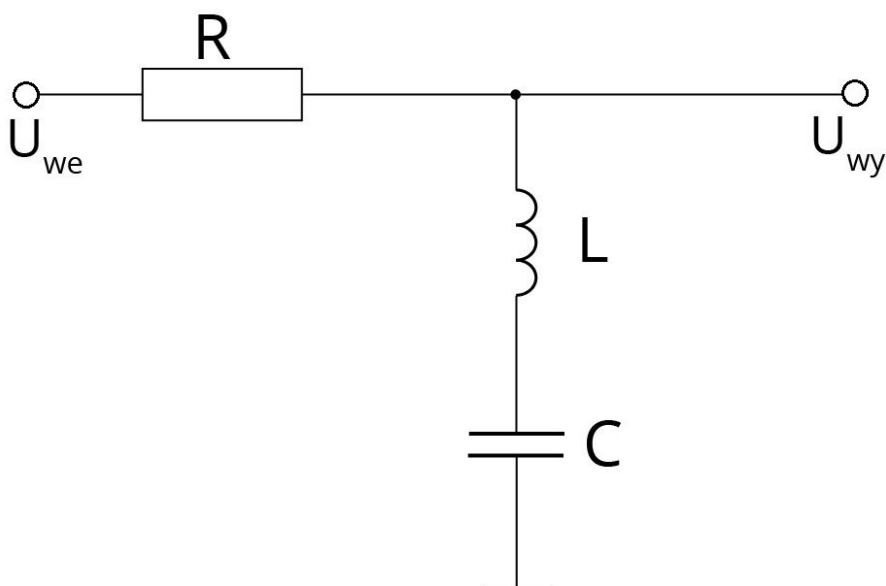
Filtry RC – chociaż proste w swojej budowie – nie pozwalają uzyskać stromych charakterystyk częstotliwościowych. Aby poprawić pod tym względem właściwości filtrów, stosuje się układy rezonansowe, zawierające w swojej strukturze elementy LC.

Układy takie mają za zadanie przepuszczanie wybranej częstotliwości – jak filtr środkowoprzepustowy (Rys. 5.5), lub blokowanie częstotliwości o określonej wartości – jak filtr środkowozaporowy, tzw. pułapka (Rys. 5.6). Wartość częstotliwości związana jest z częstotliwością rezonansową szeregowego lub równoległego połączenia kondensatora i cewki.

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$



Rys.5.5 Filtr środkowoprzepustowy



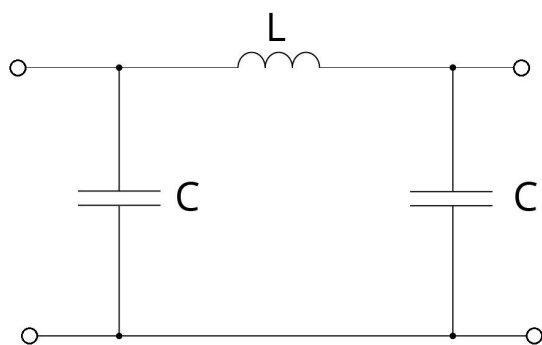
Rys.5.6 Filtr środkowozaporowy (pułapka)

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

Należy również zwrócić uwagę, że istnieją różne konfiguracje filtrów pasywnych. Szczególnie popularne są konfiguracje filtrów w układzie Π i układzie T.

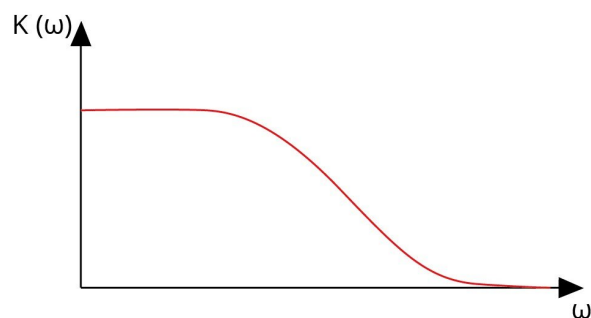
Wybrane filtry pasywne LC (w układzie Π)

Filtr dolnoprzepustowy



Rys.5.7 Wybrane filtry pasywne LC - filtr dolnoprzepustowy - schemat układu

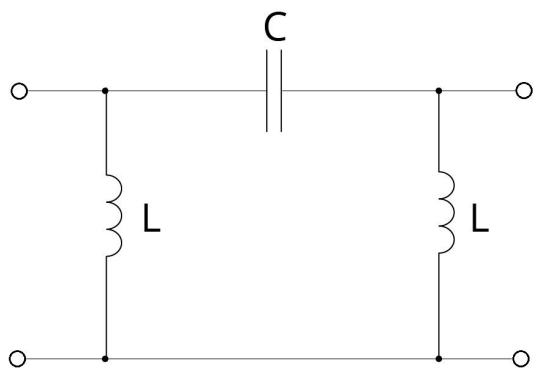
Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.



Rys.5.8 Wybrane filtry pasywne LC - filtr dolnoprzepustowy - charakterystyka amplitudowa (moduł transmitancji widmowej)

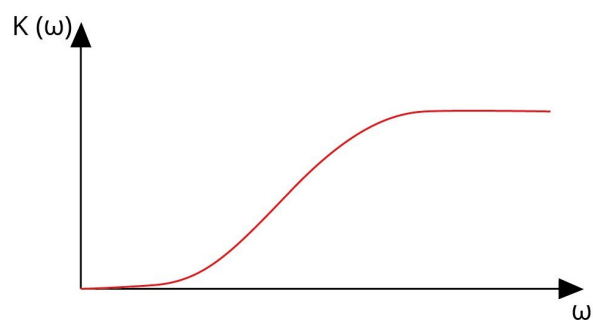
Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

Filtr górnoprzepustowy



Rys.5.9 Wybrane filtry pasywne LC - filtr górnoprzepustowy- schemat układu

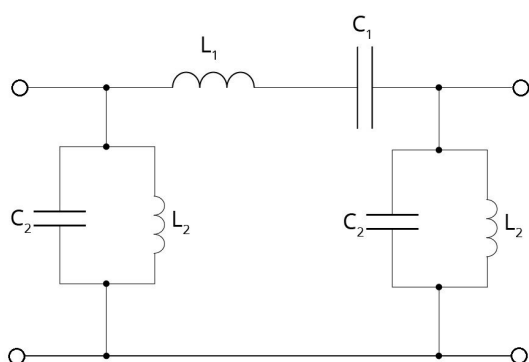
Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.



Rys.5.10 Wybrane filtry pasywne LC - filtr górnoprzepustowy - charakterystyka amplitudowa (moduł transmitancji widmowej)

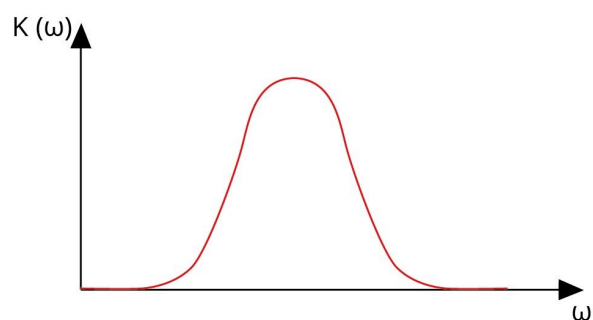
Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

Filtr środkowoprzepustowy



Rys.5.11 Wybrane filtry pasywne LC - filtr środkowoprzepustowy - schemat układu

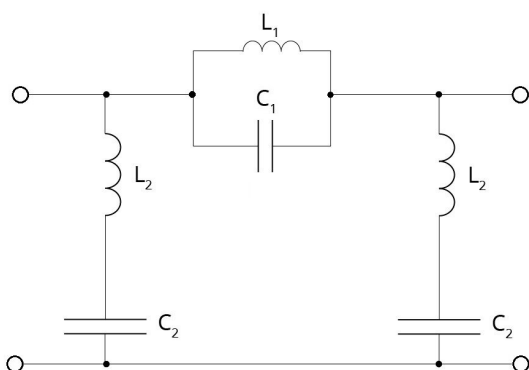
Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.



Rys.5.12 Wybrane filtry pasywne LC - filtr środkowoprzepustowy - charakterystyka transmitancji

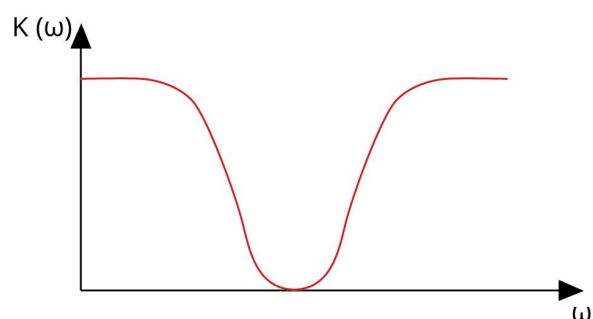
Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

Filtr środkowozaporowy



Rys.5.13 Wybrane filtry pasywne LC - filtr środkowozaporowy - schemat układu

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.



Rys.5.14 Wybrane filtry pasywne LC - filtr środkowozaporowy - charakterystyka transmitancji

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

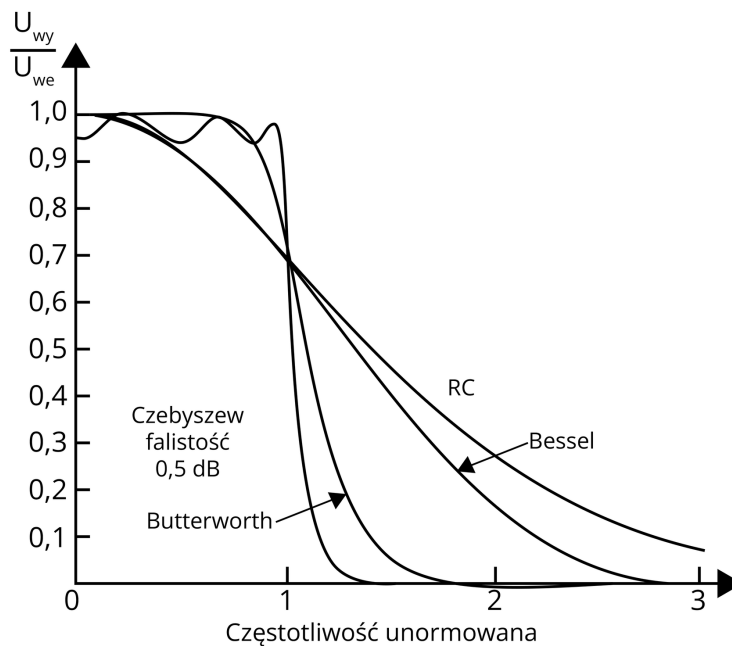
[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Filtry aktywne

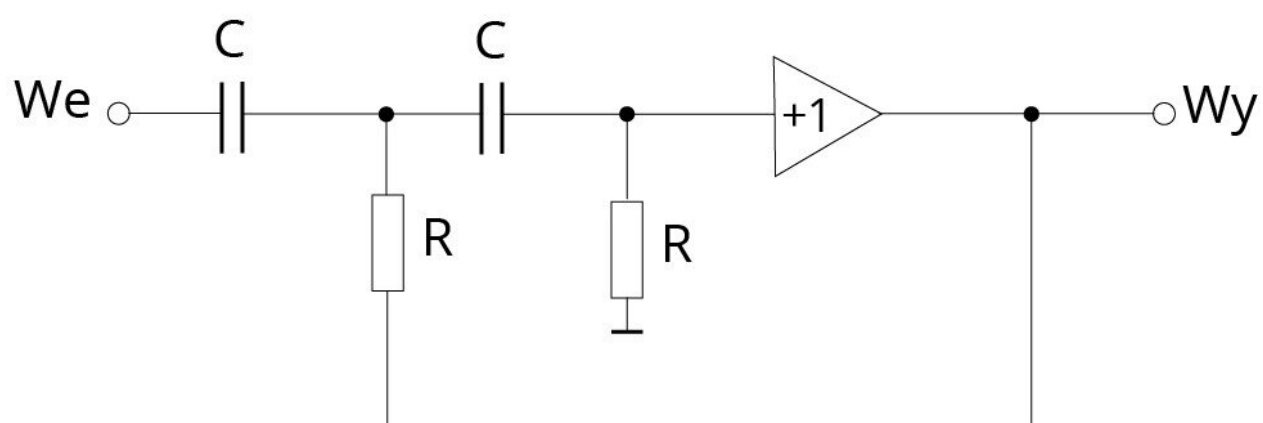
Filtry aktywne to układy bezindukcyjne, w których do elementów RC włączono dodatkowo wzmacniacze operacyjne. Pozwala to na zaprojektowanie filtru o dowolnej charakterystyce częstotliwościowej. Zastosowanie wzmacniaczy pozwala uzyskać filtry dolnoprzepustowe, górnoprzepustowe, środkowoprzepustowe oraz środkowozaporowe. Zastosowane elementy pozwalają na uzyskanie maksymalnie płaskiej charakterystyki w paśmie przepustowym i jej dużej stromości.

W zależności od oczekiwanych własności i kryteriów projektowania filtrów aktywnych wyróżnia się kilka typów układów. Jako kryteria projektowe mogą być przyjmowane takie cechy, jak np. maksymalnie płaska charakterystyka amplitudowa czy duża ostrość załamania charakterystyki amplitudowej. Najpopularniejszymi układami są filtry aktywne: Sallen-Keya (Rys. 5.15), Butterwortha, Czebyszewa i Bessela.



Rys. 5.15 Porównanie charakterystyk amplitudowych kilku filtrów

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.



Rys.5.16 Filtr Sallen-Keya

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Generatory sygnałów

Do wytwarzania zmiennych przebiegów elektrycznych bez udziału zewnętrznych sygnałów pobudzających służą generatory. Układy te przetwarzają energię prądu stałego z zasilacza na energię drgań. W zależności od kształtu generowanego przebiegu, w układach analogowych wyróżniamy:

- generatory drgań sinusoidalnych,
- generatory drgań niesinusoidalnych (tzw. relaksacyjne), o przebiegu prostokątnym, trójkątnym, itp.

[Wróć do spisu treści](#)

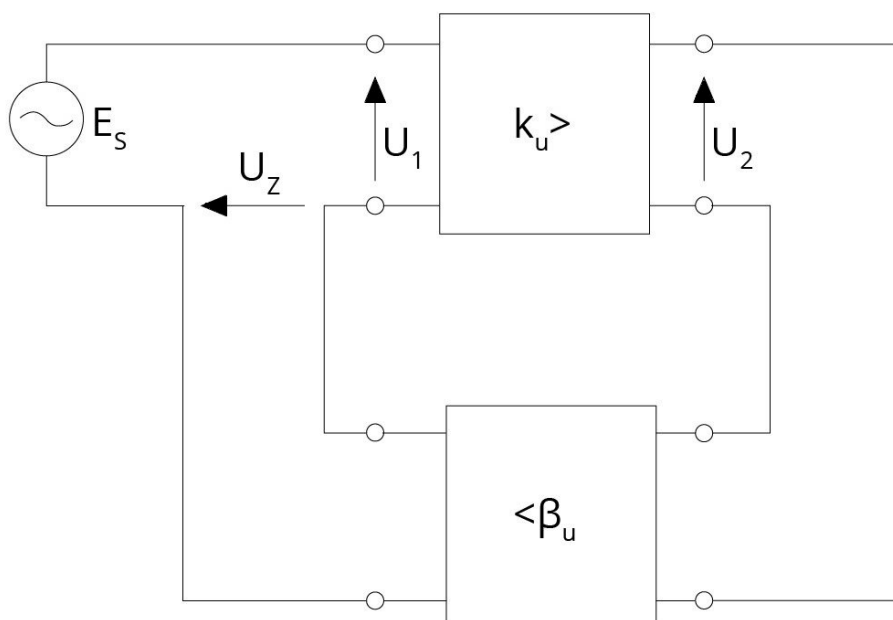
[Powrót do materiału głównego](#)

Generatory sygnałów sinusoidalnych

Generatory drgań sinusoidalnych dzieli się na:

- generatory LC ze sprzężeniem zwrotnym,
- generatory LC z elementami o ujemnej rezystancji,
- generatory RC,
- generatory kwarcowe.

Generatory sinusoidalne LC stanowią podstawowe układy generujące sygnały sinusoidalne. Są zbudowane w oparciu o wzmacniacz o transmitancji wyrażającej wzmocnienie k_u oraz dodatnie sprzężenie zwrotne o wzmocnieniu β_u (Rys. 6.1).



Rys.6.1 Schemat blokowy generatora ze sprzężeniem zwrotnym

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

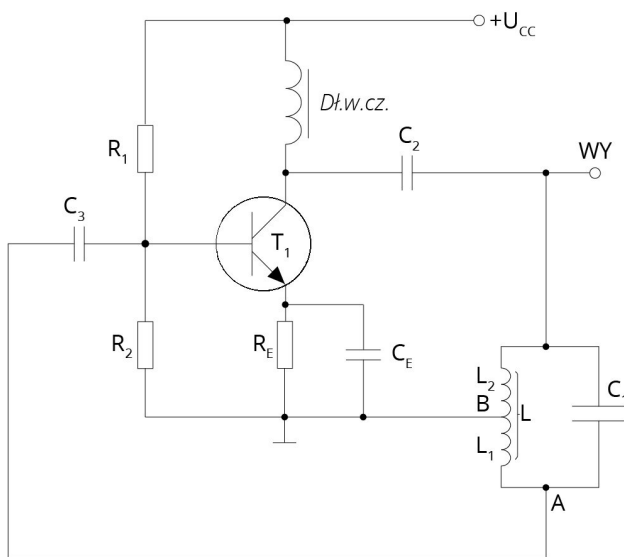
Wielkości k_u oraz β_u mają postać zespoloną, dlatego układ staje się niestabilny przy spełnieniu warunku generacji:

$$k_u \cdot \beta_u = 1$$

Powyższy warunek praktycznie sprowadza się do spełnienia dwóch warunków przy określonej częstotliwości drgań. Są to warunek amplitudy: $|k_u \cdot \beta_u| = 1$ i warunek fazy (przesunięcie wypadkowe wynikające z wzmacniacza i dodatniego sprzężenia zwrotnego wynosi 360°). Obydwa te warunki można uzyskać za pomocą podziału reaktancji obwodu LC lub poprzez sprzężenie transformatorowe. Oto podstawowe układy generatorów LC:

- z dzieloną indukcyjnością (układ Hartleya) (Rys. 6.2) – zbudowany z jednostopniowego wzmacniacza pracującego w konfiguracji wspólnego emitera z pętlą sprzężenia

zwrotnego z obwodem rezonansowym L, C_1 ;



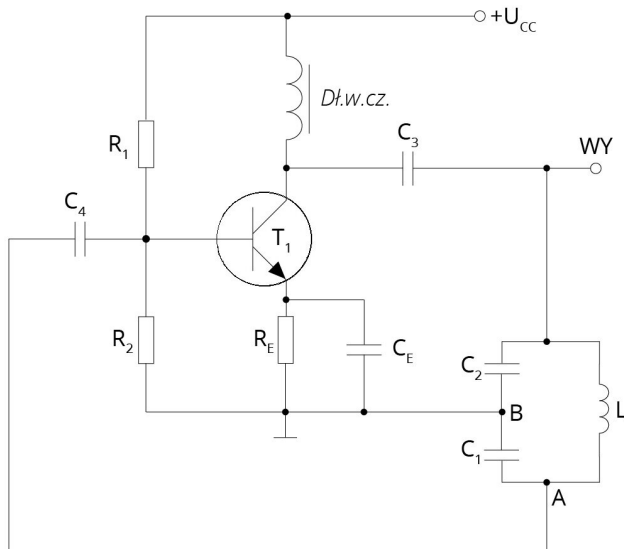
$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_1}}$$

$$L = L_1 + L_2$$

Rys. 6.2 Generator Hartleya

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- z dzieloną pojemnością (układ Colpittsa) (Rys. 6.3) – zbudowany z jednostopniowego wzmacniacza pracującego w konfiguracji wspólnego emitera z pętlą sprzężenia zwrotnego z obwodem rezonansowym L, C_1, C_2 ;



$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_Z}}$$

$$C_Z = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

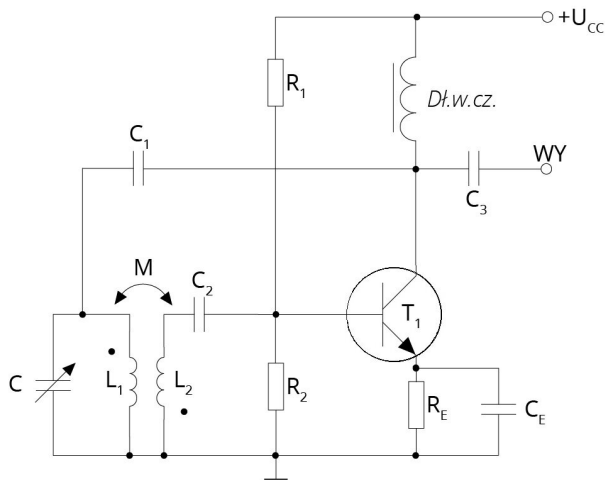
Rys.6.3 Generator Colpittsa

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- ze sprzężeniem transformatorowym czyli układ Meissnera (Rys. 6.4) – zbudowany z jednostopniowego wzmacniacza pracującego w konfiguracji wspólnego emitera z pętlą

sprężenia zwrotnego z transformatorem w obwodzie rezonansowym.

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C}}$$

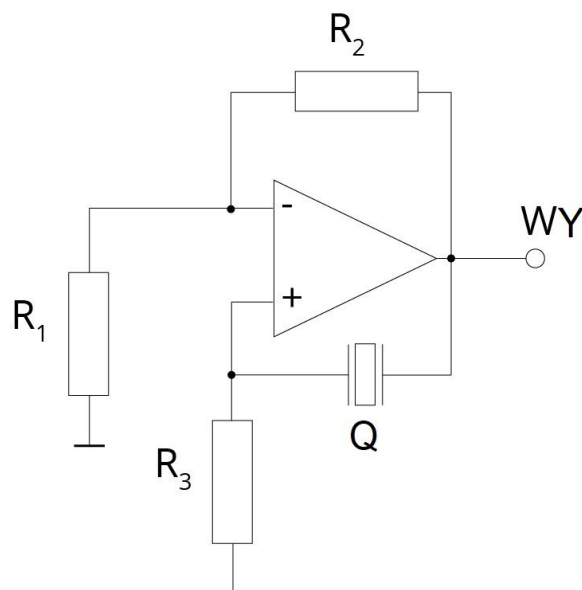


Rys.6.4 Generator Meissnera

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

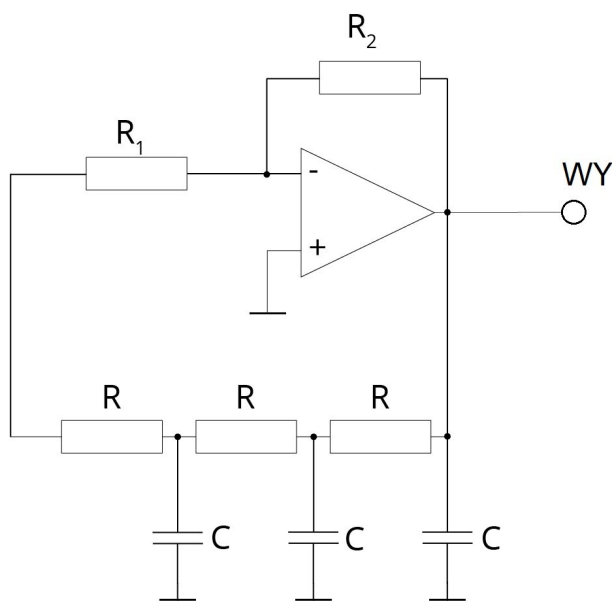
Generatory kwarcowe stosowane są, jeżeli wymaga się bardzo dobrej stabilności pracy generatora. Do stabilizowania częstotliwości drgań można użyć rezonatora piezoelektrycznego (kwarcowego) albo ceramicznego (Rys. 6.5).

Rezonator piezoelektryczny działa poprzez sprzężenie jego właściwości elektrycznych (czyli napięcia przyłączonego do płytki przez elektrody) z mechanicznymi drganiami płytki kryształu. Sprzężenie jest najsilniejsze dla częstotliwości rezonansu mechanicznego, zależnej od zastosowanego kryształu. Generatory kwarcowe charakteryzują się dużą dobrocią, a częstotliwość drgań w niewielkim stopniu zależy od temperatury.



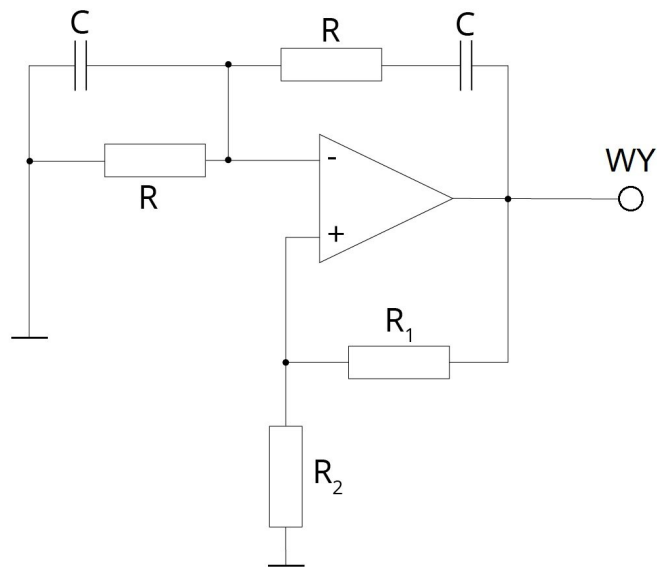
Generatory RC stosuje się w zakresie małych i średnich częstotliwości (10 Hz-100 kHz). W podanym zakresie istnieje trudność w realizacji generatorów LC oraz szerszy zakres przestrajania. Generator RC zbudowany jest ze wzmacniacza lub innego elementu aktywnego, połączonego z czwórnikiem selektywnym sprzężenia zwrotnego. Jako czwórnik sprzężenia może zostać użyty łańcuchowy układ RC i CR (Rys. 6.6), układ typu T lub TT oraz mostki np. Wiena (Rys. 6.7). Pierwsze mają właściwości przesuwników fazowych, a pozostałe układów selektywnych.

Generatory z przesuwnikami fazy charakteryzują się małą dobrocią układów i niewielkim nachyleniem charakterystyki częstotliwościowej. Powoduje to małą stabilność częstotliwości oraz dużą zawartość harmoniczných. Wady te powodują trudności w strojeniu generatorów. Generatory z układami selektywnymi mają dobrą stabilność częstotliwości i małe zniekształcenia nieliniowe, ale często wymagają dodatkowych elementów, które stabilizują amplitudę sygnału wyjściowego.



Rys. 6.6 Generator RC z filtrem dolnoprzepustowym

$$f_r = \frac{\sqrt{6}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$



Rys. 6.7 Generator RC z mostkiem Wiena

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

$$\text{gdy } \frac{R_1}{R_2} = 2$$

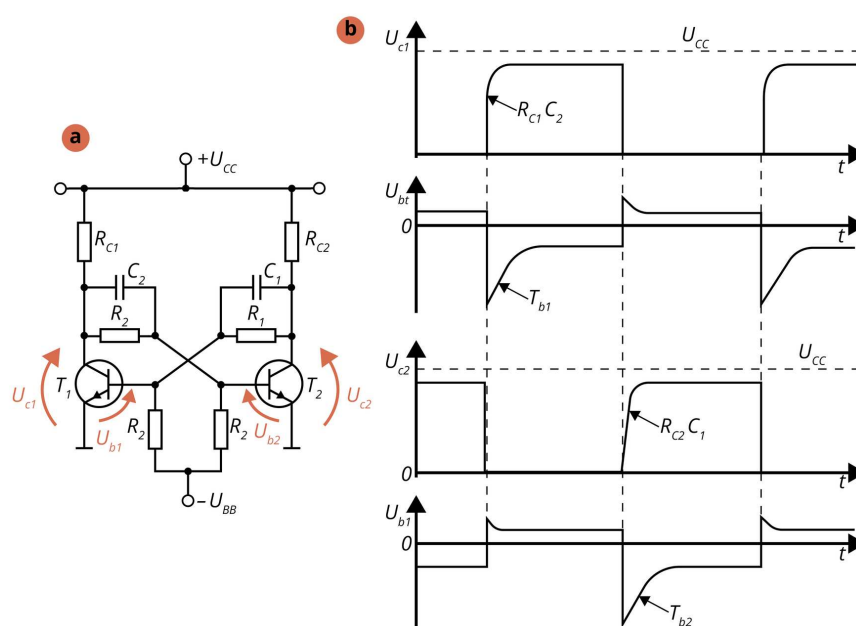
[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Generatory sygnałów niesinusoidalnych

Przerzutnik to układ elektroniczny, który wytwarza przebiegi elektryczne prostokątne (okresowe bądź nieokresowe). Na proces przełączania mają wpływ parametry i struktura układu przerzutnikowego. Istnieją trzy rodzaje przerzutników:

- przerzutniki bistabilne (Rys. 6.8) – występują w nich dwa stany równowagi trwałej (czyli dwa stany stabilne), a warunkiem przejścia z jednego w drugi jest doprowadzenie zewnętrznego sygnału wyzwalającego;



Rys. 6.8 Przerzutnik bistabilny z sprzężeniami RC

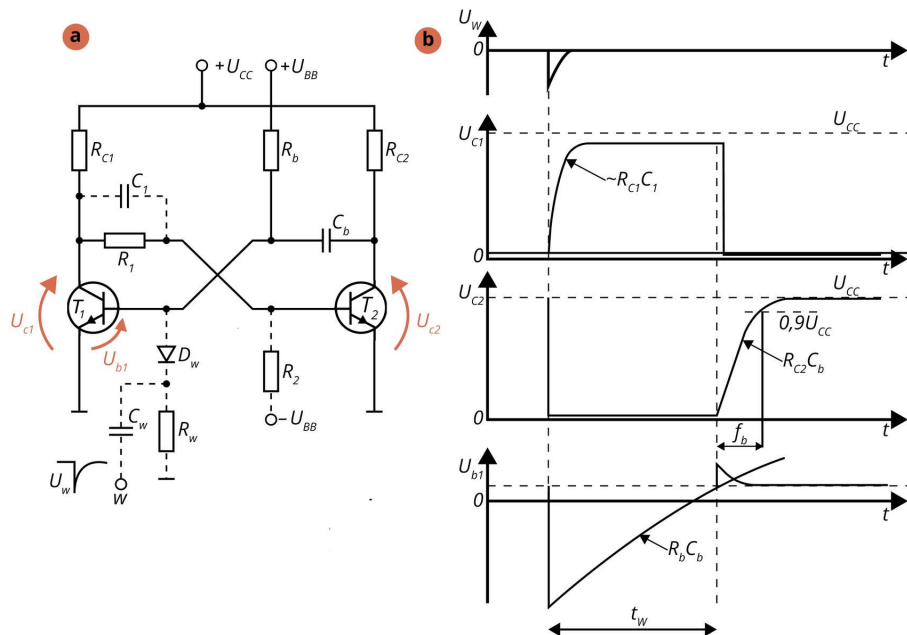
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

stałe czasowe wynoszą:

$$\tau_{b1} = C_1 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\tau_{b2} = C_2 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- przerzutniki monostabilne (Rys. 6.9) – po sygnale wyzwalającym U_w występuje jeden trwały stan równowagi, w którym układ może utrzymać się przez czas nieograniczony; przejście ze stanu stabilnego do quasi-stabilnego następuje po sygnale wyzwalającym, ale po pewnym czasie układ samoistnie powraca do stanu stabilnego;



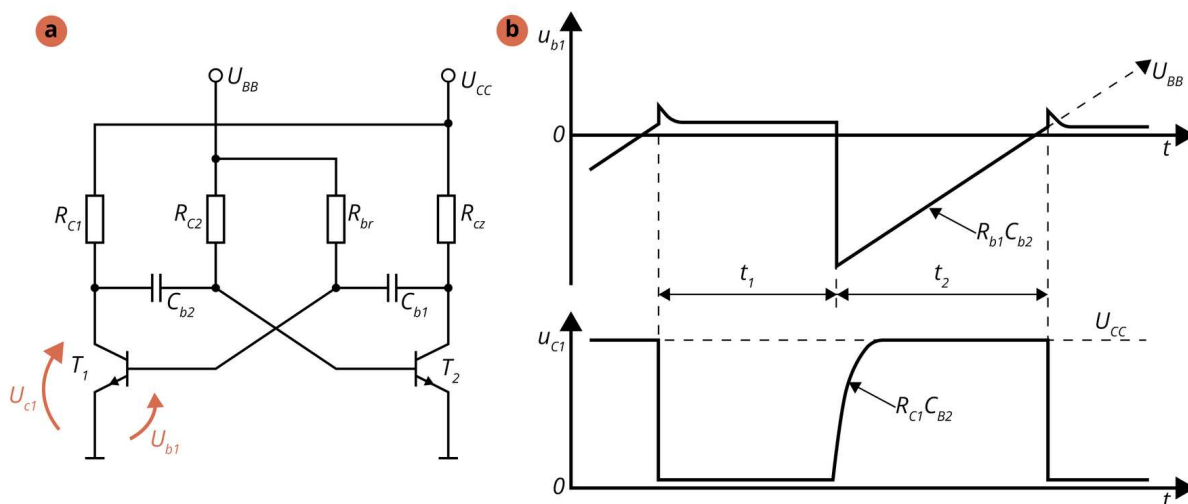
Rys. 6.9 Przerzutnik monostabilny

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Czas trwania impulsu wynosi:

$$t_w \approx 0,69 \cdot R_b \cdot C_b$$

- przerzutniki astabilne (Rys. 6.10) – nie istnieje tu stan równowagi trwałej, w którym układ utrzymywałby się przez czas nieograniczony, a samoczynne wytwarzanie przebiegów nie wymaga udziału sygnału zewnętrznego.



Rys. 6.10 Przerzutnik astabilny (multiwibrator Eccles-Jordana)

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Czasy trwania impulsów wynoszą:

$$t_1 \approx 0,69 \cdot R_{b1} \cdot C_{b1}$$

$$t_2 \approx 0,69 \cdot R_{b2} \cdot C_{b2}$$

Obecnie często stosowanym układem generującym przebiegi prostokątne jest **scalony układ czasowy SE555**. Układ ten zawiera dwa komparatory, przerzutnik asynchroniczny RS z dodatkowym wejściem zerującym, wzmacniacz wyjściowy oraz tranzystor rozładowujący. Aby układ SE555 spełniał swoje funkcje, należy do jego końcówek podłączyć zewnętrzne elementy. Podstawowe układy pracy to:

- przerzutnik monostabilny, w którym istnieje tylko jeden nieograniczony czasowo stan równowagi; po podaniu sygnału wyzwającego przerzutnik przechodzi w stan quasi-stabilny, a po pewnym czasie wraca samoistnie do stanu stabilnego; czas t_w , który określa czas trwania stanu quasi-stabilnego wyznaczany jest z wzoru:

$$t_w = 1,1 \cdot R \cdot C$$

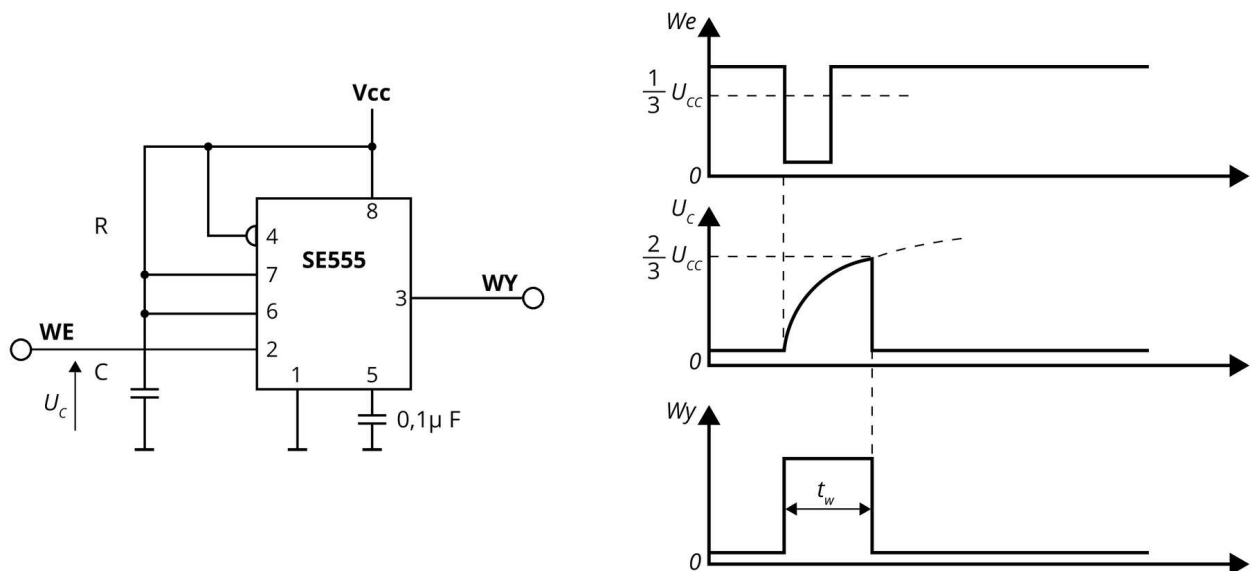
- przerzutnik astabilny, dla którego nie istnieje stan równowagi trwałej, tylko wytwarzany jest samoczynnie przebieg prostokątny bez udziału sygnału zewnętrznego; czasy t_1 i t_2 , które określają czasy trwania stanu wysokiego i niskiego na wyjściu przerzutnika wyznacza się z wzorów:

$$t_1 = 0,693 \cdot (R_A + R_B) \cdot C$$

$$t_2 = 0,693 \cdot R_B \cdot C$$

Podstawowe układy pracy układu scalonego SE555

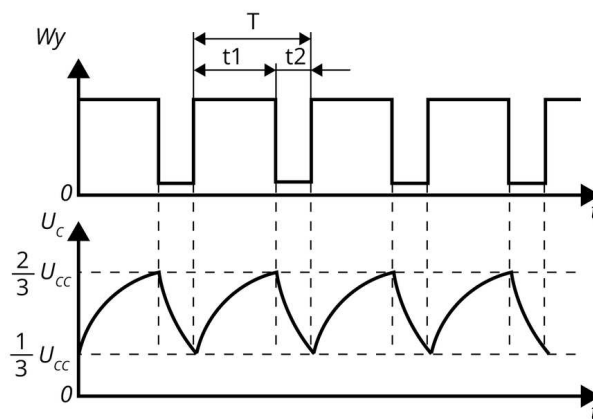
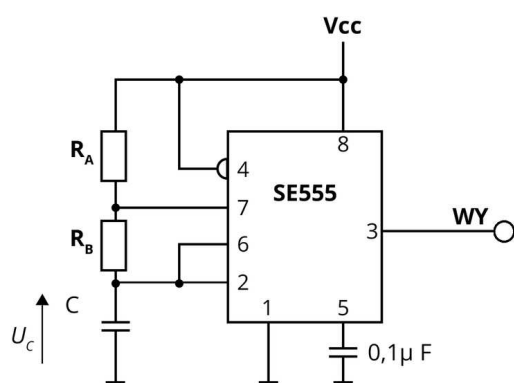
Przerzutnik monostabilny



Rys.6.11 Podstawowe układy pracy układu scalonego SE555 - przerzutnik monostabilny

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Przerzutnik astabilny



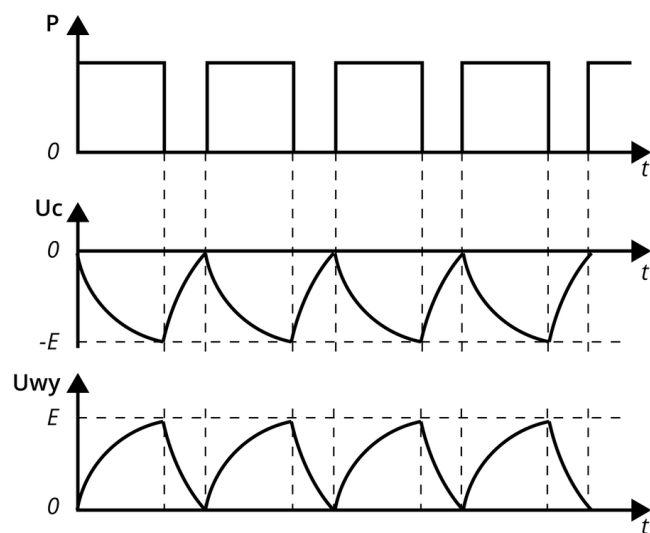
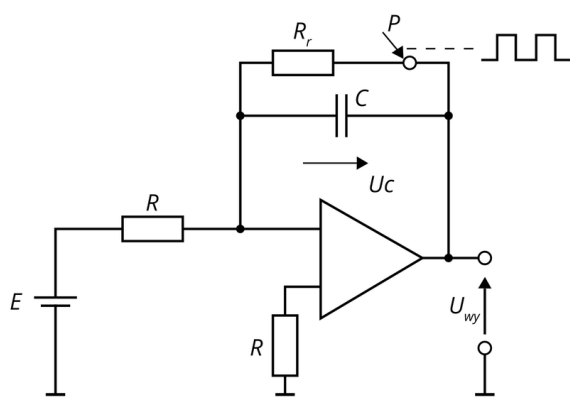
Rys.6.12 Podstawowe układy pracy układu scalonego SE555 - przerzutnik astabilny

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Opis wyprowadzeń: 1 – GND – potencjał zerowy (masa), 2 – TRIG – wyzwalamie, 3 – OUT – wyjście, 4 – RESET – kasowanie, 5 – CONT – napięcie sterujące, 6 – THRES – próg przełączania, 7 – DISCH – rozładowanie, 8 – V_{cc} – zasilanie

Generatory przebiegów liniowych mają za zadanie uzyskanie na wyjściu przebiegu liniowej zmiany napięcia lub prądu. W praktyce najczęściej wytwarza się przebiegi piłokształtne i trójkątne.

Najprostszy sposób uzyskiwania takich przebiegów polega na okresowym ładowaniu i rozładowywaniu kondensatora. Procesy te zachodzą wykładniczo, więc dobre przybliżenie do przebiegu liniowego uzyskuje się tylko dla małych wartości napięć wyjściowych, przy jednoczesnej dużej wartości napięcia zasilającego. Dla generatorów przebiegów liniowych błąd nieliniowości jest tym mniejszy, im krótszy jest rzeczywisty czas ładowania kondensatora w stosunku do stałej czasowej ładowania. Ponadto zmniejszenie błędu nieliniowości uzyskuje się przy małych wartościach napięcia na kondensatorze w stosunku do napięcia zasilania. W praktyce stosuje się linearyzację przebiegu napięcia (Rys. 6.13), przede wszystkim w układach, które zapewniają stały prąd ładowania kondensatora.



Rys. 6.13 Przykład układu linearyzacji z integratorem

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

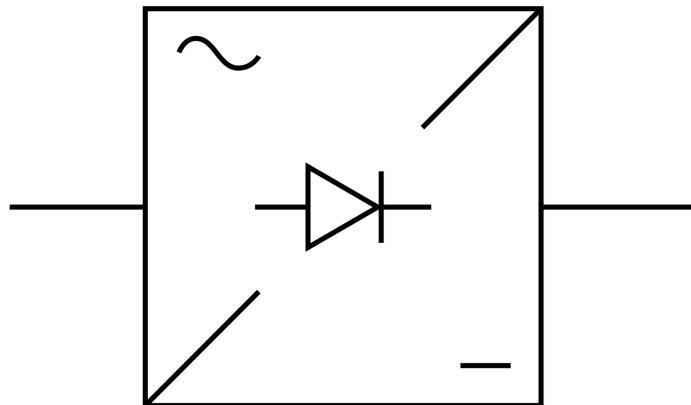
[Powrót do materiału głównego](#)

Prostowniki jednofazowe

Prostowniki to przekształtniki energoelektroniczne służące do łączenia sieci napięcia przemiennego z siecią napięcia stałego. Uzyskane napięcie wyjściowe bezpośrednio na prostowniku jest napięciem jednokierunkowym pulsującym. Aby wygładzić przebieg napięcia na wyjściu, stosuje się kondensatory wygładzające. Użycie dławików pozwala na wygładzenie prądu.

Podstawowy podział prostowników wiąże się z możliwościami sterowania zastosowanych przyrządów półprzewodnikowych. Prostowniki niesterowane zbudowane są z diod. Wartość średnia napięcia wyprostowanego w stanie jałowym U_{d0} zależy od układu połączeń prostownika, liczby faz i napięcia zasilającego.

Prostowniki sterowane zbudowane są z tyrystorów. Dzięki temu możliwa staje się regulacja wartości średniej napięcia wyprostowanego U_d poprzez zmianę kąta wysterowania tyrystorów α , mierzonego od punktu komutacji naturalnej.



Rys. 7.1 Symbol prostownika

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Układy prostownikowe można podzielić na:

- sterowane (z tyrystorami SCR),
- niesterowane (diodowe).

W obydwu powyższych grupach można dokonać podziału uwzględniającego sposób zasilania i topologię układu:

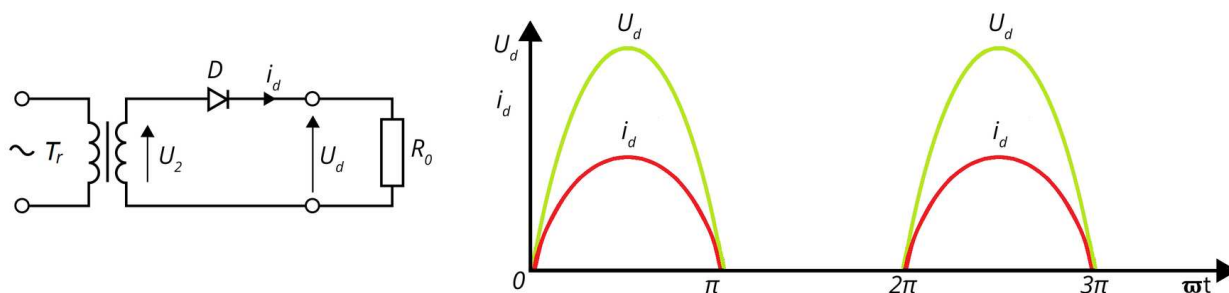
- jednofazowe (jedno i dwupulsowe),

- trójfazowe (trójpulsowe, sześciopulsowe, wielopulsowe).

Parametry charakteryzujące prostownik to przede wszystkim:

- sprawność energetyczna,
- napięcie zasilania,
- wartość skuteczna napięcia wyjściowego,
- stałe składowe napięcia wyjściowego i prądu wyjściowego,
- dopuszczalny prąd wyjściowy.

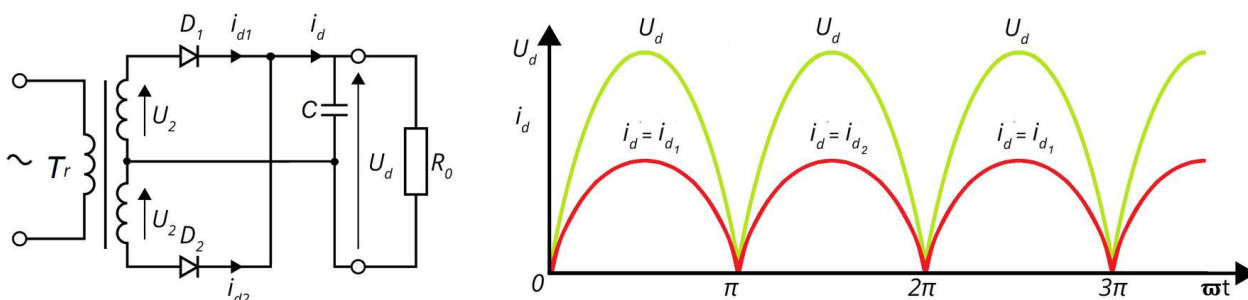
Najprostszym prostownikiem jest układ jednopołówkowy czyli jednopulsowy (Rys. 7.2), w którym w obwód włączona jest pojedyncza dioda. Układ taki jest jednak bardzo rzadko stosowany wskutek występowania dużych tętnień napięcia wyjściowego. Ponadto energia źródła wykorzystywana jest tylko przez pół okresu. Wprowadza to dużą niesymetrię obciążenia obwodu prądu przemiennego. Układ prostownika jednopołówkowego stosuje się jedynie w układach niewielkiej mocy.



Rys. 7.2 Prostownik jednopołówkowy (jednopulsowy).

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Kolejnym układem jest prostownik pełnookresowy – dwupołówkowy (inaczej: dwupulsowy) (Rys. 7.3), który składa się z dwóch diod mocy podłączonych do obciążenia. Układ taki stanowi złożenie dwóch prostowników jednopołówkowych, z których każdy odpowiada za przewodzenie prądu obciążenia w połowie napięcia zasilającego. W tym przypadku dla dodatniej połówki napięcia zasilającego przewodzi dioda D_1 , a dla ujemnej dioda D_2 .

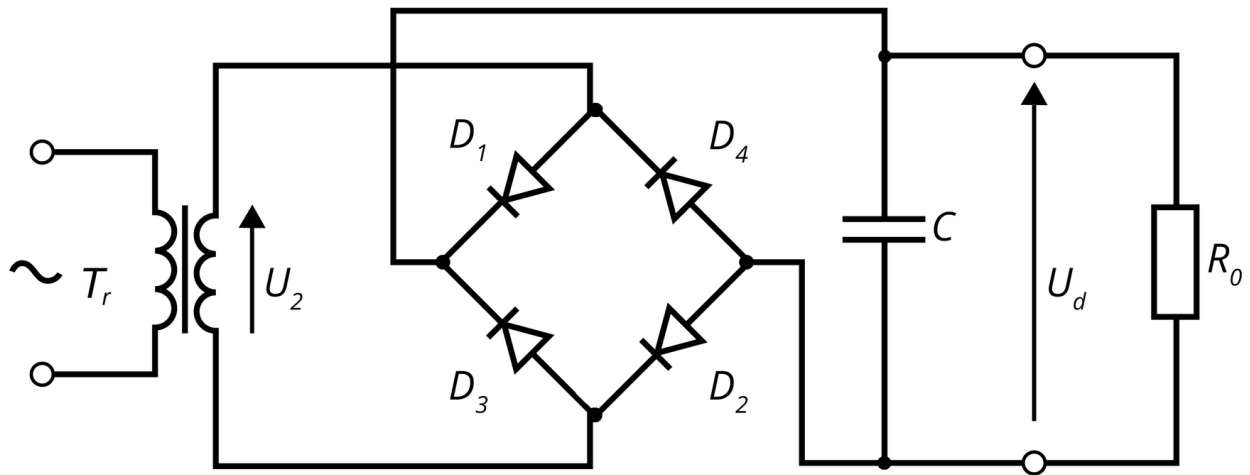


Rys. 7.3 Prostownik dwupołówkowy czyli dwupulsowy.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

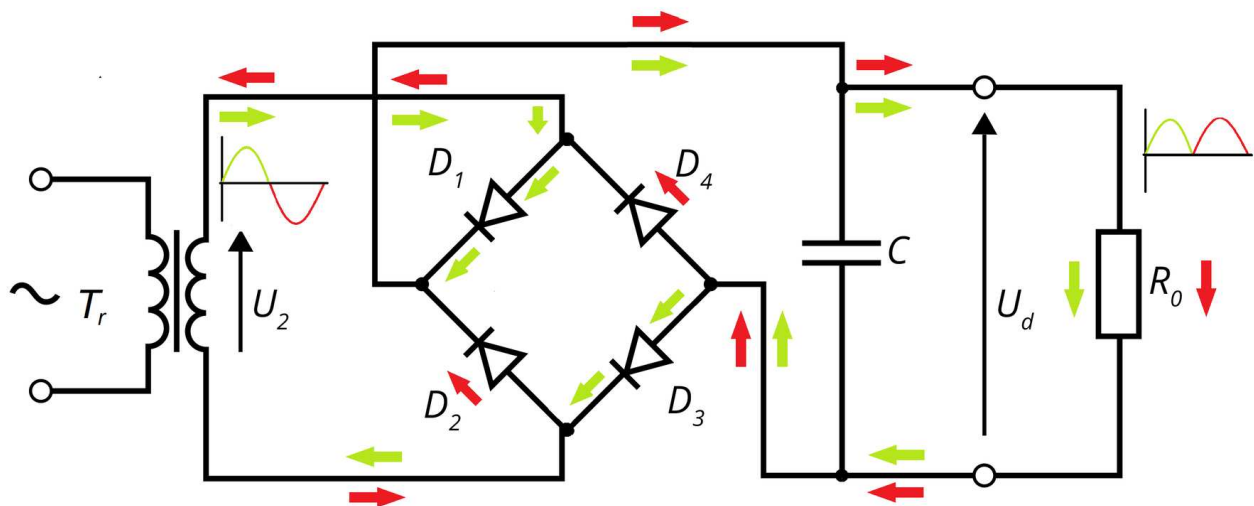
Wadą tego typu prostownika pełnookresowego jest konieczność zastosowania transformatora o większej mocy z dwoma oddzielnymi i identycznymi uzwojeniami po stronie wtórnej. Powoduje to zwiększenie kosztu całego urządzenia.

Aby wyeliminować wady prostownika pełnookresowego, stosuje się układ mostkowy. Zastosowano w nim cztery diody prostownicze, które połączono w konfigurację mostka Graetza (Rys. 7.4). Przebiegi napięcia uzyskuje się w tym prostowniku analogiczne jak dla prostownika pełnookresowego.



Rys. 7.4 Prostownik dwupołówkowy w układzie mostka Graetza

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.



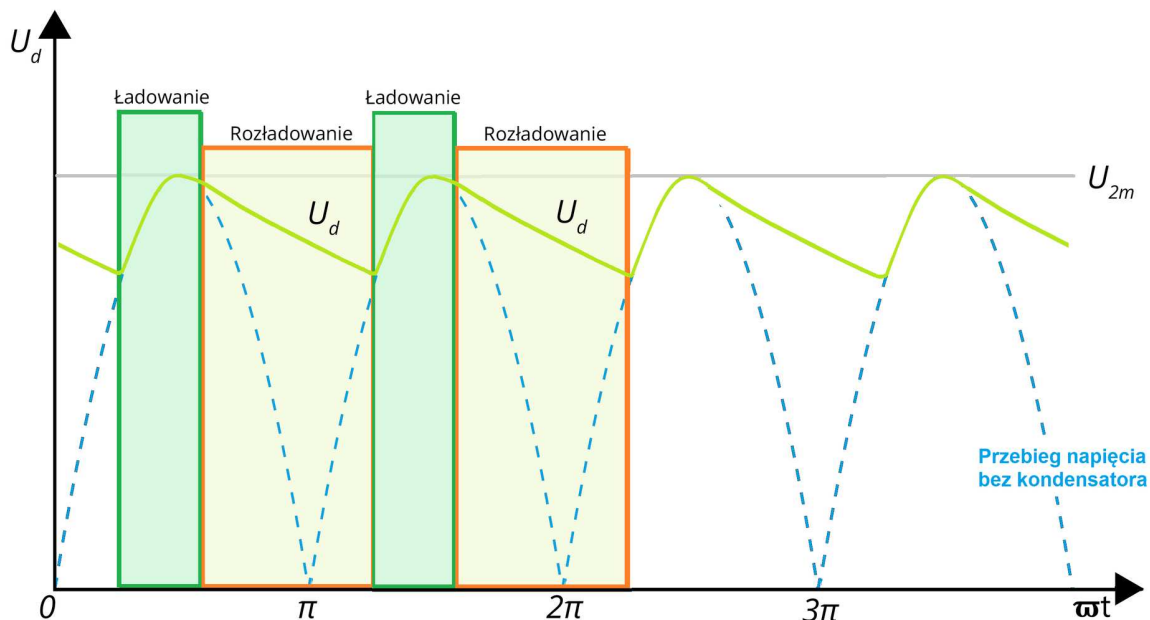
Rys. 7.5 Prostownik dwupołówkowy w układzie mostka Graetza. Kolor zielony - kierunek przepływu prądu dla połówki dodatniej; kolor czerwony - kierunek przepływu prądu dla połówki ujemnej.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Praca prostownika w układzie mostkowym polega na przewodzeniu pary diod D_1 i D_2 dla dodatniej połówki napięcia zasilania oraz D_3 i D_4 dla ujemnej połówki. Prąd płynący przez

obciążenie R_0 ma w tych stanach ten sam kierunek.

Prostownik dwupołkowy, podobnie jak każdy prostownik jednofazowy, charakteryzuje się dużymi tętnieniami napięcia wyjściowego. Aby je zmniejszyć na wyjściu prostownika podłącza się kondensator wygładzający napięcie. Proces wygładzania związany jest z naprzemiennym ładowaniem i rozładowywaniem kondensatora (Rys. 7.6).



Rys. 7.6 Wygładzanie napięcia wyjściowego prostownika

Źródło: domena publiczna.

Wartość średnią napięcia wyprostowanego dla prostowników jednofazowych bez zastosowania kondensatora wygładzającego wyznacza się z wzorów (U_2 jest to wartość skuteczna strony wtórnej transformatora zasilającego prostownik):

- dla prostownika jednopołkowego:

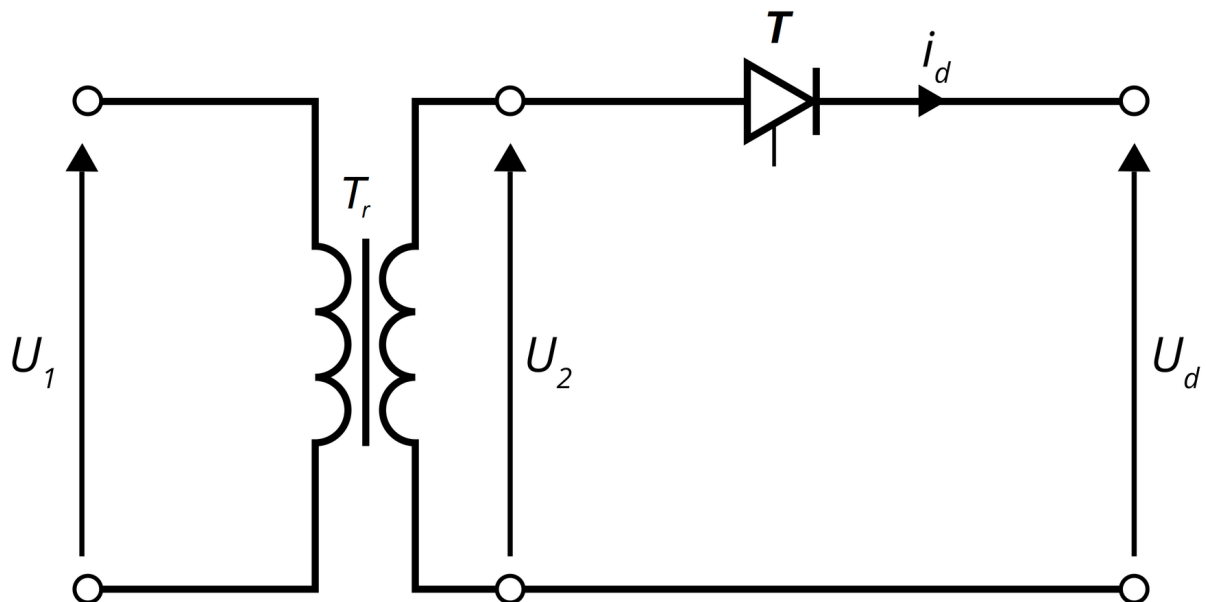
$$U_{d0} \approx 0,45 \cdot U_2$$

- dla prostownika dwupołkowego:

$$U_{d0} \approx 0,9 \cdot U_2$$

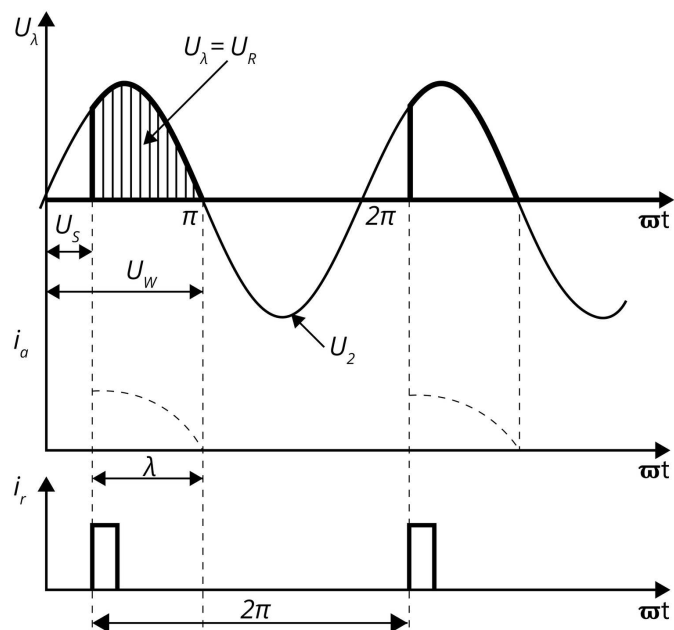
Prostowniki sterowane

Na Rys. 7.7 przedstawiono podstawowy schemat prostownika jednopulsowego.



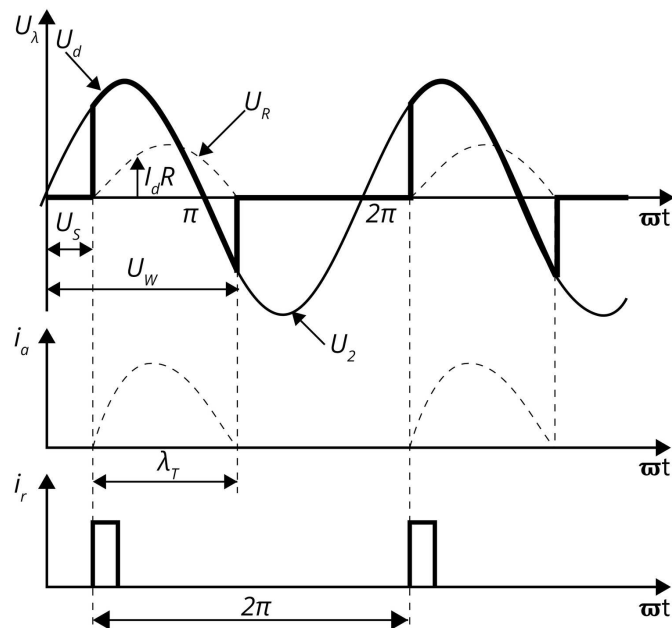
Rys. 7.7 Prostownik jednofazowy, jednopulsowy

Na następnych rysunkach przedstawiono odpowiednie przebiegi prądów i napięć dla obciążenia typu R (Rys. 7.8), RL (Rys. 7.9).



Rys. 7.8 Przebiegi napięć, prądu i impulsu sterującego w prostowniku jednopulsowym dla obciążenia typu R.

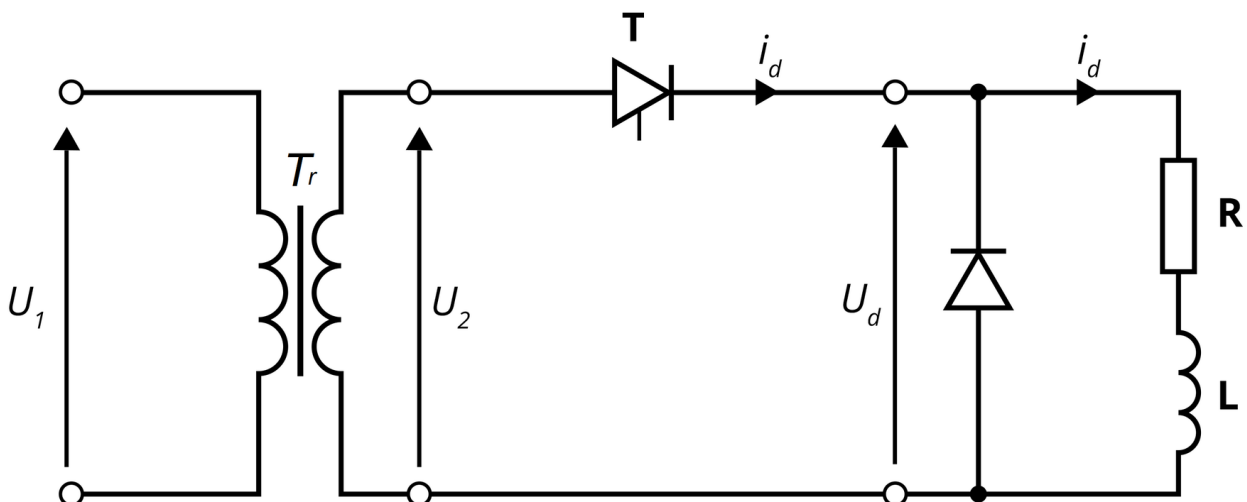
Źródło: Na podstawie: Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.



Rys. 7.9 Przebiegi napięć, prądu i impulsu sterującego w prostowniku jednopulsowym dla obciążenia typu RL.

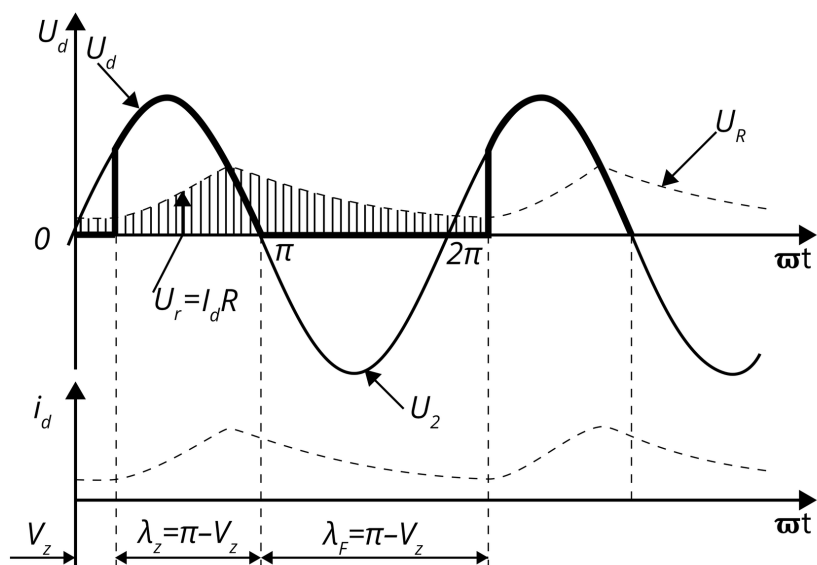
Źródło: Na podstawie Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.

Załączenie tyrystora jest możliwe tylko w przypadku jego dodatniej polaryzacji, czyli w zakresie kątów załączenia $0 < \vartheta_z < \pi$. W przypadku obciążenia typu R (Rys. 7.8) na wyjściu układu prostownikowego pojawiają się tylko dodatnie fragmenty sinusoidy. W przypadku obciążenia typu RL (Rys. 7.9) napięcie wyjściowe zawiera także składową ujemną, powodując spadek średniej wartości napięcia wyprostowanego. Aby wyeliminować to zjawisko stosuje się układ, w którym dodano tzw. „diodę zerową” (Rys. 7.10). Odpowiednie przebiegi prądów i napięć przedstawiono na Rys. 7.11. Na wyjściu układu otrzymuje się tylko dodatnie wartości napięcia i prądu - w tym układzie praca falownikowa nie jest możliwa.



Rys. 7.10 Prostownik jednopulsowy z diodą zerową.

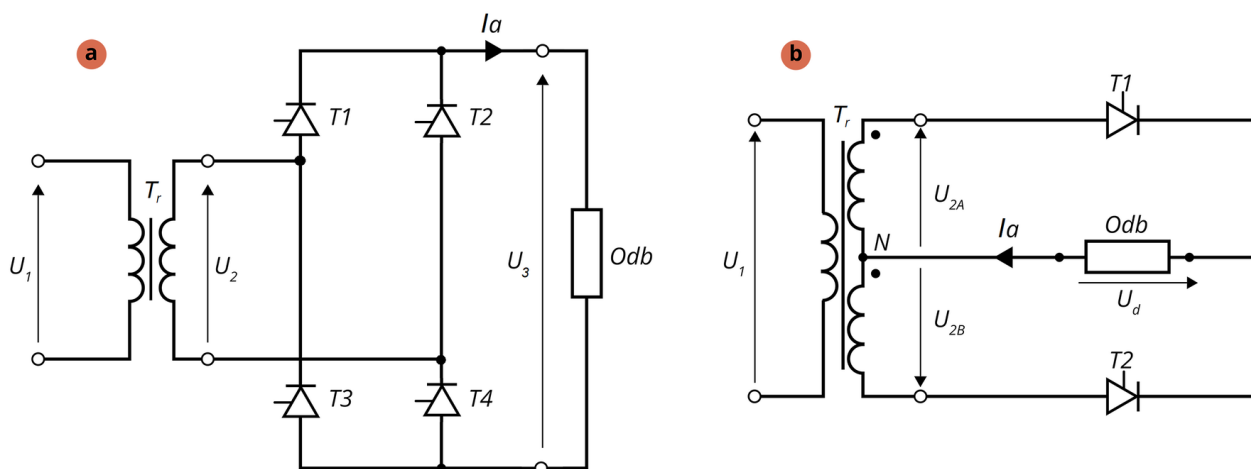
Źródło: Na podstawie Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.



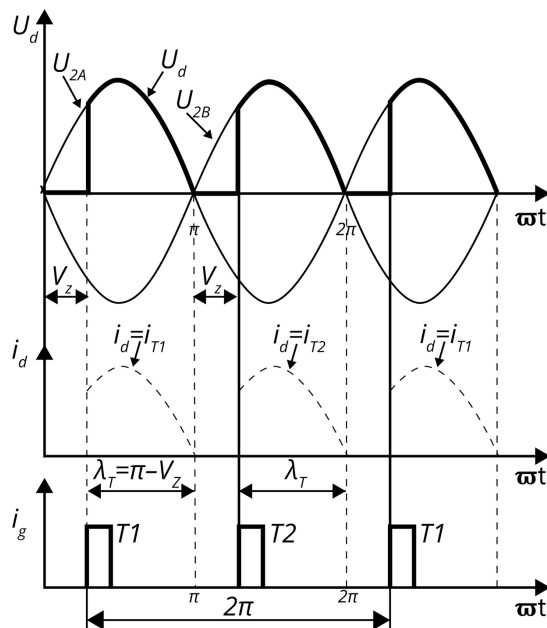
Rys. 7.11 Przebiegi napięć i prądu w prostowniku jednopulsowym z diodą zerową dla obciążenia typu RL
 Źródło: Na podstawie Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.

Prostowniki dwupulsowe

Na Rys. 7.12 przedstawiono możliwe konfiguracje prostowników dwupulsowych. Układ z panelu a) złożony jest z typowego jednofazowego, dwuuzwojeniowego transformatora i czterech tyrystorów w układzie mostkowym. W takim układzie możliwe jest też zastosowanie dwóch tranzystorów i dwóch diod. Na panelu b) pokazano układ wymagający zastosowania dwóch tyrystorów i jednofazowego transformatora trójuzwojeniowego.

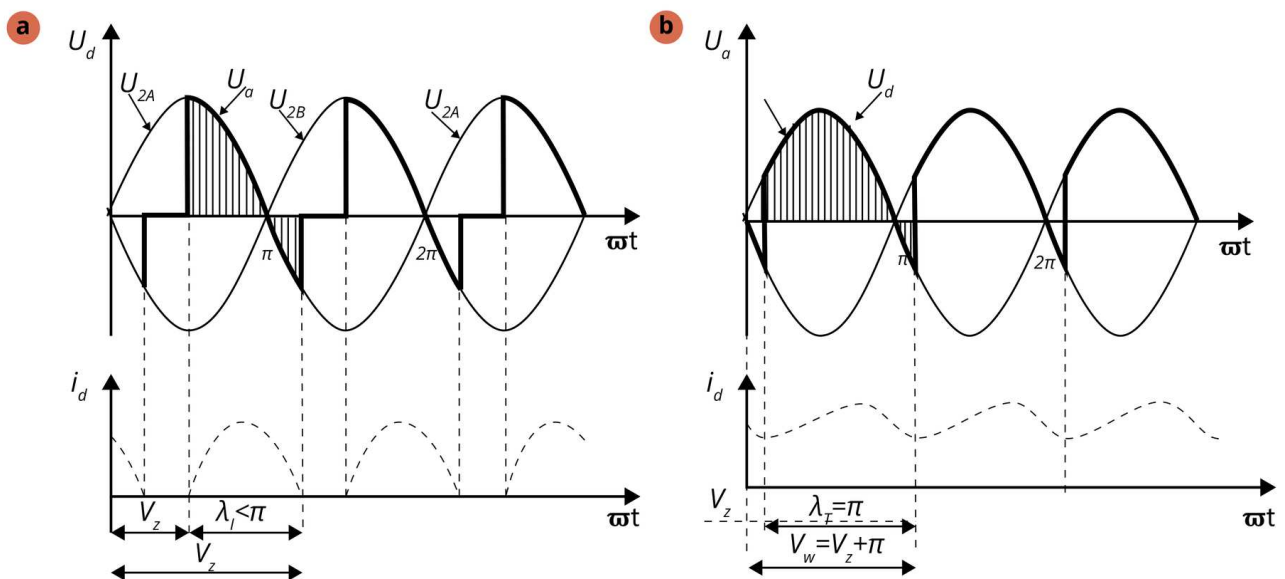


Rys. 7.12 Prostownik jednofazowy, dwupulsowy, a) mostkowy; b) dwuelementowy
 Źródło: Na podstawie Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.



Rys. 7.13 Przebiegi napięć, prądu i impulsu sterującego w prostowniku jednofazowym, dwupulsowym dla obciążenia typu R

Źródło: Na podstawie Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.



Rys. 7.14 Przebiegi napięć, prądu i impulsu sterującego w prostowniku jednofazowym, dwupulsowym dla obciążenia typu RL. a) prądy przerywane; b) prądy ciągłe

Źródło: Na podstawie Maciej Tondos, Podstawy energoelektroniki, licencja: CC BY 3.0.

Wartość średnia napięcia wyprostowanego dla prostowników sterowanych jest równa:

- przy przewodzeniu ciągłym

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

- przy przewodzeniu przerywanym

$$U_d = \frac{1}{2} \cdot U_{d0} \cdot \left(\cos \vartheta_z - \cos \vartheta_w \right)$$

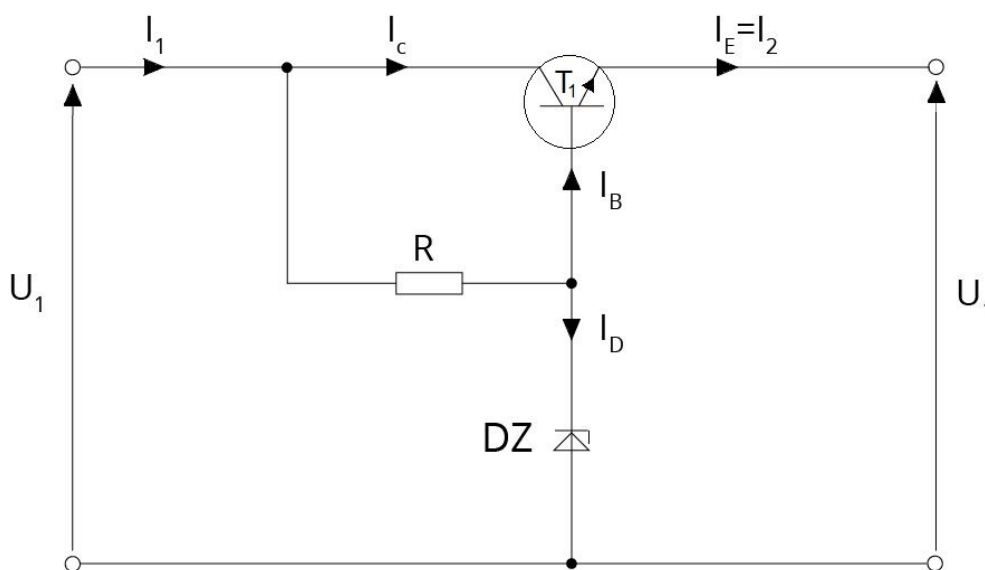
[Wróć do spisu treści](#)

[Animacja 3D/3D](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Stabilizatory napięcia i zasilacze

Stabilizatory służą do stabilizacji napięć zasilających. Typowe napięcia wyjściowe stabilizatorów mieszczą się w granicach od 5 V do 15 V, lecz są budowane również układy zarówno dla niższych, jak i wyższych napięć. Najprostszymi układami stosowanymi w układach elektronicznych są stabilizatory parametryczne (Rys. 8.1), które wykorzystują dużą stromość charakterystyki napięciowo-prądowej w kierunku zaporowym diody Zenera.



Rys. 8.1 Stabilizator parametryczny z tranzystorem i diodą Zenera

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Obecnie stosowane stabilizatory napięcia stanowią elektroniczne układy scalone przeznaczone do utrzymywania żądanego napięcia stałego. Układ taki powinien działać niezależnie od obciążenia oraz wahań napięcia. W stabilizatorach utrzymywanie stałego napięcia wyjściowego osiągnięto dzięki ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu. Ponadto od stabilizatorów wymaga się zachowania niezmienności napięcia niezależnie od temperatury.

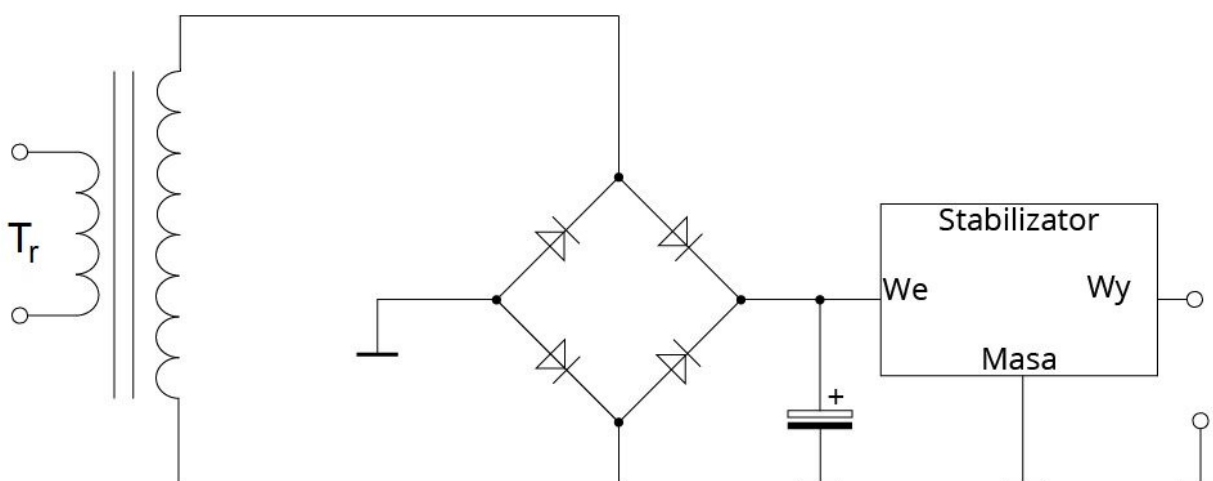
Dla stabilizatorów można wyróżnić podstawowe parametry:

- znamionowa wartość napięcia wyjściowego,
- maksymalny prąd wyjściowy,
- maksymalny prąd zwarcia,
- zakres dopuszczalnych zmian napięcia wejściowego,
- minimalny spadek napięcia pomiędzy wyjściem a wejściem, potrzebny do właściwej stabilizacji napięcia wyjściowego,
- współczynnik stabilizacji napięciowej czyli stosunek zmiany napięcia wyjściowego do zmiany napięcia wejściowego,

- współczynnik stabilizacji prądowej czyli stosunek zmiany prądu wyjściowego do zmiany prądu wejściowego,
- rezystancja wyjściowa,
- sprawność energetyczna.

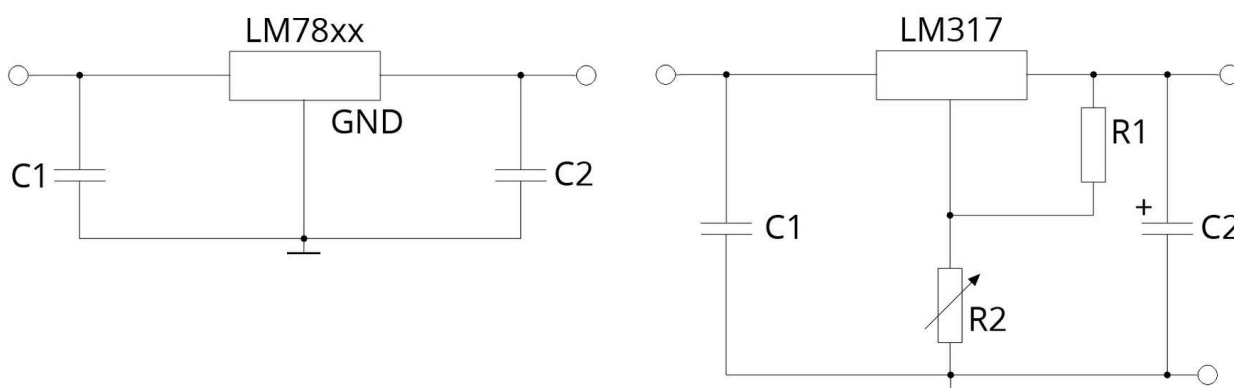
Podział stabilizatorów

- Stabilizatory liniowe – dostarczają stabilizowane napięcie ze źródła zasilania do odbiornika. Charakteryzują się dużą niezawodnością, trwałością i niewielkim kosztem, mają jednak wyraźną wadę związaną z dużą ilością wydzielonego ciepła. Z tej przyczyny stabilizator liniowy najczęściej wymaga zastosowania odpowiedniego radiatora. Wśród stabilizatorów liniowych można wyróżnić układy o ustalonej wartości dodatniej lub ujemnej oraz stabilizatory o regulowanej wartości dodatniej lub ujemnej. Z tej grupy stabilizatorów najczęściej stosowanymi układami scalonymi są: LM78xx, LM79xx oraz LM317 (gdzie xx określa napięcie wyjściowe). W układzie LM78xx (tzw. stabilizator dodatni) wejście podłączone jest do obwodu dodatniego (np. zasilacza), w układzie LM79xx (tzw. stabilizator ujemny) wejście podłączone jest do obwodu ujemnego.



Rys. 8.2 Układ podłączenia stabilizatora napięcia

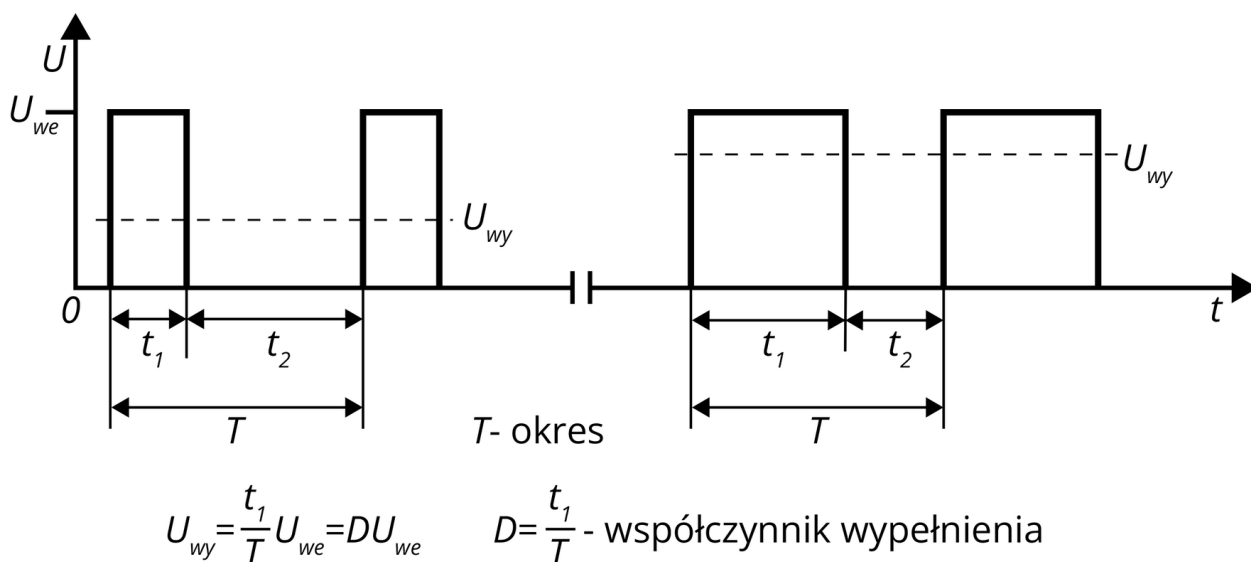
Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.



Rys. 8.3 Podłączenie stabilizatorów liniowych

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

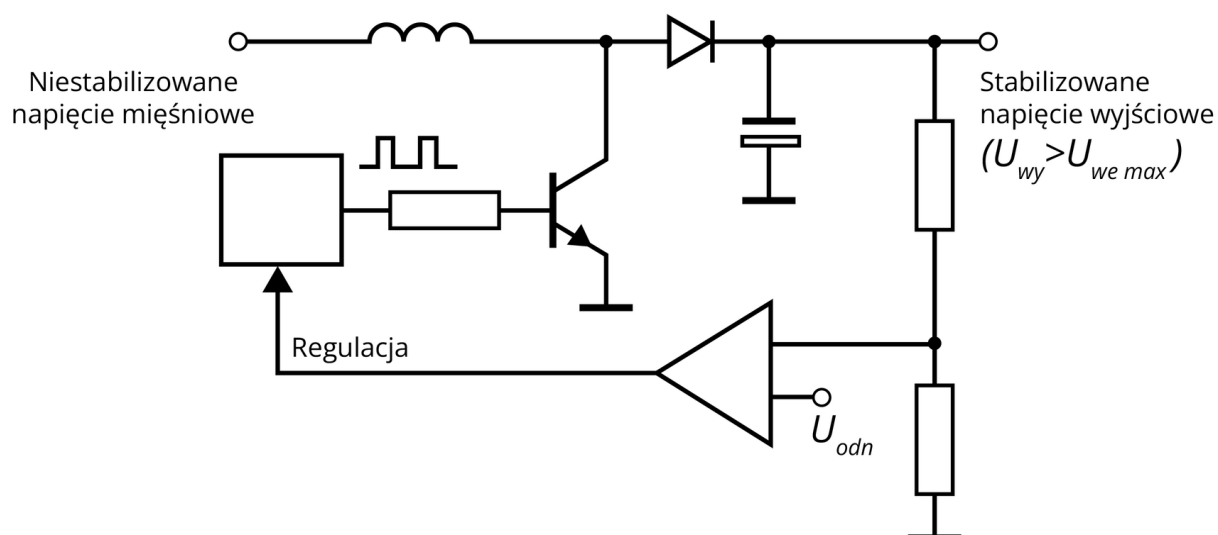
- Stabilizatory impulsowe (przetwornice) – charakteryzują się ciągłym działaniem, a ich zaletami są szybkość odpowiedzi i niski poziom szumów podczas pracy. Do wad stabilizatorów impulsowych zalicza się m.in. niską sprawność, która wynika z nieprzerwanej utraty mocy na tranzystorze wykonawczym.



Rys. 8.4 Kształtowanie przez modulację szerokości impulsów

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Stabilizator impulsowy



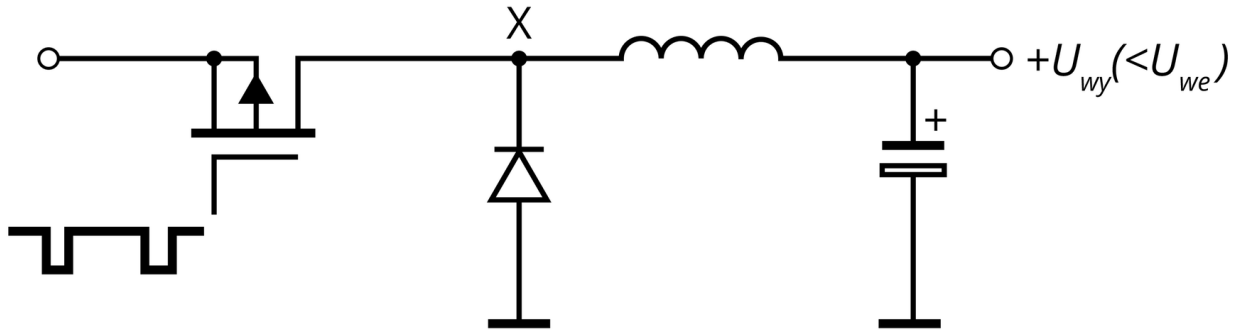
Rys. 8.5 Stabilizator impulsowy

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

W stabilizatorze impulsowym tranzystor pracujący jako klucz nasycony powoduje cykliczne dołączanie na krótko cewki indukcyjnej do źródła niestabilizowanego napięcia

wejściowego. W czasie trwania każdego impulsu nasycającego tranzystor prąd płynący przez cewkę narasta liniowo. W polu magnetycznym cewki gromadzi się energia, która w następnej fazie cyklu jest przekazywana do kondensatora filtrującego, dołączonego do wyjścia stabilizatora. Kondensator wygładza tętnienia napięcia wyjściowego.

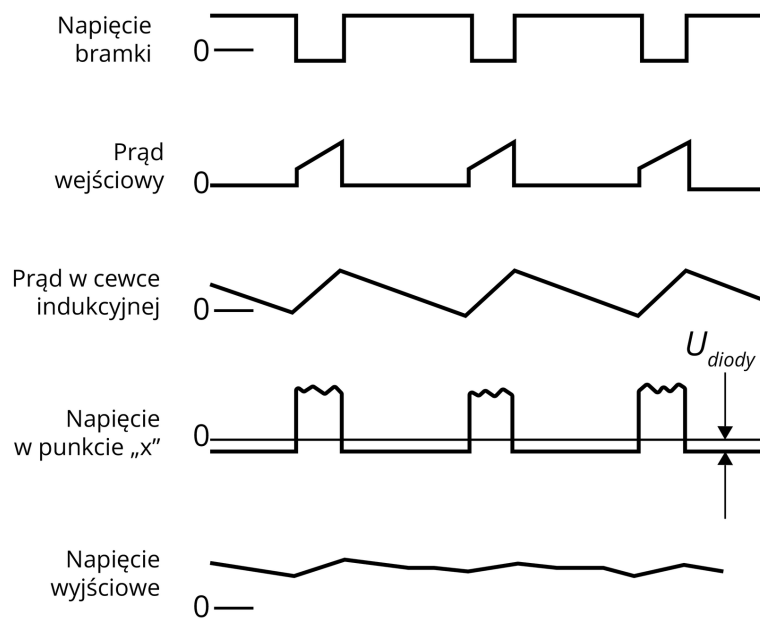
Stabilizator zmniejszający wartość napięcia



Rys. 8.6 Stabilizator zmniejszający wartość napięcia

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

Na rysunku przedstawiono schemat części przełącznikowej podstawowego układu stabilizatora zmniejszającego wartość napięcia. Gdy tranzystor MOS jest włączony, na cewce pojawia się napięcie o stałej wartości: $(U_{we} - U_{wy})$, co jest przyczyną liniowego narastania prądu w cewce. Prąd ten wpływa do kondensatora i do obciążenia. Po wyłączeniu tranzystora prąd nadal płynie przez cewkę w tym samym kierunku. Obwód prądu zamyka się przez diodę, która wchodzi w stan przewodzenia. Kondensator umieszczony na wyjściu układu wygładza piłozębne tętnienia napięcia wyjściowego (im większa wartość pojemności kondensatora tym mniejsza amplituda napięcia tętnień). W tej fazie wartość napięcia na cewce jest prawie stała i równa $(U_{wy} - 0,6)$ [V], co powoduje liniowe zmniejszenie się prądu w cewce.

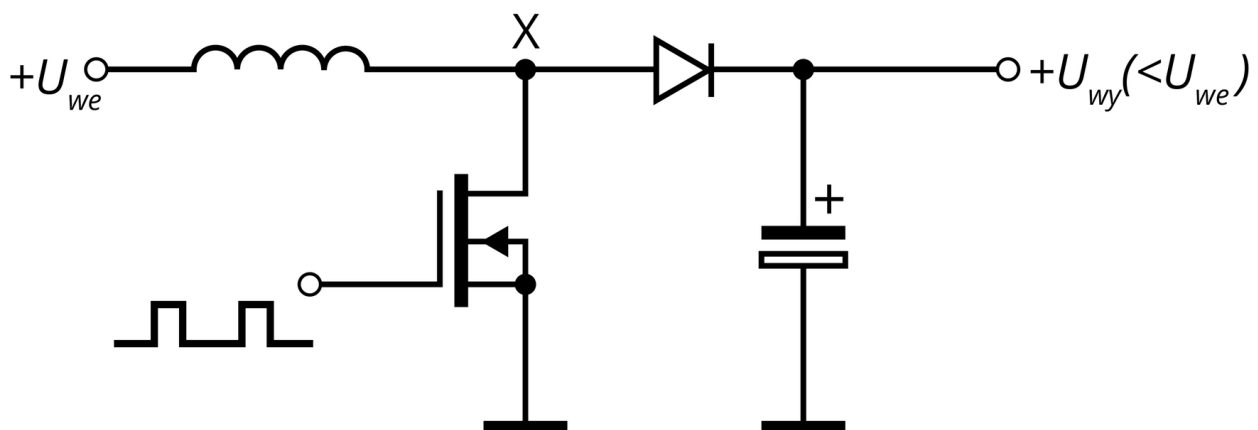


Rys. 8.7 Przebiegi napięć i prądów układu stabilizatora zmniejszającego wartość napięcia

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Na rysunku przedstawiono przebiegi napięć i prądów występujących w analizowanym układzie. Kompletny układ stabilizatora musi zawierać obwód sprzężenia zwrotnego, który będzie zmieniać albo szerokość impulsów doprowadzanych do bramki tranzystora MOS (przy stałej częstotliwości a zmiennym czasie trwania t_1 – modulacja PWM), albo częstotliwości impulsów (przy stałym czasie trwania t_1 a zmiennej częstotliwości – modulacja PFM). Sygnałem powodującym zmianę parametrów ciągu impulsów jest sygnał wyjściowy wzmacniacza błęd, porównującego wartość napięcia wyjściowego stabilizatora z wartością napięcia odniesienia.

Stabilizator zwiększający wartość napięcia



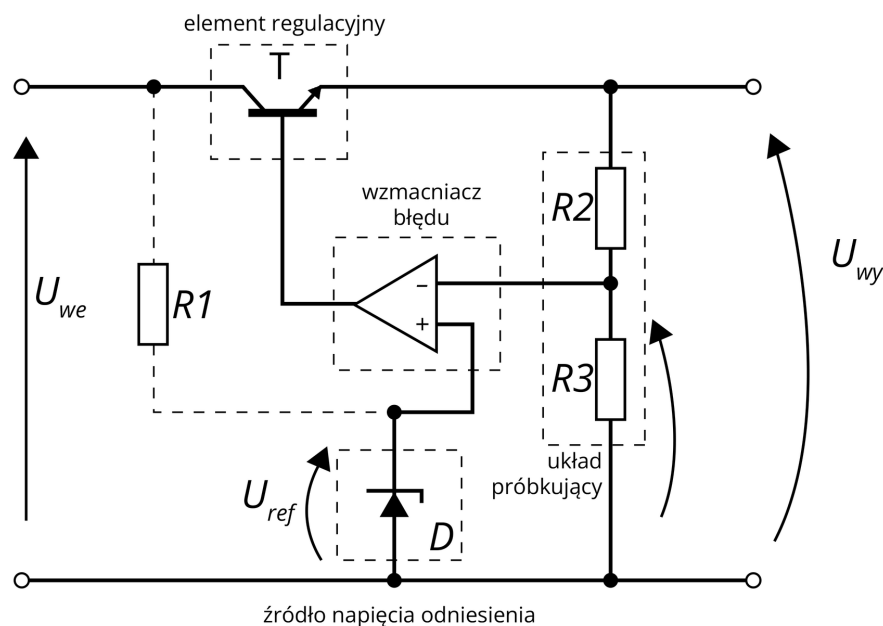
Rys. 8.8 Stabilizator zwiększający wartość napięcia

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Gdy klucz tranzystorowy jest włączony (potencjał punktu X jest bliski potencjałowi masy), wartość prądu płynącego przez cewkę rośnie liniowo. Po wyłączeniu klucza wartość

napięcia w punkcie X gwałtownie rośnie, gdyż musi być spełniony warunek ciągłości prądu płynącego przez cewkę. Dioda zostaje spolaryzowana w kierunku przewodzenia i płynie przez nią prąd ładujący kondensator. Wartość napięcia wyjściowego może być wielokrotnie większa od wartości napięcia wejściowego.

Stabilizatory LDO (ang. *Low Drop Out*) – rodzaj stabilizatorów liniowych, wymagających niewielkiego zróżnicowania między napięciem wejściowym a wyjściowym. Przystosowane do pracy ciągłej, nie sprawdzają się jednak przy wysokim napięciu wejściowym. Głównymi elementami budowy stabilizatorów LDO są: źródło napięcia odniesienia, wzmacniacz błędów i element szeregowy, taki jak tranzystor bipolarny albo MOSFET.



Rys. 8.9 Schemat ideowy stabilizatora LDO

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

Istotą działania stabilizatorów ze sprzężeniem zwrotnym jest to, że układ dzięki mechanizmowi sprzężenia zwrotnego śledzi zmiany napięcia wyjściowego i przeciwdziała im w taki sposób, aby napięcie wyjściowe pozostało niezmiennie. Napięcie wyjściowe jest podawane poprzez układ próbkujący na wejście wzmacniacza błędów. Układem próbkującym jest układ dzielnika napięcia złożony z rezystorów R_2 i R_3 . Napięcie na wejściu wzmacniacza błędów wynosi więc

$$U_{R3} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_{wy}$$

Na drugie wejście wzmacniacza błędów podawane jest napięcie odniesienia U_{ref} . Różnica napięć na wejściach wzmacniacza błędów nazywana jest sygnałem błędów. Sygnał błędów jest wzmacniany i podawany (w przeciwnej fazie do zachodzących zmian lecz na wyjściu stabilizatora) na wejście elementu regulacyjnego, czyli na bazę tranzystora T. Jeżeli napięcie

na wyjściu stabilizatora zwiększa się, to sygnał błędu powoduje zmniejszenie wysterowania tranzystora T i tym samym zmniejszenie napięcia wyjściowego (gdyż zwiększa się napięcie UCE tranzystora T), podobnie przy zmniejszaniu napięcia wyjściowego tranzystor T jest bardziej wysterowany i napięcie na wyjściu ulega zwiększeniu (napięcie UCE zmniejsza się).

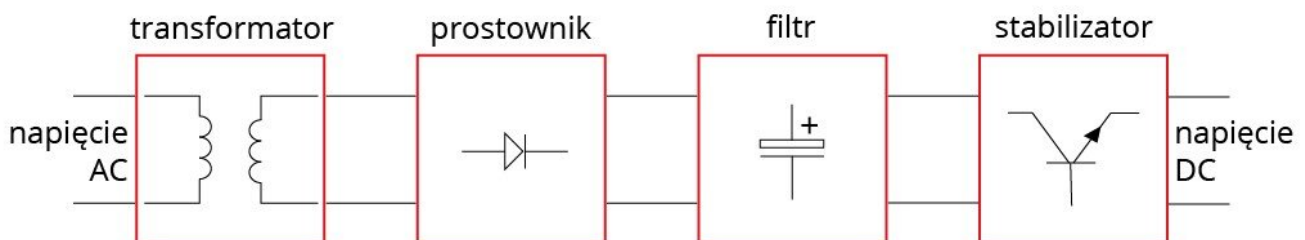
Przy założeniu, że wzmacniacz błędu ma wzmocnienie o bardzo dużej wartości to w przybliżeniu napięcie wyjściowe stabilizatora wynosi:

$$U_{wy} = U_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

Zasilacze stanowią źródła napięcia zasilania układów elektronicznych. Wymagania związane z dostarczaniem dużej energii sprawiają, że zasilacze muszą być dostosowane pod kątem mocy i napięcia wyjściowego do wymagań zasilanego urządzenia, przy czym napięcie wyjściowe może być niestabilizowane lub stabilizowane.

Wyróżnia się dwie grupy zasilaczy:

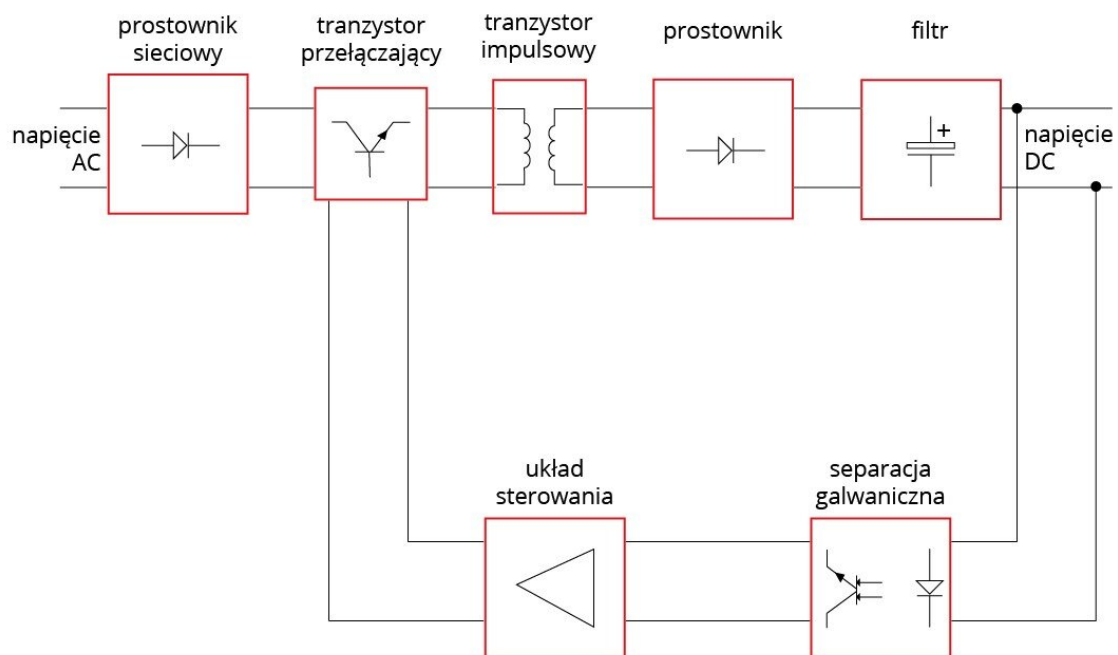
- zasilacze liniowe (o działaniu ciągłym) (Rys. 8.10), składające się z transformatora sieciowego obniżającego napięcie, układu prostowniczego (najczęściej jest to mostek Graetza), filtrów wygładzających oraz stabilizatora liniowego (zazwyczaj stosuje się układy monolityczne serii LMx17 i LM78xx - np. LM317, LM7805);



Rys. 8.10 Schemat blokowy zasilacza liniowego nazywanego zasilaczem o działaniu ciągłym.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

- zasilacze impulsowe (Rys. 8.11), w których regulacja napięcia wyjściowego odbywa się dzięki cyfrowemu układowi sterowania, przełączającemu z wysoką częstotliwością odpowiedni tranzystor (sterowanie poprzez modulację PWM).



Rys. 8.11 Schemat blokowy zasilacza impulsowego

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

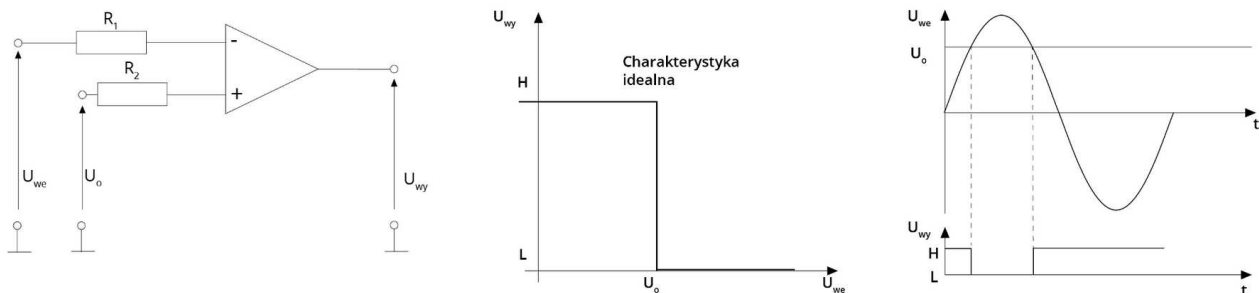
[Powrót do materiału głównego](#)

Komparatory sygnałów

W wielu układach elektronicznych istnieje potrzeba sprzęgnięcia układów analogowych i cyfrowych. Służą do tego przetworniki analogowo-cyfrowe. Jednak sygnały analogowe często mają charakter pomiarowy, a więc najczęściej wystarczy uzyskanie sygnału dwustanowego, w którym otrzymuje się informację czy napięcie jest wyższe, czy niższe od zadanego progu. Do otrzymywania sygnałów dwustanowych stosuje się komparatory napięcia.

Komparator napięcia jest małym układem scalonym, pozwalającym na porównanie ze sobą dwóch napięć. Jest wyposażony w dwa wejścia: odwracające (-) i nieodwracające (+) oraz w wyjście; wymaga ponadto zasilania.

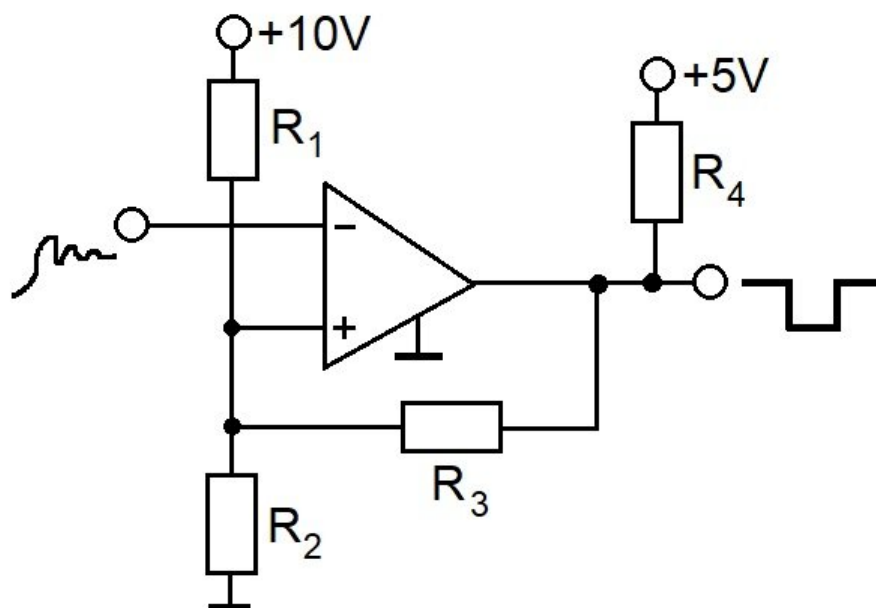
Komparatory napięcia budowane są w oparciu o wzmacniacze operacyjne (Rys. 9.1). Przyjmuje się, że do wejścia nieodwracającego podłącza się sygnał mierzony, zaś do wejścia odwracającego napięcie odniesienia (np. napięcie 0 V). Na wyjściu układu pojawia się stan wysoki, jeżeli sygnał mierzony ma wyższą wartość niż napięcie odniesienia. W przeciwnym wypadku na wyjściu pojawia się stan niski. Działanie komparatora związane jest zatem z porównaniem sygnałów, a nie ze stwierdzeniem, jak duża jest różnica między sygnałami.



Rys. 9.1 Wzmacniacz operacyjny jako komparator; często nazywany jest komparatorem analogowym.

Źródło: Akademia Finansów i Biznesu Vistula, licencja: CC BY 3.0.

W przypadku komparatorów istnieje możliwość uzyskania niejednoznacznego, losowego stanu na wyjściu. Pojawia się to, gdy sygnały na obu wejściach są porównywalne i osiąga się próg zadziałania. Niejednoznaczność sygnału spowodowana jest wówczas zjawiskami wynikającymi ze zmian temperatury, szumami. W takim przypadku wygodnie jest zastosować komparator charakteryzujący się histerezą. Jest to zjawisko polegające na niejednakowym zachowaniu się układu w sytuacji, gdy różnica napięć rośnie lub maleje. W obu przypadkach występują różne progi przełączania (Rys. 9.2).



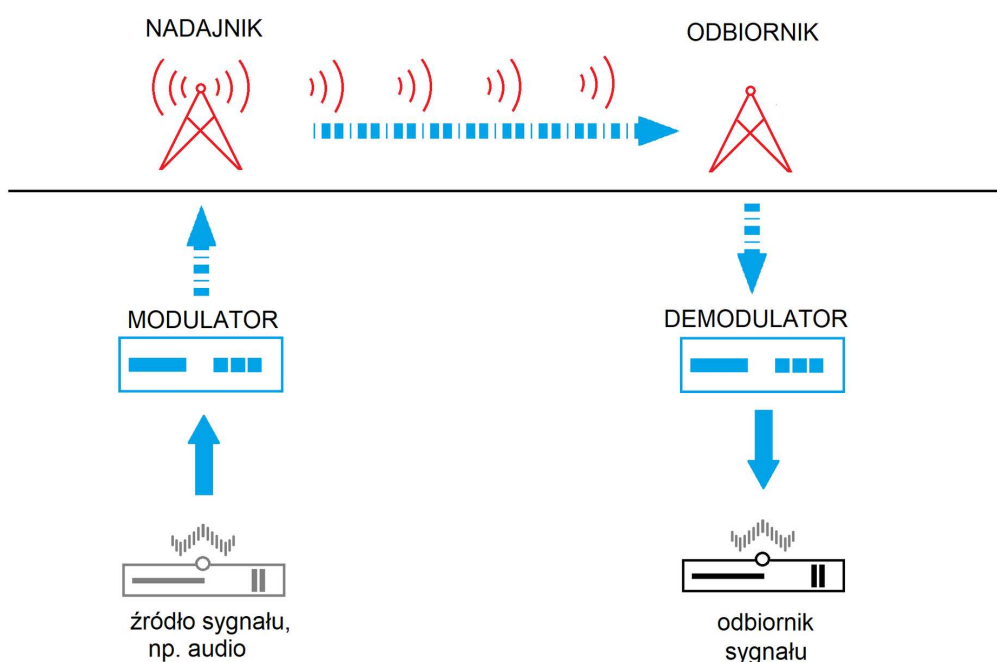
Rys. 9.2 Eliminacja dodatkowych stanów komparatora przez wprowadzenie histerezy

[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Modulacja AM, FM, PM

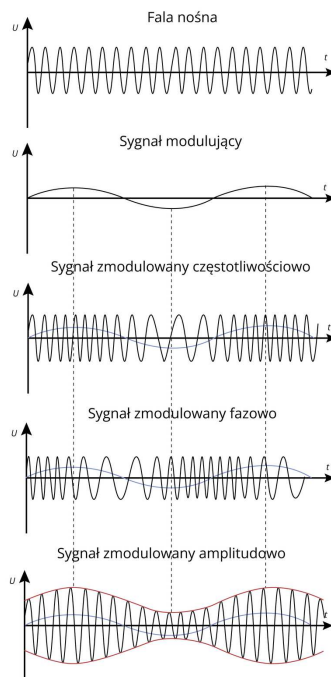
Przesłanie sygnału audio na dużą odległość sprawia duże trudności. Wiązać się może z utratą części informacji, np. poziomu sygnału. Równocześnie częstotliwości radiowe mają dobre własności propagacyjne związane z rozchodzeniem się fal na znaczne odległości i w różnych ośrodkach. Uzyskanie tych własności możliwe jest poprzez zastosowanie modulacji sygnałów.



Rys. 10.1 Powstawanie modulacji

Modulacja (rys. 10.2) jest związana z nałożeniem informacji zawartej w przebiegu modulującym (przebieg o małej częstotliwości) na falę nośną (przebieg wielkiej częstotliwości). Istnieją trzy podstawowe rodzaje modulacji:

- modulacja amplitudy AM (z ang. *Amplitude Modulation*) – utrzymuje stałą częstotliwość i fazę oraz skaluje amplitudę; wykorzystana była m.in. w transmisji kodu Morse'a (CW), gdzie czas trwania lub zaniku sygnału odpowiadał poszczególnym znakom alfabetu oraz w przesyłaniu informacji radiowych (poza falami UKF);
- modulacja częstotliwości FM (z ang. *Frequency Modulation*) – utrzymuje stałą amplitudę i zmienia częstotliwość fali w czasie; wykorzystywana jest m.in. w transmisjach radiowych na falach UKF;
- modulacja fazy PM (z ang. *Phase Modulation*) – utrzymuje stałą amplitudę, ale przesuwa kształt fali o fazę; rzadko znajduje zastosowanie w systemach analogowych, jest natomiast szeroko stosowana do transmisji sygnału cyfrowego i nosi nazwę kluczowania fazy (PSK).



Rys. 10.2 Przebiegi w modulacji AM, FM i PM

Źródło: *Akademia Finansów i Biznesu Vistula*, licencja: CC BY 3.0.

[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)

Netografia i bibliografia

Netografia i bibliografia

NETOGRAFIA

Linki do stron internetowych:

1. Aparatura kontrolno-pomiarowa. Dystrybucja, serwis, doradztwo, <https://www.merazet.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
2. Elektronika nie tylko analogowa, <https://edw.elportal.pl/ea/> (dostęp: 22.08.2022).
3. Elektronika praktyczna – aparatura i narzędzia, <https://ep.com.pl/aparatura-i-narzedzia> (dostęp: 28.09.2021).
4. Elektronika praktyczna, <https://ep.com.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
5. Forum dyskusyjne dla elektroników i użytkowników sprzętu audio-video, <http://telewizor.eu/forum/> (dostęp: 28.09.2021).
6. Forum Elektroników, <http://www.elektronikadlawszystkich.fora.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
7. Grupy Elektroonline, <http://www.elektroonline.pl/grupy> (dostęp: 28.09.2021).
8. *Jak to zrobić?* Elektronika, <https://majsterkowo.pl/forum/elektronika-f19/> (dostęp: 28.09.2021).
9. Komponenty elektroniczne, <https://www.tme.eu> (dostęp: 28.09.2021).
10. Podzespoły elektroniczne, <https://pl.farnell.com> (dostęp: 28.09.2021).
11. Poradniki dla elektroników i majsterkowiczów, <https://forbot.pl/forum/> (dostęp: 28.09.2021).
12. Profesjonalna aparatura pomiarowa, <https://www.amt.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
13. Schematy telewizorów, <http://hobby-elektronika.eu/schematy.html> (dostęp: 28.09.2021).
14. Serwis elektroniczny, <https://limesserwis.pl> (dostęp: 28.09.2021).
15. Sklep elektroniczny dla profesjonalistów i hobbystów robotyki, <https://botland.com.pl> (dostęp: 28.09.2021).
16. Sklep internetowy audio-video, <https://sklep.rms.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
17. Sprzęt kontrolno-pomiarowy, <https://ndn.com.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
18. Strona poświęcona elektronice i robotyce dla osób początkujących, <http://robotykadlapoczatkujacych.pl> (dostęp: 28.09.2021).
19. Strona serwisu Elektroda, <https://www.elektroda.pl/> (dostęp: 28.09.2021).
20. Transformatory, <http://www.elhand.pl> (dostęp: 28.09.2021).

21. Tutoriale elektroniczne, <https://www.electronics-tutorials.ws/pl> (dostęp: 28.09.2021).

BIBLIOGRAFIA

1. Bolkowski Stanisław, *Elektrotechnika. Wydanie VIII*, WSiP, Warszawa 2013.
2. Cedro Michał, Wilczkowski Daniel, *Pomiary elektryczne i elektroniczne. Podstawa programowa 2017*, WKŁ, Warszawa 2018.
3. Francuz Tomasz, *AVR. Układy peryferyjne*, Helion, Gliwice 2014.
4. Geier Michael Jay, *Jak naprawić sprzęt elektroniczny. Poradnik dla nieelektronika. Wydanie II*, Helion, Gliwice 2019.
5. Gibilisco Stan, *Schematy elektroniczne i elektryczne. Przewodnik dla początkujących. Wydanie III*, Helion, Gliwice 2014.
6. Golonko Piotr, *Eksploatacja urządzeń elektronicznych. Kwalifikacja EE.22. Podręcznik do nauki zawodu technik elektronik. Część 1*, WSiP, Warszawa 2019.
7. Golonko Piotr, *Montaż oraz instalowanie układów i urządzeń elektronicznych. Kwalifikacja ELM.02 / EE.03. Część 1*, WSiP, Warszawa 2018.
8. Golonko Piotr, *Montaż oraz instalowanie układów i urządzeń elektronicznych. Kwalifikacja ELM.02 / EE.03. Część 2*, WSiP, Warszawa 2018.
9. Golonko Piotr, *Użytkowanie urządzeń elektronicznych. Kwalifikacja E.20.1. Podręcznik do nauki zawodu technik elektronik*, WSiP, Warszawa 2017.
10. Grabowski Leszek, *Pracownia elektroniczna, układy elektroniczne*, WSiP, Warszawa 2008.
11. Horowitz Paul, Hill Winfield, *Sztuka elektroniki, t.1-2* WKŁ, Warszawa 2018.
12. Nosal Zbigniew, Baranowski Jerzy, *Układy elektroniczne. cz. 1*, WNT, Warszawa, 2003.

[Wróć do spisu treści](#)

[Powrót do materiału głównego](#)