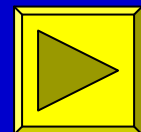


Wzmacniacze o kształtowanej charakterystyce.

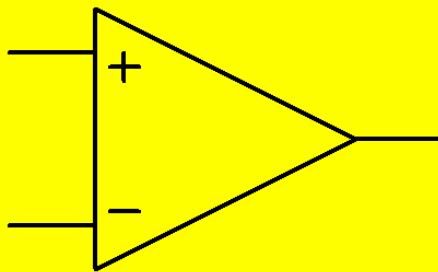


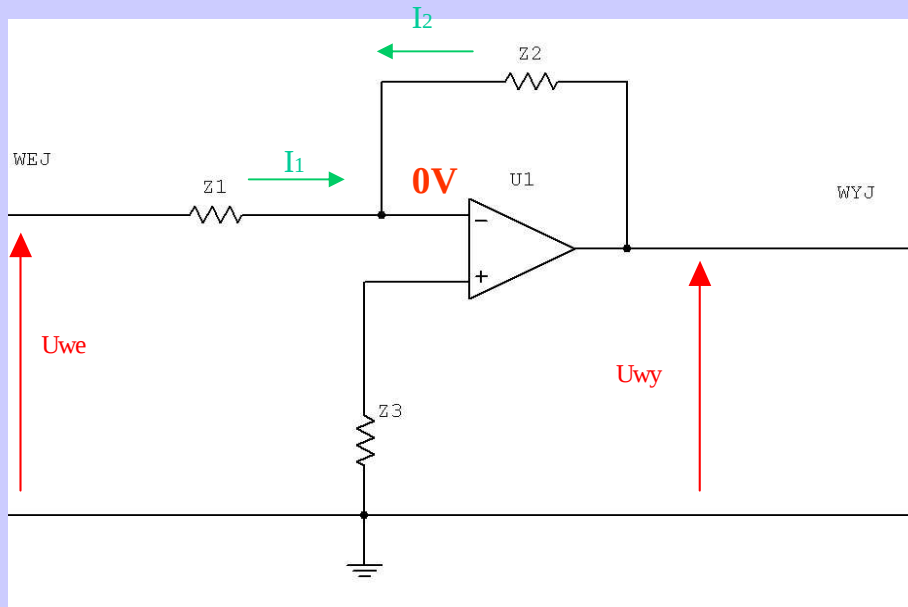
Podstawowe układy pracy wzmacniaczy operacyjnych.

- Wzmacniacz odwracający
- Wzmacniacz nieodwracający
- Wtórnik



Wzmacniacz odwracający.





$$I_1 = -I_2$$

$$I_1 = \frac{U_{we}}{Z_1} \quad I_2 = \frac{U_{wy}}{Z_2}$$

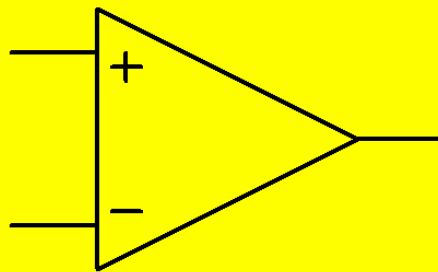
$$\frac{U_{we}}{Z_1} = -\frac{U_{wy}}{Z_2}$$

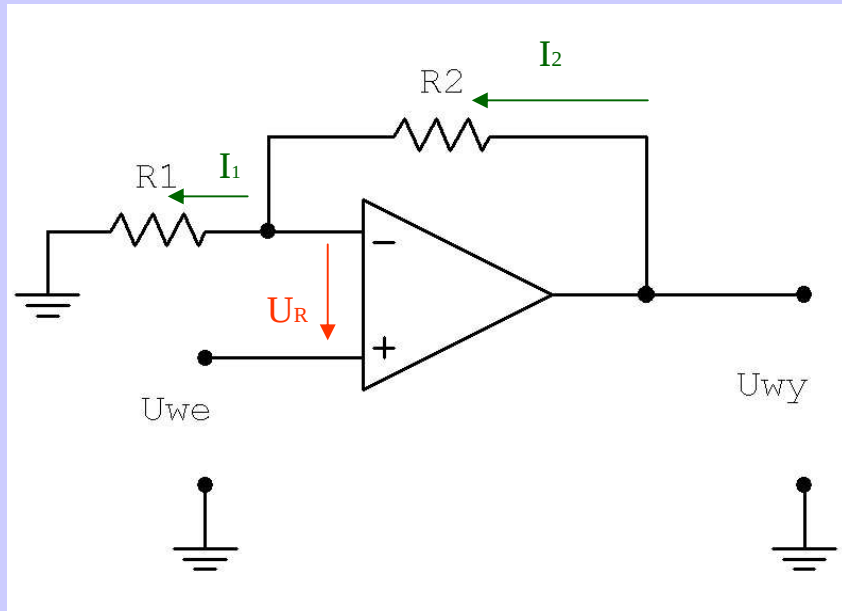
$$Ku = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$Z_3 = \frac{Z_1 * Z_2}{Z_1 + Z_2}$$



Wzmacniacz nieodwracający.





$$K_u = \frac{U_{wy}}{U_R}$$

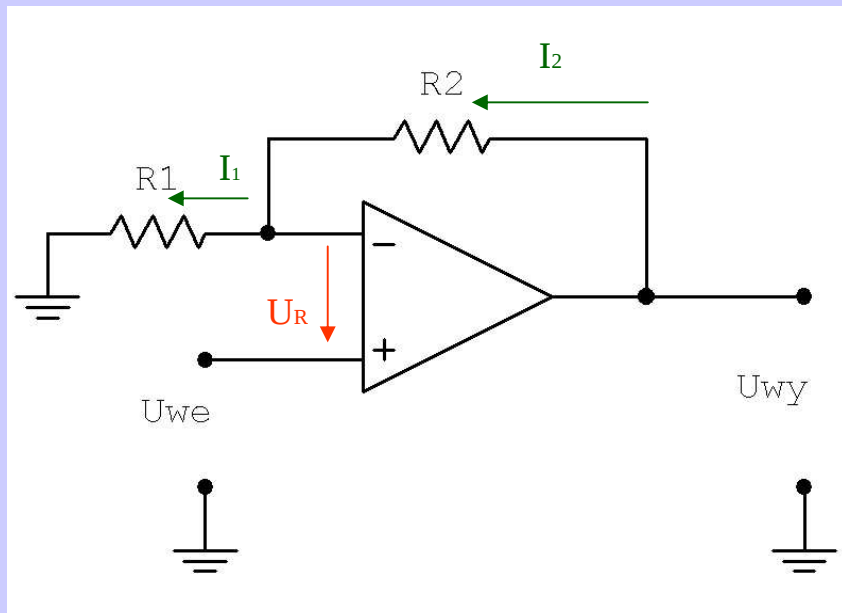
$$U_R * K_U = U_{wy}$$

$$U_R = U_{we} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} * U_{wy}$$

$$U_{we} * K_U - \frac{R_1 * K_U}{R_1 + R_2} * U_{wy} = U_{wy}$$

$$U_{we} = U_{wy} * \left(1 + \frac{R_1 * K_U}{R_1 + R_2}\right)$$

$$U_{we} = U_{wy} * \left(\frac{1}{K_U} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

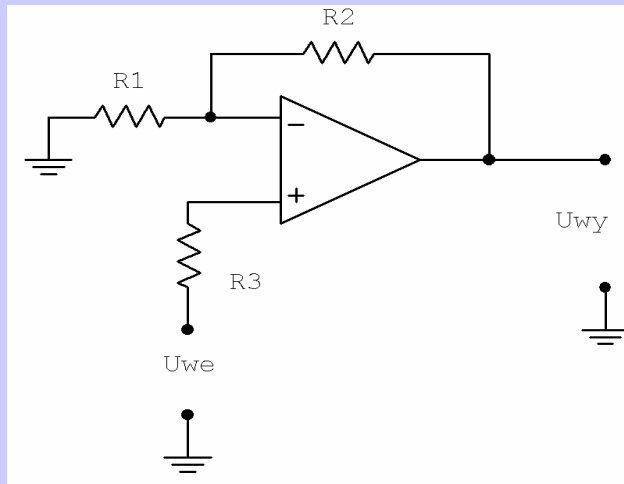


$$U_{WE} = U_{WY} * \left(\frac{1}{K_U} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$U_{WE} = U_{WY} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

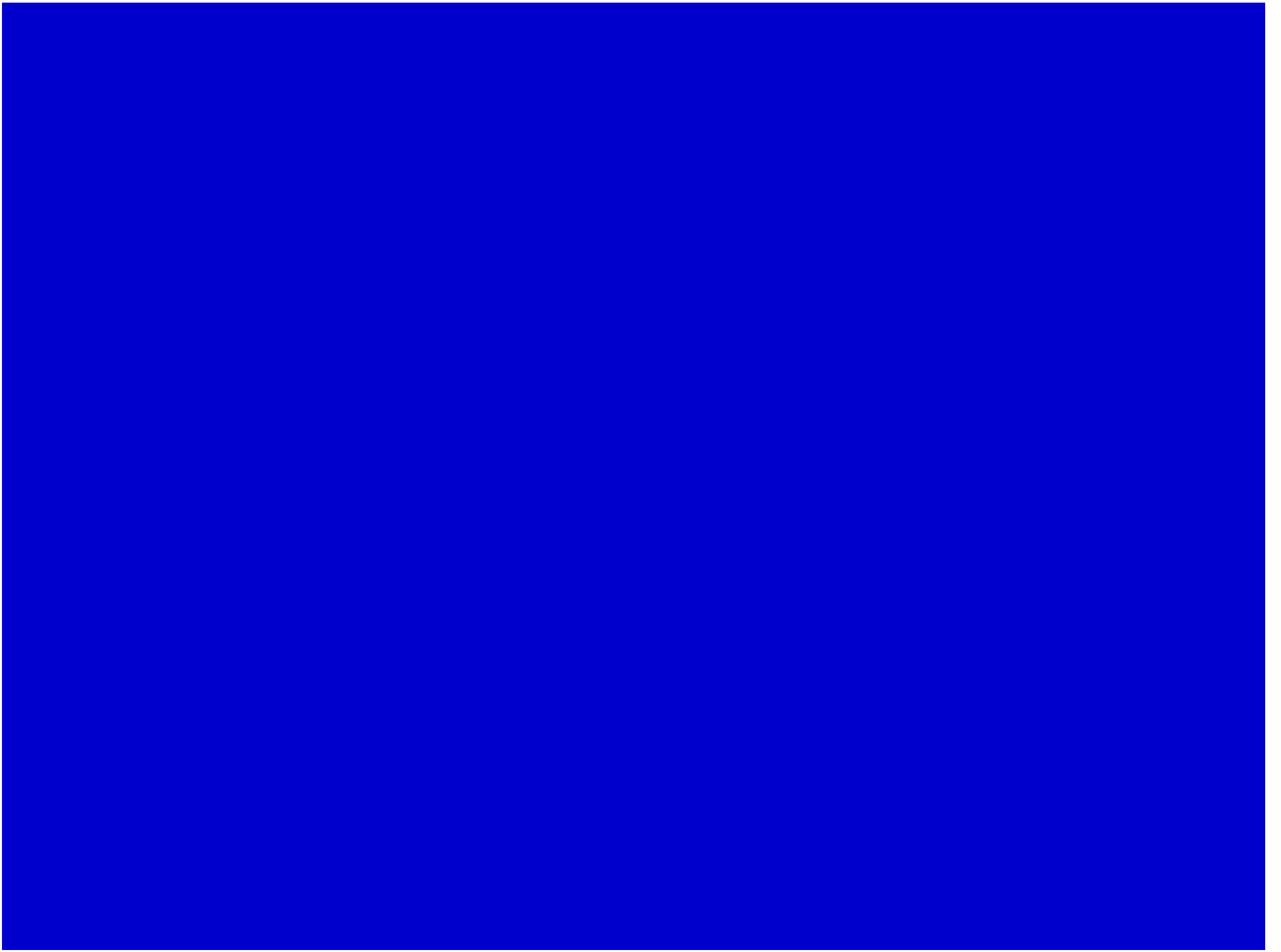
$$\frac{U_{WE}}{U_{WY}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$K_u = \frac{U_{WY}}{U_{WE}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

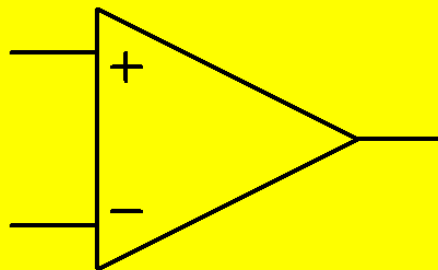


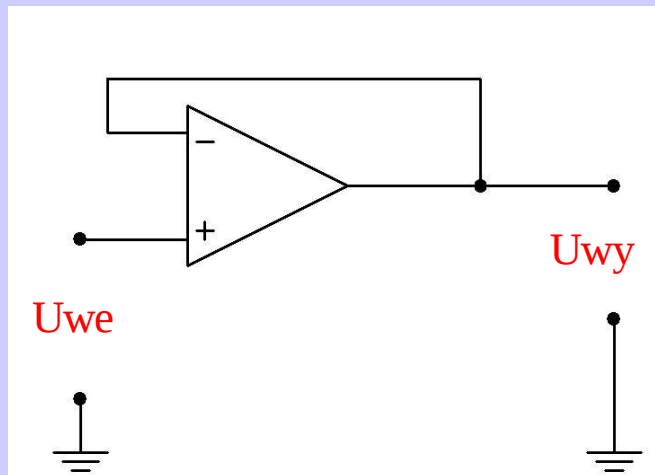
$$R_3 = R_1 \parallel R_2$$

$$R_3 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$



Wtórnik.



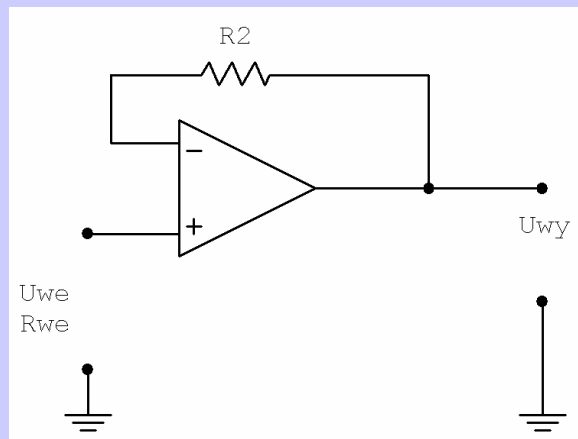


$$R_2 = 0$$

$$R_1 = \infty$$

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

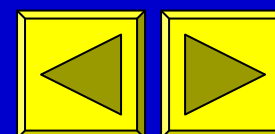
$$K_U = 1$$



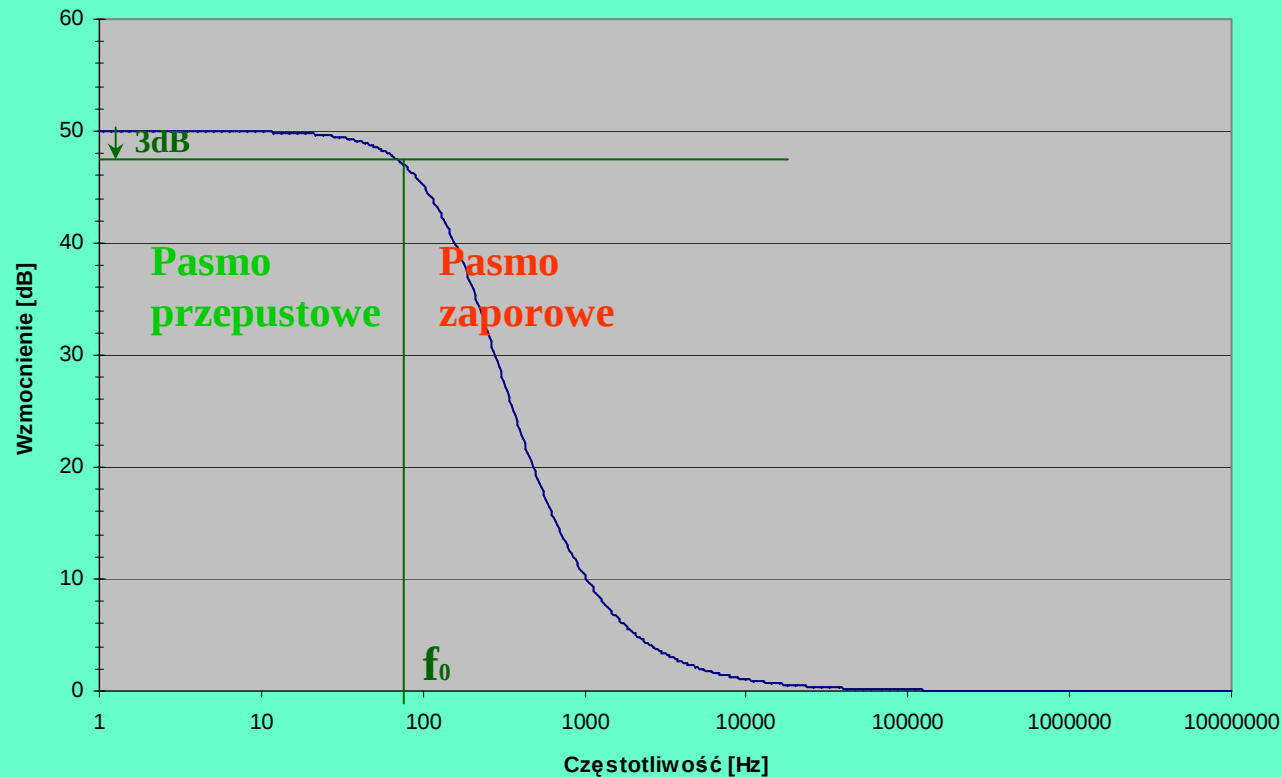
$$R_2 = R_{WE}$$



Parametry filtrów aktywnych.

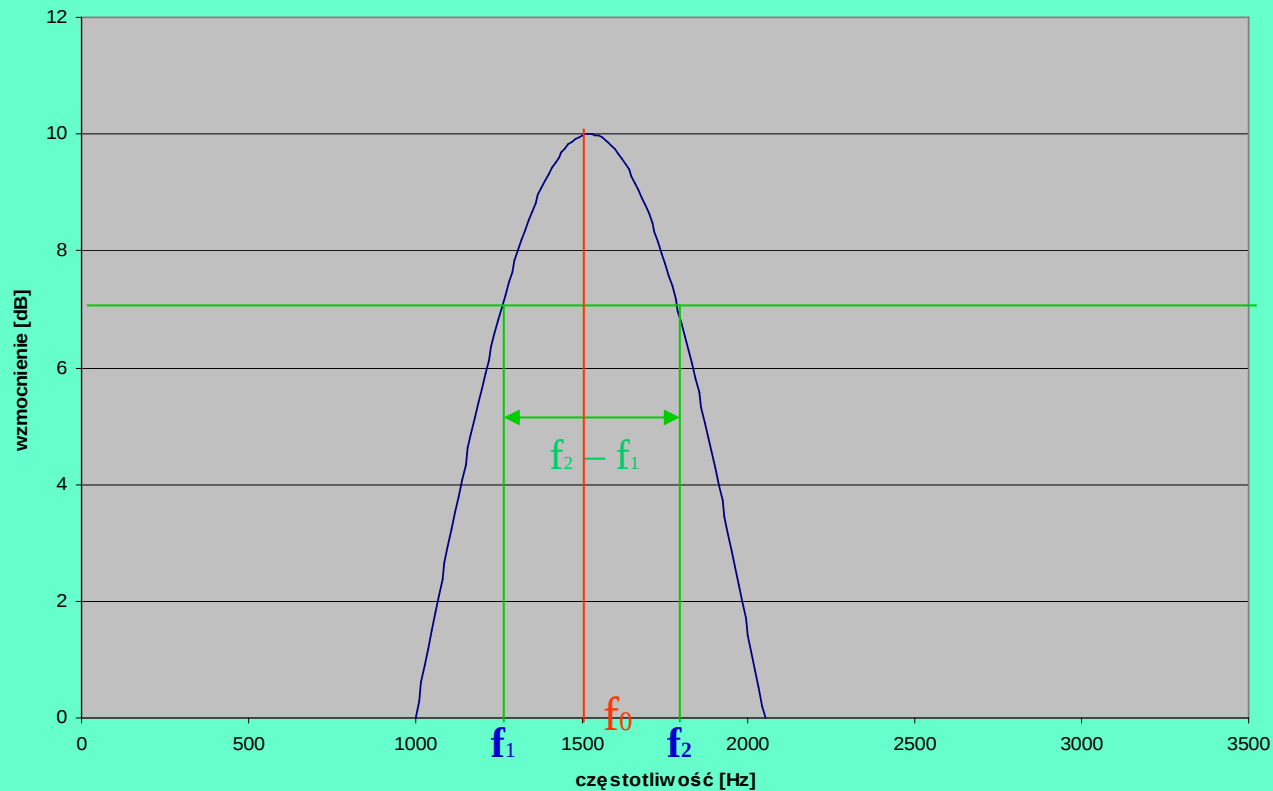


Częstotliwość graniczna



Najważniejszym parametrem filtrów aktywnych jest częstotliwość graniczna (lub częstotliwości graniczne w zależności od filtru). Jest to taka częstotliwość przy której wzmocnienie jest o 3dB mniejsze niż w paśmie przepustowym.

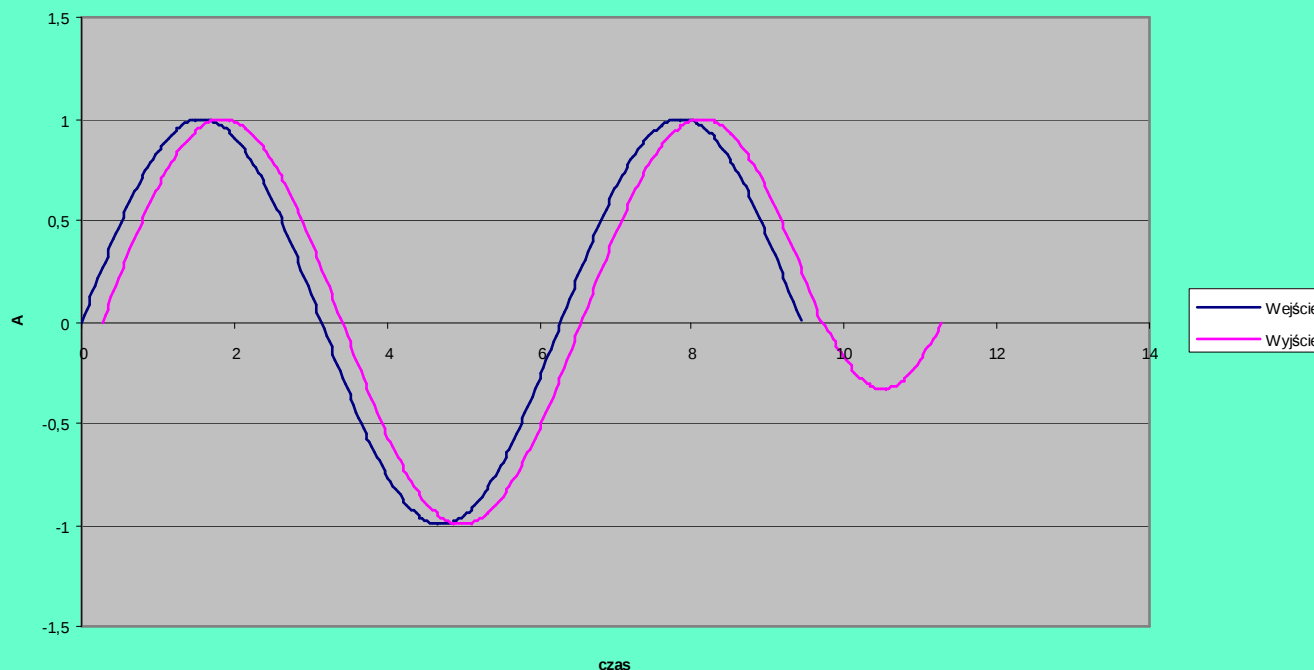
Dobroć filtru



$$Q = \frac{f_0}{(f_2 - f_1)}$$

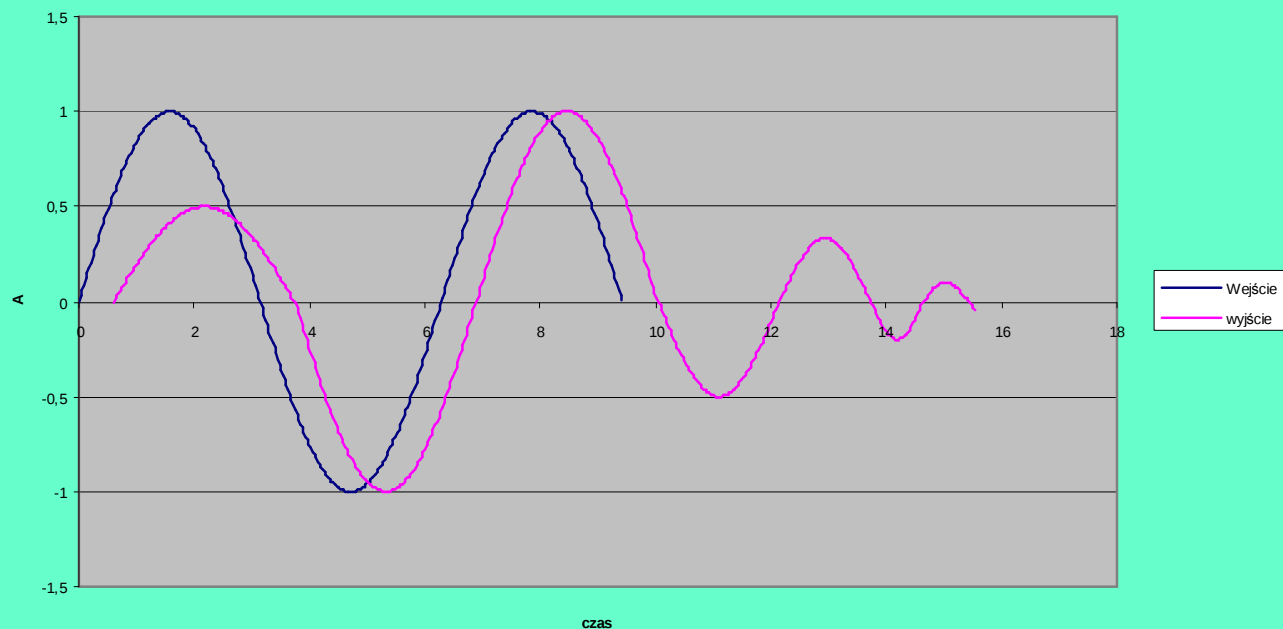
Przy filtrach pasmowych jest to stosunek częstotliwości środkowej do trzydecybelowego pasma przepustowego. Oznacza się ją przeważnie literą Q.

Opóźnienie Grupowe.



Do niektórych zastosowań należy zwracać uwagę na zachowanie się filtru przy podaniu na jego wejście kilku impulsów o określonej częstotliwości. Wiąże się z tym parametr zwany Opóźnieniem Grupowym. W zależności od filtru po zakończeniu ciągu impulsów na wyjściu sygnał może zaniknąć od razu lub gasnąć powoli.

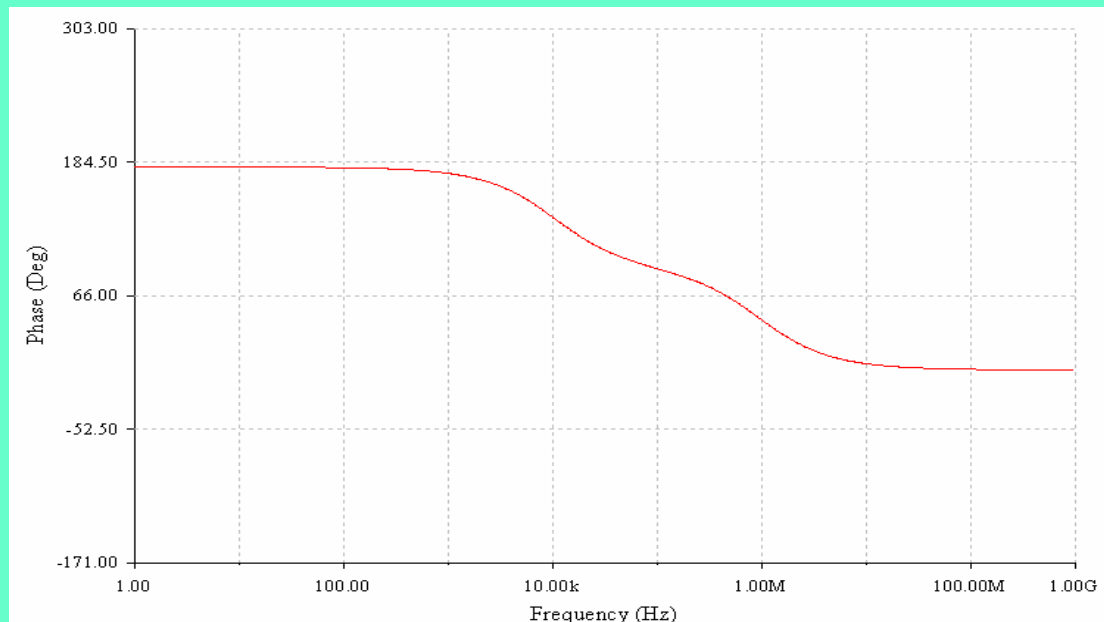
Opóźnienie Grupowe.



Mówimy, że powyższy filtr ma małą skłonność do dzwonienia.

Poniższy filtr ma dużą skłonność do dzwonienia.

Charakterystyka fazowa.



Wzmacniacz oprócz przesunięcia fazowego wynikającego z podłączenia sygnału wejściowego do wejście odwracającego ma również przesunięcie spowodowane użyciem kondensatora (np. w sprzężeniu zwrotnym). Przesunięcie fazowe między wejściem filtru/wzmacniacza a wyjściem będzie więc zależne od częstotliwości. Przy bardziej profesjonalnych zastosowaniach należy to uwzględnić. W tym celu sporządza się charakterystykę fazową filtru.

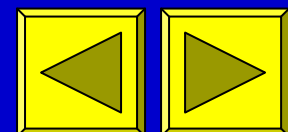
Wrażliwość.

Jest to zależność zmian częstotliwości granicznej od zmiany parametru elementów. Jest to parametr ważny gdy konieczne jest uzyskanie stałej częstotliwości niezależnie od zmiany temperatury.

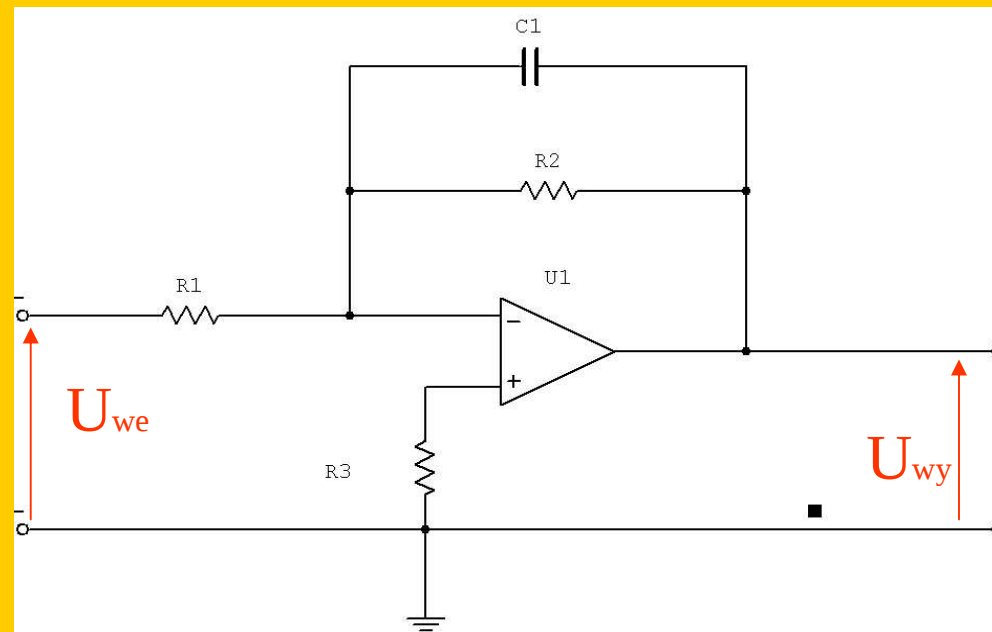
Przy niektórych filtrach zmiana np. pojemności kondensatora o 5% zmieni częstotliwość graniczną o 5% a w innym tylko o 3%. Lepsze są oczywiście te mniej wrażliwe.

Wzmacniacze o kształtowanej charakterystyce.

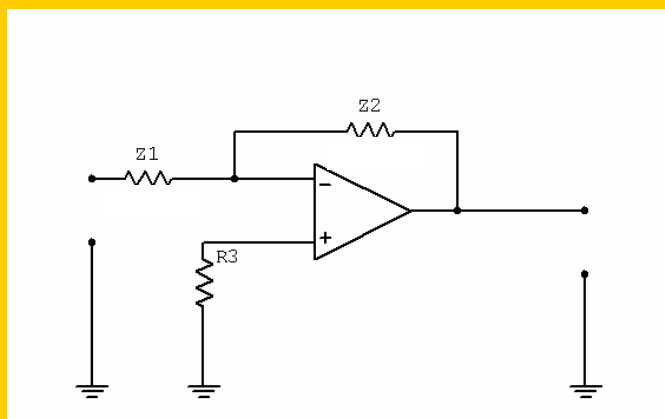
- Aktywny filtr dolnoprzepustowy
- Aktywny filtr górnoprzepustowy
- Aktywny filtr pasmowoprzepustowy



Aktywny filtr dolnoprzepustowy

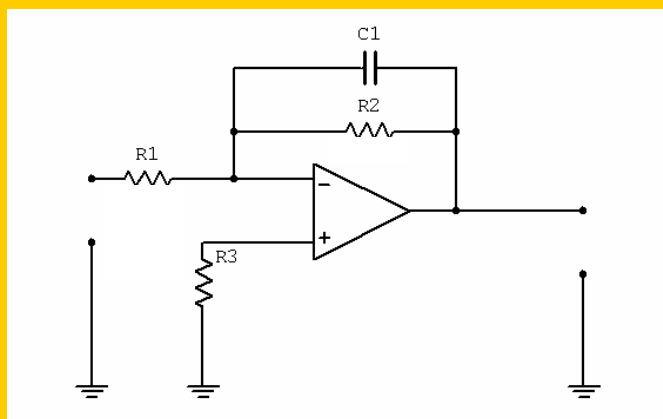


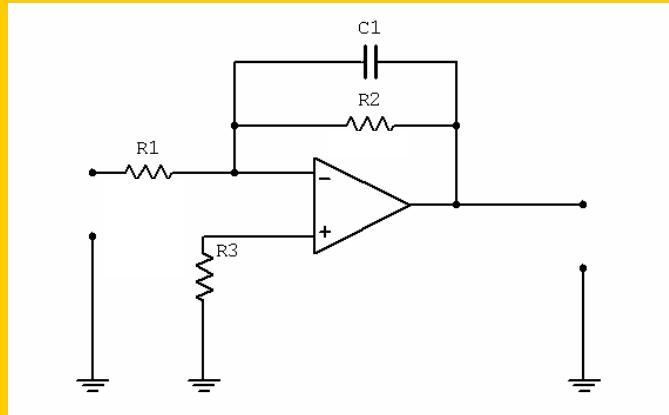
Wprowadzając do układu wzmacniacza odwracającego równoległe połączenie rezystora R_2 i kondensatora C_1 w miejsce impedancji Z_2 oraz rezystor R_1 w miejsce impedancji Z_1 otrzymujemy układ wzmacniacza małych częstotliwości. Impedancje Z_2 można przedstawić wzorem:



Wprowadzając do układu wzmacniacza odwracającego równolegle połączony rezystor R2 i kondensator C1 w miejsce impedancji Z2 oraz rezystor R1 w miejsce impedancji Z1 otrzymujemy układ wzmacniacza małych częstotliwości. Impedancje Z2 można przedstawić wzorem:

$$Z_2 = R_2 \parallel X_{C_1}$$





$$Z_2 = R_2 \parallel X_{C_1}$$

$$Z_2 = \frac{R_2 * \frac{1}{2\pi f * C_1}}{R_2 + \frac{1}{2\pi f * C_1}}$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{(2\pi f * C_1 * R_2) + 1}$$

Jak widać z tego wzoru wraz ze wzrostem częstotliwości maleje wartość Z_2 . Zgodnie ze wzorem na wzmacnienie wzmacniacza odwracającego wnioskujemy, że ze wzrostem częstotliwości zmaleje wzmacnienie.

Częstotliwość przy której wzmacnienie spadnie o 3dB wynosi:

$$F_x = \frac{1}{2\pi * R_2 * C_1}$$

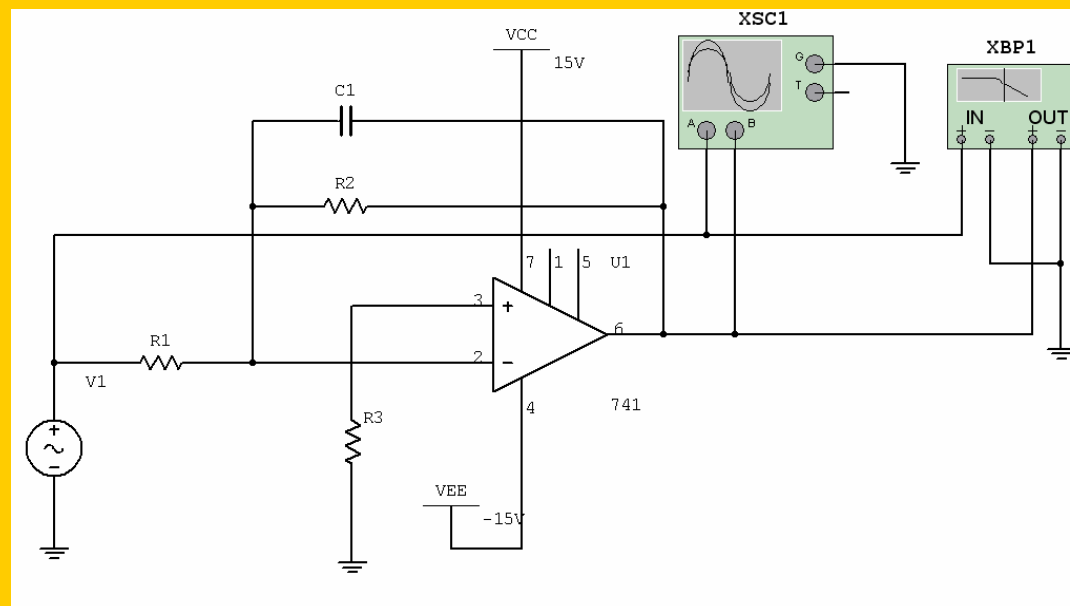
Na odcinku charakterystyki, na którym następuje spadek wzmacnienia 6dB na oktawę opisane jest wzorem:

$$Ku = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{F_x}\right)^2}}$$

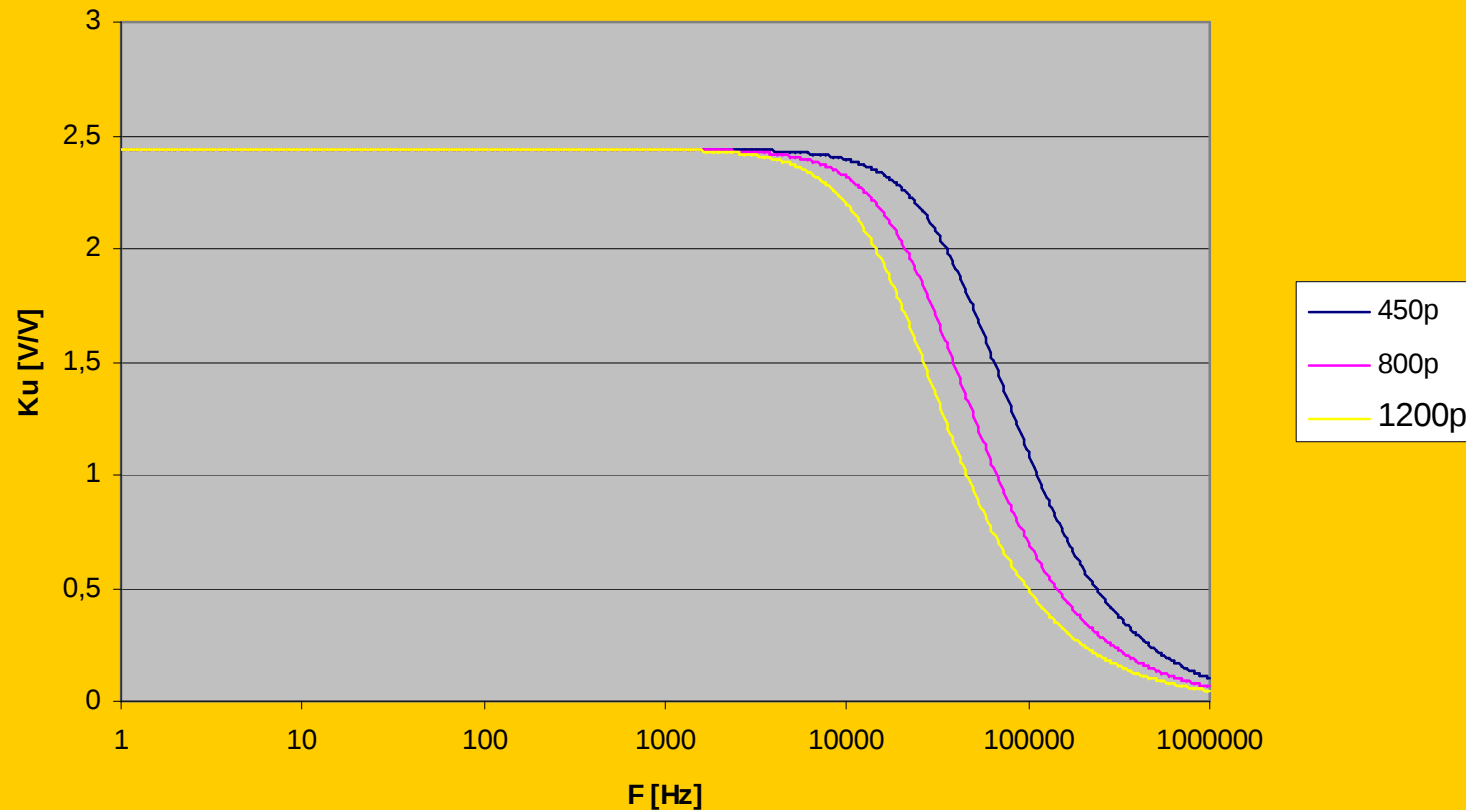
Dla niskich częstotliwości kondensator ma wysoką impedancję i stanowi rozwarcie. Wzmacnienie wtedy wyniesie wartość maksymalną równą:

$$Ku = \frac{R_2}{R_1}$$

**Charakterystyki sporządziliśmy z pomocą programu Multisim.
Nasz układ pomiarowy wygląda następująco:**

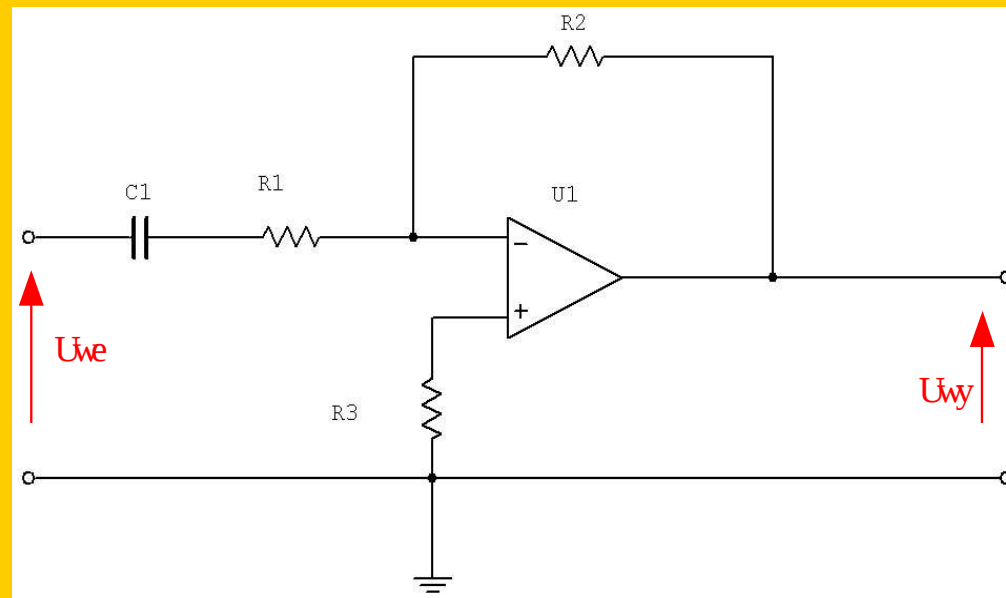


Wzmacniacz Niskiej Częstotliwości
R1=2,5k , R2=6,1k

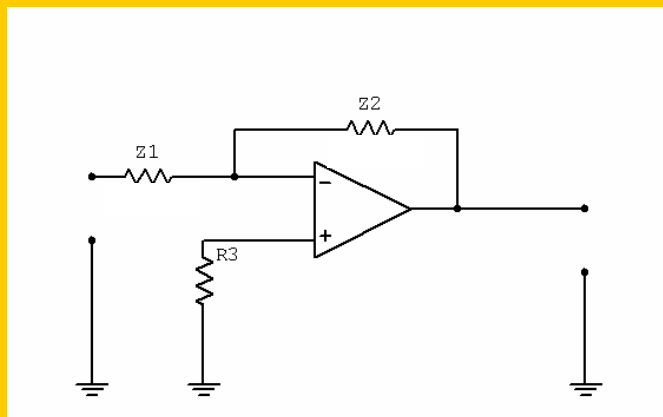


Z charakterystyki wynika, że na górną częstotliwość można wpływać zmianami pojemności. Nie wynikną z tego zmiany wzmocnienia w paśmie przepustowym.

Aktywny filtr górnoprzepustowy

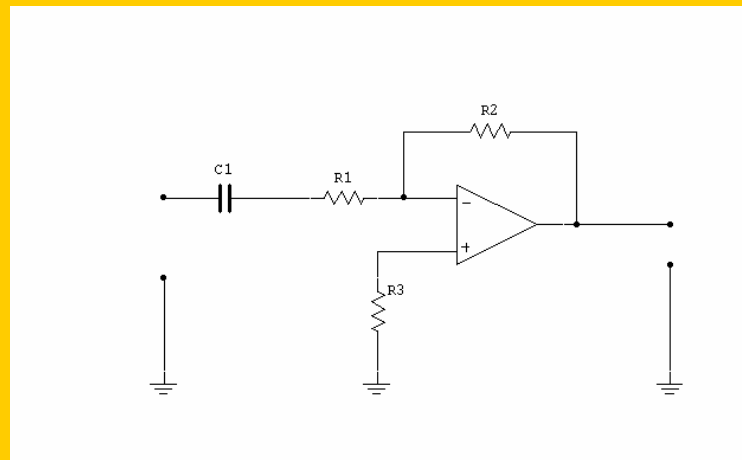


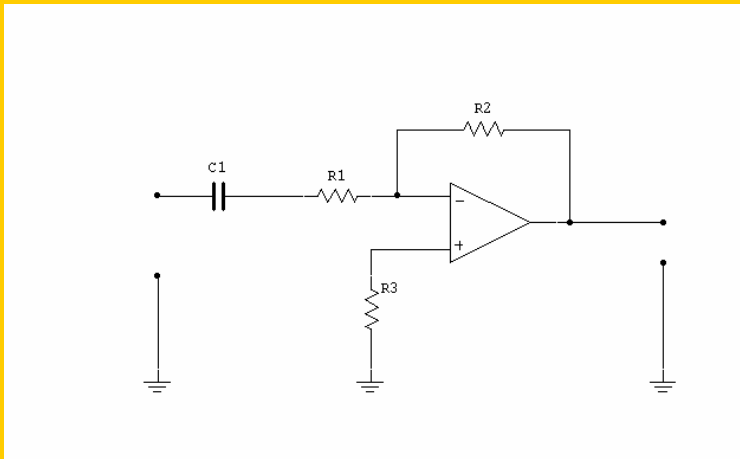
Wprowadzając do układu szeregowo połączony rezystor $R1$ i kondensator $C1$ w miejsce impedancji $Z1$ oraz rezystor $R2$ w miejsce impedancji $Z2$ otrzymujemy układ wzmacniacza wysokich częstotliwości. Impedancje $Z1$ można przedstawić wzorem:



Wprowadzając do układu szeregowo połączony rezystor R1 i kondensator C1 w miejsce impedancji Z1 oraz rezystor R2 w miejsce impedancji Z2 otrzymujemy układ wzmacniacza wysokich częstotliwości. Impedancje Z1 można przedstawić wzorem:

$$Z_1 = R_1 + X_{C_1}$$





$$Z_1 = R_1 + X_{C_1}$$

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{2\pi f * C_1}$$

Jak widać z tego wzoru wraz ze wzrostem częstotliwości maleje wartość Z_1 . Zgodnie ze wzorem na wzmocnienie wzmacniacza odwracającego wnioskujemy, że ze wzrostem częstotliwości wzrośnie wzmocnienie.

Częstotliwość przy której wzmacnienie spadnie o 3dB wynosi:

$$F_X = \frac{1}{2\pi * R_1 * C_1}$$

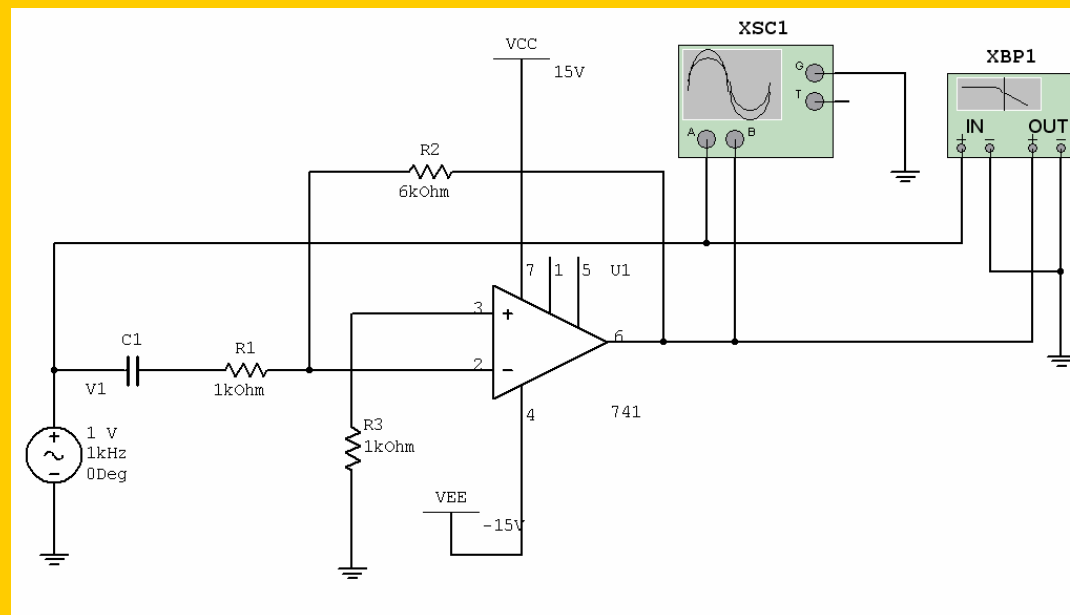
Na odcinku charakterystyki, na którym następuje spadek wzmacnienia 6dB na oktawę opisane jest wzorem:

$$Ku = \frac{2 \pi f * R_2 * C_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{F_x}\right)^2}}$$

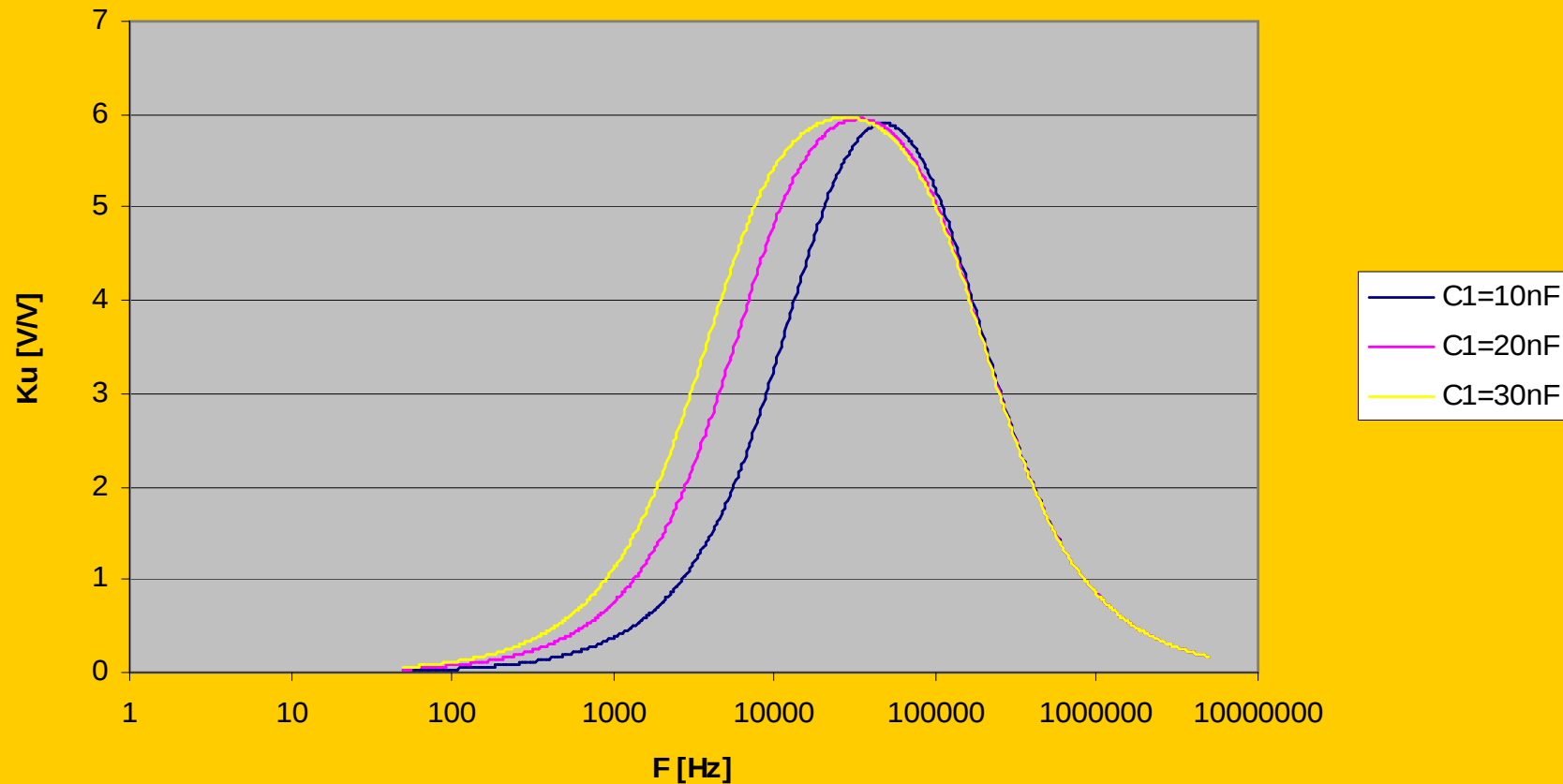
Największe wzmacnienie w tym układzie wyniesie:

$$Ku = \frac{R_2}{R_1}$$

**Charakterystyki sporządziliśmy z pomocą programu Multisim.
Nasz układ pomiarowy wygląda następująco:**

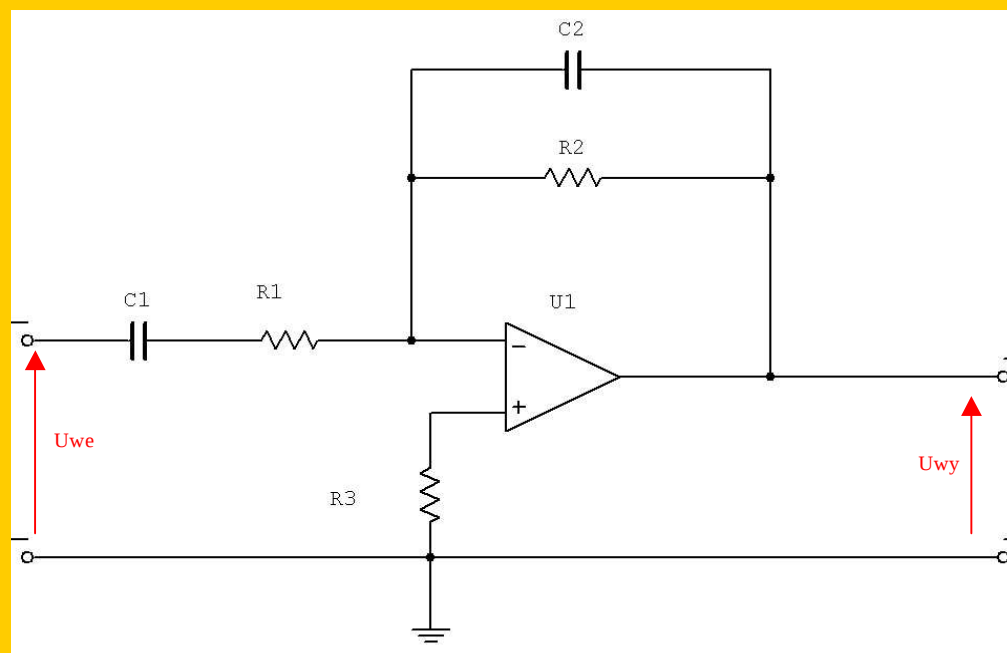


Wzmacniacz Wysokich częstotliwości



Jak widać z charakterystyki wzmocnienie rośnie ze wzrostem częstotliwości do pewnej wartości. Następnie ze wzrostem częstotliwości maleje. Dzieje się tak dlatego, że nasz wzmacniacz operacyjny ma własną częstotliwość górną graniczną.

Aktywny filtr pasmowoprzepustowy



Połączenie układu wzmacniacza niskich i wysokich częstotliwości stworzy wzmacniacz pasmowy. Impedancje Z_1 stanowi szeregowe połączenie Kondensatora C_1 i rezystora R_1 natomiast impedancje Z_2 równoległe połączenie kondensatora C_2 i rezystora R_2 . Impedancje Z_1 i Z_2 można przedstawić wzorami:

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{2\pi f * C_1} \qquad Z_2 = \frac{R_2}{(2\pi f * C_2 * R_2) + 1}$$

Maksymalne wzmocnienie możemy uzyskać:

$$Ku = \frac{R_2}{R_1}$$

Częstotliwość środkowa wynosi:

$$F_0 = \frac{1}{2\Pi\sqrt{R_1C_1 + R_2C_2}}$$

Szerokość pasma wzmacniania wzmacniacza przy spadku o wzmacniania 3dB wynosi:

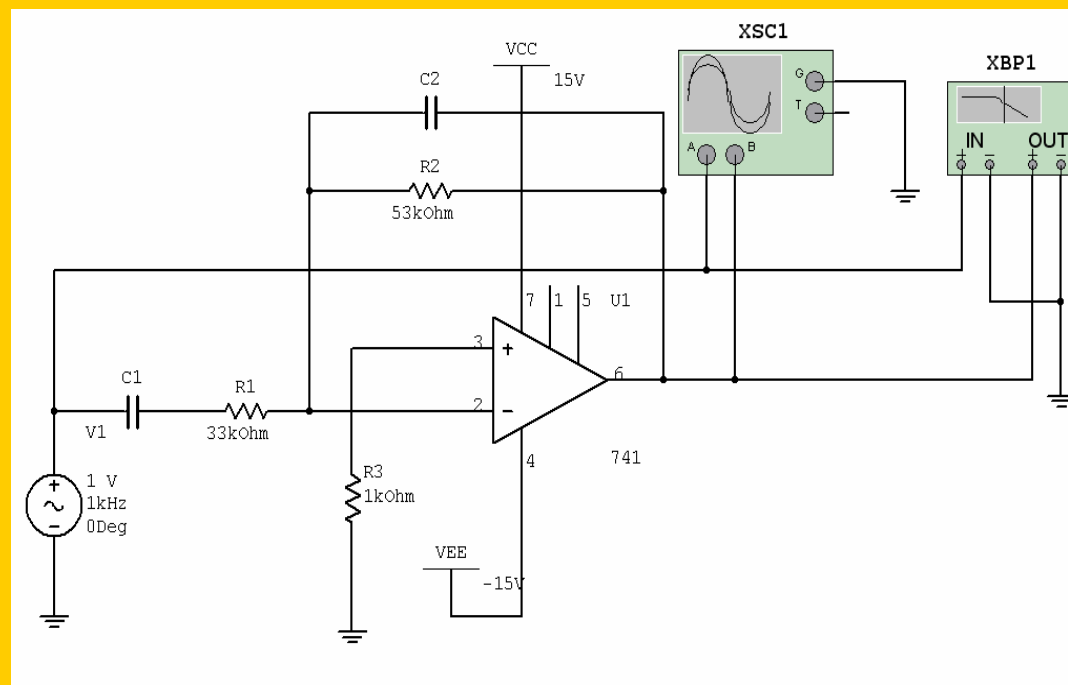
$$\Delta F_0 = \frac{1}{2\Pi} \left(\frac{1}{R_2C_2} - \frac{1}{R_1C_1} \right)$$

Czułość układu wynosi:

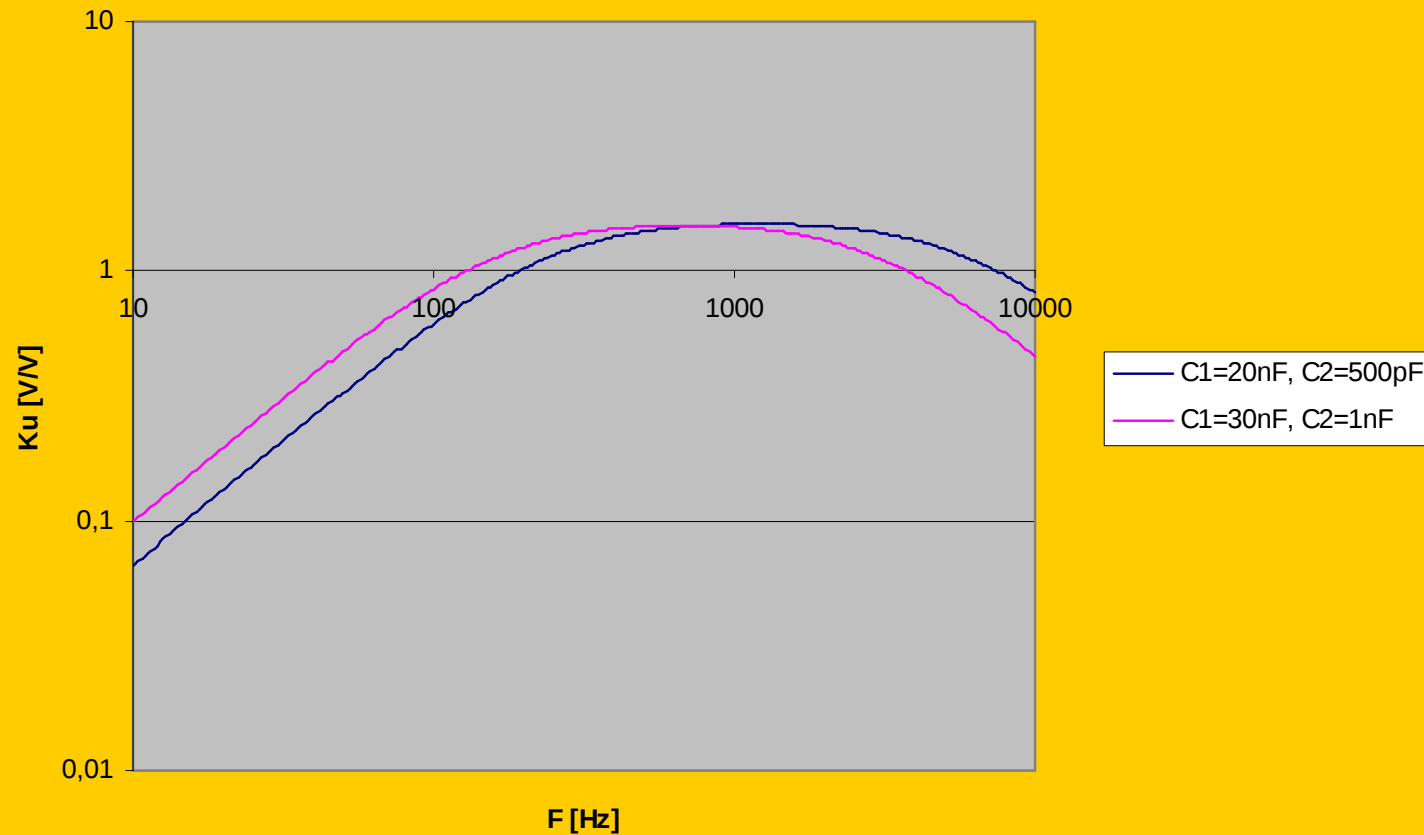
$$Q = \frac{F_0}{2\Delta F_0}$$



**Charakterystyki sporządziliśmy z pomocą programu Multisim.
Nasz układ pomiarowy wygląda następująco:**

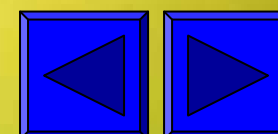


Wzmacniacz Pośredniej Częstotliwości



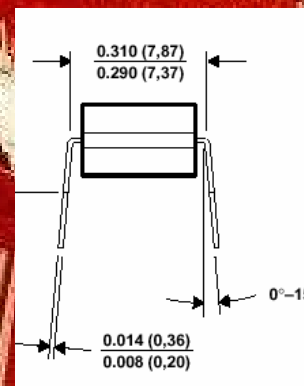
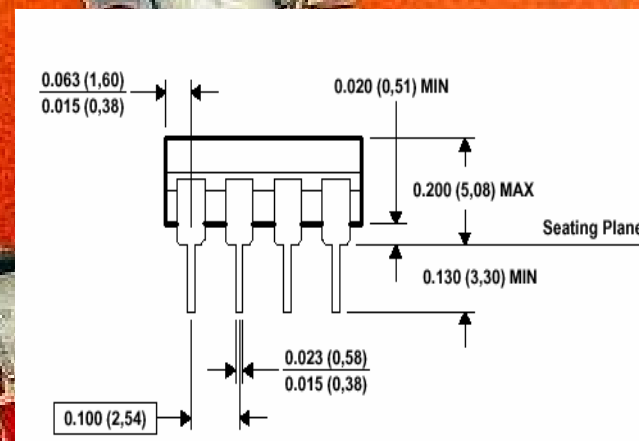
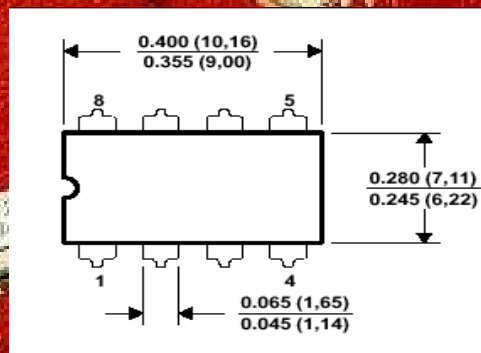
Jak widać z charakterystyki dla danych elementów wzmocnienie nie przekracza 5dB. Znaczna część wykresu leży poniżej 1 co świadczy o tłumieniu sygnału zarówno niskich jak i wysokich częstotliwości.

Elementy

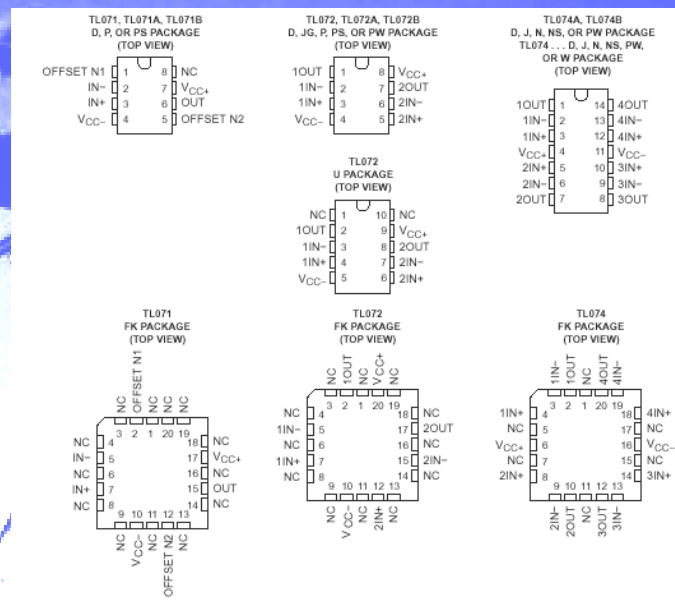


Wzmacniacze operacyjne

Obecnie wzmacniacze operacyjnych na rynku jest bardzo wiele. Różnią się między sobą nie tylko obudowami ale również parametrami. Ze względu na łatwość lutowanie wybraliśmy oczywiście obudowe typu DIP (8).



Do filtrów na zakres pasma akustycznego należy stosować pewnej grupy wzmacniaczy operacyjnych. Należy zwrócić uwagę na najwyższą częstotliwość interesującego nas pasma. Wzmocnienie wzmacniacza z otwartą pętlą powinno być co najmniej 50 razy większe niż wzmocnienie gotowego filtru.



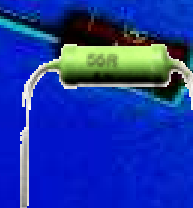
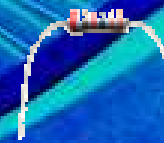
PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T _A ‡	TL071M TL072M			TL074M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	Input offset voltage	V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	3	6	3	9	mV	
			Full range		9		15		
α _{VIO}	Temperature coefficient of input offset voltage	V _O = 0, R _S = 50 Ω	Full range	18		18		μV/°C	
I _{IO}	Input offset current	V _O = 0	25°C	5	100	5	100	pA	
			Full range		20		20	nA	
I _{IB}	Input bias current‡	V _O = 0	25°C	65	200	65	200	pA	
					50		50	nA	
V _{ICR}	Common-mode input voltage range		25°C	±11	-12 to 15	±11	-12 to 15	V	
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	R _L = 10 kΩ	25°C	±12	±13.5	±12	±13.5	V	
		R _L ≥ 10 kΩ		±12		±12			
		R _L ≥ 2 kΩ	Full range	±10		±10			
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	V _O = ±10 V, R _L ≥ 2 kΩ	25°C	35	200	35	200	V/mV	
				15		15			
B ₁	Unity-gain bandwidth	T _A = 25°C		3		3		MHz	
r _i	Input resistance	T _A = 25°C		10 ¹²		10 ¹²		Ω	
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICRmin} , V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	80	86	80	86	dB	
k _{SVR}	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC±} /ΔV _{IO})	V _{CC} = ±9 V to ±15 V, V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	80	86	80	86	dB	
I _{CC}	Supply current (each amplifier)	V _O = 0, No load	25°C	1.4	2.5	1.4	2.5	mA	
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	A _{VD} = 100	25°C	120		120		dB	

W paśmie akustycznym można spokojnie używać kostki typu TL071, TL072, TL074. Nieco gorsze są wzmacniacze z serii TL08x gdyż mają większe szumy lub NE5532 czy też LM833 przy których należy pamiętać by rezystory nie przekraczały 100kΩ. Przy małych częstotliwościach można użyć badanych układów 741 albo LM358, LM324, serii TLC27x lub TL06x.

Rezystory.

Nie należy się bawić w składanie rezystorów w celu uzyskania dokładnych ich wartości. Przy lutowaniu rezystorów węglowych może się zmienić o kilka procent. Jeżeli wymagana jest dość duża precyzja filtru bez obaw można stosować popularne rezystory o tolerancji 5%.

W filtrach pasmowych o dużej dobroci staje się konieczne użycie stabilnych rezystorów o tolerancji 1%. Często stosuje się wtedy również potencjometr pozwalający na dostrojenie do wybranej częstotliwości.

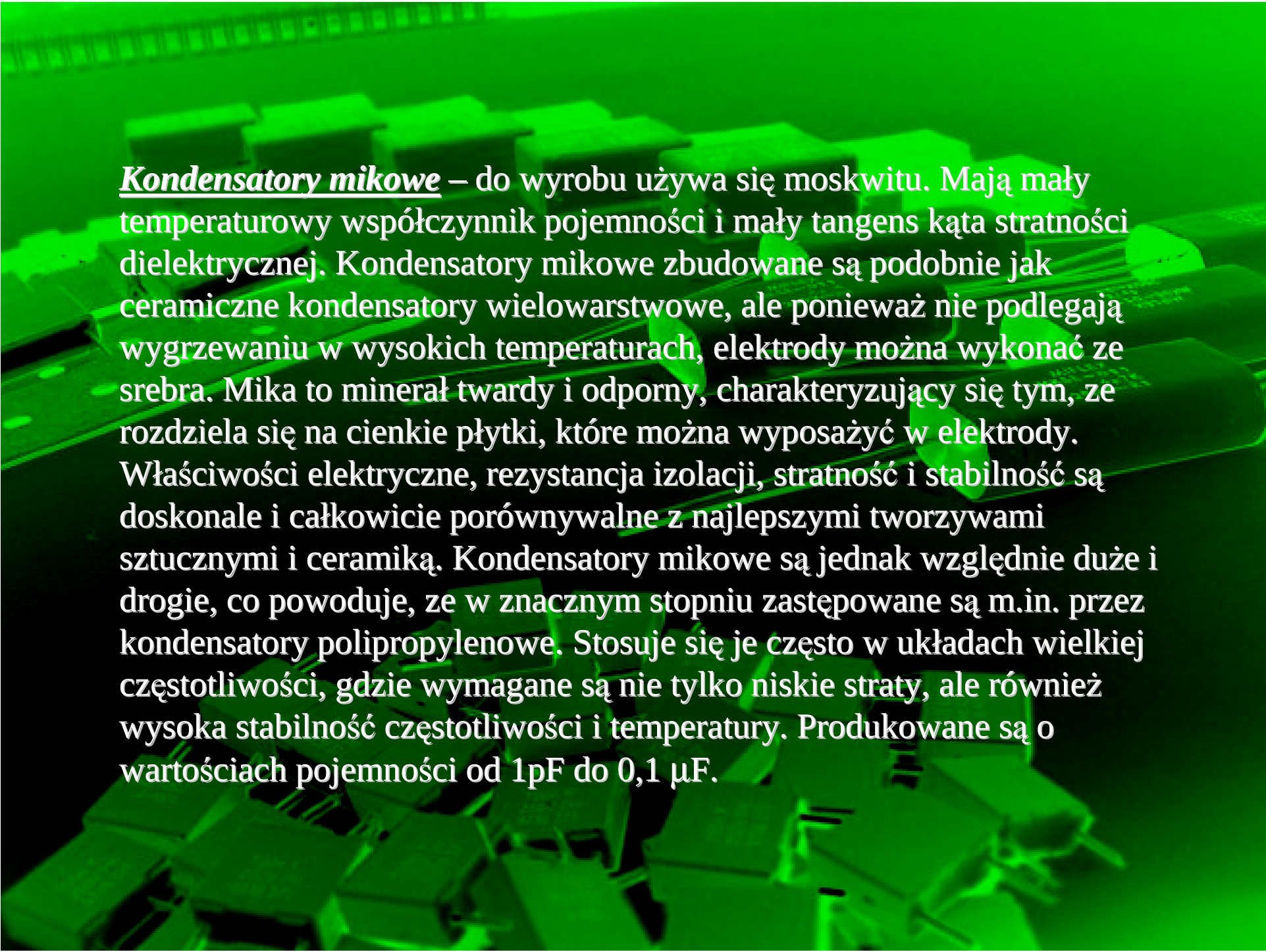


Kondensatory.

W filtrach należy stosować popularne kondensatory foliowe poliestrowe (MKT, MKSE). Przy projektowaniu filtru należy pamiętać by były one o tolerancji minimum 5%.

Oznaczenie	tolerancja
M	20%
K	10%
J	5%
G	2%
F	1%
D	0,5%

Można również użyć nieco droższych kondensatorów poliwęglanowych (MKP) o nieco lepszym współczynniku cieplnym. Nie powinno się używać kondensatorów teflonowych, mikowych ani powietrznych. Złym rozwiązaniem są kondensatory ceramiczne powyżej 1nF ponieważ są bardzo niestabilne (zmiany pod wpływem temperatury mogą wynieść nawet kilkadziesiąt procent). Odradza się stosowanie kondensatorów elektrolitycznych aluminiowych i tantalowych.



Kondensatory mikowe – do wyrobu używa się moskwitu. Mają mały temperaturowy współczynnik pojemności i mały tangens kąta stratności dielektrycznej. Kondensatory mikowe zbudowane są podobnie jak ceramiczne kondensatory wielowarstwowe, ale ponieważ nie podlegają wygrzewaniu w wysokich temperaturach, elektrody można wykonać ze srebra. Mika to minerał twardy i odporny, charakteryzujący się tym, że rozdziela się na cienkie płytki, które można wyposażyć w elektrody. Właściwości elektryczne, rezystancja izolacji, stratność i stabilność są doskonale i całkowicie porównywalne z najlepszymi tworzywami sztucznymi i ceramiką. Kondensatory mikowe są jednak względnie duże i drogie, co powoduje, że w znacznym stopniu zastępowane są m.in. przez kondensatory polipropylenowe. Stosuje się je często w układach wielkiej częstotliwości, gdzie wymagane są nie tylko niskie straty, ale również wysoka stabilność częstotliwości i temperatury. Produkowane są o wartościach pojemności od 1pF do 0,1 μ F.



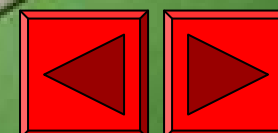
Kondensatory z tworzyw sztucznych - Kondensatory z tworzywa sztucznego, w których warstwę dielektryka stanowi tworzywo sztuczne mają małe straty dzięki niskiej rezystancji elektrod i wysokiej rezystancji izolacji. Technologiczność konstrukcji umożliwia automatyzację produkcji i w efekcie niskie ceny. Są one niepolaryzowane i mają bardzo mały prąd upływu. Używa się ich jako kondensatorów szeregowych lub blokujących w układach analogowych i cyfrowych, w obwodach czasowych i filtrach LC. Produkowane pojemności zawierają się w granicach od 10 pF do 100 μ F. Elektrody wykonuje się w postaci folii metalowej lub folii metalizowanej. Folia metalizowana powstaje w wyniku naparowania próżniowego cienkiej warstwy metalu na dielektryk. Zaletą tego rozwiązania jest to, że przy przebiciu elektrycznym naparowany metal wyparowuje wokół miejsca przebicia i w ten sposób nie dochodzi do ewentualnego zwarcia. Dielektrykiem może być: folia polistyrenowa, poliestrowa lub polipropylenowa. Rozróżniamy kondensatory takie jak:

Polistyrenowe - mają mały współczynnik temperaturowy pojemności, mały tangens kąta stratności stosowane są w układach pracujących w zakresie wielkich częstotliwości.

Poliestrowe - mają duży współczynnik kąta stratności dielektrycznej, stosowane głównie w układach napięcia stałego lub zmiennego o małej częstotliwości.

Polipropylenowe - mają zbliżone właściwości do właściwości kondensatorów poliestrowych, stosuje się je w obwodach prądu zmiennego o częstotliwości 50Hz.

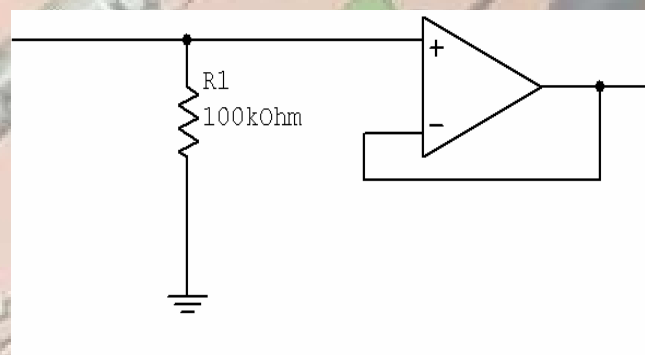
Procedura projektowania.



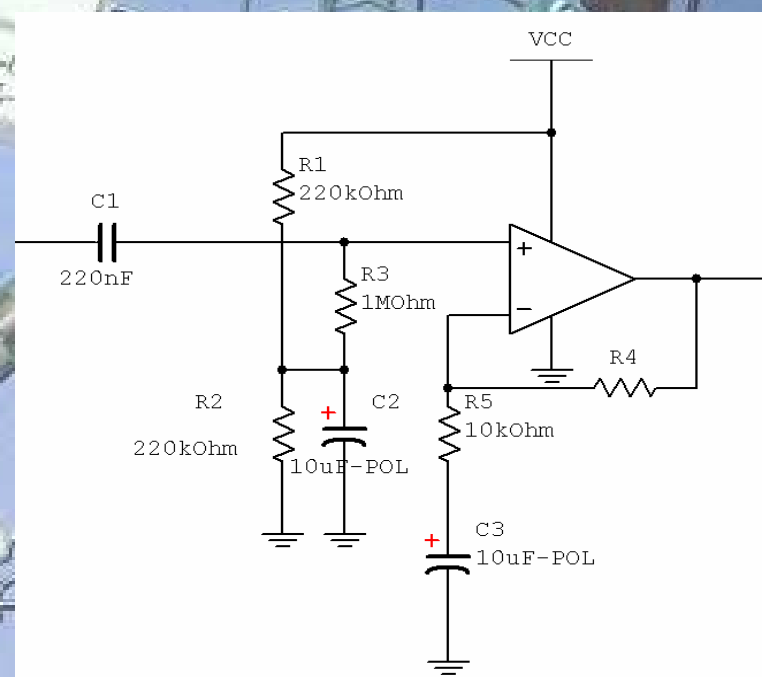
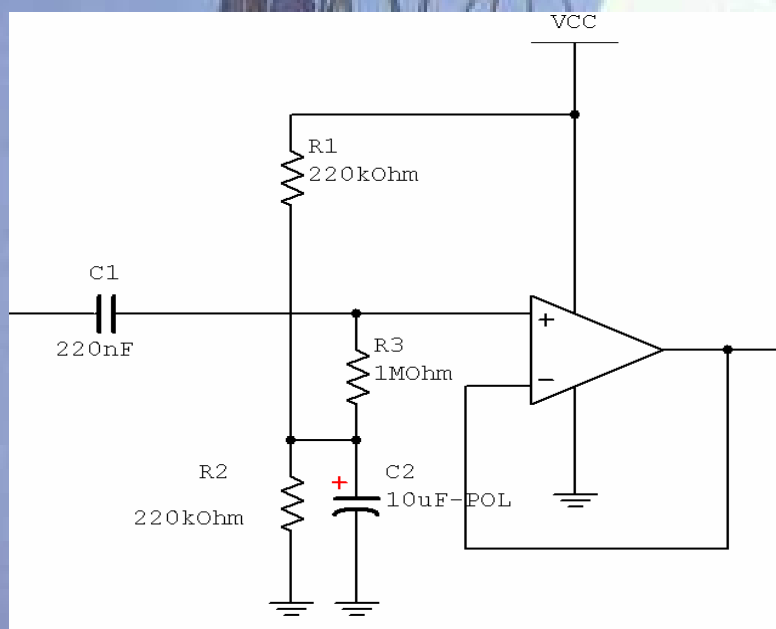
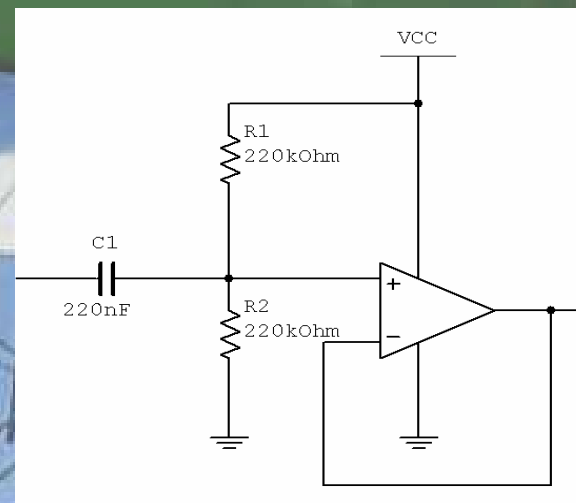
Procedura projektowania filtrów jest dość prosta. Najpierw dobieramy pojemności a potem ze wzorów obliczamy potrzebne rezystancje. Pojemność dobieramy z szeregu pamiętając by wartości w miarę możliwości mieściły się w przedziale między 1nF a 1μF. Przy bardzo małych wartościach pojemności konieczne jest stosowanie dużych rezystancji. Niekorzystny wpływ na filtr będą miały szkodliwe pojemności montażowe.

Przy dużych wartościach pojemności wartości rezystancji będą małe. Stanie się to przyczynom przepływu większych prądów i należałoby uwzględnić ograniczoną wydajność prądową wyjścia wzmacniacza oraz małą rezystancję wejściową filtru.

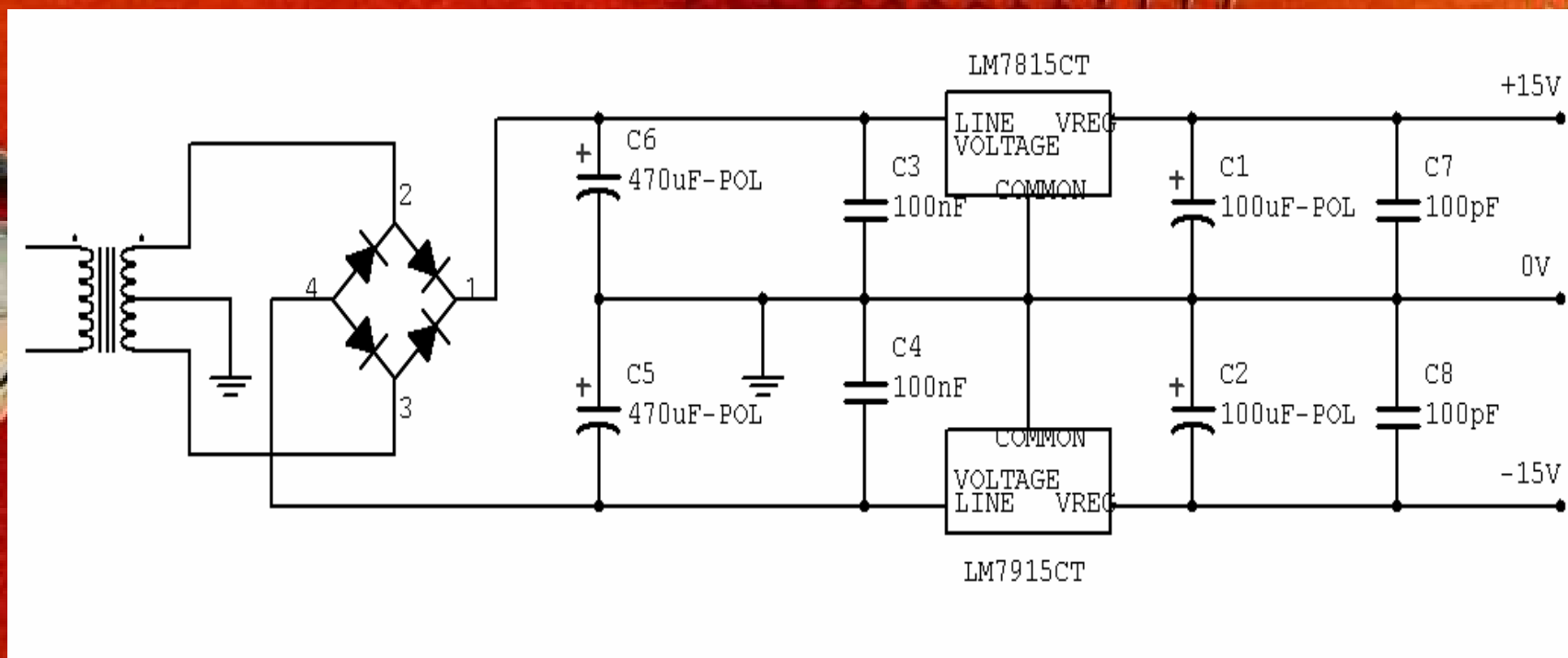
Gdy rezystancja wejściowa nie przekracza 2kΩ nie stosuje się dodatkowych buforów wejściowych. Buforu używa się gdy poprzedni stopień ma wysoką rezystancję wyjściową.

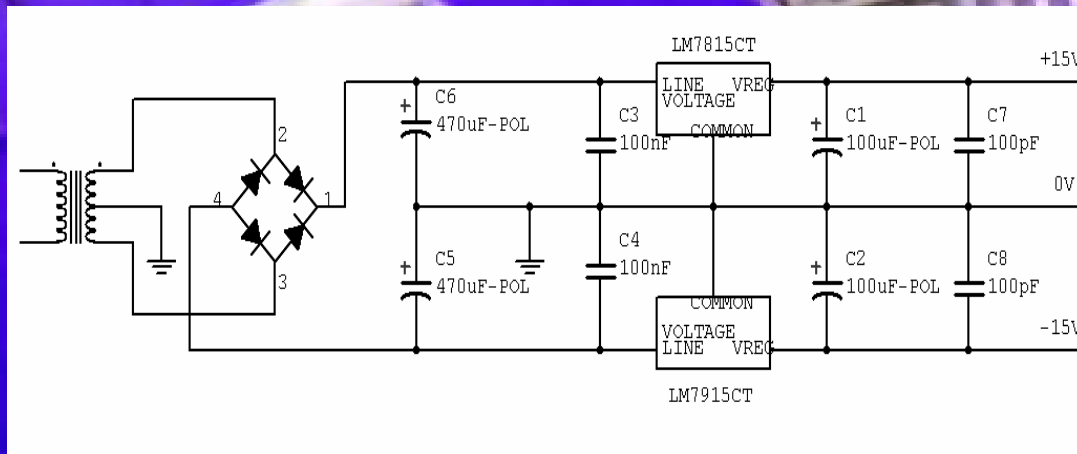


Możliwe jest uproszczenie zasilania przez wprowadzenie składowej stałej na wejście. Unikniemy wtedy konieczności zasilania symetrycznego. Najczęściej wprowadzany jest wtedy do wkładu dodatkowy bufor. Możliwość to przedstawiają poniższe schematy.



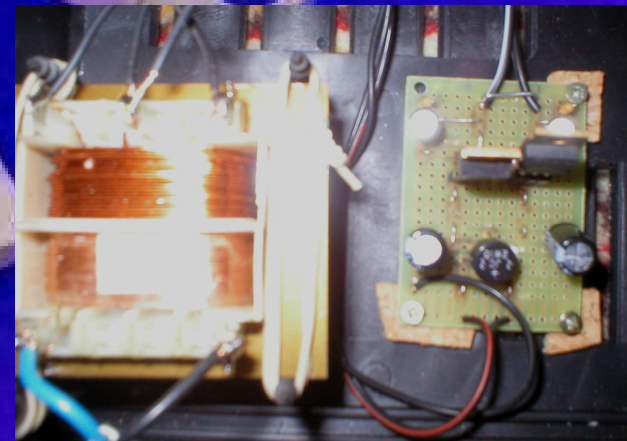
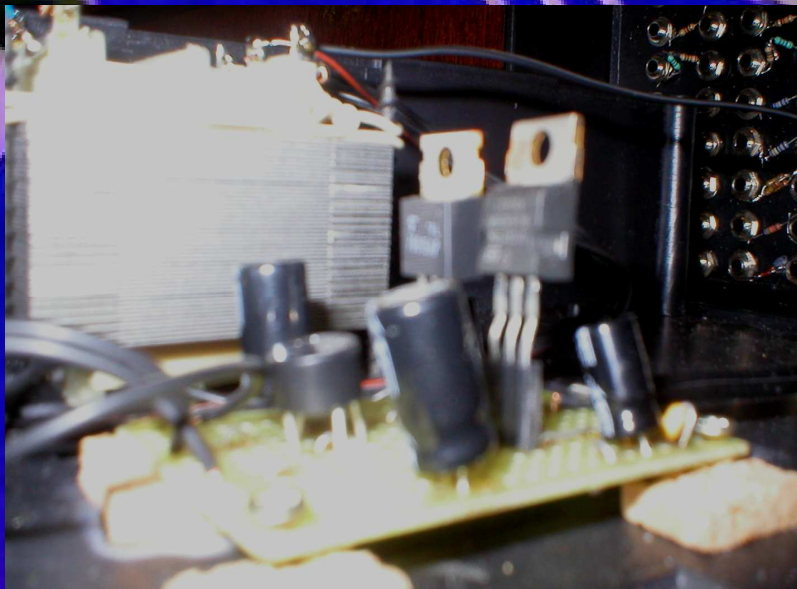
Układ zasilający.





W układzie zastosowaliśmy transformator symetryczny $\pm 15V$ na 0,8A. Prostownik mostkowy na 2A. Użyliśmy standartowych stabilizatorów napięcia: LM7815, LM 7915.

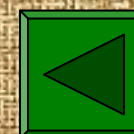
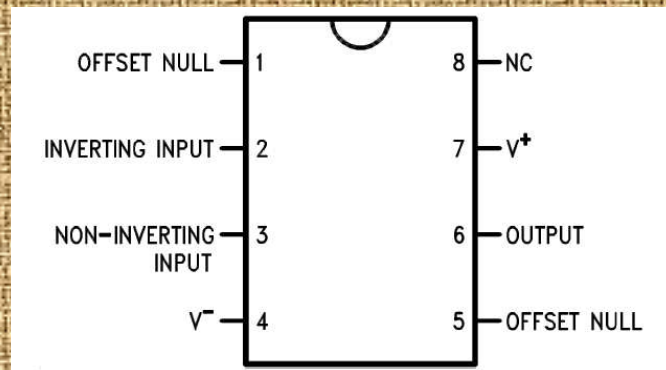
Nie zakładaliśmy na nie radiatorów ponieważ badany układ tego nie wymagał.



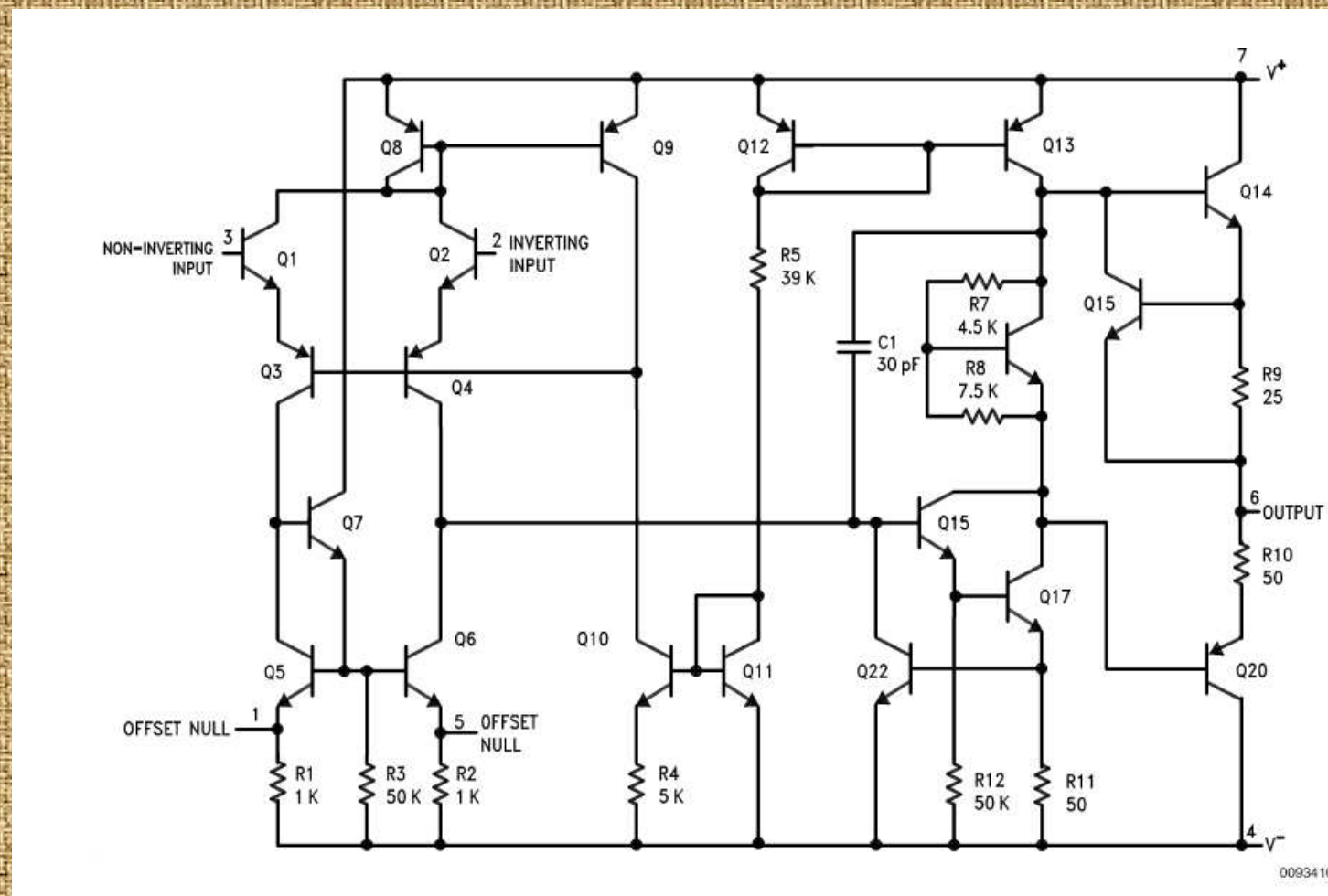
Dane fabryczne dotyczące uA741

Wzmacniacz operacyjny uA741 jest jednym z najbardziej popularnych wzmacniaczy operacyjnych. Produkuje go większość firm elektronicznych co wiąże się z różnymi literami w nazwie.

Opis wyprowadzeń pokazany jest na rysunku:



Struktura wewnętrzna układu:



Napięciowe wzmocnienie różnicowe z otwartą pętlą. Jest to stosunek przyrostu napięcia wyjściowego do wywołującego ten przyrost napięcia wejściowego.

$$A_o = \frac{\Delta U_o}{\Delta(U_{I1} - U_{I2})} = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_{ID}}$$

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego. Jest to stosunek przyrostu wspólnego napięcia wejściowego do przyrostu różnicowego napięcia wejściowego, który wywołuje taki sam przyrost napięcia wyjściowego.

$$H = \frac{\Delta U_{IC}}{\Delta U_{ID}}$$

Przy: $\Delta U_o = const.$

$$H = \frac{\Delta U_{IC}}{\Delta U_o} \cdot \frac{\Delta U_o}{\Delta U_{ID}} = \frac{A_o}{A_c}$$

przy czym A_c – wzmocnienie napięciowe dla sygnału wspólnego.

Wejściowe napięcie niezrównoważenia. Jest to stałe napięcie różnicowe wymagane do uzyskania zerowej wartości napięcia wyjściowego przy otwartej pętli.

$$U_{IO}$$

Wejściowy prąd niezrównoważenia. Jest to różnica stałych prądów polaryzacji wpływających do obu wejść wzmacniacza, gdy stałe napięcie wyjściowe jest równe zeru.

$$I_{IO}$$

Wejściowy prąd polaryzacji. Jest to średnia arytmetyczna prądów stałych wpływających do obu wejść wzmacniacza zrównoważonego.

$$I_{IB}$$

Rezystancja wejściowa dla różnicowego rodzaju pracy. Jest to rezystancja widziana między dwoma wejściami wzmacniacza.

$$R_{ID}$$

Dryf cieplny wejściowego napięcia niezrównoważenia. Jest to stosunek przyrostu wejściowego napięcia niezrównoważenia do przyrostu temperatury wywołującego ten przyrost napięcia.

$$\alpha_{U_{IO}} = \frac{U_{IO}(T_2) - U_{IO}(T_1)}{T_2 - T_1}$$

Częstotliwość graniczna. Jest to częstotliwość, przy której moduł wzmacniacza jest równy jedności.

$$f_1$$

Szybkość narastania napięcia wyjściowego. Jest to pochodna napięcia wyjściowego w funkcji czasu po podaniu sygnału skoku jednostkowego na wejście wzmacniacza pracującego ze wzmacnieniem równym jedności. (Układ wtórnika napięciowego)

$$SR$$

Maksymalny prąd wyjściowy.

$$I_{OB}$$

Napięcie zasilania.

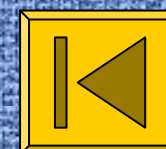
$$U_{CC}$$

Moc pobierana. Jest to moc pobierana przez wzmacniacz przy zerowym napięciu stałym na wyjściu.

$$P_Z$$

Zakres temperatury pracy.

KONIEC



Wykonali:

Andrzej Pierzynka

Karol Sieńko