

Wzmacniacz operacyjny

1. Czas trwania: 6h

2. Cele ćwiczenia

- Badanie podstawowych układów pracy wzmacniacza operacyjnego.

3. Wymagana znajomość pojęć

- idea działania wzmacniacza operacyjnego,
- ujemne sprzężenie zwrotne,
- parametry wzmacniacza: wzmocnienie, pasmo, CMMR,
- działanie i zastosowanie wtórnik napięciowego,
- działanie i projektowanie wzmacniacza odwracającego, nieodwracającego, sumatora,
- działanie i projektowanie wzmacniacza całkującego, różniczkującego

4. Wstęp

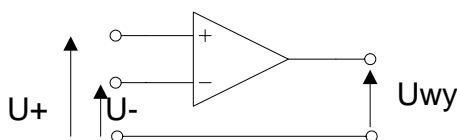
Wzmacniacz operacyjny jest układem o dwu wejściach: odwracającym fazę (oznaczonym -) i nieodwracającym fazy (oznaczonym +) oraz (zwykle) pojedynczym wyjściu. Wzmacniacz operacyjny z reguły zasilany jest z dwu źródeł napięcia (zwykle +12V i -12V).

Napięcie wyjściowe wzmacniacza operacyjnego jest proporcjonalne do różnicy napięć występujących na końcówkach + i -:

$$U_{wy} = K \cdot (U_+ - U_-)$$

Wartość wzmocnienia różnicowego K (z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego) jest bardzo duża (w praktyce rzędu 90dB). W przypadku, gdy na obu wejściach wzmacniacza występują jednakowe sygnały ($U_+ = U_- = U$), sygnał wyjściowy wynosi praktycznie zero (wzmacniacz ma bardzo małe wzmocnienie sumacyjne).

Za pomocą wzmacniacza operacyjnego można dokonywać wielu operacji na sygnałach, np.: powtórzenie napięcia, wzmocnienie, odwrócenie fazy, a także operacji matematycznych w tym różniczkowanie i całkowanie.



Rys. 1 Wzmacniacz operacyjny.

Cechy idealnego wzmacniacza operacyjnego:

- nieskończenie duże wzmocnienie różnicowe przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego,
- zerowe wzmocnienie sumacyjne,
- nieskończenie szerokie pasmo przenoszenia,
- nieskończenie duża impedancja wejściowa (między wejściami i między każdym z wejść a ziemią),
- zerowa impedancja wyjściowa,
- zerowe prądy wejściowe,
- niezależność parametrów od temperatury.

4.1. Ujemne sprzężenie zwrotne

Sprzężenie zwrotne polega na doprowadzeniu do wejścia układu części sygnału wyjściowego. Rozróżnia się ujemnie i dodatnie sprzężenie zwrotne. Dodatnie sprzężenie zwrotne wykorzystuje się przy konstruowaniu generatorów.

Ujemne sprzężenie zwrotne polega na takim dodaniu do sygnału wejściowego sygnału wyjściowego, aby skasować część sygnału wejściowego. W przypadku wzmacniaczy operacyjnych ujemne sprzężenie zwrotne realizuje się doprowadzając sygnał wyjściowy do wejścia odwracającego.

Zastosowanie ujemnego sprzężenia zwrotnego znakomicie poprawia właściwości całego układu i powoduje min.:

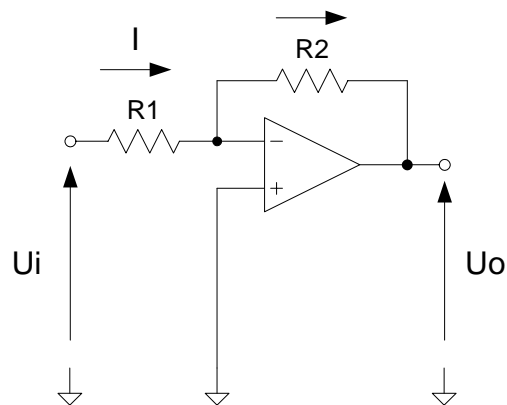
- zmniejszenie wzmocnienia układu,
- zwiększenie pasma przenoszenia układu,
- zmniejszenie wrażliwości całego układu na zmianę parametrów pracy tranzystorów,
- zmniejszenie zniekształceń.

oraz umożliwia:

- kształtowanie wzmocnienia i charakterystyki częstotliwościowej układu,
- regulowanie poziomu impedancji wejściowej i wyjściowej układu.

4.2. Wzmacniacz odwracający

Układ pracy wzmacniacza odwracającego przedstawiono na rys. 2. Zakładając, że wzmacniacz rzeczywisty ma parametry zbliżone do idealnego (jest to poprawne założenie) można zauważyć, że potencjał wejścia odwracającego przyjmuje wartość zero ($U_- = U_+ = 0V$, tzn. znajduje się na poziomie *masy pozornej*) oraz, że wejścia wzmacniacza nie pobierają żadnego prądu. W takim przypadku pomiędzy wejściem a wyjściem układu płynie ten sam prąd (I):



Rys. 2 Wzmacniacz odwracający.

$$I = \frac{U_i}{R_1} = -\frac{U_o}{R_2}$$

stąd wzmocnienie układu wzmacniacza odwracającego:

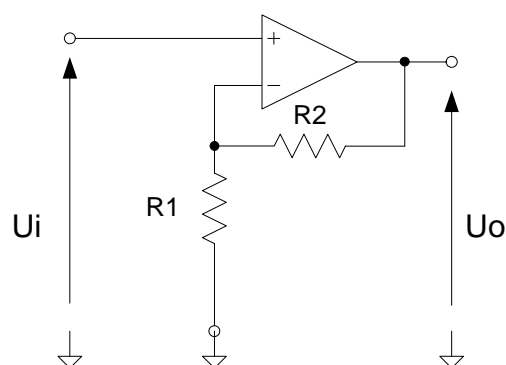
$$K = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Znak – oznacza odwrócenie fazy w układzie. Impedancja wejściowa wzmacniacza odwracającego jest równa R_1 .

4.3. Wzmacniacz nieodwracający

We wzmacniaczu nieodwracającym przez rezystory R_1 i R_2 również płynie jednakowy prąd a wzmocnienie wynosi:

$$K = \frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

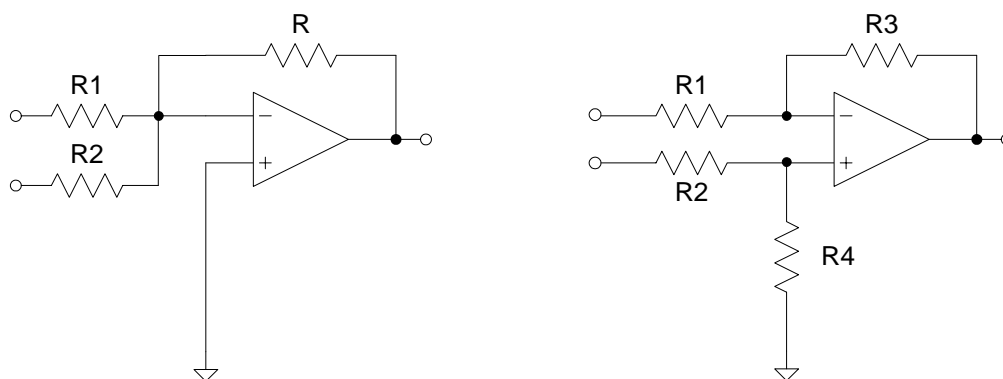


Rys. 3 Wzmacniacz nie odwracający

Wzmacniacz nieodwracający ma zawsze wzmocnienie K większe od 1 oraz nie odwraca fazy, ponadto jego impedancja wejściowa jest równa impedancji wejścia nieodwracającego samego wzmacniacza operacyjnego.

4.3. Wzmacniacz sumacyjny i różnicowy

Za pomocą wzmacniacza sumacyjnego i różnicowego można realizować dodawanie i odejmowanie sygnałów.



Rys. 4 Wzmacniacz sumacyjny i różnicowy

W przypadku wzmacniacza sumacyjnego prądy wejściowe sumują się w punkcie masy pozornej stąd sygnał wyjściowy (U_o) wynosi:

$$U_o = -R \sum_{k=1}^{k=n} \frac{U_k}{R_k}$$

Wzmacniacz różnicowy realizuje odejmowanie napięć w stosunku zależnym od wartości rezystorów. Zakładając:

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

sygnał wyjściowy wynosi:

$$U_o = \frac{R_3}{R_1}(U_2 - U_1)$$

W podobny sposób można obliczyć wzmocnienie w innych układach pracy. W ogólności rezystory mogą zostać zastąpione impedancjami, w takim przypadku wzmocnienie będzie funkcją częstotliwości. Jedną z aplikacji wzmacniaczy operacyjnych są filtry aktywne.

Uwaga. Wzmocnienia układu wzmacniacza (np. odwracającego) nie należy mylić z wzmocnieniem wzmacniacza operacyjnego z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego.

5. Zadania pomiarowe

5.1. Pomiar charakterystyki amplitudowo częstotliwościowej (charakterystyki Bodego) układu wzmacniacza odwracającego.

Zmontować układ wzmacniacza odwracającego. Do wejścia układu (oraz do wejścia kanału A oscyloskopu) podłączyć przebieg sinusoidalny z generatora. Wyjście wzmacniacza podłączyć do kanału B oscyloskopu. Dokonać pomiaru dla: $R_1=4.7k\Omega$, $R_2=50k\Omega$ i $U_{we}=100mV$. Powtórzyć pomiary dla $R_1=4.7k\Omega$ i $R_2=20k\Omega$. Wyniki zanotować w tabeli a następnie na wspólnym wykresie przedstawić charakterystyki Bodego ($K_{dB}=k(\log(f))$). Porównać wyznaczoną wartość wzmocnienia z obliczoną analitycznie. Jak zmienia się wzmocnienie i pasmo przenoszenia układu?

F[Hz]	100	200	500	...	50kHz	100kHz
$U_{wy}[V]$						
U_{wy}/U_{we}						
K_{dB}						

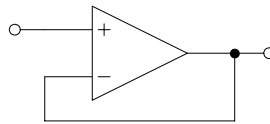
Tab. 1 Pomiar charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza.

5.2. Pomiar charakterystyki amplitudowo częstotliwościowej (charakterystyki Bodego) układu wzmacniacza nieodwracającego.

Powtórzyć pomiary z punktu 5.1 dla układu wzmacniacza nieodwracającego.

5.3. Wtórnik napięciowy.

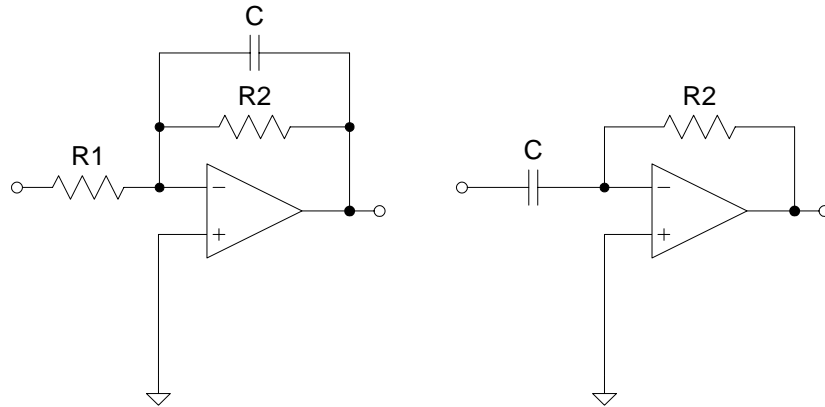
Zrealizować układ wtórnika. Zmierzyć wzmocnienie układu. Zmierzyć szybkość narastania sygnału wyjściowego (tzw. slew rate, SR). W tym celu na wejście wzmacniacza podać sygnał prostokątny z generatora (o możliwie dużej amplitudzie i częstotliwości przekraczającej 10kHz) i obserwować przebieg wyjściowy na ekranie oscyloskopu. Na podstawie oscylogramu obliczyć wartość SR. Z badać również (w dostępnym zakresie częstotliwości) pasmo przenoszenia. Porównać wynik z wartościami otrzymanymi w 5.1 i 5.2



Rys. 5 Wtórnik.

5.4. Integrator i układ różniczkujący

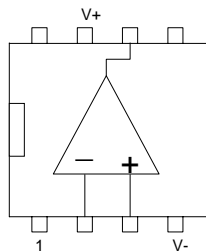
1. Zrealizować układy przedstawione na rys. 6 i zmierzyć charakterystyki częstotliwościowe wzmacniaczy. Przyjąć $R_1=4.7\text{k}\Omega$, $R_2=51\text{k}\Omega$, $C=470\text{nF}$
2. Doprowadzić do wejścia układów sygnał prostokątny o częstotliwościach 1kHz, 10kHz i 100kHz i amplitudzie 3V. Zaobserwować i odrysować przebiegi oscyloskopowe. Jaki wniosek można wysnuć z obserwacji?



Rys. 6 Wzmacniacz całkujący i wzmacniacz różniczkujący.

6. Przyrządy

Konsolka analogowa, generator, miernik uniwersalny, oscyloskop.



Rys. 7. Układ scalony 741 (widok z góry).

7. Literatura

P.Horowitz, W.Hill, „Sztuka elektroniki”, WKŁ 1995, ISBN 83-206-1128-8, Tom 1, str.186-201, 216-243, 110-116.

R.Śledziwski, „Elektronika dla fizyków”, PWN 1982, ISBN 83-01-04076-9, str.105-110, 123-126, 133-138, 154-156.