

LABORATORIUM Z PODSTAWOWYCH UKŁADÓW ELEKTRYCZNYCH

KL-210



**ROZDZIAŁ 10
WŁASNOŚCI WZMACNIACZA OPERACYJNEGO**

**ROZDZIAŁ 11
PODSTAWOWE UKŁADY ZE WZMACNIACZEM
OPERACYJNYM**

**MODUŁY:
KL-22001
KL-25006
KL-25007**

Spis treści

Rozdział 10 Własności wzmacniacza operacyjnego

Ćwiczenie 10-1 Wzmacniacz różnicowy we wzmacniaczu operacyjnym.....	3
Ćwiczenie 10-2 Pomiar parametrów wzmacniacza operacyjnego.....	13
A. Pomiar impedancji wejściowej (Z_i).....	18
B. Pomiar impedancji wyjściowej (Z_o).....	20
C. Pomiar szybkości narastania sygnału (SR).....	22
D. Pomiar szerokości pasma (BW).....	23
E. Ustawianie napięcia offsetu wzmacniacza odwracającego.....	25
F. Ustawianie napięcia offsetu wzmacniacza nieodwracającego.....	27

Rozdział 11 Podstawowe układy ze wzmacniaczem operacyjnym

Ćwiczenie 11-1 Wzmacniacz odwracający.....	31
Ćwiczenie 11-2 Wzmacniacz nieodwracający.....	36
Ćwiczenie 11-3 Wtórnik napięciowy.....	39
Ćwiczenie 11-4 Wzmacniacz różnicowy.....	42
Ćwiczenie 11-5 Sumator.....	45
Ćwiczenie 11-6 Układ obcinający.....	49
Ćwiczenie 11-7 Źródło napięciowe.....	53
Ćwiczenie 11-8 Źródło prądowe.....	56
Ćwiczenie 11-9 Układ różniczkujący.....	59
Ćwiczenie 11-10 Układ całkujący.....	63
Ćwiczenie 11-11 Wzmacniacz przyrządowy.....	67

Rozdział 10 Własności wzmacniacza operacyjnego

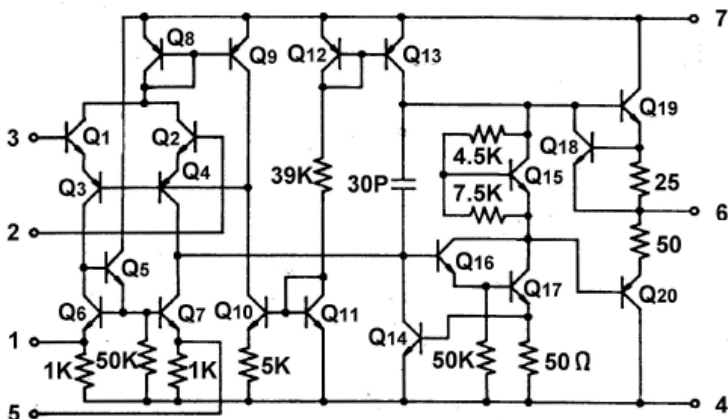
Ćwiczenie 10-1 Wzmacniacz różnicowy we wzmacniaczu operacyjnym

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania tranzystorowego wzmacniacza różnicowego.
2. Pomiar przebiegów wejściowego i wyjściowego wzmacniacza różnicowego.

DYSKUSJA

Na rys. 10-1-1 przedstawiono wewnętrzny układ zastępczy wzmacniacza operacyjnego ($\mu A741$). Jego budowa jest podobna do wzmacniacza OCL (bez kondensatora wyjściowego)



Rys. 10-1-1 Wewnętrzny układ zastępczy wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$

Poniżej przeanalizujemy pokrótce własności wzmacniacza różnicowego.

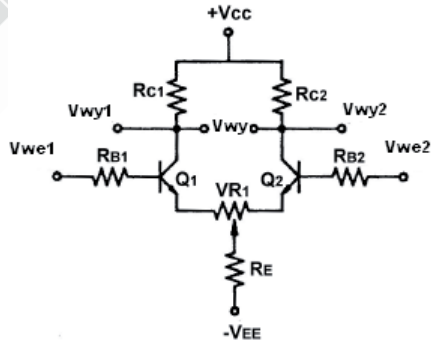
1. Budowa układu wzmacniacza różnicowego

Na rys. 10-1-2(a) przedstawiono układ składający się z dwóch wzmacniaczy pracujących w połączeniu wspólnego emitera (OE), ze wspólnym rezystorem emiterowym, dwoma wyprowadzeniami wejściowymi V_{i1} , V_{i2} i dwoma wyprowadzeniami wyjściowymi V_{o1} i V_{o2} . Kompletny układ wewnętrzny scalonego wzmacniacza różnicowego przedstawiono na rys. 10-1-2(b), którego symbol układowy jest pokazany na rys. 10-1-2(c). Sygnał wyjściowy wzmacniacza różnicowego jest sygnałem o wzmożonej amplitudzie

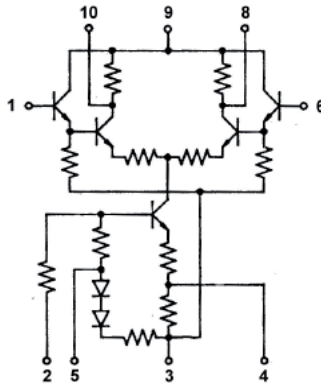
różnicy dwóch sygnałów wejściowych. Innymi słowy sygnał wyjściowy jest wprost proporcjonalny do różnicy dwóch sygnałów wejściowych: $V_o = A_v (V_{i1} - V_{i2})$.

2. Konfiguracje wejść/ wyjść wzmacniacza różnicowego:

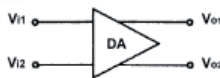
- (1) Jedno wejście, jedno wyjście niesymetryczne
- (2) Jedno wejście, jedno wyjście symetryczne
- (3) Dwa wejścia, jedno wyjście niesymetryczne
- (4) Dwa wejścia, jedno wyjście symetryczne



(a) Układ podstawowy



(b) Układ wewnętrzny scalonego wzmacniacza różnicowego



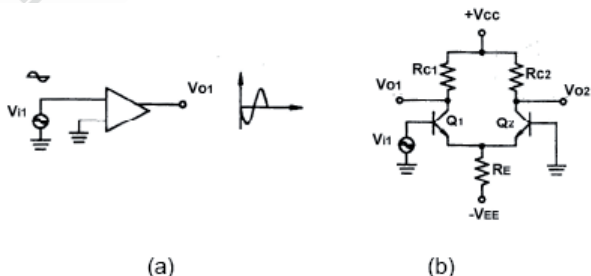
(C) Symbol

Rys. 10-1-2 Wzmacniacz różnicowy

Przeanalizujemy poniżej konfiguracje wejść/wyjść wzmacniacza operacyjnego:

Jedno wejście, wyjście niesymetryczne

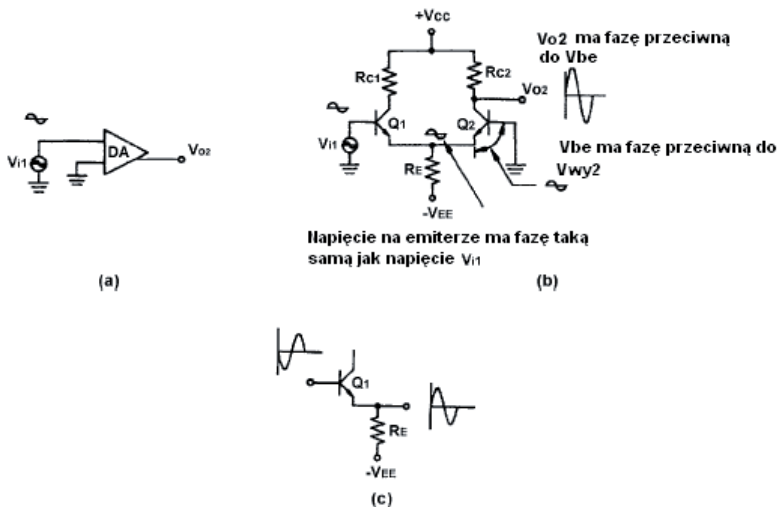
Jak przedstawiono na rys. 10-1-3, ze względu na to, że tranzystor Q1 pracuje w konfiguracji wzmacniacza OE, to napięcie wejściowe V_{i1} jest doprowadzane do bazy, a następnie wzmacniane; sygnał wyjściowy zaś jest pobierany z kolektora. Zależnie od parametrów wzmacniacza OE sygnał wyjściowy pobierany z kolektora ma fazę przeciwną do sygnału wejściowego bazy, a sygnał wyjściowy V_{o1} tranzystora Q1 jest ma fazę przeciwną do sygnału wejściowego bazy V_{i1} . Innymi słowy, różnica faz między wejściem a wyjściem wynosi 180° i można ją wyrazić zależnością: $V_{o1} = -A_v V_{i1}$.



Rys. 10-1-3 Konfiguracja jedno wejście, wyjście niesymetryczne

Jak przedstawiono na rys. 10-1-4(c), gdy do bazy tranzystora Q1 jest doprowadzane napięcie V_{i1} , to sygnał wyjściowy V_{o1} może być pobierany nie tylko kolektora, lecz również z emitera. Zgodnie z właściwościami wtórnika emiterowego, sygnał wyjściowy pobierany z emitera ma tę samą fazę oraz w przybliżeniu tę samą amplitudę ($A_v \approx 1$), jak sygnał wejściowy doprowadzany do bazy. Sygnał występujący na emiterze tranzystora Q1 ma, zatem taką samą fazę i w przybliżeniu taką samą amplitudę jak sygnał V_{i1} .

Ponieważ emitory tranzystorów Q1 i Q2 są połączone razem, zatem na emiterze tranzystora Q2 występuje taki sam sygnał (w stosunku do masy), jak na emiterze tranzystora Q1, o wartości w przybliżeniu równej V_{i1} i o tej samej fazie.



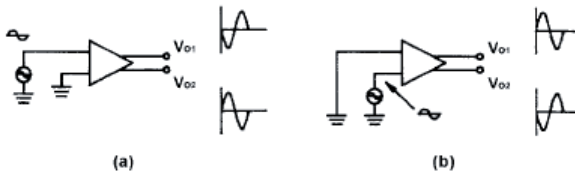
Rys. 10-1-4 Konfiguracja jedno wejście, wyjście niesymetryczne

Sygnal emiterowy tranzystora Q2 występuje między emiterem a masą, podczas gdy baza tranzystora Q2 jest połączona bezpośrednio z masą. Sygnal, który jest wirtualnie doprowadzany między emiter a masę, można oglądać jako sygnal wejściowy tranzystora Q2. Sygnal względem bazy tranzystora Q1 ma fazę przeciwną do sygnału V_{i1} . Innymi słowy, sygnal doprowadzany do bazy tranzystora Q2 jest w przeciw-fazie do napięcia wejściowego V_{i1} , lecz ma ta taką samą wielkość jak to napięcie.

Sygnal doprowadzany do bazy tranzystora Q2, który ma fazę przeciwną do napięcia V_{i1} , lecz taką samą wielkość jak to napięcie jest wzmacniany przez tranzystor Q2, a następnie jako sygnal wyjściowy V_{o2} jest pobierany z kolektora. Ponieważ sygnal bazy tranzystora Q2 ma fazę przeciwną do napięcia V_{i1} a także, że sygnal V_{o2} ma fazę przeciwną do tego sygnału bazowego, (gdyż sygnal wyjściowy z kolektora powinien mieć fazę przeciwną do sygnału bazowego), zatem napięcie wyjściowe V_{o2} ma tę samą fazę jak napięcie V_{i1} , co przedstawiono na rys. 10-1-4(b). Jeśli wzmacnienia napięciowe obu tranzystorów Q1 i Q2 są równe A_v , zatem napięcia wyjściowe są też równe ($V_{o2} = V_{o1}$), lecz mają przeciwną fazę, gdyż wielkość sygnału na bazie tranzystora Q2 jest równa sygnałowi V_{i1} doprowadzanemu do bazy tranzystora Q1, co można wyrazić wzorem $V_{o2} = A_v V_{i1}$.

Podsumowując, jeśli sygnal wejściowy jest doprowadzany do p. V_{i1} układu wzmacniacza, to w p. V_{o1} otrzymuje się sygnal wzmacniony o fazie przeciwnej, a w p. V_{o2} - sygnal

wzmocniony o tej samej fazie, podczas gdy wielkość napięcia V_{o1} jest taka sama jak napięcia V_{o2} , co przedstawiono na rys. 10-1-5(a). Jeśli sygnał wejściowy jest doprowadzany do p. V_{i2} , to w p. V_{o2} otrzymuje się sygnał wzmacniony o fazie przeciwnej, a w p. V_{o1} – sygnał wzmacniony o tej samej fazie, co z kolei przedstawiono na rys. 10-1-5(b).



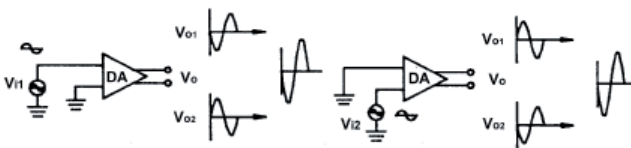
Rys. 10-1-5 Sygnały wyjściowe wzmacniacza różnicowego z jednym wejściem

Jeśli sygnał wejściowy jest dostarczany do obu wyprowadzeń wejściowych wzmacniacza różnicowego pracującego w konfiguracji z jednym wejściem, to w p. V_{o1} i V_{o2} otrzymuje się sygnały o tej samej wielkości, lecz przeciwnej fazie.

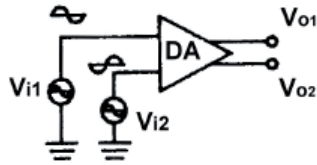
Jedno wejście, wyjście symetryczne

Na rys. 10-1-6 przedstawiono konfigurację oraz przebiegi wzmacniacza różnicowego z jednym wejściem i symetrycznym wyjściem.

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} = 2V_{o1} = -2A_v V_{i1} \text{ lub } 2A_v V_{i2}$$



Rys. 10-1-6 Sygnały wyjściowe wzmacniacza różnicowego z jednym wejściem



Rys. 10-1-7 Konfiguracja: dwa wejścia, wyjście niesymetryczne

Na podstawie rysunku 10-1-7 możemy napisać, że:

$$V_{o1} = -A_v V_{i1} + A_v V_{i2} = -A_v (V_{i1} - V_{i2}) \quad (10-1-1)$$

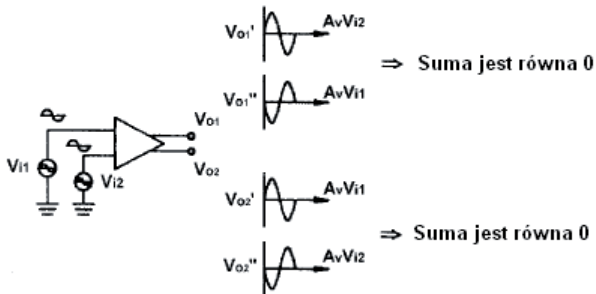
$$V_{o2} = A_v V_{i1} + (-A_v V_{i2}) = A_v (V_{i1} - V_{i2}) \quad (10-1-2)$$

$$V_d = V_{i1} - V_{i2} = V_{i1} - (-V_{i1}) = 2V_{i1} \text{ lub } V_d = -2V_{i1}$$

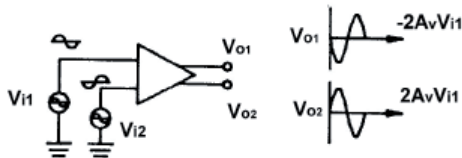
Z równania (10-1-1) i (10-1-2) otrzymujemy:

Jeśli $V_{i1} = V_{i2}$, to $V_{o1} = 0$ i $V_{o2} = 0$, zgodnie z rys. 10-1-8.

Jeśli $V_{i1} = -V_{i2}$, to $V_{o1} = -2A_v V_{i1}$ i $V_{o2} = 2A_v V_{i1}$, zgodnie z rys. 10-1-9.



Rys. 10-1-8 Przebiegi napięć wyjściowych V_{o1} i V_{o2} w sytuacji, gdy $V_{i1} = V_{i2}$



Rys. 10-1-9 Przebiegi napięć wyjściowych V_{o1} i V_{o2} , gdy napięcie wejściowe $V_{i1} = -V_{i2}$

Dwa wejścia, wyjście symetryczne

Biorąc pod uwagę rysunki 10-1-8 i 10-1-9, można napisać, że:

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} = -A_v (V_{i1} - V_{i2}) - A_v (V_{i1} - V_{i2})$$

$$V_o = -2A_v (V_{i1} - V_{i2}) = -2A_v V_d$$

Jeśli napięcie wejściowe $V_{i1} = V_{i2}$, to napięcie wyjściowe $V_o = 0$.

Jeśli napięcie wejściowe $V_{i1} = -V_{i2}$, to napięcie wyjściowe $V_o = -2 A_v (2V_{i1}) = -4A_v V_{i1}$.

Wzmocnienie wzmacniacza różnicowego

A_c : Wzmocnienie dla pracy wspólnej; oznacza współczynnik wzmocnienia w stosunku do sygnału różnicowego.

A_d : Wzmocnienie dla pracy różnicowej; oznacza współczynnik wzmocnienia w stosunku do sygnału różnicowego.

V_c : Sygnał przy pracy wspólnej (ten sam sygnał).

V_d : Sygnał w trybie różnicowym (sygnał różnicowy).

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

Wartość wzmocnienia A_c idealnego wzmacniacza różnicowego powinno być możliwie najmniejsze, a wartość napięcia V_o powinna być wprost proporcjonalna do A_d .

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego

Parametr CMRR równy A_d/A_c jest używany do określenia zdolności wzmacniacza różnicowego (lub wzmacniacza operacyjnego) do tłumienia zakłóceń. Większa wartość współczynnika CMRR, która odpowiada mniejszej wartości A_c , przedstawia lepszą zdolność do tłumienia zakłóceń.

i

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c = A_d V_d + A_d V_d \times \frac{A_c V_c}{A_d V_d} = A_d V_d \left(1 + \frac{V_c}{V_d} \times \frac{A_c}{A_d} \right)$$

$$V_o = AdV_d \left(1 + \frac{1}{CMRR} \times \frac{V_c}{V_d} \right)$$

Z zależności poniższej wynika, że gdy współczynnik CMRR ma dużą wartość to:

$$V_o = AdV_d \left(1 + \frac{1}{CMRR} \times \frac{V_c}{V_d} \right) = AdV_d (1 + 0) = AdV_d$$

Sygnal współbieżny jest, zatem stłumiony. Ponieważ zakłócenia występują na wejściach V_{i1} i V_{i2} jako sygnał współbieżny zwykle jednocześnie, to wzmacniacz różnicowy o większej wartości współczynnika CMRR będzie odznaczał się większą zdolnością do tłumienia zakłóceń. Wartości współczynnika CMRR można uzyskać przeglądając dane techniczne wzmacniaczy różnicowych i operacyjnych w katalogach ich producentów.













NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25006 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (1)
3. Oscyloskop

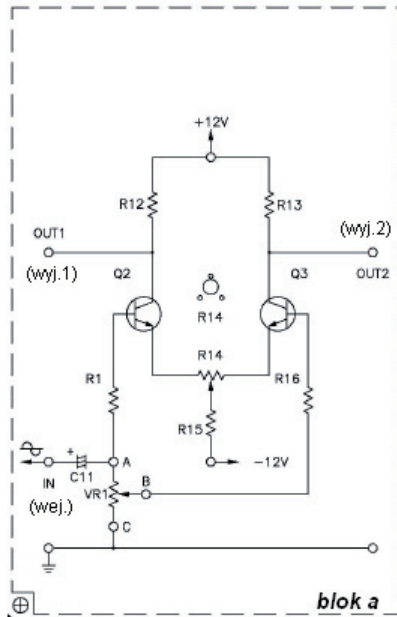
PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25006 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia posługując się schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-1-10. Dołączyć do układu potencjometr VR1 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz.
3. Ustawić potencjometr VR1 w takim położeniu, w którym rezystancja między punktami B i C jest maksymalna i $V_{IN1} = V_{IN2}$.

4. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT1 dołączyć oscyloskop (z ustawionym przemiennym typem sygnału wejściowego – AC). Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony. Zmierzyć i zapisać w tablicy 10-1-1 przebiegi na wejściach IN1 i IN2, oraz na wyjściach OUT1 i OUT2.
5. Ustawić potencjometr VR1 w takim położeniu, w którym rezystancja między punktami B i C jest minimalna (0Ω) i $V_{IN2} = 0 \text{ V}$.
6. Powtórzyć krok 4 niniejszej procedury.
7. Ustawić potencjometr VR1 w takim położeniu, w którym rezystancja między punktami B i C wynosi 500Ω i $V_{IN2} = V_{IN1}/2$.
8. Powtórzyć krok 4 niniejszej procedury.

	$V_{IN1}=V_{IN2}$	$V_{IN2}=0\text{V}$	$V_{IN2}=V_{IN1}/2$
V_{IN1}			
V_{IN2}			
V_{OUT1}			
V_{OUT2}			

Tablica 10-1-1



Rys. 10-1-10 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok a)

PODSUMOWANIE

Wzmacniacz różnicowy pracujący w podstawowej konfiguracji wzmacniacza operacyjnego charakteryzuje się:

1. Dużym wzmocnieniem w trybie różnicowym Ad
2. Małym wzmocnieniem w trybie pracy wspólnej Ac
3. Dużym współczynnikiem tłumienia sygnału współbieżnego CMRR
4. Elastycznością konfiguracji wejściowo-wyjściowych:

Jedno wejście, wyjście niesymetryczne

Jedno wejście, wyjście symetryczne

Dwa wejścia, wyjście niesymetryczne

Dwa wejścia, wyjście symetryczne

Ćwiczenie 10-2 Pomiar parametrów wzmacniacza operacyjnego

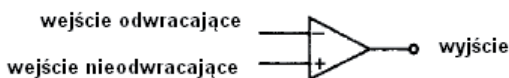
PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zapoznanie się z ważnymi parametrami wzmacniacza operacyjnego.
2. Pomiar ważnych parametrów wzmacniacza operacyjnego.

DYSKUSJA

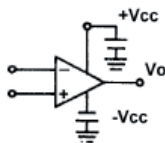
Podstawowe parametry wzmacniacza operacyjnego

Wzmacniacz operacyjny produkowany w postaci układu scalonego jest wzmacniaczem zawierającym jedno wejście odwracające (-), jedno wejście nieodwracające (+) oraz jedno wyjście. Przedstawiono je na rys. 10-2-1.



Rys. 10-2-1 Symbol wzmacniacza operacyjnego

Wzmacniacz operacyjny wymaga do zasilania typowo dwóch napięć o takich samych wartościach, lecz o przeciwnym znaku, zwykle od $\pm 3\text{V}$ do $\pm 15\text{V}$, przy czym najczęściej jest stosowane napięcie $\pm 12\text{V}$. Sposób dołączenia napięć zasilających przedstawiono na rys. 10-2-2.



Rys. 10-2-2 Wzmacniacz operacyjny z podwójnym zasilaniem

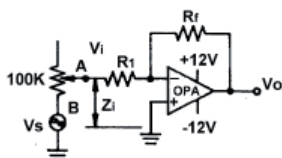
Na rys. 10-1-1 przedstawiono wewnętrzny układ zastępczy wzmacniacza operacyjnego (na przykład μA 741), który ma budowę podobną do wzmacniacza bez kondensatora wyjściowego (OCL). Jeśli napięcie wejściowe $V_i = 0$ V, to napięcie wyjściowe $V_o = 0$ V. Wzmacniacz operacyjny można też zasilać jednym napięciem i w takim przypadku, jeśli doprowadzi się do niego napięcie V_i , to napięcie V_o będzie zamiast 0 V równe $\frac{1}{2} V_{cc}$.

Idealny wzmacniacz operacyjny powinien mieć następujące parametry:

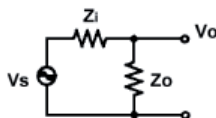
1. Wzmocnienie napięciowe $A_v = \infty$
2. Impedancja wejściowa $Z_i = \infty$
3. Impedancja wyjściowa $Z_o = \infty$
4. Szerokość pasma $BW = \infty$
5. Jeśli napięcie wejściowe $V_i = 0$, to napięcie wyjściowe $V_o = 0$.
6. Na parametry wzmacniacza operacyjnego nie ma wpływu temperatura.

Wprowadzimy teraz parametry wzmacniacza operacyjnego, które są szeroko stosowane:

Impedancja wejściowa (Z_i)



(a) Układ praktyczny



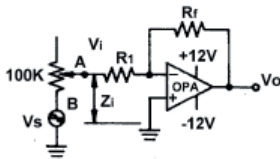
(b) Układ zastępczy

Rys. 10-2-3 Układ pomiarowy impedancji wejściowej Z_i

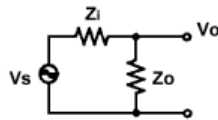
Idealny wzmacniacz operacyjny ma jako taki impedancję wejściową równą ∞ , a rzeczywisty ma wartość tego parametru też dużą. Jednak po dołączeniu do wzmacniacza operacyjnego różnych układów, wartość jego impedancji wejściowej będzie zawierać składowe związane z tymi układami zewnętrznymi (R_1 i R_f), jak to przedstawiono na rys. 10-2-3(a). Impedancję wejściową Z_{we} z rys. 10-2-3(b) obliczono biorąc pod uwagę wpływ na nią obciążenia.

$$\text{Jeśli } V_o = \frac{1}{2} V_s, \text{ to } Z_i = Z_o.$$

Impedancja wyjściowa (Z_o)



(a) Układ praktyczny



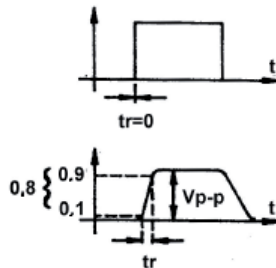
(b) Układ zastępczy

Rys. 10-2-4 Układ pomiarowy impedancji wyjściowej Z_o

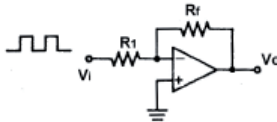
Metoda obliczania impedancji wyjściowej Z_o z rys. 10-2-4(a) jest taka sama jak użyta do obliczania impedancji wejściowej Z_i . Jak przedstawiono na następnym rysunku, jeśli $R_L = \infty$, to: $V_o' = V_o$ oraz $Z_o = R_L$, $V_o' = \frac{1}{2} V_o$.

Jak przedstawiono na rys. 10-2-4 możemy najpierw ustawić tak potencjometr VR (1 k Ω), aby $V_o' = \frac{1}{2} V_{cc}$, a następnie zmierzyć wartość R_L (VR1 k Ω_{ab} + 22 Ω), która jest równa Z_o . Jeśli napięcia $V_o' = \frac{1}{2} V_{cc}$ nie można ustawić, to do obliczenia Z_o możemy użyć zależności dzielnika napięcia $V_o' = \frac{R_L}{Z_o + R_L}$. Następnie można zmierzyć napięcie wyjściowe V_o przy ustawieniu $R_L = \infty$.

Szybkość narastania zbocza (SR = slew rate)



Rys. 10-2-5 Zależność czasu narastania (t_r) od szybkości narastania zbocza (SR)
Z wykresów przedstawionych na rys. 10-2-5 można zrozumieć, dlaczego parametr SR jest używany do określenia szybkości transmisji sygnału przez wzmacniacz operacyjny. Większa wartość szybkości narastania zbocza (SR) oznacza większą szybkość transmisji sygnału, przedstawia też większą zdolność wzmacniacza operacyjnego do obsługi sygnału w.c.z. Ogólnie rzecz biorąc większa wartość SR odpowiada też szerszemu pasmu (BW).



Rys. 10-2-6 Układ do pomiaru szybkości narastania zbocza (SR)

Na rys. 10-2-6 przedstawiono układ przedstawiony do wyznaczania szybkości narastania zbocza (SR). Z przebiegu napięcia wyjściowego można obliczyć wartość czasu t_r i napięcia V_{p-p} . Następnie można obliczyć wartość parametru SR z zależności $SR = 0,8 V_{p-p}/t_r$, w której wartość $0,8 V_{p-p}$ przedstawia wielkość zmiany napięcia w czasie narastania, przy czym czas t_r jest czasem narastania.

Szerokość pasma (BW)

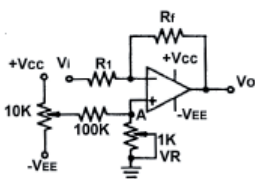
Szerokość pasma (BW) idealnego wzmacniacza operacyjnego jest równa ∞ , lecz w przypadku wzmacniacza rzeczywistego jest mniejsza. Typowa wartość parametru BW nazywanego też po prostu pasmem podawana w katalogach wzmacniaczy operacyjnych zawierających ich dane techniczne jest nieco większa od paru megaherców. W praktyce, jeśli parametr BW danego wzmacniacza operacyjnego ma wartość niewielką, to wzmacniacz ten nie nadaje się do zastosowań w układach w.cz.

Ustawianie napięcia offsetu

Idealny wzmacniacz operacyjny powinien mieć napięcie wyjściowe V_o równe zero, gdy napięcie wejściowe $V_{in} = 0$. W praktyce jest jednak inaczej, gdyż zwykle, jeśli $V_{in} = 0$, to napięcie wyjściowe V_o nie jest równe zero.

Jeśli taki układ operacyjny zostanie zastosowany w układzie regulacji, to własność „jeśli $V_{in} = 0$, to $V_o \neq 0$ ” będzie miała wpływ na pracę układu. W praktyce należy, zatem zastosować regulację napięcia offsetu tak, aby uzyskać sytuację „jeśli $V_{in} = 0$, to $V_o = 0$ ”. Istnieją n.w. dwie metody realizacji regulacji napięcia offsetu.

1. Offset wzmacniacza odwracającego:

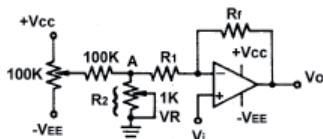


$$V_o = V_i \left(-\frac{R_f}{R_1} \right)$$

Rys. 10-2-7 Regulacja offsetu we wzmacniaczu odwracającym

Gdy napięcie wejściowe $V_i = 0$ V, to należy ustawić tak potencjometr VR (1 k Ω), aby napięcie wyjściowe $V_{wy} = 0$ V. Ponieważ, gdy wejście V_i jest połączone z masą, to $V_o = V_A (1 + R_f/R_1)$; regulując zatem wartości rezystorów VR (1 k Ω) i VR (100 k Ω), można zmieniać wartość napięcia wyjściowego V_o .

2. Offset we wzmacniaczu nieodwracającym

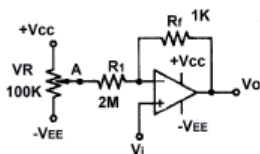


$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$$

Rys. 10-2-8 Regulacja offsetu we wzmacniaczu nieodwracającym fazy

Ponieważ $A_v = -\frac{R_f}{R_1 + R_2}$, to wartość rezystancji R_2 powinna być dużo mniejsza od rezystancji R_1 , gdyż wtedy $A_v \approx -R_f/R_1$. Ponieważ napięcie wyjściowe $V_o = V_A (-R_f/R_1)$, gdy napięcie wejściowe $V_i = 0$ (wejście połączone z masą), to regulując potencjometrami VR (1 k Ω) i VR (100 k Ω) można zmieniać napięcie wyjściowe V_o .

3. Offset we wtórniku napięcia

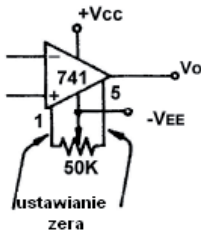


$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} \approx 1$$

Rys. 10-2-9 Regulacja offsetu we wtórniku emiterowym

Ze względu na to, że, gdy napięcie wejściowe $V_i=0$ (wejście połączone z masą), to napięcie wyjściowe $V_o = V_A (-R_f/R_1)$, zatem regulując potencjometrem VR (100 k Ω) można zmieniać napięcie wyjściowe V_o .

4. Zerowanie offsetu w scalonym wzmacniaczu operacyjnym



Rys. 10-2-10 Zerowanie offsetu we wzmacniaczu operacyjnym

Układ z rys. 10-2-10 przedstawia regulację napięcia offsetu wbudowaną w scalony wzmacniacz operacyjny. Zmianę napięcia wyjściowego uzyskuje się zmieniając zrównoważenie wewnętrznego stopnia różnicowego we wzmacniaczu różnicowym układu scalonego.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25006 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (1)
3. Oscyloskop
4. Multimetr

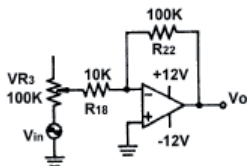
PROCEDURA

A. Pomiar impedancji wejściowej (Z_i)

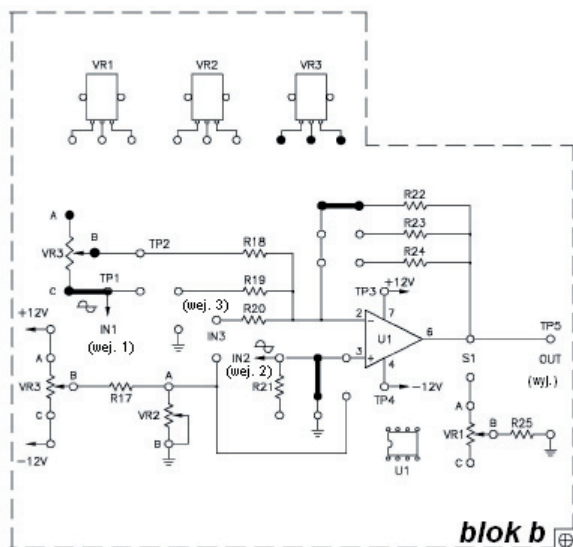
1. Ustawić moduł KL-25006 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 10-2-11 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-2-12. Dołączyć do układu potencjometr VR3 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN (TP1) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz.
3. Ustawić potencjometr VR3 (100 k Ω) na minimum (wyprowadzenia B i C ze sobą zwarte). Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP5) dołączyć oscyloskop.

4. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg na wyjściu OUT (TP5) wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
5. Zaobserwować i zapisać w tablicy 10-1-1 przebieg na wejściu IN1 (TP1).
6. Ustawić potencjometr VR3 w takim położeniu, w którym amplituda sygnału wyjściowego na wyprowadzeniu OUT (TP5) będzie równa połowie amplitudy przebiegu w kroku 4 niniejszej procedury.
7. Wyłączyć zasilacz. Odłączyć przewody połączeniowe od potencjometru VR3.
8. Posługując się multymetrem (z ustawionym zakresem Ω), zmierzyć i zapisać wartość rezystancji między wyprowadzeniami B i C służącymi do dołączenia potencjometru VR3.

Zi = _____



Rys. 10-2-11 Układ do pomiaru impedancji wejściowej Zi



Rys. 10-2-12 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok b)

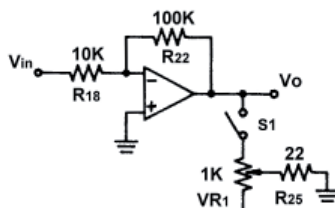
B. Pomiar impedancji wyjściowej (Z_o)

- Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 10-2-13 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-2-14. Dołączyć do układu potencjometr VR1 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
- Do wyprowadzeń wejściowych IN (TP1) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz.
- Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału z generatora funkcyjnego aż do momentu, gdy przebieg na wyjściu OUT (TP5) wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
- Zapisać wartość międzyszczytową (V_{p-p}) napięcia wyjściowego.
 $V_{out} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$
- Umieścić wtyk mostkujący w miejscu S1, a następnie obserwować zmiany przebiegu napięcia wyjściowego V_{out} .

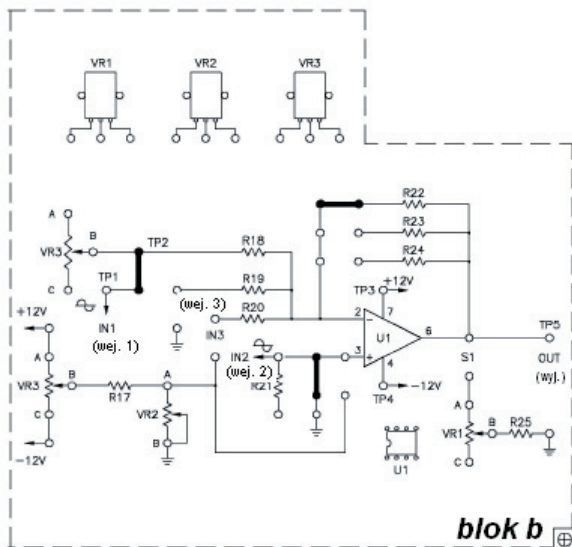
6. Ustawić potencjometr VR1 (1 k Ω) w takim położeniu, w którym napięcie wyjściowe V_{out} jest równe połowie napięcia zmierzonego w kroku 4 niniejszej procedury.
7. Wyłączyć zasilacz.
8. Posługując się multymetrem (z ustawionym zakresem Ω), zmierzyć i zapisać wartość rezystancji między wyprowadzeniem wyjścia OUT (TP5) a masą. Wartość ta będzie impedancją wyjściową wzmacniacza operacyjnego. Zapisać zmierzoną wartość impedancji Z_o w tablicy 10-2-1.
9. Włączyć zasilacz. Powtórzyć kroki procedury od 3 do 8 dla innych częstotliwości wyszczególnionych w tablicy 10-2-1. Sprawdzić czy impedancja wyjściowa będzie zmieniać się wraz ze zmianą częstotliwości sygnału.

Częstotliwość sygnału wejściowego	Z_o
1 kHz	
100 kHz	
10 kHz	
50 kHz	

Tablica 10-2-1



Rys. 10-2-13 Układ pomiarowy impedancji wyjściowej (Z_o)

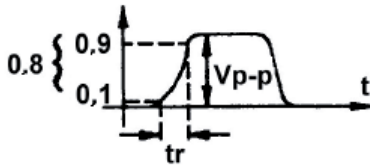


Rys. 10-2-14 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok b)

C. Pomiar szybkości narastania sygnału (SR)

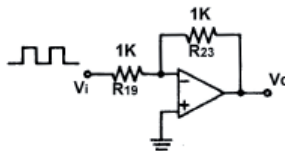
1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 10-2-15 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-2-16. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującą się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN (TP1) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz.
3. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP5) dołączyć oscyloskop.
4. Regulować częstotliwość sygnału wejściowego do momentu, gdy oscyloskop zacznie mierzyć czas narastania (t_r) sygnału wejściowego. Posługując się poniższym rysunkiem zaobserwować i zapisać poniżej wartość międzyszczytową napięcia V_{p-p} i czasu t_r .

$V_{p-p} =$ _____, $t_r =$ _____

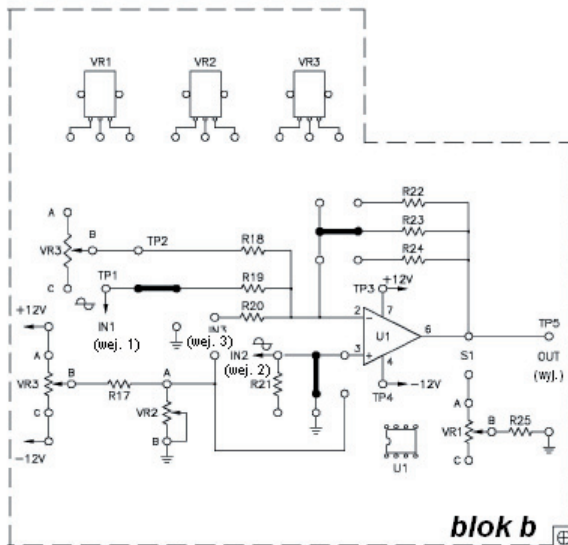


5. Obliczyć ze wzoru i zapisać poniżej szybkość narastania sygnału SR.

$$SR = 0,8 V_{p-p} / tr = \underline{\hspace{2cm}}$$



Rys. 10-2-15 Układ pomiarowy szybkości narastania sygnału (SR)



Rys. 10-2-16 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok b)

D. Pomiar szerokości pasma (BW)

- Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 10-2-17 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-2-18. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.

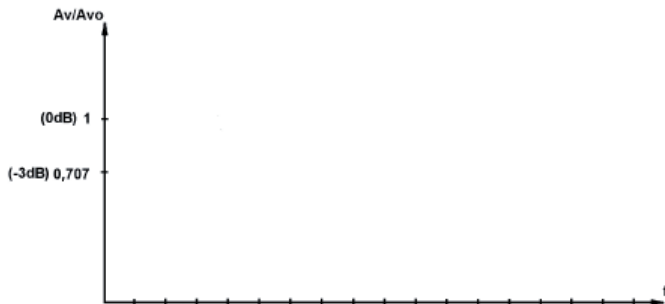
- Do wyprowadzeń wejściowych IN2 doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz.
- Do wyjścia IN2 dołączyć oscyloskop i ustawić amplitudę sygnału wejściowego na 400 mVp-p.
- Ustawiając kolejno częstotliwości sygnału wejściowego z zakresu od 50 Hz do 30 kHz, podane w tablicy 10-2-2, mierzyć odpowiadającą im wartość napięcia wyjściowego V_o . Obliczyć wzmocnienie napięciowe $A_v = V_o/V_i$ oraz przeliczyć je na decybele $\text{dB} = 20 \log (A_v/A_{v0})$, gdzie A_{v0} jest równe maksymalnej wartości wzmocnienia A_v , a $0 \text{ dB} = 20 \log 1$.

f (Hz)	V_o	A_v	A_v/A_{v0} (dB)
50			
200			
500			
1000			
2000			

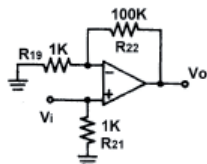
f (Hz)	V_o	A_v	A_v/A_{v0} (dB)
5000			
10000			
15000			
20000			
30000			

Tablica 10-2-2

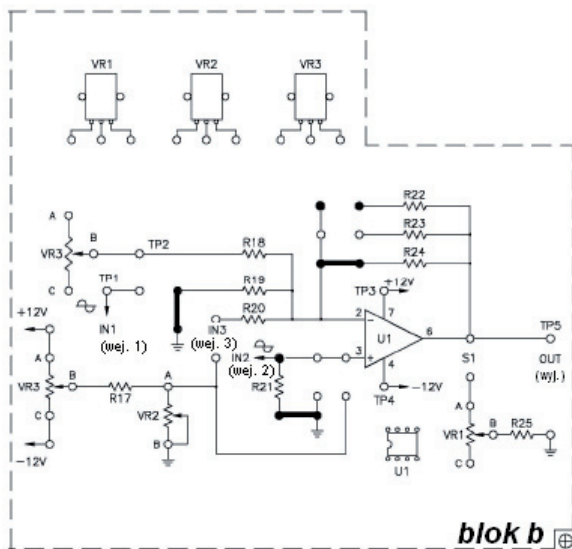
- Wykreślić w tablicy 10-2-3 charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza, używając do tego wyników z tablicy 10-2-2. Znaleźć dolną częstotliwość trzydecybelowego spadku (-3 dB) $f_L = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz oraz górną częstotliwość trzydecybelowego spadku (-3 dB) $f_H = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz. (Wzmocnienie wzmacniacza spada przy częstotliwościach f_L i f_H o 3 dB.) Obliczyć szerokość pasma $BW = f_H - f - f_L = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz.



Tablica 10-2-3 (A_{v0} = maksimum A_v)



Rys. 10-2-17 Układ pomiarowy szerokości pasma (BW)

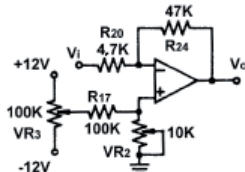


Rys. 10-2-18 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok b)

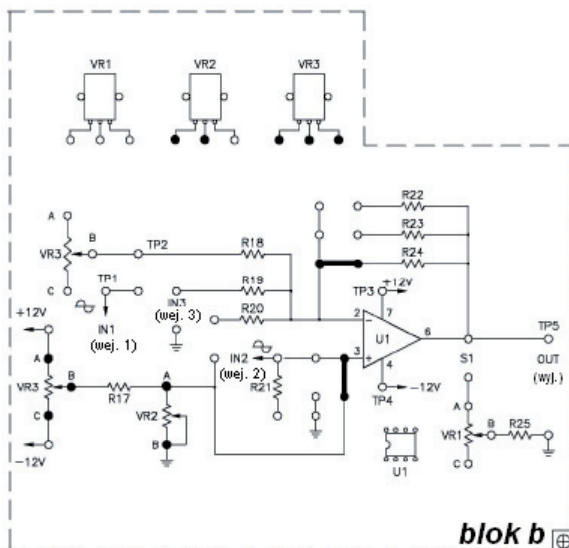
E. Ustawianie napięcia offsetu wzmacniacza odwracającego

- Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 10-2-19 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-2-20. Dołączyć do układu potencjometry VR2 i VR3 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
- Połączyć wejście odwracające IN3 wzmacniacza operacyjnego z masą.

3. Posługując się oscyloskopem (z ustawionym typem sygnału wejściowego DC – sygnał stały) lub woltomierzem (z wybranym zakresem pomiarowym napięcia stałego DCV), zmierzyć napięcie wyjściowe na wyprowadzeniu OUT (TP5).
4. Zaobserwować, czy napięcie na wyjściu OUT jest równe 0. Jeśli nie, wykonać poniższe czynności:
 - (1) Ustawić potencjometr VR2 (1 kΩ) na maksimum.
 - (2) Kręcąc potencjometrem VR3 (100 kΩ), obserwować zmiany napięcia na wyjściu OUT. Ustawić potencjometr tak, aby napięcie wyjściowe $V_{out} = 0$ V.



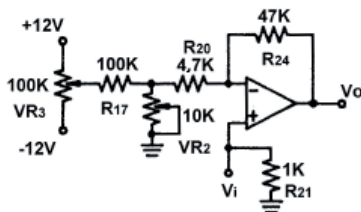
Rys. 10-2-19 Układ ustawiania napięcia offsetu



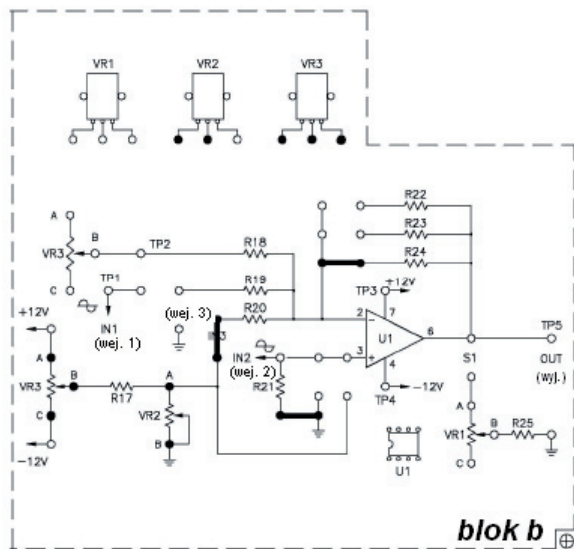
Rys. 10-2-20 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok b)

F. Ustawianie napięcia offsetu wzmacniacza nieodwracającego

1. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 10-2-21 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 10-2-22. Dołączyć do układu potencjometry VR2 i VR3 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25006 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdujące się w module KL-22001.
2. Połączyć wejście nieodwracające IN2 wzmacniacza operacyjnego z masą.
3. Posługując się oscyloskopem (z ustawionym typem sygnału wejściowego DC – sygnał stały) lub woltmierzem (z wybranym zakresem pomiarowym napięcia stałego DCV), zmierzyć napięcie wyjściowe na wyprowadzeniu OUT (TP5).
4. Zaobserwować, czy napięcie na wyjściu OUT jest równe 0. Jeśli nie, wykonać poniższe czynności:
 - (1) Ustawić potencjometr VR2 (1 k Ω) na maksimum.
 - (2) Kręcąc potencjometrem VR3 (100 k Ω), obserwować zmiany napięcia na wyjściu OUT. Ustawić potencjometr tak, aby napięcie wyjściowe $V_{out} = 0$ V.



Rys. 10-2-21 Układ ustawiania napięcia offsetu



Rys. 10-2-22 Schemat montażowy (moduł KL-25006 blok b)

PODSUMOWANIE

Wartość impedancji wejściowej Z_i podana w danych technicznych wzmacniacza operacyjnego np. $\mu A741$ wynosi $10\text{ M}\Omega$. Jednak, gdy wzmacniacz ten jest stosowany jako wzmacniacz pracujący w konfiguracji odwracającej fazę, to impedancja całego układu zmniejszy się w związku z wpływem na nią układu ujemnego sprzężenia zwrotnego. Jeśli zaistnieje potrzeba użycia wzmacniacza o dużej impedancji wejściowej, to trzeba wybrać do tego wzmacniacz pracujący w konfiguracji nieodwracającej fazy lub układ kaskadowy z wtórnikami emiterowymi.

Jeśli weźmiemy pod uwagę wzmacniacz operacyjny, którego impedancja wejściowa jest zwykle równa kilka omów i założymy, że wartość rezystancji obciążenia jest także mała, to układ wyjściowy takiego wzmacniacza operacyjnego z łatwością wejdzie w stan nasycenia i przebieg zostanie obcięty. Jeśli do pomiaru impedancji wyjściowej Z_o użyje się dzielnika napięcia, to jako obciążenie należy użyć rezystora o większej wartości rezystancji, dzięki czemu uniknie się odkształcenia napięcia wyjściowego V_o .

Wartość szerokości pasma BW podana w danych technicznych wzmacniacza operacyjnego może wynosić maksymalnie kilka MHz. Jednak rzeczywiste wartości zmierzonej szerokości pasma mogą nie zgadzać się z podanymi w danych technicznych i osiągać wartość zaledwie kilkuset kHz.

Operacja regulacji napięcia wykonywana w celu uzyskania zera offsetu z wykorzystaniem wyprowadzenia wejściowego lub specjalnie przeznaczonych do tego celu wyprowadzeń układu scalonego wzmacniacza operacyjnego (np. wyprowadzeń 1 i 5 układu $\mu A741$) polega na takiej kompensacji poziomu napięcia stałego wzmacniacza operacyjnego, aby napięcie wyjściowe w stanie statycznym tego wzmacniacza było równe 0 V. Czynność ta jest nazywana regulacją napięcia offsetu. Ze względu na to, że typowa wartość offsetu napięcia wyjściowego wynosi ok. ± 1 V, to doprowadzenie do wyprowadzenia wejściowego wzmacniacza napięcia ± 10 mV, o ile założy się, że współczynnik wzmocnienia dla wzmacniacza odwracającego wynosi 100, może sprowadzić offset napięcia wyjściowego z ± 1 V do 0 V. Ponieważ wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego wynosi w przybliżeniu ∞ , to przeprowadzenie regulacji dla komparatora jest bardzo trudne, stąd też zamiast wyjścia o napięciu 0 V, używa się wyjścia o napięciu $+V_{cc}$ lub $-V_{cc}$.

Notatki

Rozdział 11 Podstawowe układy ze wzmacniaczem operacyjnym

Ćwiczenie 11-1 Wzmacniacz odwracający

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania wzmacniacza odwracającego.
2. Pomiar przebiegów wejściowego i wyjściowego oraz wzmocnienia napięciowego wzmacniacza odwracającego.

DYSKUSJA

Ważne własności układowe wzmacniaczy operacyjnych

1. Masa wirtualna (wirtualne zwarcie)

Termin zwarcie oznacza zwykle, że napięcia występujące na dwóch wyprowadzeniach są sobie równe, a prąd płynący przez te wyprowadzenia jest maksymalny. Jednak, chociaż napięcia $V(-)$ i $V(+)$ na wyprowadzeniach wejściowych „+” i „-”, wzmacniacza operacyjnego są równe, to w tym momencie przez te wyprowadzenia prąd nie płynie. Powyższe zjawisko nosi nazwę zwarcia wirtualnego i jest też nazywane wirtualną masą, gdyż we wzmacniaczu odwracającym wyprowadzenie „+” jest połączone zwykle z masą. Zjawisko to jest powodowane przez impedancję wejściową $Z_i = \infty$ i wzmocnienie $A_v = \infty$ wzmacniacza operacyjnego. Ponieważ $Z_i = \infty$, zatem przez wyprowadzenia wejściowe nie płynie żaden prąd. Ponieważ z kolei wzmocnienie $A_v = \infty$ to, jeśli do wejścia jest doprowadzane napięcie V_i o pomijalnej wartości, to nie można otrzymać napięcia wyjściowego o znaczącej wartości. Ponieważ napięcie V_i jest pomijalnie małe, to napięcia $V(-)$ i $V(+)$ są w przybliżeniu sobie równe.

2. Wzmocnienie w otwartej w pętli

Wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego jest bardzo duże, a dla wzmacniacza idealnego wynosi ∞ .

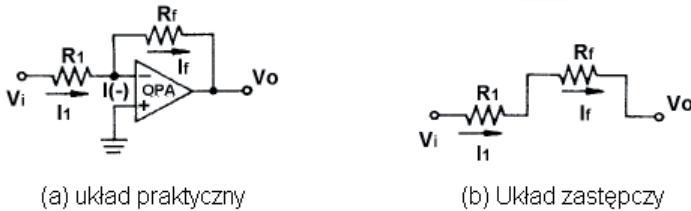
3 Wzmocnienie w zamkniętej pętli

Konfiguracja otwartej pętli wzmacniacza operacyjnego nie nadaje się do pracy tego układu jako wzmacniacza, gdyż sprzężenie zwrotne w nim występujące jest wtedy zbyt duże. To nadmierne wzmocnienie może z łatwością spowodować nasycenie wzmacniacza. Jeśli jako wzmacniacz jest używany wzmacniacz operacyjny, to należy zastosować w nim ujemne sprzężenie zwrotne, dzięki czemu można będzie regulować wartość wzmocnienia.

Wzmacniacz operacyjny może posłużyć do konstrukcji różnorodnych skomplikowanych układów. Układy te, nie ważne jak bardzo skomplikowane, są zasadniczo zbudowane z układów podstawowych. Wprowadzimy teraz kilka układów podstawowych, w których wzmacniacz operacyjny pracuje jako wzmacniacz: układ wzmacniacza odwracającego i układ wzmacniacza nieodwracającego.

Wzmacniacz odwracający

Na rys. 11-1-1(a) przedstawiono układ wzmacniacza odwracającego, a na rys. 11-1-1(b) jego układ zastępczy.



Rys. 11-1-1 Wzmacniacz odwracający

Kierując się koncepcją masy wirtualnej, można zauważyć, że w obwodzie wejściowym wzmacniacza operacyjnego (OPA) prąd nie płynie. Jednak, ponieważ napięcie $V(-) = (V+) = 0 \text{ V}$, to napięcie wyjściowe $V_o = -I_f R_f$, napięcie wejściowe $V_{we} = I_1 R_1$ oraz prąd $I_1 = I_f$.

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-I_f R_f}{I_1 R_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Napięcie wyjściowe V_o ma fazę przeciwną do napięcia wejściowego V_i .

Układ ten jest bardzo stabilny, ponieważ jego wzmocnienie jest w określone wyłącznie przez obwód sprzężenia zwrotnego i nie zależy od parametrów wzmacniacza operacyjnego.

Przykład: Jak przedstawiono na rys. 11-1-1, rezystancja $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_f = 100 \text{ k}\Omega$, $V_i = 0,5 \text{ V}$, $V_o = ?$

Rozwiązanie:

$$A_v = -R_f/R_1 = -100 \text{ k}\Omega/10 \text{ k}\Omega = -10, \quad V_o = V_i \times A_v = 0,5 \text{ V} \times (-10) = -5 \text{ V}$$

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop





PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-1-2(a) i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-1-3. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP7) dołączyć oscyloskop.
3. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego z generatora funkcyjnego aż do momentu, gdy przebieg na wyjściu OUT (TP5) wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony. Zmierzyć i zapisać w tablicy 11-1-1 przebieg napięcia wejściowego V_{IN1} na wejściu IN1, oraz przebieg napięcia wyjściowego V_{OUT} na wyjściu OUT. Porównać fazy przebiegów wejściowego i wyjściowego oraz obliczyć wzmacnienie napięciowe.

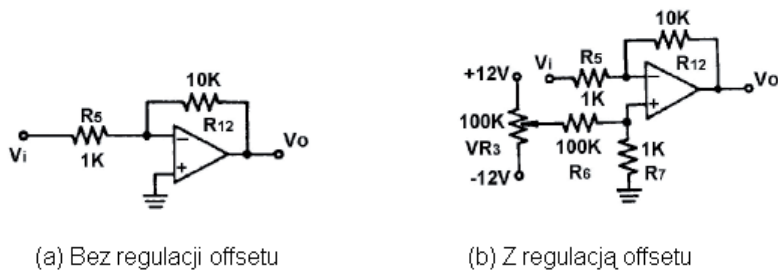
$$A_v = -\frac{V_{OUT}}{V_{IN1}} = \underline{\hspace{4cm}}$$

4. Odłączyć przewody doprowadzające sygnał wejściowy, a następnie połączyć wyprowadzenie wejściowe IN1 z masą. Posługując się oscyloskopem (z ustawionym stałym typem sygnału wejściowego – DC), zmierzyć i zapisać poziom sygnału stałego (offset napięcia wyjściowego) występującego na wyprowadzeniu wyjściowym OUT. $V_{dc} = \underline{\hspace{4cm}}$
5. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-1-2(b) i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-1-4. Dołączyć do układu potencjometr VR3 (100 k Ω) za pomocą przewodów połączeniowych.

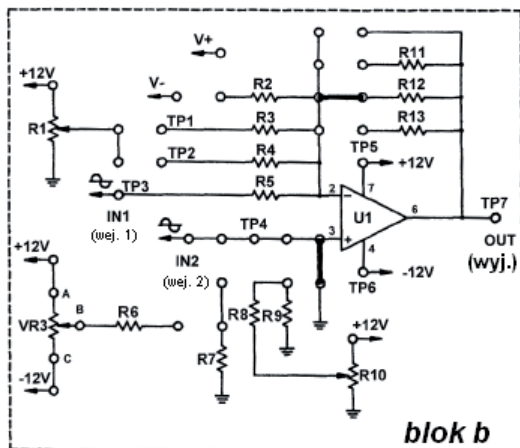
6. Powtórzyć krok 4 niniejszej procedury. Jeśli zmierzony poziom napięcia stałego nie jest równy 0 V, to należy tak ustawić potencjometr VR3 (100 kΩ), aby poziom ten był równy 0 V.
7. Powtórzyć kroki 2 i 3 niniejszej procedury.
8. Kręcąc dowolnie potencjometrem VR3 (100 kΩ), obserwować, czy przebieg wyjściowy ulega zmianie.

		Przebieg	V _{p-p}
Bez regulacji offsetu	V _{IN1}		
	V _{OUT}		
Z regulacją offsetu	V _{IN1}		
	V _{OUT}		

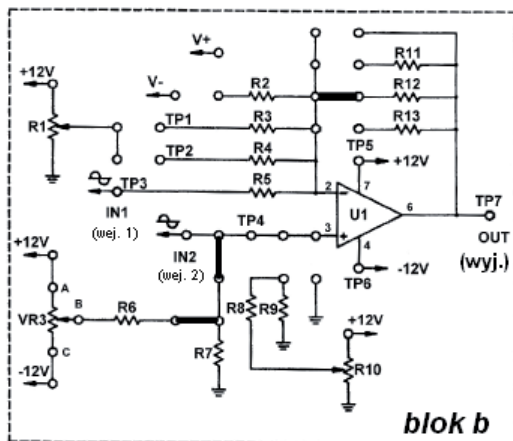
Tablica 11-1-1



Rys. 11-1-2 Układy wzmacniacza odwracającego



Rys. 11-1-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok b)



Rys. 10-1-4 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok b)

PODSUMOWANIE

We wzmacniaczu odwracającym różnica faz napięcia wyjściowego i wejściowego wynosi 180° , a wzmocnienie napięciowe jest określone przez rezystancję wejściową i rezystancję sprzężenia zwrotnego.

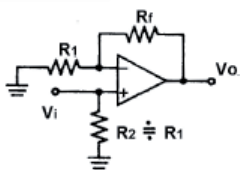
Ćwiczenie 11-2 Wzmacniacz nieodwracający

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

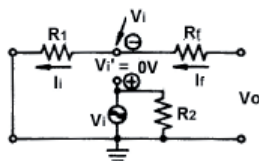
1. Poznanie zasady działania wzmacniacza nieodwracającego.
2. Pomiar przebiegów wejściowego i wyjściowego oraz wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego.

DYSKUSJA

Na rysunku 11-2-1(a) przedstawiono układ wzmacniacza nieodwracającego, a na rys. 11-2-1(b) układ zastępczy tego wzmacniacza.



(a) Układ



(b) Układ zastępczy

Rys. 11-2-1 Wzmacniacz nieodwracający

Ze schematu układu zastępczego otrzymujemy:

$$I_f = I_1$$

$$V_i = V_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_f}, \quad \frac{V_i}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_f}$$

Zatem

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

Napięcie wyjściowe V_o ma taką samą fazę jak napięcie wyjściowe V_i (napięcie V_o jest w fazie z napięciem V_i).

Przykład: Jak przedstawiono na rys. 11-2-1a, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_f = 10 \text{ k}\Omega$, $V_i = 1 \text{ V}$, $V_o = ?$

Rozwiązanie: $V_o = V_i \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = 1 \text{ V} \left(1 + \frac{10 \text{ k}}{1 \text{ k}}\right) = 11 \text{ V}$

Napięcie użyte do zasilania tego układu powinno być większe od 11 V, w przeciwnym wypadku maksymalne napięcie wyjściowe będzie równe napięciu zasilania.



NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop

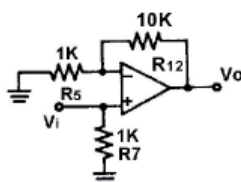
PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-2-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-2-3.
2. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
3. Do wyprowadzeń wejściowych IN2 (TP4) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP7) dołączyć oscyloskop.
4. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego z generatora funkcyjnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony. Zmierzyć i zapisać w tablicy 11-2-1 przebieg napięcia wejściowego V_{IN2} na wejściu IN2, oraz przebieg napięcia wyjściowego V_{OUT} na wyjściu OUT.
5. Porównać fazy przebiegów wejściowego i wyjściowego oraz obliczyć wzmocnienie napięciowe.

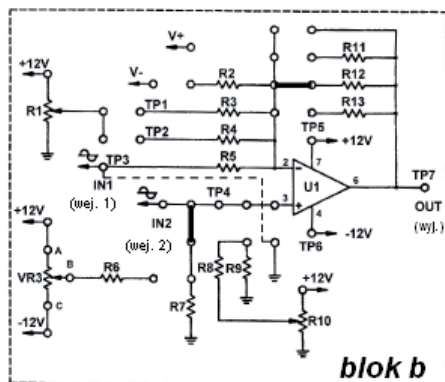
$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN2}} = \underline{\hspace{10em}}$$

Przebieg		Vp-p
V _{IN2}		
V _{OUT}		

Tablica 11-2-1



Rys. 11-2-2 Wzmacniacz nieodwracający



Rys. 11-2-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok b)

PODSUMOWANIE

We wzmacniaczu odwracającym różnica faz napięcia wyjściowego i wejściowego wynosi 0° , a wzmocnienie napięciowe jest określone przez rezystancję wejściową i rezystancję sprzężenia zwrotnego i plus 1.

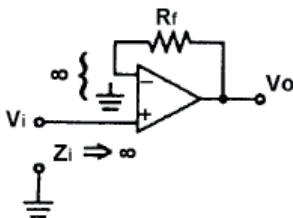
Ćwiczenie 11-3 Wtórnik napięciowy

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania wtórника napięciowego.
2. Pomiar przebiegów wejściowego i wyjściowego oraz wzmocnienia napięciowego wtórника napięciowego.

DYSKUSJA

Wtórnik napięciowy przedstawiony na rys. 11-3-1 jest aplikacją wzmacniacza nieodwracającego. Ponieważ $R_1 = \infty$, zatem $A_v = 1 + (R_f/R_1) = 1$



Rys. 11-3-1 Wtórnik napięciowy

Układ ten pracuje, zatem jak wzmacniacz. Ponieważ, jednak impedancja wejściowa $Z_i = \infty$, a impedancja wyjściowa Z_o jest bardzo mała, to wtórnik napięciowy jest używany szeroko do dopasowywania impedancji.



NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop

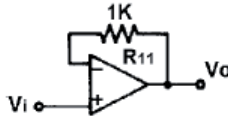
PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-3-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-3-3. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN2 (TP4) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz.
3. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP7) dołączyć oscyloskop. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału wyjściowego z generatora funkcyjnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony. Zmierzyć i zapisać w tablicy 11-3-1 wartości szczytowe i przebiegi napięcia wejściowego V_{IN2} , oraz napięcia wyjściowego V_{OUT} .
4. Regulując dowolnie amplitudę z generatora funkcyjnego, obserwować, czy napięcie wyjściowe V_{OUT} jest zawsze podobne do napięcia wejściowego V_{IN2} _____
5. Obliczyć wzmocnienie napięciowe.

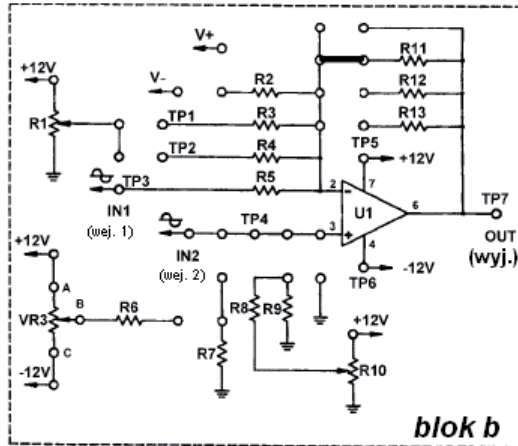
$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN2}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Przebieg		V_{p-p}
V_{IN2}		
V_{OUT}		

Tablica 11-3-1



Rys. 11-3-2 Układ wtórnika napięciowego



Rys. 11-3-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok b)

PODSUMOWANIE

Wtórnik napięciowy jest wzmacniaczem nieodwracającym o wzmocnieniu napięciowym równym 1. Impedancja wejściowa tego układu jest bardzo duża, co też jest ważną własnością wzmacniacza nieodwracającego. Jeśli do budowy wtórnika napięciowego użyje się wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$, to można będzie wtedy uzyskać impedancję wejściową Z_i równą aż $200 \text{ M}\Omega$, pojemność wyjściową równą ok. 1 pF , impedancję wyjściową dużo mniejszą od $1 \text{ }\Omega$, a pasmo w przybliżeniu równe 1 MHz . Ponieważ impedancja wyjściowa jest dużo mniejsza od $1 \text{ }\Omega$, zatem parametry układu ulegną znacznemu pogorszeniu po dołączeniu do niego bardzo małej rezystancji obciążenia. Szczególnie wtedy, gdy zostanie dołączony sygnał wejściowy o dużej amplitudzie, to wpływ parametru szybkości narastania sygnału (SR) będzie tak duży, że wyjście wzmacniacza operacyjnego z łatwością wejdzie w stan nasycenia.

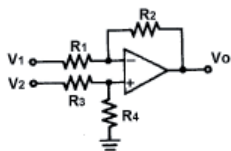
Ćwiczenie 11-4 Wzmacniacz różnicowy

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

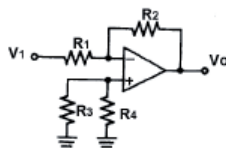
1. Poznanie zasady działania wzmacniacza różnicowego.
2. Pomiar napięcia wyjściowego wzmacniacza różnicowego.

DYSKUSJA

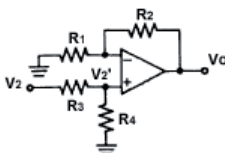
Jak przedstawiono na rys. 11-4-1(a), wzmacniacz różnicowy lub układ odejmujący wykorzystuje dwa wyprowadzenia wejściowe, będące odpowiednio wyprowadzeniem wejścia odwracającego i wyprowadzeniem wejścia nieodwracającego.



(a) Układ wzmacniacza różnicowego



(b) z wykorzystaniem tylko napięcia V1



(c) z wykorzystaniem tylko napięcia V2

Rys. 11-4-1 Wzmacniacz różnicowy

Zgodnie z zasadą superpozycji, dokonamy poniższej analizy tego układu:

1. Gdy do wyprowadzenia wejściowego jest doprowadzane napięcie V1, a wyprowadzenie V2 jest połączone z masą, co przedstawiono to na rys. 11-4-1(b), to: napięcie wyjściowe $V_{o1} = V_i (-R_2/R_1)$, i zależy od wzmacnienia sygnału odwracającego.

2. Gdy do wyprowadzania wejściowego jest doprowadzane napięcie V_2 , a wyprowadzenie V_1 jest połączone z masą, co przedstawiono na rys. 11-4-1(c), to: napięcie wyjściowe $V_{o2} = V_2 (R_4 \cdot R_3 + R_4) / (1 + R_2 / R_1)$
3. $V_o = V_{o1} + V_{o2} = V_1(-R_2/R_1) + V_2(R_4/(R_3+R_4)) \cdot ((R_1+R_2)/R_1)$
 Jeśli $R_1 = R_3$ oraz $R_2 = R_4$, to wtedy otrzymujemy:
 $V_o = V_1(-R_2/R_1) + V_2(R_2/(R_1+R_2)) \cdot ((R_1+R_2)/R_1)$
 $= V_1(-R_2/R_1) + V_2(R_2/R_1) = (V_2 - V_1)R_2/R_1$

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

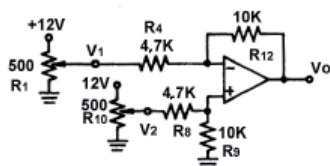
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

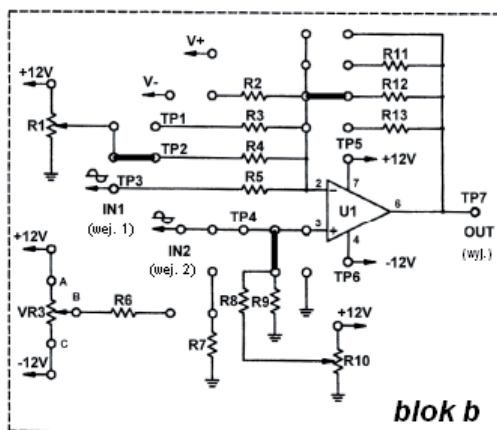
1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-4-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-4-3. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe $+12\text{ V}$ i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdujące się w module KL-22001.
2. Ustawić dwa potencjometry R_1 ($500\ \Omega$) i R_{10} ($500\ \Omega$) tak, aby napięcia V_1 i V_2 miały wartości podane w tablicy 11-4-1.
3. Posługując się multimetrem (z ustawionym zakresem napięcia stałego DCV), zmierzyć i zapisać w tablicy 11-4-1 napięcie występujące na wyprowadzeniu wyjściowym (OUT).
 Obliczyć napięcie wyjściowe $V_{out} = (V_2 - V_1) R_{12}/R_4$, gdzie $R_4 = 4,7\text{ k}\Omega$ oraz $R_2 = 10\text{ k}\Omega$.
4. Wypełnić tablicę 11-4-1.

V1	V2	Vout zmierzone	Vout obliczone
1V	2V		
2V	2V		
3V	1V		
4V	1V		

Tablica 11-4-1



Rys. 11-4-2 Wzmacniacz różnicowy



Rys. 11-4-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok b)

PODSUMOWANIE

Wzmacniacz różnicowy ma jednocześnie własności wzmacniacza odwracającego i wzmacniacza nieodwracającego. Konfiguracja z wejściem sygnału różnicowego charakteryzuje się zwiększonym współczynnikiem tłumienia sygnału współbieżnego (CMRR). Stąd też układ odejmujący stosuje się często w układach współpracujących z czujnikami i wzmacniających (słaby) sygnał z tych czujników.

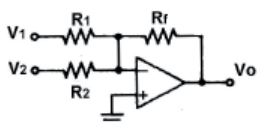
Ćwiczenie 11-5 Sumator

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

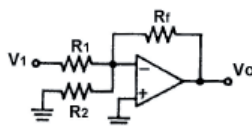
1. Poznanie zasady działania układu sumatora.
2. Przystudiowanie zależności napięcia wyjściowego od dwóch napięć wejściowych.

DYSKUSJA

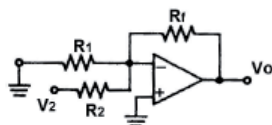
Układ sumatora przedstawiony na rys. 11-5-1(a) może wykorzystywać różne wyprowadzenia wejściowe.



(a) Układ sumatora



(b) z wykorzystaniem tylko napięcia V1



(c) z wykorzystaniem tylko napięcia V2

Rys. 11-5-1 Układ sumatora

Postępując się regułą superpozycji, przeanalizujemy poniżej pracę tego układu:

1. Gdy do wyprowadzenia wejściowego jest doprowadzone napięcie V1, a wyprowadzenie oznaczone symbolem V2 jest zwarte z masą to, ponieważ wyprowadzenie V(-) ma ten sam potencjał, jaki ma wyprowadzenie V(+), przez rezystor R2 nie płynie żaden prąd, a układ pracuje jako wzmacniacz odwracający. Przedstawiono to na rys. 11-5-1(b).

Napięcie wyjściowe $V_{o1} = V_1(1-R_f/R_1)$

2. Gdy do wyprowadzenia wejściowego jest doprowadzone napięcie V_2 , a wyprowadzenie oznaczone symbolem V_1 jest połączone z masą, to zasada pracy układu jest taka sama jak w p.1. Zilustrowano to na rys. 11-5-1(c).

Napięcie wyjściowe $V_{o2} = V_2(-R_f/R_2)$

3. Napięcie wyjściowe $V_o = V_{o1} + V_{o2} = V_1(-R_f/R_1) + V_2(-R_f/R_2)$

Jeśli $R_1 = R_2$, to $V_o = -R_f/R_1(V_1+V_2)$.

Jeśli $R_f = R_1$, to otrzymujemy $V_o = -(V_1 + V_2)$

NEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

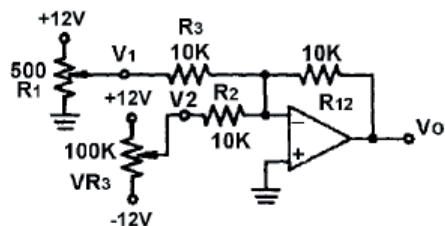
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

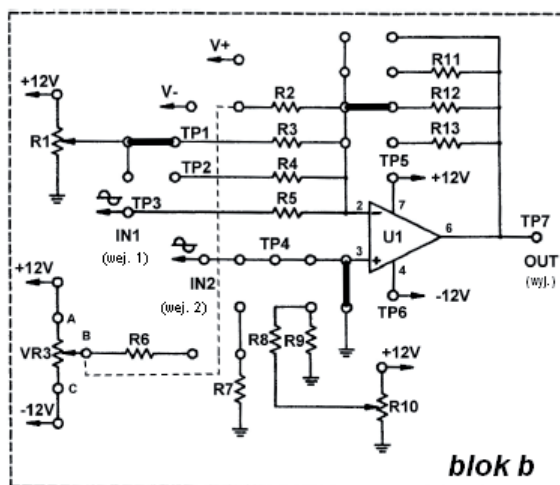
1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-5-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-5-3. Do układu dołączyć potencjometr VR3 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdujące się w module KL-22001.
2. Ustawić dwa potencjometry R_1 (500 Ω) i VR3 (100 k Ω) tak, aby napięcia V_1 i V_2 miały wartości podane w tabelicy 11-5-1.
3. Posługując się multimetrem (z ustawionym zakresem napięcia stałego DCV), zmierzyć i zapisać w tabelicy 11-5-1 napięcie występujące na wyprowadzeniu wyjściowym (OUT).
4. Obliczyć i zapisać napięcie wyjściowe $V_o = -\frac{R_{12}}{R_3}(V_1 + V_2)$, gdzie $R_3 = 10$ k Ω oraz $R_{12}=10$ k Ω .
5. Wypełnić tabelicę 11-5-1.

V1	+3 V	+3 V	+3 V
V2	+3 V	+2 V	-3 V
Vo zmierzone			
Vo obliczone			

Tablica 11-5-1



Rys. 11-5-2 Wzmacniacz sumujący



Rys. 11-5-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok b)

PODSUMOWANIE

Układ sumatora jest w tym przypadku alternatywną odmianą wzmacniacza odwracającego. Jeśli do wyprowadzeń wejściowych są doprowadzane sygnały stałe (d.c.), to wynikowa wartość sygnału wejściowego jest bardzo bliska wartości teoretycznej. Jeśli sygnały przemienne (a szczególnie przebiegi prostokątne) są doprowadzane do wyprowadzeń wejściowych, to w związku z ograniczeniem szybkości narastania sygnału (SR), w punkcie sumowania sygnałów będzie pojawiał się zwykle krótkotrwały impuls o stosunkowo dużej amplitudzie, wpływający na dokładność wartości sumy.

Układu sumatora używa się zwykle sumatorach analogowych o dużej szybkości działania, lub w mieszaczach impulsów.

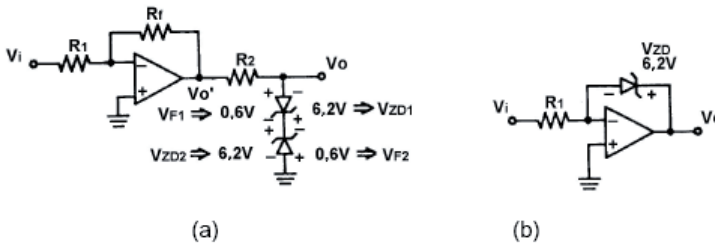
Ćwiczenie 11-6 Układ obcinający

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania układu obcinającego.
2. Zmierzenie przebiegów na wejściu i wyjściu układów sumatorów.

DYSKUSJA

Na rysunku 11-6-1(a) i odpowiednio 11-6-1(b) przedstawiono dwa różne układy obcinające (ograniczniki). Opiszemy pokrótce zasady działania tych układów:



Rys. 11-6-1 Układy obcinające

Układ obcinający przedstawiony na rys. 11-6-1(a):

Jeśli: 1. $V_{o'} > (V_{F1} + V_{ZD2})$, to $V_o = V_{F1} + V_{ZD2}$

2. $(V_{F1} + V_{ZD2}) > V_{o'} > -(V_{F2} + 6,2 \text{ V})$, to $V_o = V_{o'}$

3. $V_{o'} < -(V_{F2} + 6,2 \text{ V})$, to $V_o = -(V_{F1} + V_{ZD1})$

4. Jeśli do wyprowadzeń wejściowych jest doprowadzony sygnał sinusoidalny, to przebieg wyjściowy będzie w przybliżeniu przebiegiem prostokątnym. Rezystor R_2 na tym rysunku jest używany do ograniczenia prądu.

Układ obcinający przedstawiony na rys. 11-6-2(b):

Jeśli: 1. $V_o > V_{ZD}$, to uaktywni się dioda Zenera, która spowoduje, że napięcie V_o będzie utrzymywane na poziomie V_{ZD} .

2. $-V_F < V_o < V_{ZD}$, to napięcie wyjściowe V_o będzie utrzymywane na stałym poziomie.

3. $V_o < -V_F$, to $V_o = 0,6 \text{ V}$





NEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop

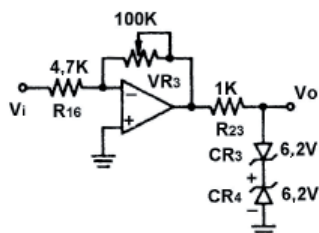
PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-6-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-6-3 (z wyjątkiem wtyku mostkującej oznaczonego symbolem #). Dołączyć do układu potencjometr VR3 za pomocą przewodów pomiarowych. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN (TP1) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP5) dołączyć oscyloskop. Powoli zwiększać amplitudę sygnału wyjściowego z generatora funkcyjnego aż do momentu, gdy napięcie międzyszczytowe na wyjściu układu stanie się większe od 14 V_{p-p}. Zmierzyć i zapisać w tablicy 11-6-1 napięcie wejściowe V_{IN} na wejściu IN oraz napięcie wyjściowe V_{OUT} na wyprowadzeniu TP5.
3. Dołączyć do układu diody Zenera CR3 i CR4 ($V_{ZD}=6,2$ V), umieszczając w odpowiednim miejscu układu wtyk mostkujący oznaczony symbolem #. Zmierzyć i zapisać w tablicy 11-6-1 wartość napięcia wejściowego V_{IN} na wyprowadzeniu IN oraz napięcia wyjściowego V_{OUT} na wyprowadzeniu TP6.
4. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-6-4 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-6-5. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
5. Do wyprowadzeń wejściowych IN (TP1) doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT (TP5) dołączyć oscyloskop. Powoli zwiększać

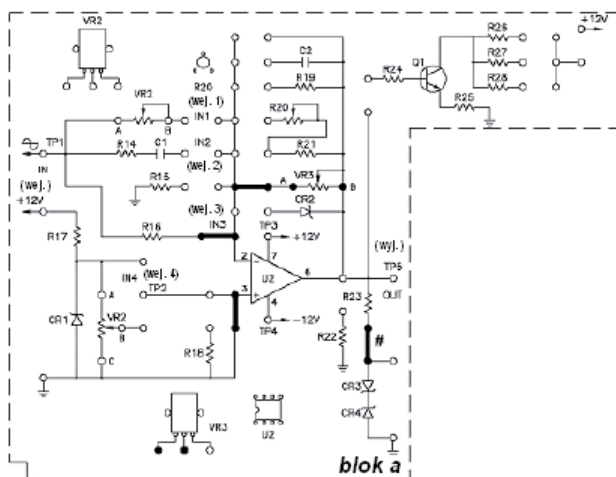
amplitudę sygnału wyjściowego z generatora funkcyjnego aż do momentu, gdy maksymalne napięcie na wyjściu OUT (TP5) stanie się równe w przybliżeniu +6,2 V.

	CR3 i CR4 odłączone	CR3 i CR4 dołączone
V _{IN}		
V _{OUT}		

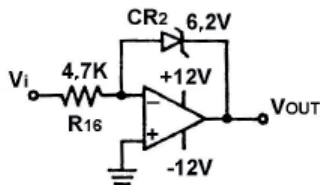
Tablica 11-6-1



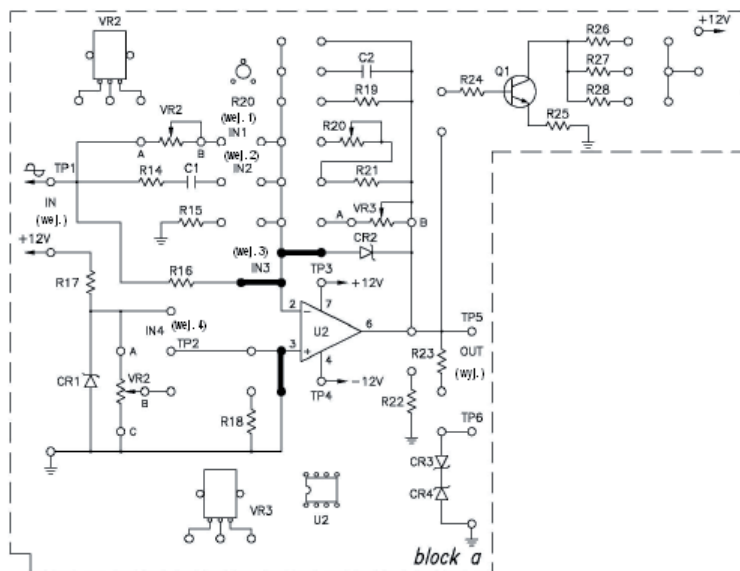
Rys. 11-6-2 Układ obcinający (11)



Rys. 11-6-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok a)



Rys. 11-6-4 Układ obcinający (2)



Rys. 11-6-5 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok a)

PODSUMOWANIE

Układ obcinający (ogranicznik) zawiera wzmacniacz odwracający z wbudowanymi diodami Zenera, które umożliwiają obcięcie amplitudy sygnału wyjściowego. Ponieważ przebieg wyjściowy zostaje odkształcony, zatem układ ten można stosować tylko w takich warunkach, w których jest potrzebne napięcie o odpowiednim poziomie, a nie pełny przebieg odwzorowujący sygnał wejściowy.

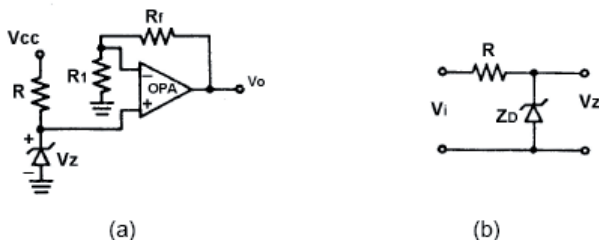
Ćwiczenie 11-7 Źródło napięciowe

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania układu źródła napięciowego.
2. Zmierzenie napięcia na wyjściu układu źródła napięciowego.

DYSKUSJA

Układ źródła napięciowego przedstawiony na rys. 11-7-1(a) jest w tym przypadku kombinacją układu przedstawionego na rys. 11-7-1(b) i wzmacniacza nieodwracającego



Rys. 11-7-1 Układy źródeł napięciowych

Funkcje układu przedstawionego na rys. 11-7-1(b), który okazuje się być prostym układem dostarczającym napięcie o stałej wartości, zostaną rozbudowane po dodaniu do niego stopnia wzmacniacza nieodwracającego, ponieważ:

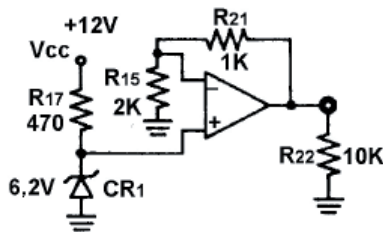
1. $V_o = V_z (1 + R_f/R_1)$, napięcie wyjściowe, którego wielkość jest określona przez stosunek rezystancji R_f/R_1 .
2. Można uniknąć wpływu obciążenia. Ponieważ wzmacniacz nieodwracający charakteryzuje się bardzo dużą impedancją wejściową Z_i i bardzo małą impedancją wyjściową Z_o , zatem można uzyskać dopasowanie impedancji.
3. Można uzyskać większy prąd wyjściowy, gdyż prąd wyjściowy wypływa (jest pobierany) z układu wzmacniacza operacyjnego.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

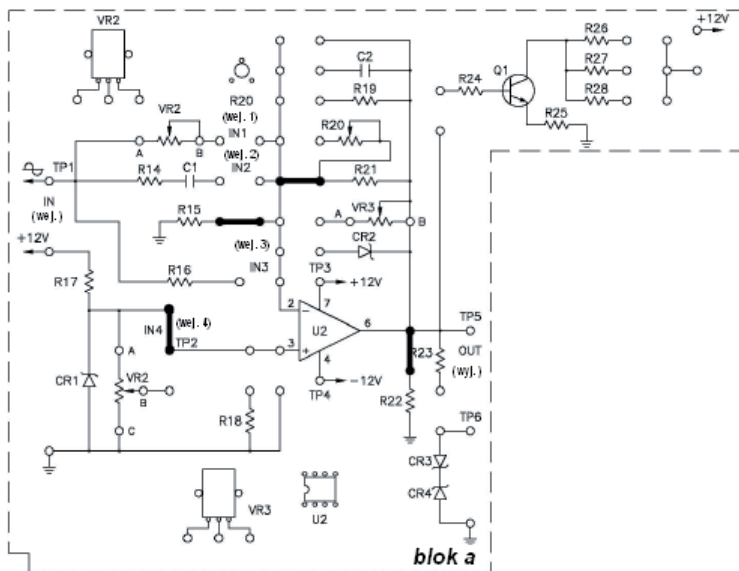
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Multimetr

PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczyni zlokalizować blok a. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-7-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-7-3.
2. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
3. Posługując się multimetrem (z ustawionym zakresem napięcia stałego DCV), zmierzyć napięcie występujące na wyprowadzeniu wyjściowym OUT (TP5), sprawdzając czy ma ono w przybliżeniu wartość stałą 9 V.



Rys. 11-7-2



Rys. 11-7-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok a)

PODSUMOWANIE

Ponieważ napięcie wyjściowe układu przedstawionego na rys. 11-7-1(a) jest ograniczone przez napięcie zasilania wzmacniacza operacyjnego, zatem wartość napięcia stabilizowanego nie może być większa niż wartość napięcia zasilania.

Ćwiczenie 11-8 Źródło prądowe

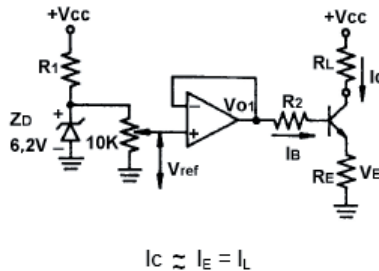
PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania układu źródła prądowego.
2. Zmierzenie napięcia na wyjściu układu źródła prądowego.

DYSKUSJA

Układ źródła prądowego dostarczającego prąd o stałej wartości przedstawiono na rys. 11-8-1. Składa się on z trzech podstawowych stopni:

1. Źródła napięcia odniesienia, które tworzy rezystor R_1 , dioda Zenera Z_D i potencjometr o znamionowej wartości rezystancji $10\text{ k}\Omega$.
2. Wzmacniacza operacyjnego pracującego jako wtórnik napięciowy.
3. Prądowego stopnia wyjściowego, w którego skład wchodzi rezystor R_L , tranzystor i rezystor emiterowy R_E . W stopniu tym prąd płynący przez rezystor R_1 jest wymuszany przez tranzystor, a sterowanie prądem kolektora I_C tego tranzystora odbywa się przez regulację prądu bazy I_B . W efekcie tego, przy napięciu odniesienia V_{ref} pozostającym w tym układzie na stałym poziomie, prąd I_C także pozostaje stały nawet wtedy, gdy zmienia się rezystancję R_L . Tranzystor pracuje w zakresie przewodzenia ($I_C = \beta I_B$), a prąd I_C , który zależy tylko od wielkości prądu bazy I_B , nie zależy od wielkości rezystancji R_L .



Rys. 11-8-1 Układ źródła prądowego

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

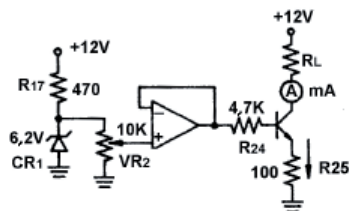
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Multimetr

PROCEDURA

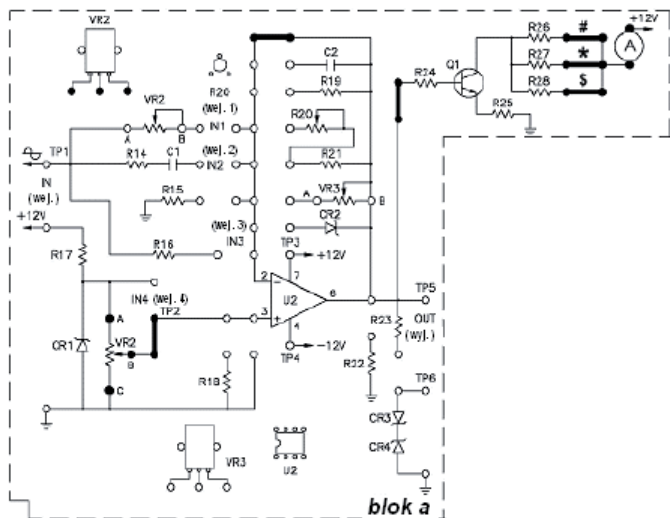
1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-8-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-8-3 (z wyjątkiem wtyków mostkujących oznaczonych symbolami # i \$). Dołączyć do układu potencjometr VR2 za pomocą przewodów połączeniowych. Jako rezystancja R_L służy rezystor R27 (1 k Ω). Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Potencjometrem VR2 ustawić napięcie odniesienia V_{ref} na 1 V. Odczytać prąd obciążenia I_L wskazywany przez amperomierz, a następnie zmierzyć napięcie wyjściowe na wyprowadzeniu TP5 (V_{TP5}) i zapisać wyniki w tablicy 11-8-1.
3. Usunąć z układu wtyk mostkujący oznaczony * i umieścić w nim wtyk mostkujący oznaczony #. Spowoduje to zmianę rezystancji obciążenia R_L na 2,3 k Ω (R26). Powtórzyć krok 2 niniejszej procedury.
4. Sprawdzić czy wartości mierzonego prąd I_L pozostaje stała.

R_L	1 k Ω	2,2k Ω	150 Ω
V_{TP5}			
I_L			

Tablica 11-8-1



Rys. 11-8-2 Układ źródła prądowego



Rys. 11-8-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok a)

PODSUMOWANIE

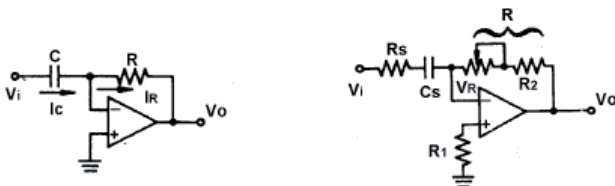
Jak przedstawiono na rys. 11-18-1 wielkość prądu I_C jest określona przez prąd I_B , $I_C = I_B \cdot \beta$. Prąd I_C pozostanie zatem stały, jeśli pozostanie stały prąd I_B , co oznacza niezależność prądu I_C od rezystancji rezystora kolektorowego R_C . Jeśli tranzystor pracuje w obszarze nasycenia, to jego prąd będzie się zmieniał zależnie od wartości R_C , gdyż $I_C = (V_{CC} - V_C) / R_C$. Tranzystor należy, zatem spolaryzować tak, aby pracował on w obszarze aktywnym.

Ćwiczenie 11-9 Układ różniczkujący

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania układu różniczkującego.
2. Zmierzenie przebiegów na wejściu i wyjściu układu różniczkującego.

DYSKUSJA



(a) Układ podstawowy

(b) Układ praktyczny

Rys. 11-9-1 Układ różniczkujący RC

Układ różniczkujący przedstawiony na rys. 11-9-1(a) jest zasadniczo aplikacją układu różniczkującego RC. Prąd I_C płynący w tym układzie można obliczyć następująco:

$$\begin{aligned} I_C &= I_R \\ &= \frac{Q_C}{t} = \frac{CV_C}{t} = \frac{CV_i}{t} \\ \Rightarrow \frac{dQ_C}{dt} &= C \frac{dV_C}{dt} = C \frac{dV_i}{dt} \\ V_o &= -I_C R = -RC \frac{dV_i}{dt} \end{aligned}$$

Jeśli sygnał wejściowy V_i ma kształt prostokątny, a napięcie wyjściowe V_o ma kształt impulsowy.

Jeśli sygnał wejściowy V_i ma kształt trójkątny, to napięcie wyjściowe V_o ma kształt prostokątny.

Jak przedstawiono na rys. 11-9-1(b), rezystor R_s jest włączony w ten układ praktyczny po to, aby uniknąć zwiększonych zakłóceń w.c.z. i niestabilności układu wynikłej ze zbyt małej wartości reaktancji X_{cs} i zbyt dużego współczynnika wzmocnienia przy dużych częstotliwościach. Zadaniem rezystora R_1 jest uzyskanie symetrii na wejściu układu operacyjnego.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

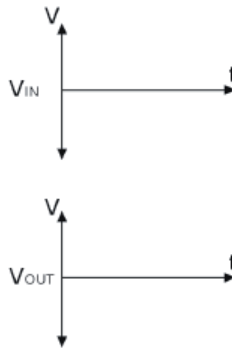
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

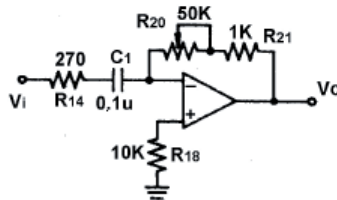
1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-9-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-9-3. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzenia wejściowego IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzenia wyjściowego OUT dołączyć oscyloskop.
3. Kręcić potencjometrem R_{20} (50 k Ω) aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop nie będzie jeszcze odkształcony. Zmierzyć wartość potencjometru R_{20} . $R_{20} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.
4. Zapisać w tablicy 11-9-1 przebiegi napięcia wejściowego V_{IN} i wyjściowego V_{OUT} .

$$V_{OUT} = -RC_1 \frac{dV_{IN}}{dt}$$

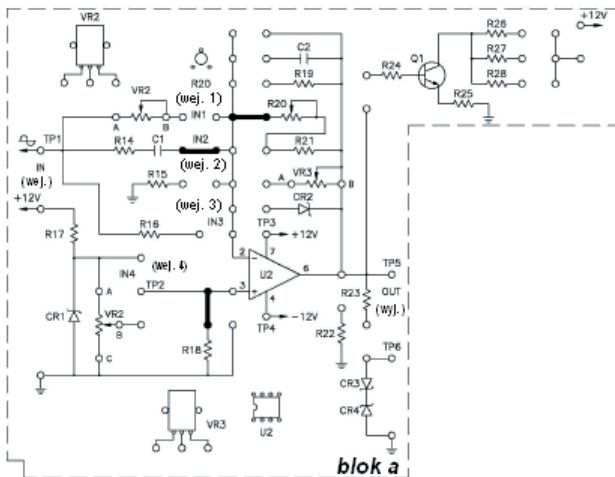
5. Zmienić częstotliwość napięcia wejściowego V_{IN} , a następnie powtórzyć kroku 3 i 4 niniejszej procedury.



Tablica 11-9-1



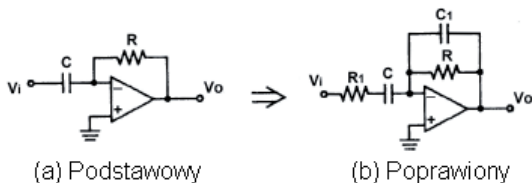
Rys. 11-9-2 Układ różniczkujący



Rys. 11-9-3 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok a)

PODSUMOWANIE

Na rys. 11-9-4(b) przedstawiono poprawiony układ różniczkujący.



Rys. 11-9-4 Układy różniczkujące

Kondensator C_1 i rezystor R_1 zastosowano, aby poprawić niestabilność lub zmniejszyć oscylacje w układzie przedstawionym rys. 11-9-4(a), w którym $C_1 \ll C$ i $R_1 \ll R$.

Kondensatorem C_1 można ustawić maksymalną częstotliwość różnicową, powyżej której reaktancja X_{c1} znacznie zmniejsza się. Zredukowane też zostanie wzmocnienie dla sygnałów o wysokich częstotliwościach. Spowoduje to zmniejszenie zakłóceń.

Rezystor R_1 jest używany do ograniczenia wzmocnienia dla wysokich częstotliwości tak, aby uchronić układ przed wejściem stopnia wyjściowego w stan nasycenia, czego wynikiem jest zmniejszony prąd wyjściowy.

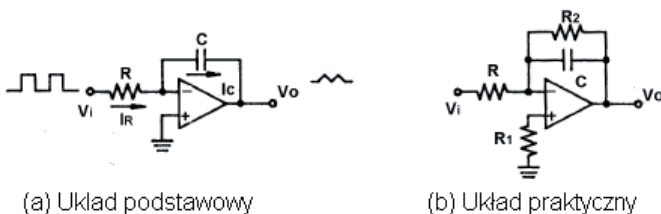
Wartości wybranych elementów R_1 i C_1 powinny spełniać zależność: $R_1 C = R C_1$.

Ćwiczenie 11-10 Układ całkujący

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

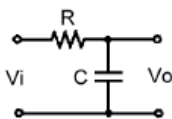
1. Poznanie zasady działania układu całkującego.
2. Zmierzenie przebiegów na wejściu i wyjściu układu całkującego.

DYSKUSJA



Rys. 11-10-1 Układ całkujący

Układ całkujący przedstawiony na rys. 11-10-1(a) jest zasadniczo aplikacją układu całkującego RC przedstawionego na rys. 11-10-2. Prąd I_C płynący w tym układzie można obliczyć następująco:



Rys. 11-10-2 Układ całkujący RC

$$I_C = I_R$$

$$I_R = \frac{V_i - 0}{R} = \frac{V_i}{R} = I_C$$

$$V_o = V_c = \frac{Q}{C} = -\frac{I_C t}{C} = -\frac{1}{C} \int I_C dt = -\frac{1}{C} \int \frac{V_i}{R} dt = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

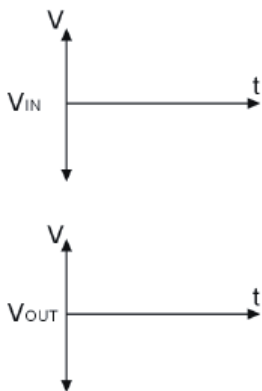
Na rys. 11-10-1(b) przedstawiono układ praktyczny układu całkującego. Dzięki zastosowaniu rezystora R_2 można uniknąć zjawiska nasycenia stopnia wyjściowego wzmacniacza i wadliwej pracy układu całkującego w związku ze zbyt dużą reaktancją X_c w zakresie niskich częstotliwości.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

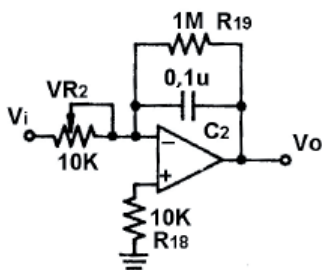
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25007 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (2)
3. Oscyloskop

PROCEDURA

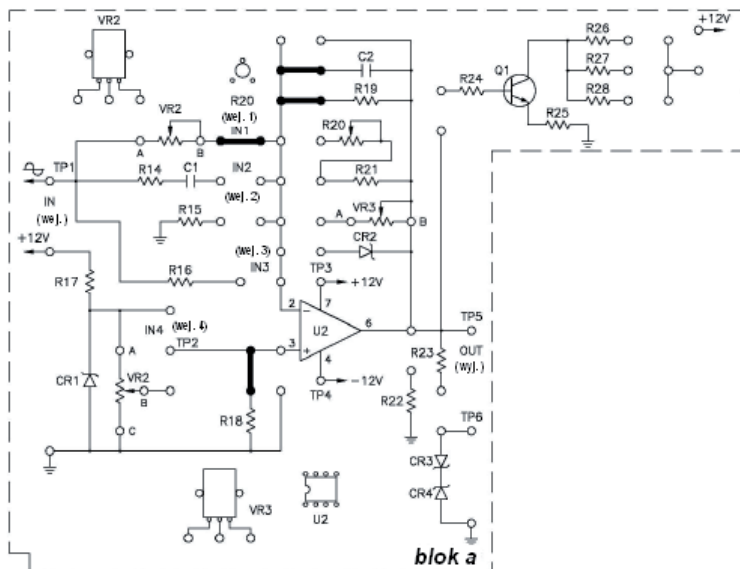
1. Ustawić moduł KL-25007 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-10-3 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-10-4. Dołączyć do układu potencjometr VR2 za pomocą przewodów pomiarowych. Do modułu KL-25007 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdujące się w module KL-22001.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał prostokątny o częstotliwości 1 kHz i napięciu międzyszczytowym 0,5 V_{p-p}. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop. (Częstotliwość sygnału wejściowego $f \geq \frac{1}{2\pi VR_2 C_2}$).
3. Ustawić potencjometr VR2 (10 kΩ) tak, aby oscyloskop wyświetlał sygnał trójkątny o dobrej liniowości.
4. Zmierzyć i zapisać w tablicy 11-10-1 przebiegi napięcia wejściowego V_{IN} i napięcia wyjściowego V_{OUT}.



Tablica 11-10-1 Zmierzone przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego



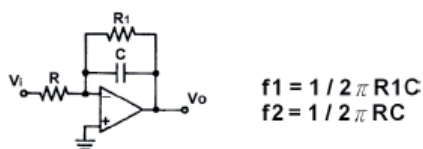
Rys. 11-10-3 Układ całkujący



Rys. 11-10-4 Schemat montażowy (moduł KL-25007 blok a)

PODSUMOWANIE

Działanie układu całkującego jest podobne do działania układu filtra dolnoprzepustowego przedstawionego na rys. 11-10-5. Pierwsza częstotliwość charakterystyczna (narożna) układu całkującego odpowiada częstotliwości $f_1 = 1/(2 \pi R_1 C)$, powyżej której układ ten funkcjonuje. Układ uaktywnia się przy częstotliwości odpowiadającej $f_2 = 1/(2 \pi RC)$. Stąd też częstotliwość sygnału wejściowego układu całkującego powinna mieścić się w zakresie ograniczonym częstotliwościami f_1 i f_2 .



Rys. 11-10-5 Filtr dolnoprzepustowy

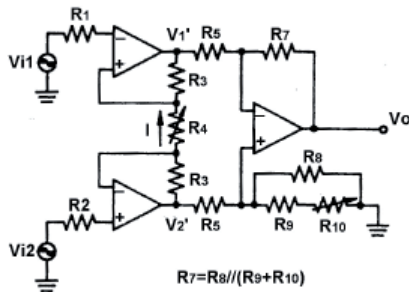
Ćwiczenie 11-11 Wzmacniacz przyrządowy

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady działania wzmacniacza przyrządowego.
2. Zmierzenie przebiegów na wejściu i wyjściu wzmacniacza przyrządowego.

DYSKUSJA

Na rys. 11-11-1 przedstawiono usprawniony wzmacniacz różnicowy, który jest wykorzystywany jako wzmacniacz przyrządowy.



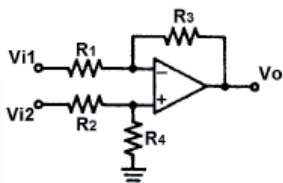
Rys. 11-1-1 Wzmacniacz przyrządowy

$$V_o = (V_{i2} - V_{i1}) \left(1 + \frac{2R3}{R4}\right) \frac{R7}{R5}$$

$$V_i = V_{i2} - V_{i1}$$

$$A_v = \left(1 + \frac{2R3}{R4}\right) \frac{R7}{R5}$$

Podstawowy wzmacniacz różnicowy przedstawiono na rys. 11-1-2. Jest on bardzo wygodny w użyciu, gdy istnieje potrzeba jednoczesnej regulacji rezystancji R1 i R2 lub R3 i R4. Wzmocnienie napięciowe A_v tego wzmacniacza można zmieniać też zgodnie z rys. 11-11-1 i powyższym równaniem, zmieniając po prostu wartość rezystancji R4.



Rys. 11-11-2 Podstawowy wzmacniacz różnicowy

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

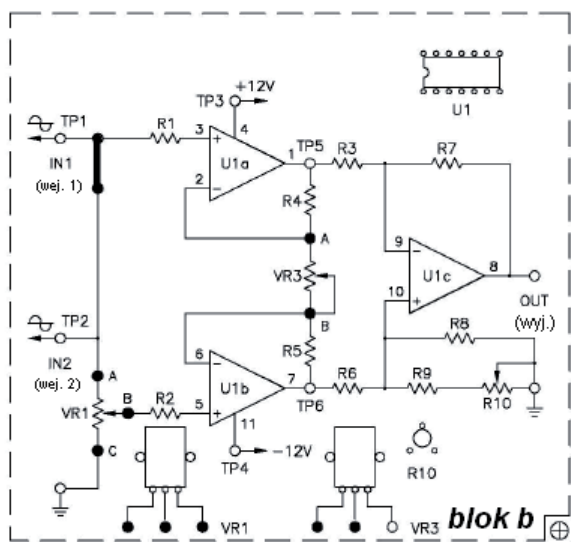
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25008 – moduł układu wzmacniacza operacyjnego (3)
3. Oscyloskop

PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25008 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 11-11-1 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 11-11-3. Dołączyć do układu potencjometry VR1 i VR3 za pomocą przewodów pomiarowych. Do modułu KL-25008 doprowadzić napięcia stałe +12 V i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001. Ustawić potencjometr VR3 w środkowym położeniu.
2. Do wyprowadzeń wejściowych IN1 doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i napięciu międzyszczytowym 1 V_{p-p}.
3. Ustawić potencjometr VR1 (1 kΩ) tak, aby $V_{i1} = V_{i2}$. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 11-11-1 napięcia $V_i = V_{i1} - V_{i2}$ oraz V_{OUT} .
4. Ustawić potencjometr VR1 (1 kΩ) tak, aby $V_{i2} = V_{i1}/2$. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 11-11-1 napięcia $V_i = V_{i1} - V_{i2}$ oraz V_{OUT} .
5. Ustawić potencjometr VR1 (1 kΩ) tak, aby $V_{i2} = 0$. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 11-11-1 napięcia $V_i = V_{i1} - V_{i2}$ oraz V_{OUT} .

VR1	$V_i2=V_i1$	$V_i2=V_i1/2$	$V_i2=0$
$V_i=V_i1-V_i2$			
V_{OUT}			

Tablica 11-11-1



Rys. 11-11-3 Schemat montażowy (moduł KL-25008 blok b)

PODSUMOWANIE

Jeśli sygnały doprowadzane jednocześnie do wejść Vi1 i Vi2 układu wzmacniacza przyrządu mają różne fazy, to w związku z tą różnicą faz sygnały wyświetlone na ekranie oscyloskopu będą względem siebie przesunięte.

Ponieważ wartość rezystancji $100\text{ k}\Omega$ jest $\gg 1\text{ k}\Omega$, zatem regulacja potencjometrem VR1 ($1\text{ k}\Omega$) będzie powodować niewielkie (prawie niewidoczne) zmiany kształtu przebiegu. Jednak ta dokładna regulacja za pomocą potencjometru VR1 ($1\text{ k}\Omega$) może też zmieniać wartość współczynnika sygnału współbieżnego (CMRR), co daje tym samym większe możliwości redukcji szumów tego wzmacniacza.

Notatki



DYSTRYBUCJA I SERWIS:

„NDN – Zbigniew Daniluk”

02-784 Warszawa, ul. Janowskiego 15

tel./fax (0-22) 641-15-47, 641-61-96

e-mail: ndn@ndn.com.pl