

LABORATORIUM Z PODSTAWOWYCH UKŁADÓW ELEKTRYCZNYCH

KL-210



**ROZDZIAŁ 6
WZMACNIACZE TRANZYSTOROWE**

**ROZDZIAŁ 7
WZMACNIACZE WIELOSTOPNIOWE**

**MODUŁY:
KL-22001
KL-25003
KL-25004**

Spis treści

Rozdział 6 Wzmacniacze tranzystorowe

Ćwiczenie 6-1 Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera.....	3
A. Polaryzacja stała.....	13
B. Polaryzacja automatyczna w emiterze.....	16
C. Polaryzacja niezależna od wartości współczynnika wzmocnienia β	19
D. Polaryzacja z kolektorowym sprzężeniem zwrotnym.....	22
Ćwiczenie 6-2 Wzmacniacz w układzie wspólnej bazy.....	25
Ćwiczenie 6-3 Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora.....	31
Ćwiczenie 6-4 Układ przełączający.....	39
A. Pomiar prądów włączenia i wyłączenia tranzystora.....	40
B. Tranzystor jako element sterujący przełącznikiem.....	42
Ćwiczenie 6-5 Wzmacniacz w układzie Darlingtona.....	45
A. Pomiar podstawowych parametrów wzmacniacza Darlingtona.....	47
B. Układ sterowany elementem fotoelektrycznym.....	49
C. Układ opóźnienia czasowego.....	51

Rozdział 7 Wzmacniacze wielostopniowe

Ćwiczenie 7-1 Wzmacniacz ze sprzężeniem RC.....	54
Ćwiczenie 7-2 Wzmacniacz ze sprzężeniem bezpośrednim.....	59
Ćwiczenie 7-3 Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym.....	65
Ćwiczenie 7-4 Wzmacniacz przeciwsobny z pdwójnym stopniem końcowym.....	71

Rozdział 6 Wzmacniacze tranzystorowe

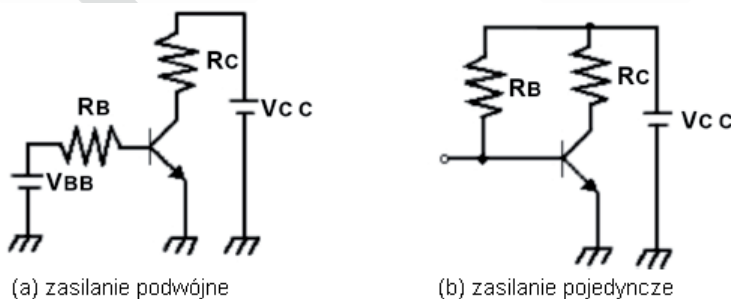
Ćwiczenie 6-1 Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie konfiguracji i zasady pracy wzmacniacza w układzie OE.
2. Wyznaczenie charakterystyk wzmacniacza w układzie OE.

DYSKUSJA

Podstawy układ wzmacniacza pracujący w układzie ze wspólnym emiterem (OE) przedstawiono na rys. 6-1-1(a), w którym sygnały wejściowy i wyjściowy „użytkują wspólnie” emiter. Innymi słowy emiter jest użyty jako punkt wspólny, nazywany według przyjętej konwencji "masą" (GND). Jest on obecnie używany jako wyprowadzenie wspólne układu i różni się od "masy" zdefiniowanej w układzie elektrycznym. W układzie przedstawionym na rysunku jednoczesna obecność napięć zasilających V_{BB} i V_{CC} nie jest ani ekonomiczna, ani praktyczna. Zwykle do wymuszenia przepływu zarówno prądu bazy I_B jak i prądu kolektora I_C używa się tylko jednego napięcia zasilania V_{CC} . Jeden z takich, typowych układów zasilania przedstawiono na rys. 6-1-1(b).



Rys. 6-1-1 Wzmacniacz w układzie OE

Sposoby polaryzacji wzmacniacza ze wspólnym emiterem (OE):

1. Układ z polaryzacją ustawioną na stałe.
2. Układ polaryzacji napięciem stałym niezależny od wartości wzmocnienia β (nazywany też układem z polaryzacją automatyczną).

Aby zwiększyć stabilność układu, powyższe układy polaryzacji zostały usprawnione w sposób następujący: zastosowano układ o polaryzacji ustawionej na stałe z rezystancją emiterową; zastosowano układ kolektorowego sprzężenia zwrotnego. Poniżej przedstawiono zasady powszechnie stosowanych sposobów polaryzacji:

Układ o polaryzacji stałej

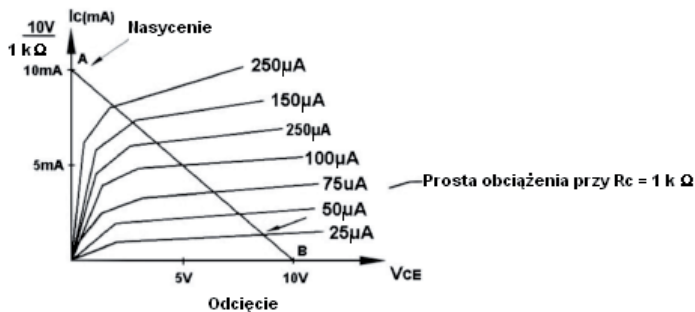
1. Wyznaczyć prostą obciążenia prądem stałym (polaryzacja d.c.). Rozważyć układ przedstawiony na rys. 6-1-1(b), jeśli $V_{CC}=10\text{ V}$, $R_C = 1\text{ k}\Omega$, $R_B = 100\text{ k}\Omega$ i $\beta = 50$, a następnie:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10\text{V} - 0,6\text{V}}{100\text{K}} = \frac{9,4}{100\text{K}} \cong 100\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 100\mu\text{A} = 5000\mu\text{A} = 5\text{mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10\text{V} - 5\text{mA} \times 1\text{K} = 5\text{V}$$

Można to przedstawić na charakterystyce wyjściowej w sposób przedstawiony na rys. 6-1-2. Prosta łącząca na charakterystyce punkty A i B jest nazywana prostą obciążenia.



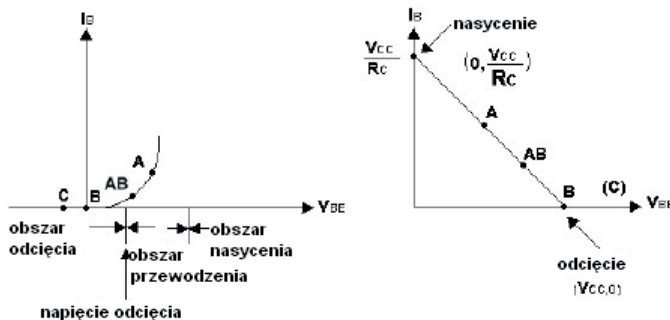
Rys. 6-1-2 Prosta obciążenia

Gdy tranzystor jest w stanie nasycenia, to $I_C(\text{sat}) = V_{CC}/R_C = 10\text{ mA}$ a $V_{CE} = 0$ (punkt A). Gdy natomiast tranzystor ten jest w stanie odcięcia, to $I_C = 0$ a $V_{CE} = 10\text{ V} = V_{CC}$ (punkt B). Punkt pracy Q tego układu ustawiono na $I_C = 5\text{ mA}$ i $V_{CE} = 5\text{ V}$. Tranzystor pracuje zatem w obszarze przewodzenia.

2. Praca tranzystora przy doprowadzonym sygnale wejściowym przemiennym
- Z przebiegu prostej obciążenia możemy wysnuć wniosek, że przy zmianach napięcia w zakresie od 0 do V_{CC} maksymalna wartość napięcia V_o (lub V_{CE}) jest równa V_{CC} , a wartość minimalna wynosi V_o czyli 0 V. Innymi słowy, zmiana napięcia V_o (ΔV_o) jest między 0 V a V_{CC} , niezależnie od zmian sygnału wejściowego.
 - Wybrano układ z rys. 6-1-1(b) przy spełnionych następujących warunkach: $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $R_B = 100 \text{ k}\Omega$, $\beta=50$, $I_B=\pm 50 \mu\text{A}$, a do bazy jest doprowadzany prąd przemienny. Jak przedstawiono na rys 6-1-2 po wykreśleniu prostej obciążenia otrzymujemy, że w punkcie pracy (Q) prąd bazy I_B wynosi $100 \mu\text{A}$, stąd zakres zmian prądu wyjściowego jest między $50 \mu\text{A}$ a $150 \mu\text{A}$.
 Jeśli $I_B = 50 \mu\text{A}$, to $I_C = \beta \times I_B = 50 \times 50 \mu\text{A} = 2,5 \text{ mA}$, a $V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 10 \text{ V} - 2,5 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 7,5 \text{ V}$
 Jeśli $I_B = 150 \mu\text{A}$, to $I_C = \beta \times I_B = 50 \times 150 \mu\text{A} = 7,5 \text{ mA}$, a $V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 10 \text{ V} - 7,5 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 2,5 \text{ V}$

3. Wpływ polaryzacji napięciem stałym na pracę układu wzmacniacza. (Wpływ punktu pracy Q na układ wzmacniający)

Układy polaryzacji napięciem stałym układu tranzystorowego zaprojektowano dla różnych klas wzmacnienia tranzystora (klasa A, B, AB i C). Położenie punktu Q dla każdej z tych klas wzmacnienia przedstawiono na rys. 6-1-3.



(a) Charakterystyka wejściowa (b) Charakterystyka wyjściowa

Rys. 6-1-3

Klasy wzmacnienia:

Klasa A: Punkt pracy umieszczono na środku prostoliniowej części charakterystyki.

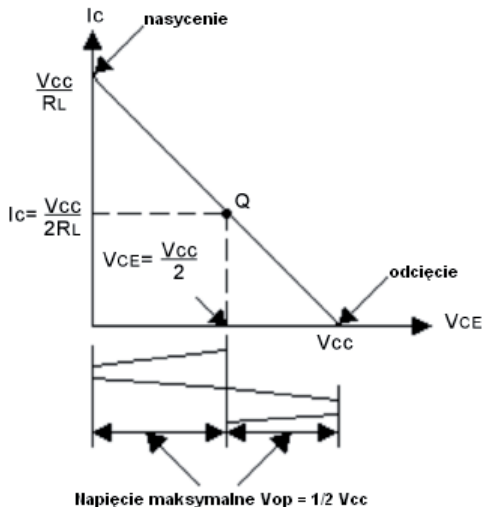
Klasa B: Punkt pracy umieszczono w punkcie odcięcia, w którym $V_{BE} = 0$.

Klasa C: Punkt pracy umieszczono w poniżej punkty odcięcia, przy czym napięcie V_{BE} jest ujemne.

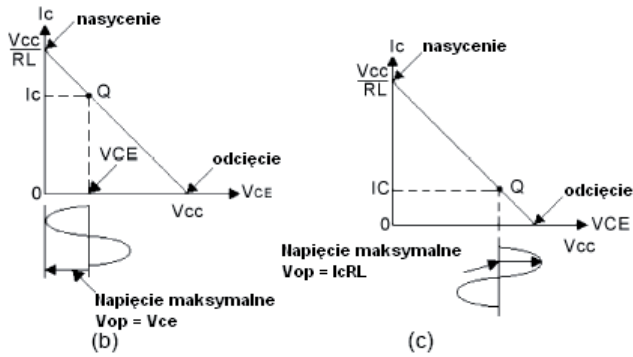
Klasa AB: Punkt pracy umieszczono w miejscu między klasą A i klasą B.

Lokalizacja punktu pracy będzie określać maksymalne napięcie wyjściowe. Punkt pracy powinno się zaprojektować zależnie od wielkości sygnału wejściowego tj. prądu I_B tak, jak to przedstawiono na rys. 6-1-4. Z rysunku tego możemy wywnioskować, że:

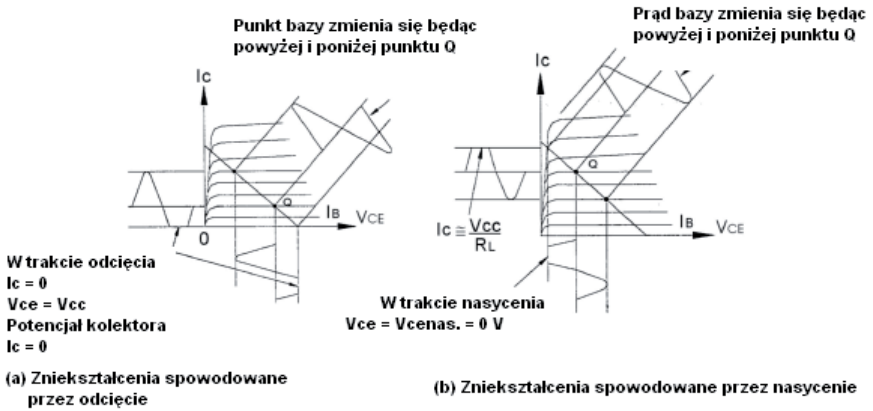
- Dla układu pracującego przy większym sygnale wejściowym, punkt pracy powinno się umieścić na środku prostej obciążenia ($V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$) jak to przedstawiono na rys. 6-1-4(a).
- Gdy sygnał wejściowy jest mniejszy, to punkt pracy można umieścić w górnej części prostej obciążenia, jak to przedstawiono na rys. 6-1-4(b) lub w dolnej części prostej obciążenia – jak to przedstawiono na rys. 6-1-4(c).
- Jeśli punkt pracy nie zostanie umieszczony na środku prostej obciążenia, to sygnał wyjściowy będzie zniekształcony. Przedstawiono to na rys. 6-1-5(a). Gdy zaś sygnał wejściowy będzie większy, to zostaną obcięte szczyty tego sygnału, co z kolei przedstawiono na rys. 6-1-5(b).
- Jeśli sygnał wejściowy będzie bardzo duży to nawet wtedy, gdy punkt pracy umieści się na środku prostej obciążenia, powstaną zniekształcenia polegające na obcinaniu szczytów przebiegu tego sygnału zarówno w dodatnich jak i ujemnych półokresach. Przedstawiono to na rys. 6-1-6. Jedynym sposobem przeciwdziałania temu zjawisku jest wyeliminowanie zniekształceń przez zwiększenie napięcia zasilania V_{CC} – jak to przedstawiono na rys. 6-1-6.



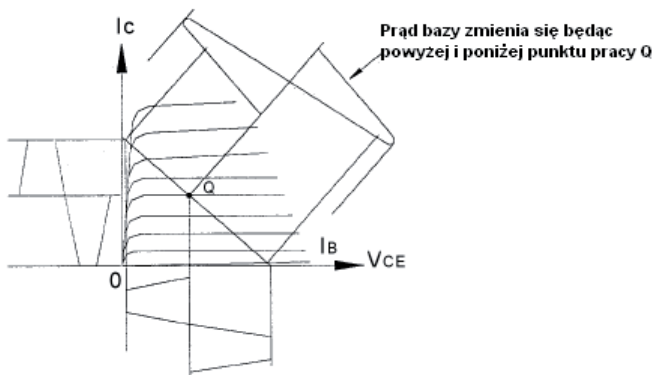
(a) Dopuszczalny zakres napięć wyjściowych V_o



Rys. 6-1-4 Położenie punktu pracy określa maksymalne napięcie wejściowe



Rys. 6-1-5 Zniekształcenia spowodowane nieodpowiednim wyborem punktu pracy



Rys. 6-1-6 Zniekształcenia powodowane przez zbyt duże napięcie wejściowe

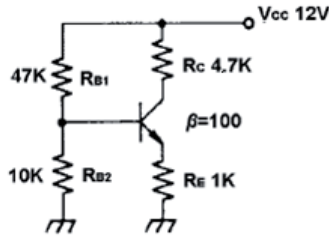
4. Wady układu z ustawionym na stałe napięciem polaryzującym

Punkt pracy (współrzędne V_{ce} , I_c) w układzie o napięciu polaryzującym ustawionym na stałe zależy od wielkości współczynnika wzmocnienia β ($I_c = \beta \times I_B$, $V_{CE} = V_{CC} - I_c R_c$). Dla różnych tranzystorów wartość wzmocnienia β będzie też różna (nawet wtedy, gdy tranzystory są tego samego typu tj. mają to samo oznaczenie i pochodzą od tego samego producenta, to wartość β każdego egzemplarza tranzystora będzie inna), stąd też, w związku z różną wartością β położenie punktu pracy każdego tranzystora będzie inne. Rzeczywiste działanie gotowego układu będzie odbiegać od oryginalnego projektu. Ponadto przebieg wyjściowy będzie zniekształcony, a prąd spoczynkowy będzie większy, co może spowodować spalenie się tranzystora.

Układ polaryzacji napięciem stałym o parametrach niezależnych od wartości współczynnika wzmocnienia β .

Po zakończeniu projektowania tego układu punkt pracy zostanie ustawiony na stałe i nie będzie przesuwany w zależności od wartości wzmocnienia β . Ponieważ układ ten ma właściwość samoczynnego blokowania punktu pracy, zatem nazywa się go "układem z polaryzacją automatyczną".

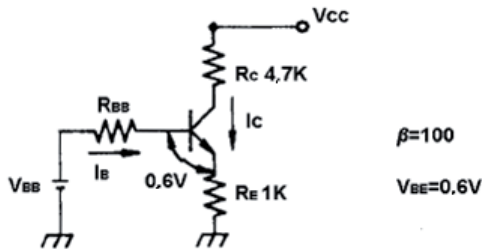
Przykład: Postępując się rysunkiem 6-1-7 obliczyć wartości I_c i V_{CE} .



Rys. 6-1-7 Wzmacniacz z polaryzacją automatyczną

Rozwiązanie:

Układ zastępczy układu z rys. 6-1-7 przedstawiono na rys. 6-1-8.



Rys. 6-1-8 Układ zastępczy układu z rys. 6-1-7

Zgodnie z regułą Thevenina:

$$V_{BB} = V_{CC} \times \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 12V \times \frac{10K}{47K + 10K} = 2.1V$$

$$R_{BB} = R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{47K \times 10K}{47K + 10K} = 8.2K \Omega$$

Na podstawie danych z rys. 6-1-8 otrzymujemy:

$$V_{BB} = I_B \times R_{BB} + V_{BE} + I_E \times R_E$$

$$= I_B \times R_{BB} + V_{BE} + I_B (1 + \beta) R_E$$

$$= I_B (R_{BB} + (1 + \beta) R_E) + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta) R_E} = \frac{2.1 - 0.6}{8.2K + (1 + 100) 1K} = 0.0138mA$$

$$Q \begin{cases} I_C = \beta \times I_B \approx I_E = 200 \times 0.0138mA = 1.38mA \\ V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 12V - 1.38mA (4.7K + 1K) = 12 - 7.9V = 4.1V \end{cases}$$

Liczmy wartość przybliżoną:

$$I_E = V_E / R_E = \frac{V_{BB} - 0,6V}{1K} = \frac{2,1V - 0,6V}{1K} = 1,5mA$$

$$I_C \approx I_E = 1,5mA$$

$$V_{CE} = 12V - 1,5mA (4,7K + 1K) = 3,45V$$

Otrzymujemy przybliżoną wartość prądu kolektora $I_C = 1,5 \text{ mA}$ (wartość β nie jest brana pod uwagę). Gdy uwzględnimy wartość β , to wartość prądu $I_C = 1,38 \text{ mA}$ (im większa wartość iloczynu $\beta \times R_E$, tym powyższe dwa rozwiązania są bardziej przybliżone). Układ ten jest nazywany układem polaryzacji niezależnym od wartości współczynnika β . Punkt pracy takiego układu nie będzie zmieniał się przy zmianie tranzystora.

Układ polaryzacji tranzystora ze sprzężeniem zwrotnym w kolektorze

Układ polaryzacji ze sprzężeniem kolektorowym przedstawiono na rys. 6-1-9.

Poniżej przedstawimy analizę tego układu:

Zgodnie z II prawem Kirchoffa otrzymujemy:

$$V_{CC} = (I_C + I_B) \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} = (\beta + 1) I_B \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$$

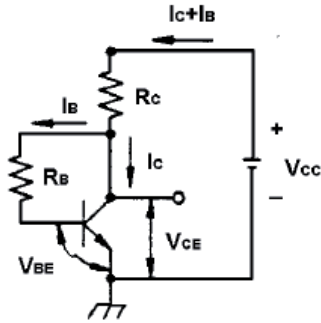
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(1 + \beta) R_C + R_B}$$

Jeśli $\beta \gg 1$, to $V_{CC} \gg V_{BE}$

$$I_B = \frac{V_{CC}}{\beta R_C + R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_B) R_C \approx V_{CC} - I_C \times R_C$$



Rys. 6-1-10 Układ polaryzacji ze sprzężeniem zwrotnym w kolektorze

Przykład: Zgodnie z danymi z rys. 6-1-9, $V_{CC} = 12\text{ V}$, $R_C = 10\text{ k}\Omega$, $R_B = 500\text{ k}\Omega$, $\beta = 50$ obliczamy I_C i V_{CE} .

Rozwiązanie:

$$I_B = \frac{12V}{50 \times 10K + 500K} = \frac{12V}{1M} = 12\mu A$$

$$I_C = \beta \times I_B = 12\mu A \times 50 = 0,6mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 12V - 0,6mA \times 10K = 12V - 6V = 6V$$

Jeśli $\beta = 100$, to

$$I_B = \frac{12V}{\beta R_C + R_B} = \frac{12V}{10K \times 100 + 500K} = \frac{12}{1,5M} = 8\mu A$$

$$I_C = \beta \times I_B = 8\mu A \times 100 = 0,8mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 12V - 0,8mA \times 10K = 4V$$

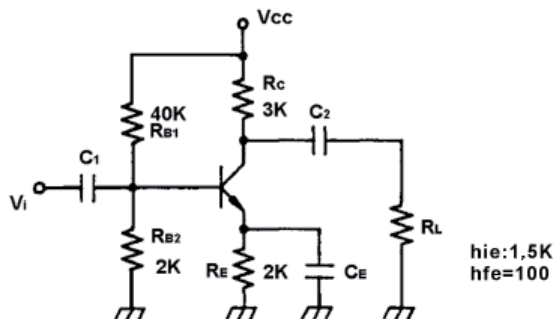
Jeśli $\beta = 50$, to $I_C = 0,6\text{ mA}$, a $V_{CE} = 6\text{ V}$.

Jeśli $\beta = 100$, to $I_C = 0,8\text{ mA}$, a $V_{CE} = 4\text{ V}$.

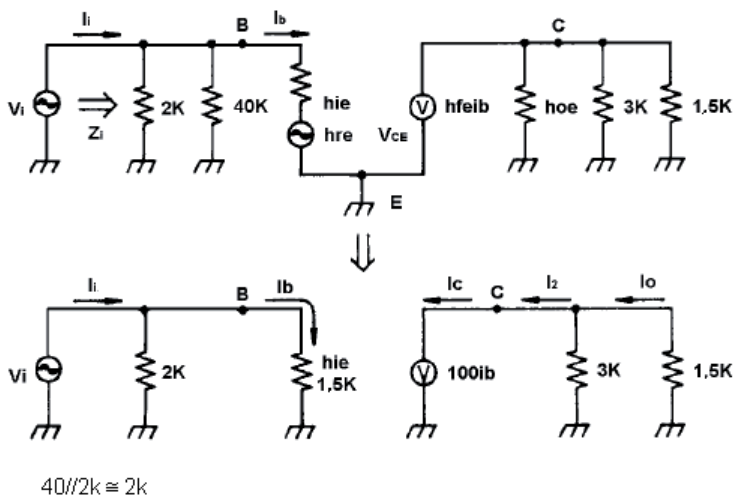
Przy różnych wartościach współczynnika wzmocnienia β , zmiany położenia punktu pracy nie są widoczne. Układ ten (z polaryzacją ze sprzężeniem zwrotnym w kolektorze) wyróżnia się w porównaniu z układem o polaryzacji stałej znaczną stabilnością. Jeśli $\beta = 50$, to $I_B = 12\mu A$, a jeśli $\beta = 100$, to I_B zmniejszy się do $8\mu A$. Ponieważ układ ten pracuje z regulacją automatyczną, to przy zmianie wartości β , prąd I_C nie zmienia się znacząco.

Analiza dla sygnału przemiennego układu wzmacniacza ze wspólnym emiterem

Układ ten jest przedstawiony na rys. 6-1-10(a), a jego układ zastępczy - na rys. 6-1-10(b). Obliczyć wartości parametrów: A_i , A_v , Z_i i Z_o .



(a) Układ wzmacniacza w układzie OE



(b) Układ zastępczy dla sygnału przemiennego

Rys. 6-1-10 Analiza dla sygnału przemiennego wzmacniacza w układzie OE

Rozwiązanie:

$$A_i = I_o / I_i$$

Wykorzystując dane z rys. 6-1-10(b), otrzymujemy: $I_2 = 100I_b$ i $h_{fe} = I_c / I_b$

$$I_b = I_i \times \frac{2K}{2K + 15K} = 0,571 I_i$$

$$I_o = I_2 \times \frac{3K}{3K + 1,5K} = 0,667 I_2$$

$$A_i = I_o / I_i$$

$$= \frac{I_o}{I_2} \times \frac{I_2}{I_i} = \frac{I_o}{I_2} \times \frac{I_2}{I_b} \times \frac{I_b}{I_i} = 0,667 \times 100 \times 0,571$$

$$= 38,1$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-h_{fe} R_L'}{h_{ie}} \quad (R_L' = 3K // 1,5K \cong 1K)$$

$$= \frac{-100(1 \times 10^3)}{1,5 \times 10^3} = -66,7$$

$$Z_i \approx R_{b2} // h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega // 1,5 \text{ k}\Omega = 0,86 \text{ k}\Omega$$

$$Z_o \approx R_c = 3 \text{ k}\Omega$$

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25003 – moduł układu wzmacniacza tranzystorowego
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

A. Polaryzacja stała

1. Ustawić moduł KL-25003 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-1-11 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-1-12. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR4. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.

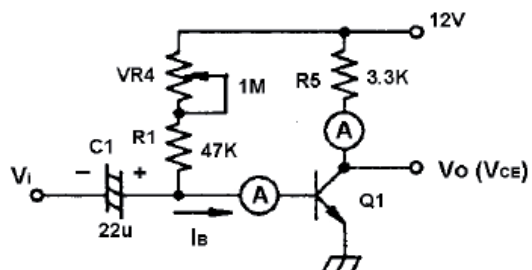
3. Dołączyć amperomierze mierzące prądy I_B i I_C .
4. Ustawić potencjometr VR4 ($1\text{ M}\Omega$) na maksimum tak, aby $I_B \approx 0\text{ A}$, poczym zaobserwować wartość prądu I_C .
5. Ustawić potencjometr VR4 ($1\text{ M}\Omega$) tak, aby amperomierz wskazał maksymalną wartość prądu $I_{C(\text{sat})}$ (prąd nasycenia), poczym zaobserwować na drugim amperomierzu wartość prądu I_B .
6. Gdy zostanie osiągnięty stan nasycenia prądu I_C , ustawić potencjometr VR4 w takiej pozycji, że prąd I_B będzie rosł, poczym zaobserwować, że prąd $I_{C(\text{stat})}$ (prąd nasycenia) odpowiednio wzrośnie.
7. Ustawić potencjometr VR4 tak, aby $V_{CE} = V_{CC}/2 = 6\text{ V}$. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-1 wartości I_B , I_C , V_{BE} i V_{CE} . Obliczyć wartość współczynnika wzmocnienia β ze wzoru $\beta = I_C/I_B$.
8. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz . Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop z ustawionym na nim typem sygnału wejściowego AC (sygnał przemienny).
9. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
10. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-2 wartości napięcia sygnału wejściowego V_i i napięcia wyjściowego V_o . Oglądać różnicę faz sygnałów wejściowego i wyjściowego. Obliczyć wartość wzmocnienia napięciowego ze wzoru: $A_v = V_{op-p}/V_{ip-p} = \underline{\hspace{2cm}}$.
11. Nie zmieniając sygnału wejściowego kręcić potencjometrem VR4 ($1\text{ M}\Omega$), a następnie obserwować, czy przebieg wyjściowy nie jest odkształcony.

I_B	I_C	β	V_{BE}	V_{CE}

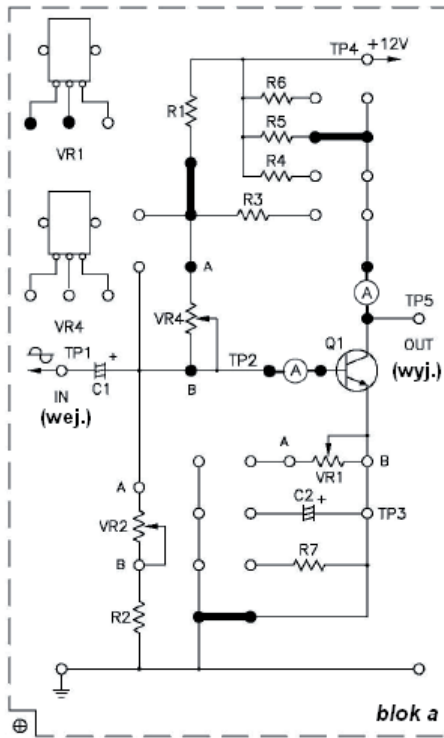
Tablica 6-1-1

Wejście IN (Vi)	
Wyjście OUT (Vo) Av Faza	
Av	

Tablica 6-1-2



Rys. 6-1-11 Wzmacniacz w układzie OE z polaryzacją stałą

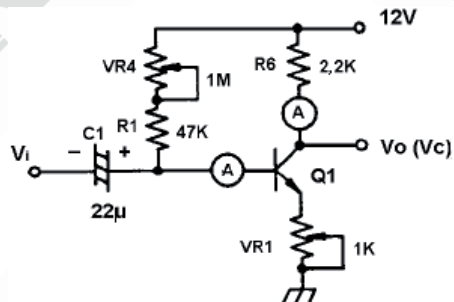


Rys. 6-1-12 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok a)

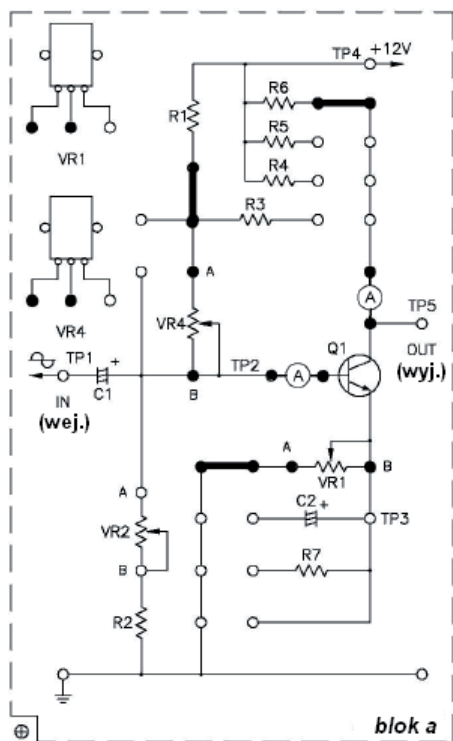
B. Polaryzacja automatyczna w emiterze

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-1-13 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-1-14. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometry VR1 i VR4. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującą się w module KL-22001.
2. Dołączyć amperomierze mierzące prądy I_B i I_C .
3. Ustawić potencjometr VR1 (1 k Ω) na 0 Ω .
4. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) tak, aby $I_B \approx 0$ A, poczym zaobserwować i zapisać w tabelicy 6-1-3 wartość prądu I_C .

5. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) tak, aby amperomierz wskazał maksymalną wartość prądu ($I_{C(sat)}$ – prąd nasycenie), poczym zapisać w tablicy 6-1-3 wartość prądu I_B .
6. Gdy zostanie osiągnięty stan nasycenia prądu I_C , ustawić potencjometr VR4 w takiej pozycji, że prąd I_B będzie rosnąć, poczym zaobserwować, że prąd $I_{C(sat)}$ odpowiednio wzrośnie.
7. Ustawić potencjometr VR4 tak, aby $V_{CE} = V_{CC}/2 = 6$ V. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-3 wartości V_{BE} i V_{CE} .
8. Ustawić potencjometr VR1 (1 k Ω) na maksimum. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop z ustawionym na nim typem sygnału wejściowego AC (sygnał przemien-ny).
9. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
10. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-3 wartości napięcia sygnału wejściowego V_i i napięcia wyjściowego V_o .
11. Nie zmieniając sygnału wejściowego kręcić potencjometrem VR4 (1 M Ω), a następnie obserwować, czy przebieg wyjściowy nie jest odkształcony.

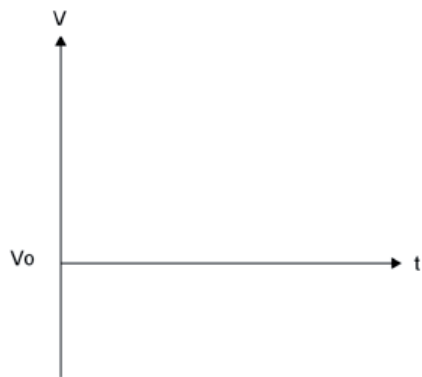
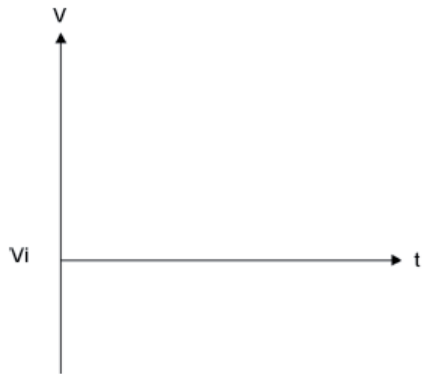


Rys. 6-1-13 Wzmacniacz w układzie OE z polaryzacją automatyczną w emiterze



Rys. 6-1-12 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok a)

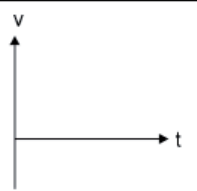
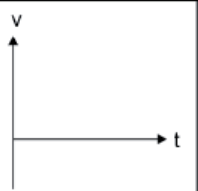
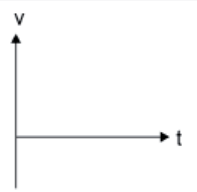
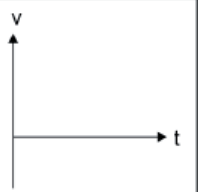
Gdy $I_B=0$, to $I_C =$ _____
Gdy $I_C=I_{C(sat)}$, to $I_C =$ _____
Gdy $V_{CC} = V_{CC}/2$, to
 $V_{CE} =$ _____
 $V_{BE} =$ _____



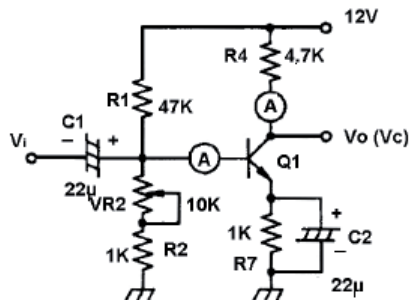
C. Polaryzacja wstępna niezależna od wartości współczynnika wzmocnienia β

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-1-15 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-1-16. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR2. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Dołączyć amperomierze mierzące prądy I_B i I_C .
3. Ustawić potencjometr VR2 (10 k Ω) tak, aby $V_{CE} = V_{CC}/2 = 6$ V. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-4 wartości I_B , I_C , V_C , V_{BE} i V_{CE} .

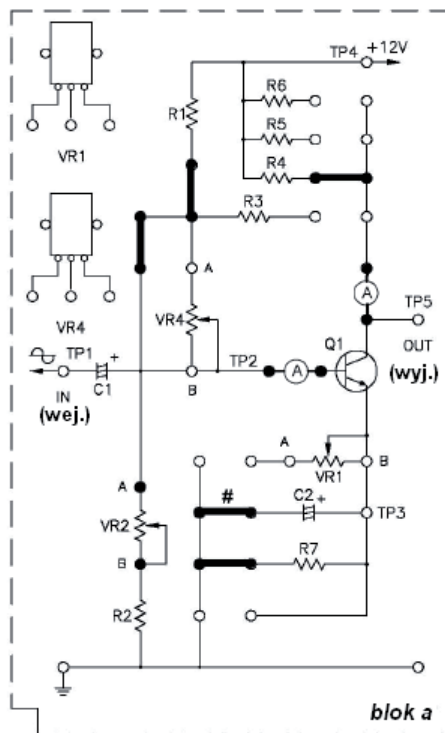
4. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop z ustawionym na nim typem sygnału wejściowego AC (sygnał przemienny).
5. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
6. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-4 wartości napięcia sygnału wejściowego V_i i napięcia wyjściowego V_o . Obliczyć wzmocnienie napięciowe ze wzoru: $A_v = V_{op-p}/V_{ip-p}$.
7. Nie zmieniając sygnału wejściowego kręcić potencjometrem VR2 (10 k Ω), a następnie obserwować, czy przebieg wyjściowy nie jest odkształcony.
8. Odłączyć kondensator C2 (22 μ F) usuwając wtyk mostkujący oznaczony #, a następnie powtórzyć kroki od 3 do 6 niniejszej procedury.

C2	V _{CC}	I _B	I _C	V _{CE}	V _{BE}	Wejście	Wyjście	A _v
22 μ								
Odlączyony								

Tablica 6-1-4



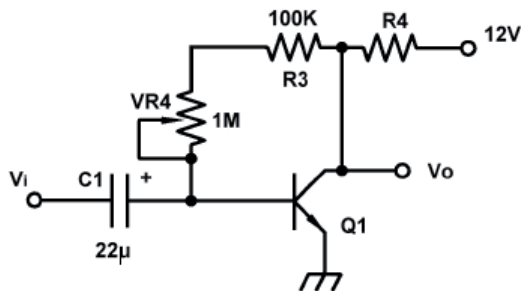
Rys. 6-1-15 Wzmacniacz w układzie OE



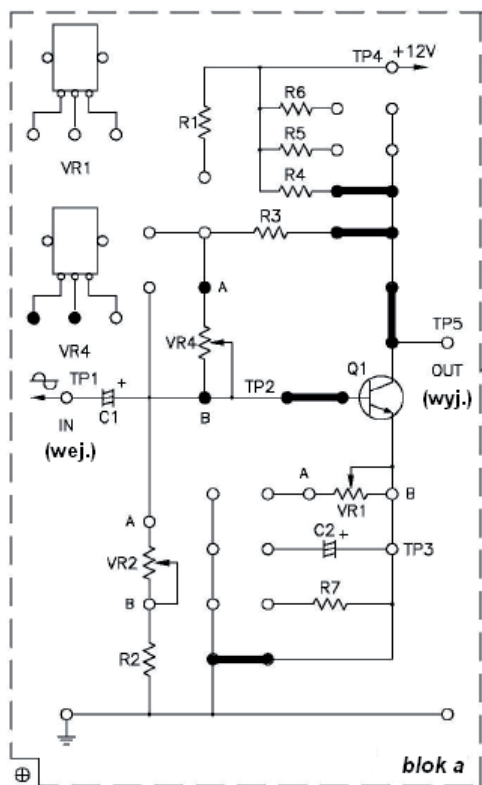
Rys. 6-1-16 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok a)

D. Polaryzacja z kolektorowym sprzężeniem zwrotnym

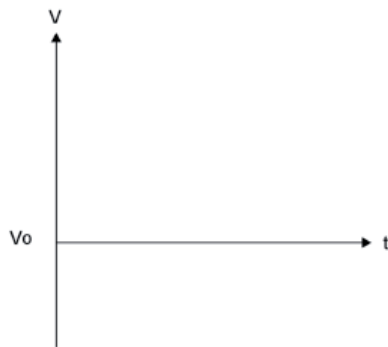
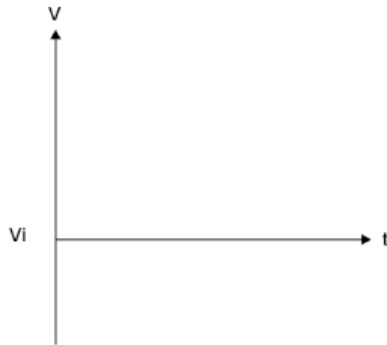
1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-1-17 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-1-18. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR4. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) tak, aby $V_{CE} = V_{cc}/2 = 6$ V.
3. Dołączyć woltomierz mierzący napięcie V_{CE} .
4. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop z ustawionym na nim typem sygnału wejściowego AC (sygnał przemienny).
5. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
6. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-1-5 wartości napięcia sygnału wejściowego V_i i napięcia wyjściowego V_o .
7. Nie zmieniając sygnału wejściowego kręcić potencjometrem VR4 (10 k Ω), a następnie obserwować, czy przebieg wyjściowy nie jest odkształcony.



Rys. 6-1-17 Wzmacniacz w układzie OE z polaryzacją ze sprzężeniem zwrotnym z w kolektorze



Rys. 6-1-18 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok a)



Tablica 6-1-5

PODSUMOWANIE

Własności wzmacniacza w układzie OE:

1. Średnia impedancja wejściowa i średnia impedancja wyjściowa.
2. Duże wzmocnienie prądowe, duże wzmocnienie napięciowe i duże wzmocnienie mocy.
3. Sygnał wyjściowy przesunięty o 180° w stosunku do sygnału wejściowego.
4. Wzmacniacz stosowany najczęściej.

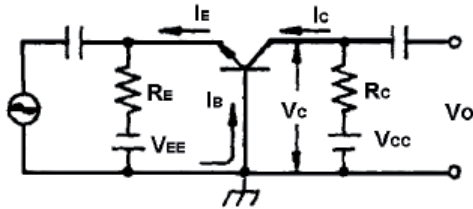
Ćwiczenie 6-2 Wzmacniacz w układzie wspólnej bazy

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady pracy wzmacniacza w układzie OB.
2. Wyznaczenie charakterystyk wzmacniacza w układzie OB.

DYSKUSJA

Podstawy układ wzmacniacza pracującego ze wspólną bazą przedstawiono na rys. 6-2-1. Ponieważ baza jest wyprowadzeniem wspólnym zarówno dla napięcia wejściowego V_i jak i napięcia wyjściowego V_o , zatem układ ten jest nazywany wzmacniaczem w układzie ze wspólną bazą (OB.).



Rys. 6-2-1 Wzmacniacz w układzie OB

Projekt polaryzacji napięciem stałym wzmacniacza w układzie wspólnej bazy.

Jak przedstawiono na rys. 6-2-2(a), dla sygnałów przemiennych wspólna baza (OB) jest widziana jako zwarcie. Baza zatem wydaje się być umasona zarówno dla napięcia V_i jak i V_o .

Poniżej przedstawiono analizę polaryzacji napięciem stałym:

$$V_{BE} = V_{CC} \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

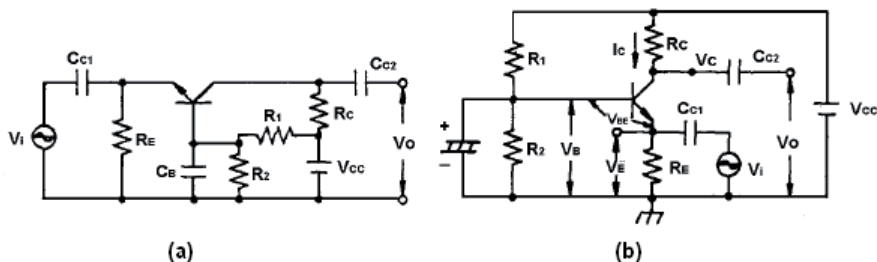
$$I_E = V_E / R_E$$

$$I_C \approx I_E$$

$$I_C \approx V_E / R_E$$

$$V_C = V_{CC} - I_C \times R_C$$

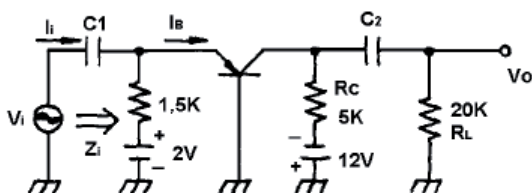
Układ z rys. 6-2-2(a) można też uważać jako przekształcenie układu z rys. 6-2-2(b)..17 (b).



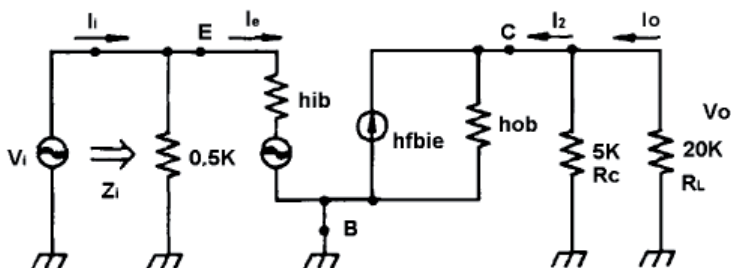
Rys. 6-2-2 Wzmacniacz w układzie OB. przekształcony w celu zaprojektowania polaryzacji wstępnej

Analiza wzmacniacza w układzie wspólnej bazy dla sygnału przemiennego.

Układ przedstawiony na rys. 6-2-3(a) może przedstawiać układ zastępczy pokazany na rys. 6-2-3(b). Obliczyć wartości parametrów: A_v , A_i , Z_i i Z_o .



(a) Układ



$$\begin{aligned} h_{fb} &= -0,98 \\ h_{ib} &= 20\Omega \\ h_{rb} &= 3 \times 10^{-4} \\ h_{ob} &= 0,4\mu\Omega \end{aligned}$$

(b) Układ zastępczy dla sygnałów przemiennych

Rys. 6-2-3 Wzmacniacz w układzie OB przeznaczony do analizy jego pracy dla sygnałów przemiennych

Rozwiązanie:

A_i :

$$I_2 = 5K\Omega \times I_2 / (5K + 20K) = 0,2 \times I_2$$

$$I_2 = h_{fb} \times I_e = h_{fb} \times I_i \quad h_{ib} \ll 0,5K$$

$$I_0 = 0,2 I_2 = 0,2 h_{fb} \times I_i \quad h_{fb} = I_2 / I_i$$

$$A_i = I_0 / I_i \approx 0,2 h_{fb} = 0,2 (-0,98) = -0,196$$

$$A_v : R_L' = R_c // R_L = 5K // 20K$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-h_{fb}}{h_{ie}} R_L' = -0,98 \times 4 \times 10^3 / 20 = 196$$

$$Z_i \approx r_e = h_{ib} = 20\Omega$$

$$Z_o = R_c = 5K\Omega$$

Na podstawie powyższej analizy, można określić następujące własności wzmacniacza w układzie ze wspólną bazą (OB):

Impedancja wejściowa Z_i jest bardzo mała.

Wzmocnienie napięciowe A_v jest bardzo duże.

Wzmocnienie prądowe jest prawie równe 1, zatem we wzmacniaczu tym nie ma wzmocnienia prądu. Faza sygnału wyjściowego jest taka sama jak sygnału wejściowego.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25003 – moduł układu wzmacniacza tranzystorowego
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

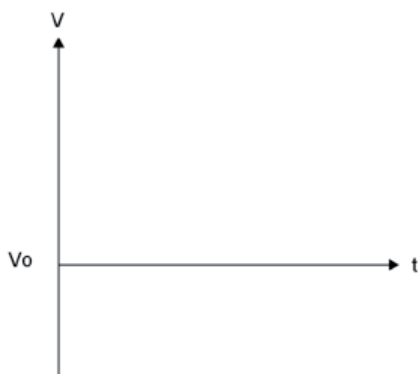
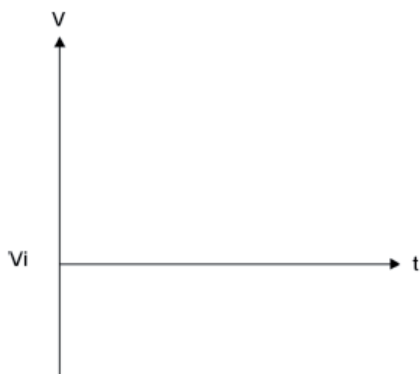
A. Polaryzacja stała

1. Ustawić moduł KL-25003 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-2-4 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-2-5. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR2. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującą się w module KL-22001.
2. Ustawić potencjometr VR2 (10 k Ω) tak, aby $V_C \approx V_{CB} = V_{CC}/2 = 6$ V.

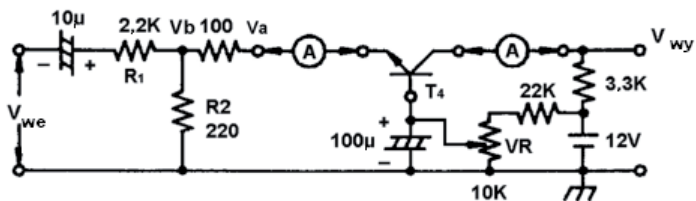
3. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-2-1 wartości I_{CB} , V_{BE} , V_C i I_C .
4. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop z ustawionym na nim typem sygnału wejściowego AC (sygnał przemienny).
5. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
6. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-2-2 wartości napięcia sygnału wejściowego V_i i napięcia wyjściowego V_o .
7. Obliczyć i zapisać w tablicy 6-2-2 wartość prądu $I_C = V_C/R_C$ (prądu płynącego przez kondensator C , $R_C=R_{12}=3,3\text{ k}\Omega$).
8. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-2-2 wartości napięcia V_a (TP3) i odpowiednio V_b (TP2).
9. Obliczyć i zapisać w tablicy 6-2-2 wartość prądu $I_e = (V_a-V_b)/R_{ab} = (V_a-V_b)/R_{10} = (V_a-V_b)/100$.
- 10 Wypełnić tablicę 6-2-2 umieszczając w niej wartości:
 - $A_i(\alpha) = I_e/I_C$
 - $A_{vs} = V_o / V_i$, V_i = napięcie wejściowe wzmacniacza
 - $A_v = V_o / V_e$, V_e = napięcie na emiterze tranzystora
 - $Z_i = 26\text{ mV} / I_e$ lub V_e / I_e
11. Kręcąc potencjometrem VR2, obserwować, czy przebieg wyjściowy nie jest odkształcony.

DC	V_{CB}	V_{BE}	V_C	I_E	I_C				
AC	I_C	I_E	V_i (Vpp)	V_e (Vpp)	V_o (Vpp)	A_i	A_{vs}	Z_i	A_v

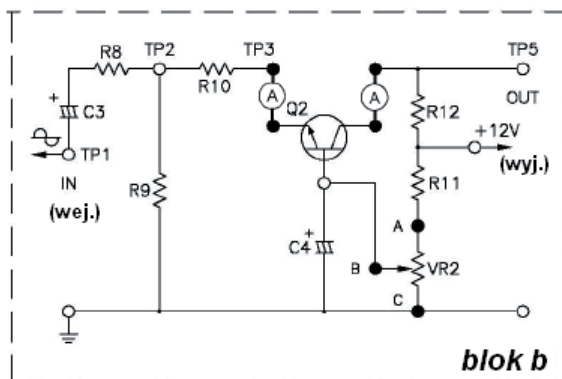
Tablica 6-2-1



Tablica 6-2-2



Rys. 6-2-4 Wzmacniacz w układzie OB



Rys. 6-2-5 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok b)

PODSUMOWANIE

Własności wzmacniacza w układzie OB:

1. Mała impedancja wejściowa i duża impedancja wyjściowa.
2. Duże wzmocnienie napięciowe i małe wzmocnienie prądowe równe prawie 1.
3. Sygnał wyjściowy w fazie z sygnałem wejściowym.
4. Wzmacniacz o zastosowaniach w zakresie wysokich częstotliwości.

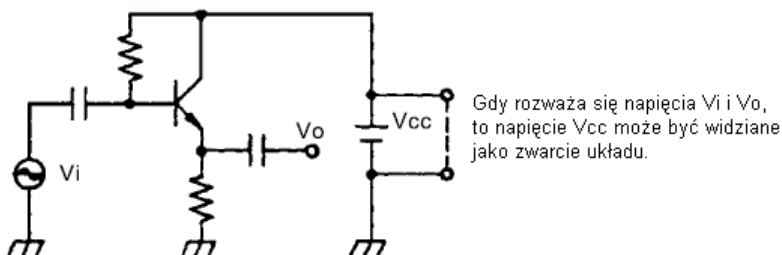
Ćwiczenie 6-3 Wzmacniacz w układzie wspólnego kolektora

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady pracy wzmacniacza w układzie OC.
2. Wyznaczenie charakterystyk wzmacniacza w układzie OC.

DYSKUSJA

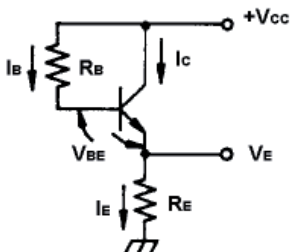
Wzmacniacz w układzie OC przedstawiono na rys. 6-3-1. Zgodnie z zasadą superpozycji napięcie V_{cc} może być widziane jako zwarcie układu dla sygnału przemiennego. C jest wyprowadzeniem wspólnym napięć V_i i V_o . Innymi słowy punkt C jest uziemiony. Ponieważ napięcie wyjściowe wyprowadzane z emitera podąża za napięciem wejściowym, zatem układ ten jest nazywany wtórnikiem emiterowym.



Rys. 6-3-1 Podstawowy układ wzmacniacza pracującego w układzie OC

Projekt polaryzacji wstępnej dla wzmacniacza pracującego w układzie ze wspólnym kolektorem.

1. Układ polaryzacji z emiterowym sprzężeniem zwrotnym.



Rys. 6-3-2 Układ polaryzacji z emiterowym sprzężeniem zwrotnym

Układ polaryzacji wstępnej z emiterowym sprzężeniem zwrotnym przedstawiono na rys. 6-3-2. Rezystancja R_E zwiększa stabilność układu, który można zanalizować następująco:

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \\
 &= I_B R_B + V_{BE} + (1 + \beta) I_B R_E \\
 I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) I_B R_E} \cong \frac{V_{CC}}{R_B + \beta R_E} \\
 I_E &= I_B + I_C = (1 + \beta) I_B \approx \beta I_B \\
 V_E &= I_E R_E = (1 + \beta) I_B R_E \approx \beta I_B R_E
 \end{aligned}$$

2. Układ polaryzacja stałą

Jak to przedstawiono na rys. 6-3-2, układ z polaryzacją stałą jest układem polaryzacji niezależnej od współczynnika wzmocnienia β .

$$\begin{aligned}
 V_B &= V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 V_E &= V_B - V_{BE} \\
 I_E &= V_E / R_E
 \end{aligned}$$

Ponieważ w powyższych zależnościach β nie występuje, zatem ta konfiguracja polaryzowania odznacza się znaczną stabilnością.

Analiza wzmacniacza ze wspólnym kolektorem dla sygnału przemiennego

Układ zastępczy dla sygnału przemiennego układu przedstawionego na rys. 6-3-3(a) przedstawiono na rys. 6-3-3(b). Rezystancja R_{ac} z rys. 6-3-3(b) jest równa $R_e // R_L$.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Ponieważ } V_i &= I_b \times R_i + (I_b + h_{fe} I_b) \times R_{ac} \\
 &= I_b \times R_i + (1 + h_{fe}) I_b \times R_{ac} \\
 &= I_b \times [R_i + (1 + h_{fe}) R_{ac}]
 \end{aligned}$$

oraz rezystancja wejściowa $R_{in}' = V_i / I_b$, zatem: $R_{in}' = R_i + (1 + h_{fe}) R_{ac}$

Rezystancja wejściowa $R_{in} = R_b // R_{in}' \approx R_b // h_{fe}$, $R_{ac} \gg R_i$

$$2. V_o = (I_b + h_{fe} I_b) \times R_{ac} = (1 + h_{fe}) I_b \times R_{ac}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad A_v &= V_o/V_i, \quad Z_o = R_{ac} // \frac{R_i + R_s}{1 + h_{fe}} \\
 &= \frac{(1 + h_{fe})i_b R_{ac}}{i_b[R_i + (1 + h_{fe}) R_{ac}]} \\
 &= \frac{(1 + h_{fe})R_{ac}}{R_i + (1 + h_{fe})R_{ac}}
 \end{aligned}$$

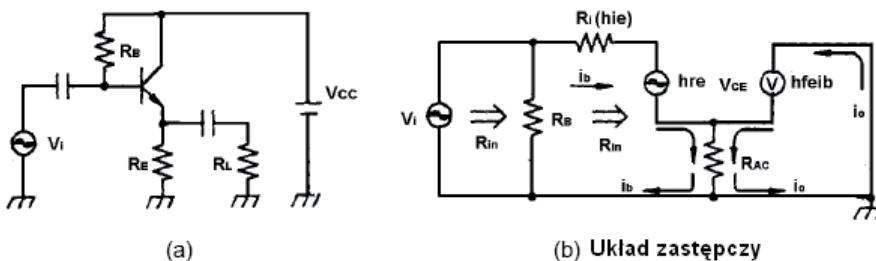
Ponieważ $R_i \ll (1 + h_{fe}) R_{ac}$, zatem $A_v \approx 1$, lecz jest mniejsze od 1

$$4. \quad A_i = (I_b + h_{fe} I_b)/I_b = 1 + h_{fe}$$

Z powyższej analizy wynika, że wzmacniacz w układzie ze wspólnym kolektorem ma następujące parametry:

- Bardzo duża impedancja wejściowa Z_i
- Wzmocnienia napięciowe $A_v \approx 1$
- Wzmocnienie prądowe A_i wzmacniacza w układzie ze wspólnym kolektorem (OC) jest nieco większe od wzmocnienia prądowego A_i wzmacniacza w układzie ze wspólnym emiterem (OE). Wzmocnienie prądowe A_i wzmacniacza ze wspólnym kolektorem jest równe $1 + h_{fe}$.
- Impedancja wyjściowa Z_o jest bardzo mała.
- Napięcie wyjściowe V_o jest takie same jak napięcie wejściowe V_i .

Wzmacniacz w układzie ze wspólnym kolektorem nie nadaje się do wzmacniania napięcia, lecz jest on przydatny do dopasowywania impedancji. Wzmacniacz w układzie ze wspólnym kolektorem jest czasem stosowany w aplikacjach wzmacniania prądowego.



Rys. 3-3-3 Użyty do analizy układ zastępczy wzmacniacza ze wspólnym kolektorem

NEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25003 – moduł układu wzmacniacza tranzystorowego
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25003 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok c. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-3-4 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-3-5. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR2. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Kręcąc potencjometrem VR2 (10 k Ω) zmieniać napięcie V_B . Mierzyć jednocześnie i zapisywać w tablicy 6-3-1 wartości napięć V_E i V_B .
3. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-3-6 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-3-7. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR2. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
4. Ustawić potencjometr VR2 (10 k Ω) tak, aby $V_E = V_{CC}/2 = 6$ V.
5. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT dołączyć oscyloskop z ustawionym na nim typem sygnału wejściowego AC (sygnał przemienny).
6. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
7. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-3-2 wartości napięcia sygnału wejściowego V_i i napięcia wyjściowego V_o .
8. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać w tablicy 6-2-2 wartości napięcia V_A i odpowiednio V_B .

9. Kręcąc potencjometrem VR2, obserwować, czy przebieg wyjściowy nie jest odkształcony.

10. Wypełnić tablicę 6-2-2 wartościami obliczonymi z poniższych wzorów:

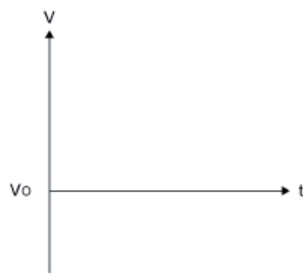
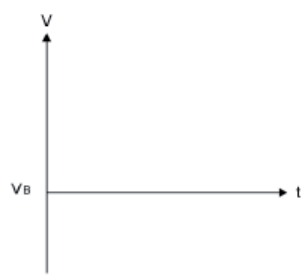
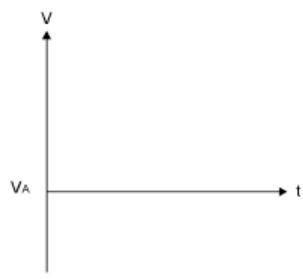
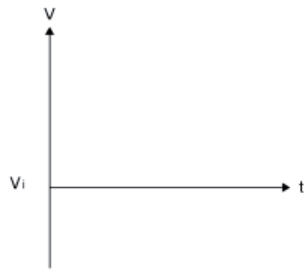
$$I_e = \frac{V_o}{R_b}, \quad I_b = \frac{V_a - V_b}{R_b}, \quad A_v = \frac{V_o}{V_b}, \quad A_i = \frac{I_e}{I_b}, \quad A_p = A_v \times A_i, \quad \text{oraz} \quad Z_{in} = \frac{V_b}{I_b}$$

V_B	2V	3V	4V	5V
V_E				

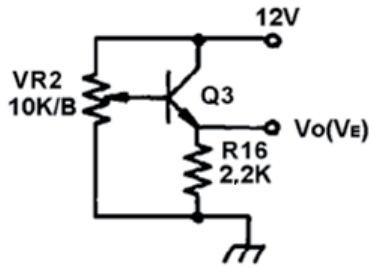
Tablica 6-3-1

$V_A(V_{pp})$	$V_B(V_{pp})$	$V_o(V_{pp})$	I_e	I_b
A_v	A_i	A_p	Z_{in}	

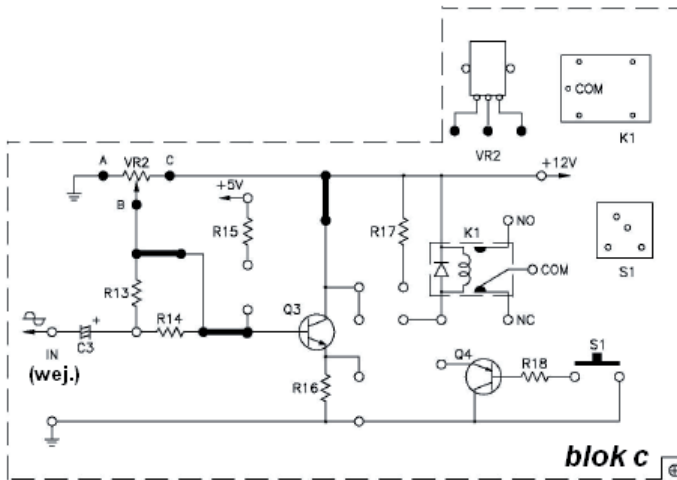
Tablica 6-3-3



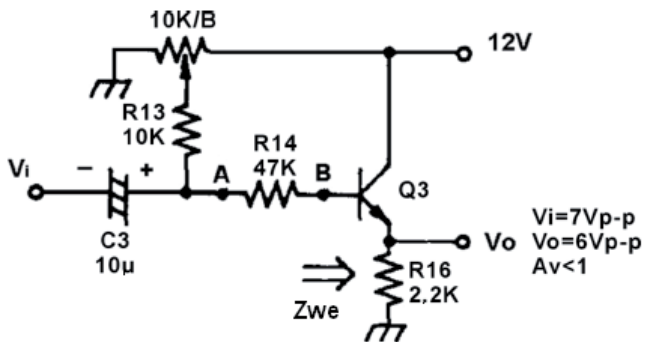
Tablica 6-3-2



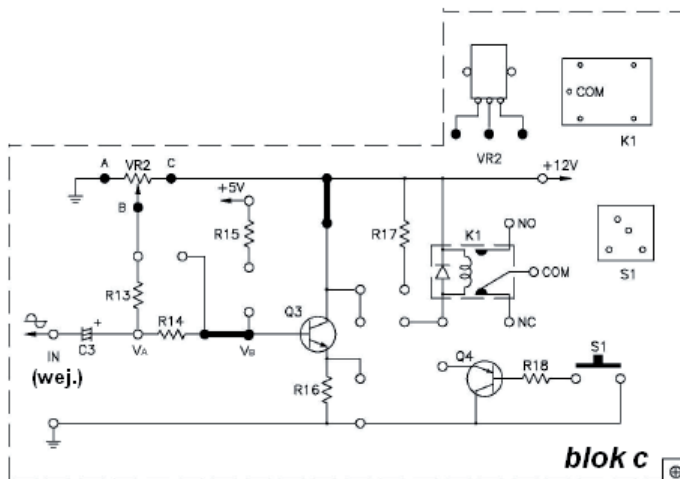
Rys. 6-3-4



Rys. 6-3-5 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok c)



Rys. 6-3-6



Rys. 6-3-7 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok c)

PODSUMOWANIE

Wzmacniacz pracujący w układzie wspólnego kolektora (OC) ma następujące własności:

1. Duża impedancja wejściowa i mała impedancja wyjściowa.
2. Duże wzmocnienie prądowe i małe wzmocnienie napięciowe równe prawie 1 (układ ten jest też nazywany wtórnikiem emiterowym).
3. Sygnał wyjściowy jest w fazie z sygnałem wejściowym.
4. Nadaje się do dopasowywania impedancji, jest też stosowany jako prądowy układ sterujący.

Ćwiczenie 6-4 Układ przełączający

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady pracy tranzystorowego układu przełączającego.
2. Pomiar prądu kolektorowego, gdy tranzystor jest w stanach włączenia i wyłączenia.

DYSKUSJA

Tranzystor jako przełącznik

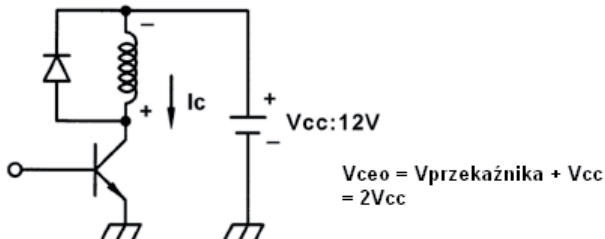
Gdy tranzystor jest używany jako przełącznik, to zwykle pracuje on w dwóch rodzajach pracy:

Stan nasycenia $V_{CE(sat)} = 0,2 \text{ V}$, $I_C = V_{CC}/R_C$; (złącze kolektor-emiter tranzystora stanowi zwarcie).

Stan odcięcia $V_{CE} = V_{CC}$, $I_C = 0$ (złącze kolektor-emiter tranzystora stanowi rozwar-
cie).

Używanie tranzystora do sterowania obciążeniami indukcyjnymi

Jeśli tranzystor ma być użyty do sterowania elementem indukcyjnym takim jak prze-
kaźnik lub silnik elektryczny, to należy rozważyć, czy prąd płynący przez kolektor tego
tranzystora, będącego w stanie nasycenia, jest zgodny z założonymi wymaganiami,
oraz czy napięcie przyłożone do kolektora tranzystora będącego w stanie odcięcia
może przekroczyć napięcie V_{CEO} – dopuszczalne dla tego tranzystora (V_{CEO} : napięcie
maksymalne, które złącze kolektor-emiter tranzystora może wytrzymać w stanie roz-
warcia wejścia tj. obwodu bazy). Jak przedstawiono na rys. 6-4-1, ze względu na to,
że generowana w stanie odcięcia tranzystora wsteczna siła elektromotoryczna będzie
skierowana tak jak to pokazano poniższym na rysunku, to tranzystor ten będzie musiał
wytrzymać napięcie równe dwukrotnej wartości napięcia V_{CC} .



6-4-1 Sterowanie przekaźnikiem

Aby wyeliminować wsteczną siłę elektromotoryczną wytwarzaną przez element indukcyjny, należy dołączyć równolegle do wyprowadzeń cewki diodę tak, jak to przedstawiono na rys. 6-4-1. Dioda ta będzie tworzyć obwód rozładowywania dla tej siły elektromotorycznej. Napięcie V_{CEO} zmniejszy się, a zatem dioda będzie stanowić element chroniący tranzystor przed uszkodzeniem.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25003 – moduł układu wzmacniacza tranzystorowego
3. Oscyloskop
4. Multimetr

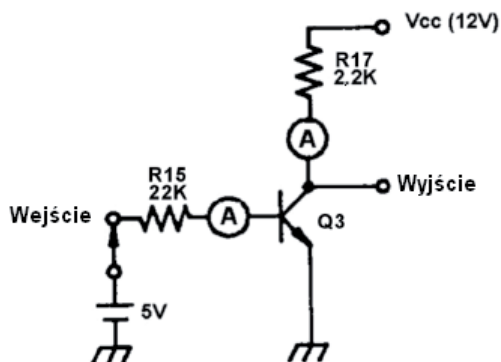
PROCEDURA

A. Pomiar prądu włączenia i wyłączenia tranzystora

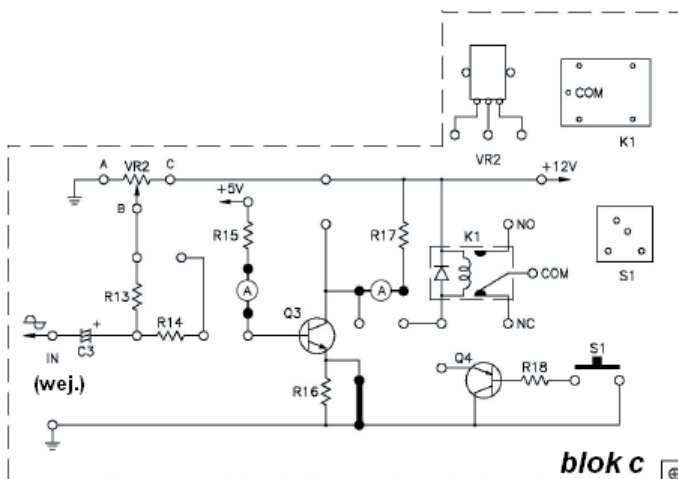
1. Ustawić moduł KL-25003 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok c. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-4-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-4-3. Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcia stałe +5 V i +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Dołączyć amperomierze mierzące prądy I_B i I_C .
3. Gdy zasilanie zostanie włączone, to do bazy tranzystora Q3 jest przykładane napięcie stałe +5 V. W tym czasie tranzystor Q3 powinien pracować w stanie włączenia. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-4-1 wartości prądów I_B i I_C i napięcia V_{CE} .
4. Odłączyć napięcie stałe +5 V usuwając przewód połączeniowy z wyprowadzenia +5 V modułu KL-25003. Tranzystor Q3 powinien pracować w stanie wyłączenia. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-4-1 wartości prądów I_B i I_C oraz napięcia V_{CE} .

Warunki pracy	V_{BE}	I_B	I_C	V_{CE}
Q3 (wt.)	5 V			
Q3 (wył.)	0 V			

Tablica 6-4-1



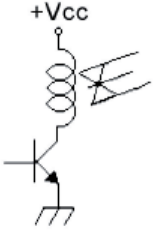
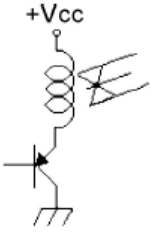
Rys. 6-4-1 Tranzystor stosowany jako przełącznik



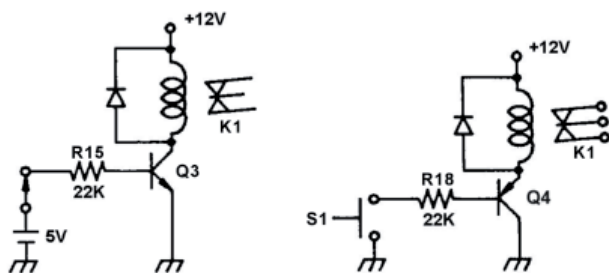
Rys. 6-4-3 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok c)

B. Tranzystor jako element sterujący przełącznikiem

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-4-4(a) i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-4-5 (z wyjątkiem wtyku mostkującego oznaczonego znakiem #). Do modułu KL-25003 doprowadzić napięcia stałe +5 V i +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Gdy zasilanie zostanie włączone, to do bazy tranzystora Q3 jest przykładane napięcie stałe +5 V. W tym czasie tranzystor Q3 powinien pracować w stanie włączenia i przełącznik powinien byćysterowany. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-4-2 wartości napięć V_{BE} i V_{CE} .
3. Odłączyć od układu napięcie stałe +5 V usuwając wtyk mostkujący między rezystorem R15 a bazą tranzystora Q3. Tranzystor Q3 powinien pracować w stanie wyłączenia, a przełącznik nie powinien byćysterowany. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-4-2 wartości napięć V_{BE} i V_{CE} .
4. Umieścić w układzie wtyk mostkujący oznaczony znakiem # oraz usunąć z niego inne wtyki mostkujące. W ten sposób zostaje skompletowany układ przedstawiony na rys. 6-4-4(b).
5. Nacisnąć przycisk S1. Spowoduje to połączenie bazy tranzystora Q4 z masą. Tranzystor Q4 powinien pracować w stanie włączenia i przełącznik powinien byćysterowany. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-4-2 wartości napięć V_{BE} i V_{CE} .
6. Zwolnić przycisk S1. Spowoduje to rozwarcie połączenia bazy tranzystora Q4 z masą. Tranzystor Q4 powinien pracować teraz w stanie wyłączenia i przełącznik powinien nie byćysterowany. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-4-2 wartości napięć V_{BE} i V_{CE} .

Konfiguracja układu	Stan przekaźnika	V_{BE} (V)	V_{CE} (V)
	włączony		
	wyłączony		
	włączony		
	wyłączony		

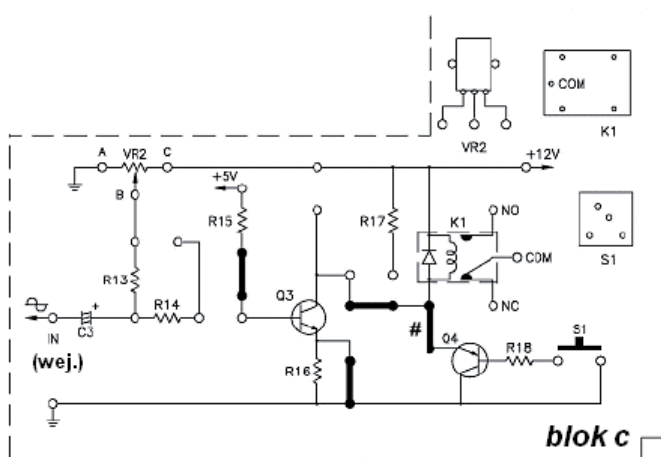
Tablica 6-41



(a) tranzystor n-p-n

(b) tranzystor p-n-p

Rys. 6-4-4 Tranzystor stosowany do sterowania przekaźnikiem



Rys. 6-4-5 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok c)

PODSUMOWANIE

Tranzystor jest doskonałym przełącznikiem elektronicznym. Gdy pracuje on w stanie nasycenia, to prąd jego kolektora ma wartość równą wartości maksymalnej, a spadek napięcia między wyprowadzeniami kolektor-emiter jest równy zaledwie 0,2 V. Gdy tranzystor pracuje w stanie odcięcia, to jego prąd kolektorowy jest prawie równy zeru.

Ćwiczenie 6-5 Wzmacniacz w układzie Darlingtona

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady pracy układu Darlingtona.
2. Pomiar parametrów układu Darlington i użycie go w różnych aplikacjach sterowania.

DYSKUSJA

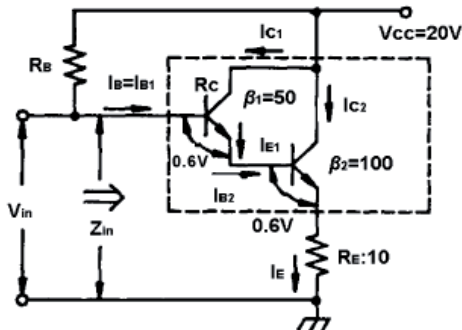
Własności układu Darlington są następujące:

Wzmocnienie prądowe jest bardzo duże.

Impedancja wejściowa jest bardzo duża.

Pracę układu Darlingtona przeanalizujemy poniżej:

1. Wzmacnianie prądu przez układ Darlingtona przedstawiono na rys. 6-5-1.



Rys. 6-5-1 Układ Darlingtona

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_2 I_{E1} = \beta_2 (1 + \beta_1) I_{B1} \approx \beta_2 \beta_1$$

Z powyższego rysunku: $I_{C2}/I_{B1} \approx \beta_1 \beta_2 = 50 \times 100 = 5000$

Współczynnik wzmocnienia tego układu równy 5000 jest dużo większy niż współczynnik wzmocnienia β jednego tranzystora.

Impedancja wejściowa Z_{in} układu Darlingtona

Przykład: Jak przedstawiono na rys. 6-5-1 jeśli wartość prądu I_E ma być równa 1 A, to $Z_i = ?$

Rozwiązanie:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2 = 50 \times 100 = 5000$$

$$I_E = 1A, \quad V_E = I_E \times R_E = 10V$$

$$V_{in} = 0.6V + 0.6V + 10V = 11.2V$$

$$I_E = 1A$$

$$I_E \approx I_C = \beta \times I_B = 5000 \times I_B$$

$$I_B = \frac{1A}{5000} = 0.2mA$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_B} = \frac{11.2V}{0.2mA} = 56k\Omega$$

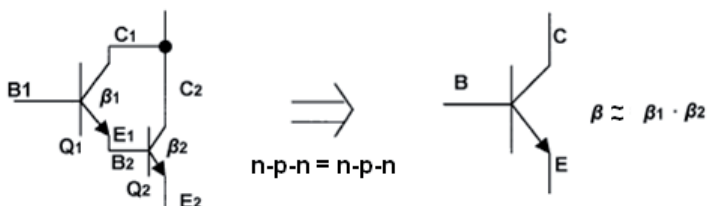
Przybliżenie Z_{in} :

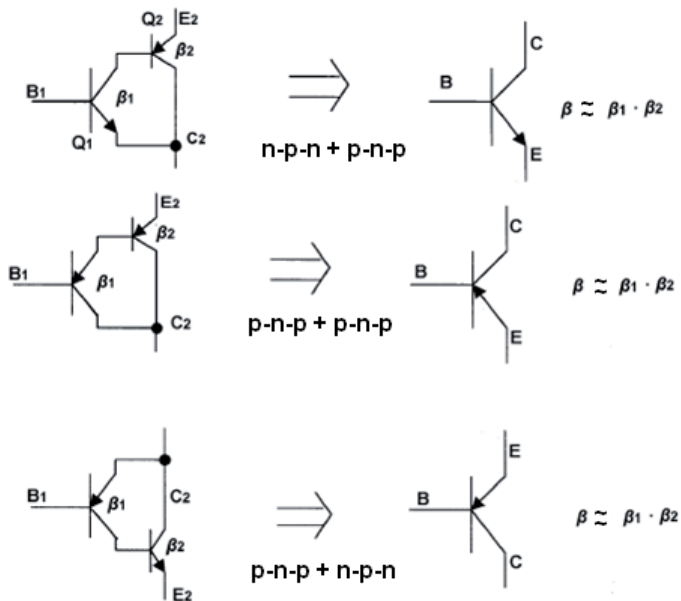
$$Z_{in} = R_E \times \beta_1 \times \beta_2$$

$$Z_{in} = 10\Omega \times 50 \times 100 = 50K\Omega$$

Z powyższej analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

Wzmocnienie prądowe i impedancja wejściowa układu Darlingtona są dużo większe niż pojedynczego tranzystora. Używając różnego typu tranzystorów (n-p-n i p-n-p – z rysunku 6-5-2) można zbudować cztery różne układy Darlingtona. Aby otrzymać konfigurację Darlingtona, można użyć do tego gotowego układu dostępnego w handlu ("tranzystora Darlingtona"), lub zbudować ją samodzielnie zgodnie z rysunkiem 6-5-2.





Rys. 6-5-2 Cztery konfiguracje układu Darlingtona

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25005 – moduł edukacyjny z układem FET
3. Multimetr

PROCEDURA

A. Pomiar podstawowych parametrów wzmacniacza Darlingtona

1. Ustawić moduł KL-25005 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-5-3 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-5-4. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR4. Do modułu KL-25005 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.

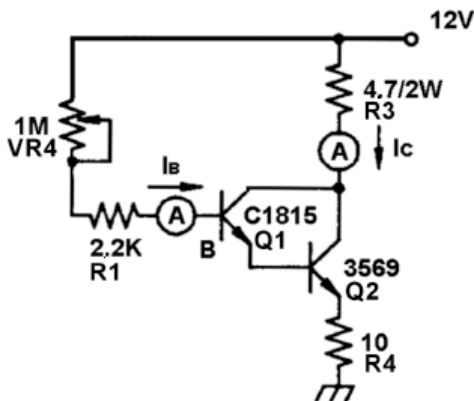
2. Dołączyć amperomierze mierzące prądy I_B i I_C .
3. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) na maksimum. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-5-1 wartości prądów I_B i I_C i napięcia V_B .
4. Ustawić potencjometr VR4 tak, aby prąd I_C osiągnął swoją wartość maksymalną i odczytać na amperomierzu wartość I_C . Kręcąc potencjometrem w sposób ciągły w stronę dolnych wartości rezystancji obserwować, czy prąd I_C jednocześnie wzrasta.
5. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) na minimum. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-5-1 wartości prądów I_B i I_C i napięcia V_B .
6. Wypełnić tablicę 6-5-1 wartościami obliczonymi z poniższych wzorów:

$$A_i = (1 + \beta_1) \beta_2 = \frac{I_C}{I_B}$$

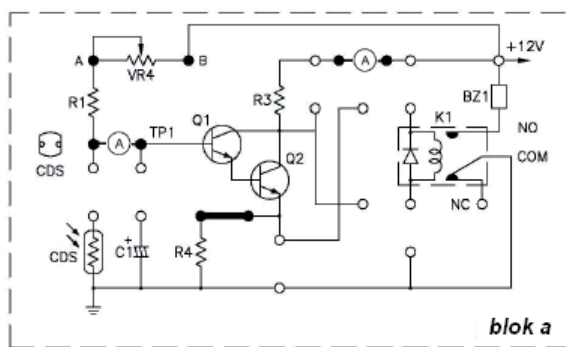
$$Z_i = \frac{V_B}{I_B} \cong (1 + \beta_1) \beta_2 \times R_E, \text{ gdzie } R_E = 10\Omega$$

VR4 \ Darlington	I_B	I_C	A_i	V_B	Z_i
VR4 na maks.					
VR4 na min.					

Tablica 6-5-1



Rys. 6-5-3 Wzmacniacz Darlingtona



Rys. 6-5-4 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok c)

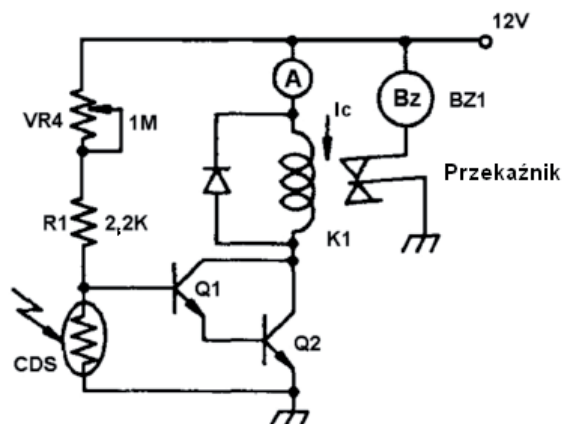
B Układ sterowany elementem fotoelektrycznym

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-5-5 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-5-6. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR4.
2. Do modułu KL-25005 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustalonym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
3. Gdy fotorezystor (CDS) jest oświetlany, ustawić potencjometr VR4 (1 MΩ) w takiej pozycji, że przekaźnik wyłączy się. Zmierzyć i zapisać w tablicy 6-5-2 wartości napięć V_B i V_C oraz prądu I_C .

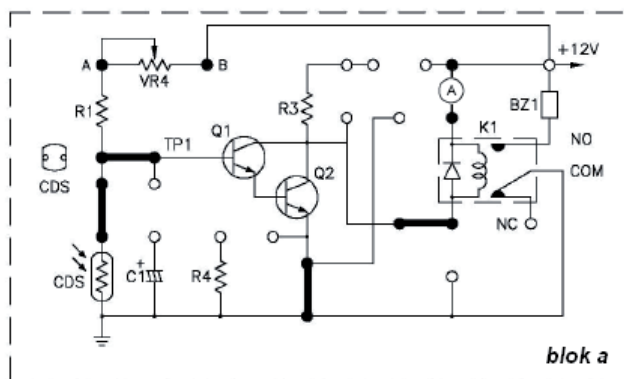
4. Gdy fotorezystor (CDS) nie jest oświetlony, obserwować wartość prądu I_C i, czy przekaźnik włączy się. Zmierzyć i zapisać w tabelcy 6-5-2 wartości napięć V_B i V_C oraz prądu I_C

Darlington, Przekaźnik	V_B	V_C	I_C	Stan prze- kaźnika
CDS				
Oświetlony				
Nieoświetlony				

Tablica 6-5-2



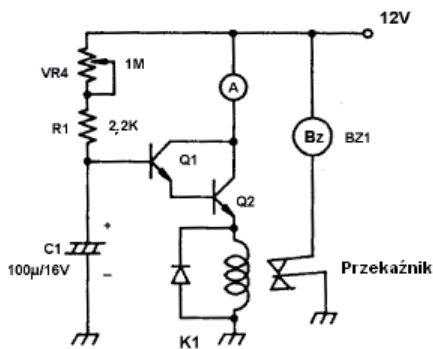
Rys. 6-5-5 Układ sterowany elementem fotoelektrycznym



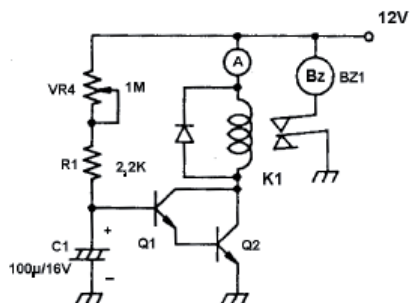
Rys. 6-5-6 Schemat montażowy (moduł KL-25003 blok c)

C. Układ opóźnienia czasowego

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-5-7(a) i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-5-8. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR4. Do modułu KL-25005 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) na minimum. Włączyć zasilacz, a następnie obserwować, czy przekaźnik włączy się po kilkusekundowym opóźnieniu. Zmierzyć napięcie na wyprowadzeniach kondensatora C1, a następnie obserwować zmiany napięcia Vc1 (jeśli przekaźnik nie jest wystawiony, to napięcie Vcc może wzrosnąć do 14 V).
3. Wyłączyć zasilacz, a następnie na krótki czas zewrzeć wyprowadzenia kondensatora C1 (rozładować go). Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) w środkowym położeniu, a następnie obserwować czas opóźnienia włączenia przekaźnika. Zmierzyć napięcie na wyprowadzeniach kondensatora C1, poczym obserwować zmiany napięcia Vc1.
4. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 6-5-7(b) i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 6-5-9.
5. Powtórzyć kroki 2 i 3 niniejszej procedury.
6. Zapisując wartości czasów opóźnienia włączenia przekaźnika zaobserwować jednocześnie, czy czas opóźnienia zmieni się, gdy wartość potencjometru VR4 zostanie zmieniona ($\tau = RC$).
7. Zaobserwować, czy zmiana dołączenia przekaźnika do kolektora (układ przedstawiony na rys. 6-5-7(b)), wpłynie na opóźnienie czasu sterowania przekaźnikiem.

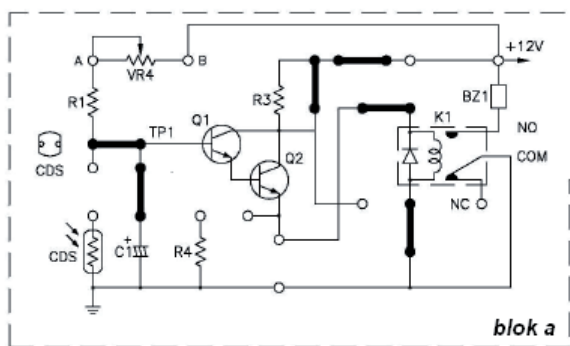


(a) Obciążenie w obwodzie emitera

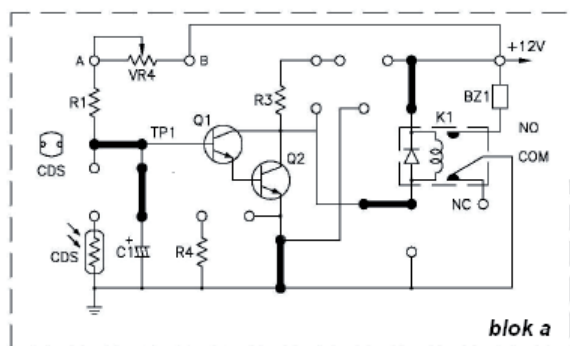


(b) Obciążenie w obwodzie kolektora

Rys. 6-5-7 Układ opóźnienia czasowego



Rys. 6-5-8 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok a)



Rys. 6-5-9 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok a)

PODSUMOWANIE

Układ Darlingtona lub para tranzystorów pracujących w układzie Darlingtona charakteryzuje się dużą impedancją wejściową oraz dużym wzmocnieniem prądowym. Elementy te stosuje się szeroko w układach sterowania takich jak sterownik przekaźnika, sterownik silnika krokowego, czy sterownik silnika prądu stałego.

Rozdział 7 Wzmacniacze wielostopniowe

Ćwiczenie 7-1 Wzmacniacz ze sprzężeniem RC

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

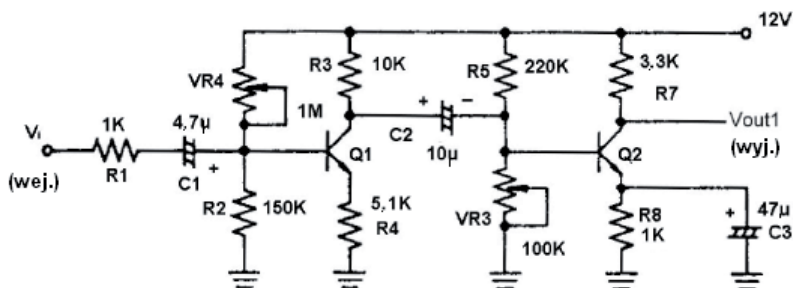
1. Poznanie zasady pracy wzmacniacza ze sprzężeniem RC.
2. Pomiar przebiegów wejściowych i wyjściowych dla każdego stopnia wzmacniacza ze sprzężeniem RC.

DYSKUSJA

Są trzy typy wzmacniaczy wielostopniowych:

1. Wzmacniacz ze sprzężeniem RC.
2. Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym.
3. Wzmacniacz ze sprzężeniem bezpośrednim.

Na rys. 7-1-1 przedstawiono układ wzmacniacza dwustopniowego ze sprzężeniem RC. Obciążeniem pierwszego stopnia jest rezystancja R3, a do sprzężenia wyjścia pierwszego stopnia z wejściem stopnia drugiego służy kondensator C2



Rys. 7-1-1 Wzmacniacz dwustopniowy ze sprzężeniem RC

Przeznaczenie kondensatora sprzęgającego

Kondensator sprzęgający C2 stanowi dla napięcia stałego rozwarcię, dzięki czemu składowa stała jest blokowana (ponieważ $X_{C2} = 1/(2\pi f C_2)$) a $f \approx 0$, stąd X_c jest bliskie ∞), jednocześnie kondensator C2 stanowi zwarcie dla sygnału przemiennego, ponieważ X_c jest dla sygnału tego typu wystarczająco małe. Wartość kondensatora C2 mieści się zwykle w zakresie od 2 do 50 μF . Ponieważ kondensatory te separują składową stałą, zatem układ polaryzujący może być niezależny dla każdego stopnia, które sprzęgają.

Zalety

1. Ponieważ ten typ sprzężenia prowadzi do uproszczenia układu, zmniejszenia kosztów i miniaturyzacji układu, zatem jest to szeroko stosowana metoda sprzężenia
2. Dla sprzężenia tego typu pasmo przenoszenia jest bardzo szerokie.
3. Sprzężenie tego typu wyróżnia się niskimi szumami i niskim przydźwiękiem związanym ze zjawiskiem indukcji magnetycznej.

Wady

1. Wzmocnienie w zakresie dolnych częstotliwości jest ograniczone przez kondensator sprzęgający, (ponieważ $X_C = 1/(2\pi f C)$, zatem bardzo duża reakcja X_c przy niskich częstotliwościach daje w efekcie znacznie stłumiony sygnał).
2. Ponieważ na rezystancji obciążenia będzie wydzielana duża moc dla prądu stałego, zatem ten typ sprzężenia nadaje się jedynie do wzmacniania małych mocy lub wzmacniania napięcia.
3. Wadą sprzężenia tego typu jest mniejsza sprawność, gdyż nie ma możliwości dopasowania impedancji tranzystorów stopnia poprzednim z następnym.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25004 – moduł układu wzmacniacza wielostopniowego
3. Oscyloskop

PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25004 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 7-1-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 7-1-3. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometry VR3 i VR4. Do modułu KL-25004 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
3. Ustawić potencjometry VR4 i VR3 tak, aby oba napięcia V_{c1} i V_{c2} występujące na kolektorach tranzystorów Q1 i odpowiednio Q2 były równe $V_{CC}/2 = 6 \text{ V}$.
4. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjścia OUT1 dołączyć oscyloskop.
5. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
6. Posługując się oscyloskopem (z ustawionym typem sygnału wejściowego AC – sygnał przemienny) zmierzyć i zapisać w tablicy 7-1-1 przebiegi napięć V_{IN} , V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} i V_{OUT1} .
7. Odłączyć od układu kondensator C3 (47 μF) wyjmując wtyk mostkujący oznaczony nalepką #. Powtórzyć krok 6 niniejszej procedury.
8. Dowolnie kręcąc potencjometrem VR4 (1 M Ω) zaobserwować, czy przebiegi napięć V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} i V_{OUT1} będą się zmieniać.
9. Obliczyć wartości przedstawione poniższymi wzorami używając do tego wyników pomiarów wykonanych przy dołączonym kondensatorze C3, a znajdujących się odpowiednim polu tablicy 7-1-1.

$$A_{v1} = V_{o1}/V_{i1} = V_{C1}/V_{B1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

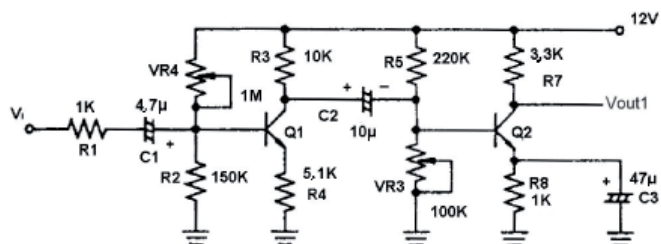
$$A_{v2} = V_{o2}/V_{i2} = V_{OUT1}/V_{B2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$A_v = A_{v1} \times A_{v2} = V_{OUT1}/V_{B1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

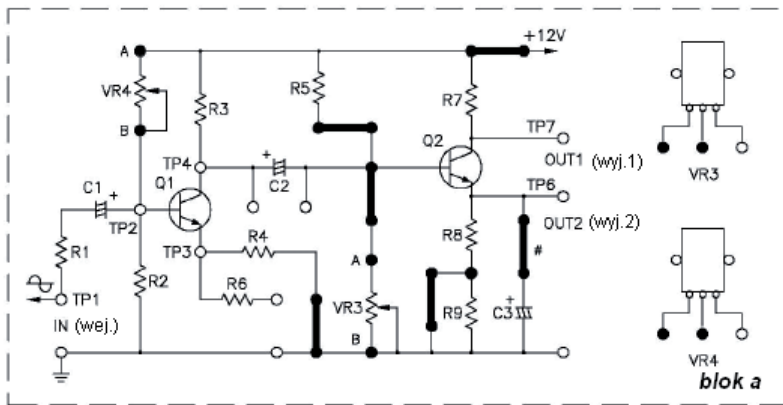
$$A_{vs} = V_{OUT1}/V_{IN} = \underline{\hspace{2cm}}$$

C3 dołączony		C3 odłączony	
Przebieg	Vpp	Przebieg	Vpp

Tablica 7-1-1



Rys. 7-1-2 Wzmacniacz ze sprzężeniem RC



Rys. 7-1-3 Schemat montażowy (moduł KL-25004 blok a)

PODSUMOWANIE

Dwustopniowy wzmacniacz ze sprzężeniem RC ma następujące własności:

1. Zmiana napięcia stałego polaryzującego stopień pierwszy wzmacniacza nie ma wpływu na polaryzację napięciem stałym drugiego stopnia tego wzmacniacza.
2. Kondensator emiterowy C3 kondensatora Q2 bezpośrednio określa wzmocnienie napięciowe drugiego wzmacniacza A_{v2} . Gdy kondensator C3 zostanie odłączony, to wzmocnienie A_{v2} maleje, ponieważ zostaje wprowadzone ujemne sprzężenie zwrotne.
3. Pasma przenoszenia wzmacniacza ze sprzężeniem jest zawężone w zakresie dolnych częstotliwości, gdyż w zakresie tym reaktancja pojemnościowa kondensatora sprzęgającego jest duża.

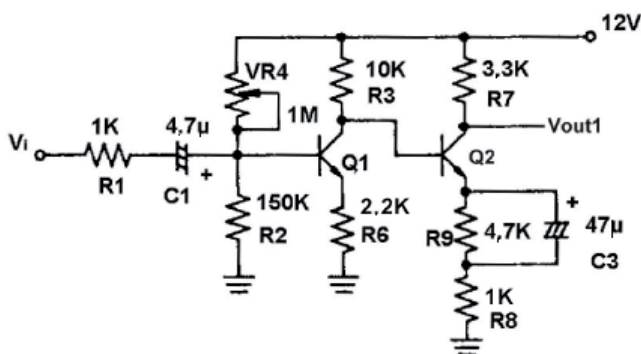
Ćwiczenie 7-2 Wzmacniacz ze sprzężeniem bezpośrednim

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady pracy wzmacniacza ze sprzężeniem bezpośrednim.
2. Pomiar przebiegów wejściowych i wyjściowych dla każdego stopnia wzmacniacza ze sprzężeniem bezpośrednim.

DYSKUSJA

Na rys. 7-2-1 przedstawiono schemat wzmacniacza dwustopniowego ze sprzężeniem bezpośrednim. Wyjście pierwszego stopnia jest połączone z wejściem stopnia drugiego.



Rys. 7-2-1 Wzmacniacz dwustopniowy ze sprzężeniem bezpośrednim

Ten typ sprzężenia bezpośredniego powinien spełniać poniższe wymagania:

1. Układ polaryzacji napięciem stałym powinien być dopasowany.
2. Kierunki prądów w stopniach poprzednim i następnym powinny być zgodne.

Napięcie wyjściowe otrzymywane z zasilacza powinno być stabilizowane. Najlepiej wybrać do tego tranzystor krzemowy, gdyż tranzystor tego typu wyróżnia się mniejszym prądem upływowym i doskonałą stabilnością, w przeciwnym razie wady kolejnych stopni kaskady spowodują pogorszenie się własności całego układu.

Korzyści:

1. Możliwość obniżenia strat układu sprzęgającego.
2. Możliwość zmniejszenia przesunięcia fazowego powodowanego przez elementy indukcyjne L i pojemnościowe C.
3. Wzmacniacz ze sprzężeniem tego typu wyróżnia się bardzo szerokim pasmem przenoszenia, gdzie częstotliwość graniczna może być nawet równa 0 Hz, bez wpływu na nią ze strony L (X_L) i C (X_C). Układ ten może, zatem wzmacniać sygnały z zakresu bardzo małych częstotliwości bliskich prądowi stałemu (d.c.).

Wady:

1. Liczba stopni kaskady powinna być ograniczona ze względu na ewentualne zmiany prądu Ib jednego ze stopni. Jeśli takie zjawisko powstanie, to w związku ze zmianami temperatury pojawi się znaczna niestabilność całego układu wzmacniacza.
2. Wartości wybranych elementów układu wzmacniacza powinny być dokładne na ile jest to możliwe, w przeciwnym razie od razu pojawią się szумы, a moc zmniejszy się.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25004 – moduł układu wzmacniacza wielostopniowego
3. Oscyloskop

PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25004 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 7-2-2 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 7-2-3. Dołączyć do układu za pomocą przewodów potencjometr VR4. Do modułu KL-25004 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.

2. Ustawić potencjometr VR4 (1 M Ω) tak, aby napięcie na kolektorze tranzystora było równe $V_{C1} = V_{CC}/2 = 6$ V. Zmierzyć i zapisać napięcia stałe $V_{BE1} =$ _____ oraz $V_{BE2} =$ _____ .
3. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Do wyprowadzeń wyjścia OUT1 dołączyć oscyloskop.
4. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
5. Posługując się oscyloskopem (z ustawionym typem sygnału wejściowego AC – sygnał przemienny), zmierzyć i zapisać w tablicy 7-2-1 przebiegi napięć V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} i V_{C2} (V_{OUT1}).
6. Odłączyć od układu kondensator C3 (47 μ F), wyjmując wtyk mostkujący oznaczony nalepką #. Powtórzyć krok 5 niniejszej procedury.
7. Ponownie dołączyć kondensator C3 (47 μ F) i dowolnie kręcąc potencjometrem VR4 (1 M Ω) zaobserwować, czy przebiegi napięć V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} i V_{C2} (V_{OUT1}) będą się zmieniać.
8. Obliczyć wartości przedstawione poniższymi wzorami używając do tego wyników pomiarów wykonanych przy dołączonym kondensatorze C3, a znajdujących się odpowiednim polu tablicy 7-2-1.

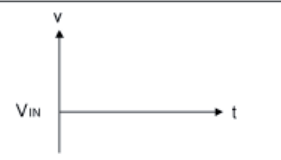
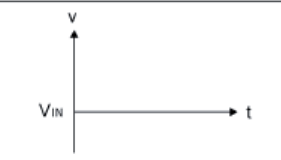
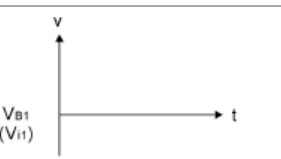
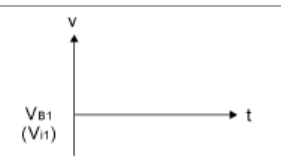
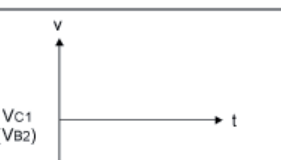
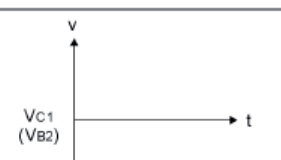
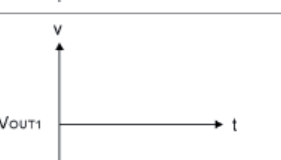
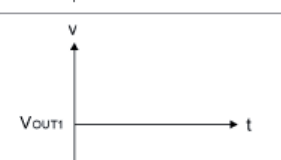
$$Av1 = V_{o1}/V_{i1} = V_{C1}/V_{B1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Av2 = V_{o2}/V_{i2} = V_{OUT1}/V_{B2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Av = Av1 \times Av2 = V_{OUT1}/V_{B1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$A_{vs} = V_{OUT1}/V_{IN} = \underline{\hspace{2cm}}$$

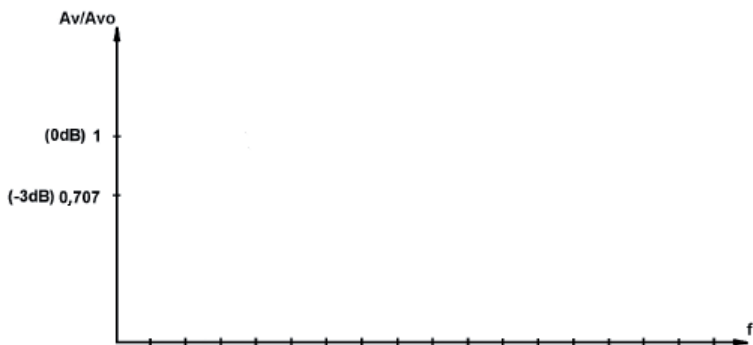
9. Przekręcić potencjometr VR4 z powrotem do położenia ($V_{c1}=V_{cc}/2=6$ V). Regulując częstotliwość sygnału wejściowego w zakresie od 1 Hz do 20 kHz, ustawiać kolejno częstotliwości podane w tablicy 7-2-2. Zmierzyć napięcie na wyjściu OUT1 odpowiadające tym częstotliwościom i obliczyć wzmacnienie Av/A_{vo} , (gdzie A_{vo} jest wartością wzmacnienia Av przy maksymalnym napięciu wyjściowym). Wypełnić tablicę 7-2-2.
10. Wykreślić i umieścić w tablicy 7-2-3 charakterystykę przenoszenia, używając do tego wyników z tablicy 7-2-2.

C3 dołączony		C3 odłączony	
Przebieg	Vpp	Przebieg	Vpp
			
			
			
			

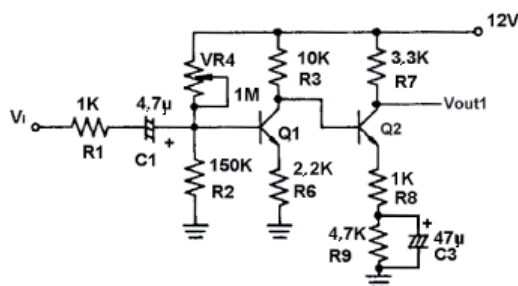
Tablica 7-2-1

Częstotliw.	1Hz	10Hz	100Hz	500Hz	1KHz	5KHz	10KHz	20kHz
Wzmocnie.								
Av/Avo								

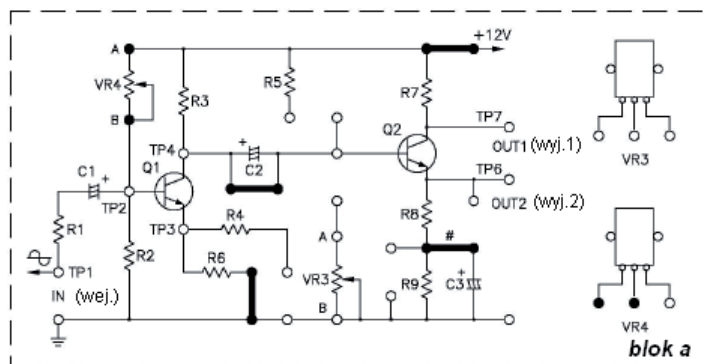
Tablica 7-2-2



Tablica 7-2-3 Charakterystyka przenoszenia



Rys. 7-2-2



Rys. 7-2-3 Schemat montażowy (moduł KL-25004 blok a)

PODSUMOWANIE

Dwustopniowy wzmacniacz ze sprzężeniem bezpośrednim ma następujące własności:

1. Zmiana napięcia polaryzującego stopień pierwszy wpływa bezpośrednio na napięcie polaryzujące stopień drugi.
2. Kondensator emiterowy C3 tranzystora Q2 określa bezpośrednio wzmocnienie napięciowe drugiego stopnia wzmacniacza A_{v2} . Gdy kondensator C3 jest odłączony, to wzmocnienie A_{v2} zmniejsza się, gdyż zostaje wprowadzone ujemne sprzężenie zwrotne.
3. Pasmo przenoszenia wzmacniacza ze sprzężeniem bezpośrednim jest bardzo szerokie.

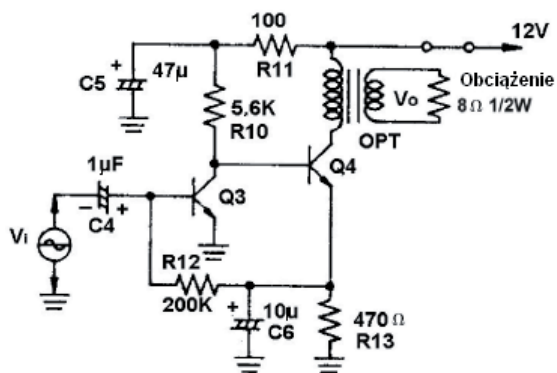
Ćwiczenie 7-3 Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie zasady pracy wzmacniacza ze sprzężeniem bezpośrednim.
2. Pomiar przebiegów wejściowych i wyjściowych dla każdego stopnia wzmacniacza ze sprzężeniem bezpośrednim.

DYSKUSJA

Jak przedstawiono na rys. 7-3-1, do odseparowania od siebie stałych napięć polaryzujących dwa stopnie można użyć transformatora. Transformator ten może jednocześnie funkcjonować jako element sprzężenia sygnału oraz dopasowujący impedancję.

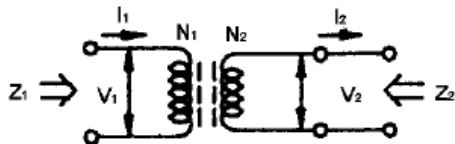


Rys. 7-3-2 Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym

Podstawowe parametry transformatora przedstawiono na rys. 7-3-2.

1. $V_1/V_2 = N_1/N_2$,
2. $I_2/I_1 = N_2/N_1$,
3. $Z_1/Z_2 = (N_1/N_2)^2$,

gdzie: N_2/N_1 jest przekładnią transformatora, V_2/V_1 – stosunkiem napięć, a I_1/I_2 – stosunkiem prądów transformatora.



Rys. 7-3-2 Transformator

Korzyści:

1. Ten typ sprzężenia charakteryzuje się łatwością dopasowania impedancji i może być wykorzystywany do podnoszenia lub obniżania napięcia.
2. Ten typ sprzężenia charakteryzuje się dużą mocą i wysoką skutecznością.
3. Ten typ sprzężenia charakteryzuje się łatwością odseparowania wpływu na siebie napięć stałych polaryzujących kolejnie dwa stopnie.

Wady:

1. Zastosowanie transformatora wyjściowego powoduje, że trzeba przeznaczyć na ten element więcej miejsca niż na układ sprzężenia RC.
2. Ponieważ transformator wyjściowy jest elementem indukcyjnym, a między poszczególnymi jego uzwojeniami występują pojemności, stąd też pasmo przenoszenia wzmacniacza ze sprzężeniem transformatorowym jest węższe niż wzmacniaczy ze sprzężeniem innych typów.
3. Koszt sprzężenia transformatorowego jest większy niż sprzężenia RC.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

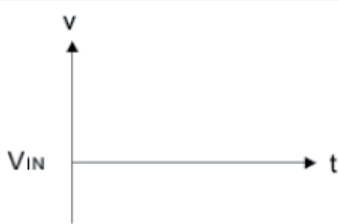

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25004 – moduł układu wzmacniacza wielostopniowego
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-25004 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczynić zlokalizować blok c. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 7-3-3 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 7-3-4. Do modułu KL-25004 doprowadzić napięcie stałe +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 500 Hz. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT (TP3-TP4) dołączyć oscyloskop. Rezystor obciążenia o wartości $8\ \Omega$ (obciążenie zastępcze) jest już dołączony między wyprowadzenia TP3 i TP4 płytki.
4. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop jeszcze nie jest odkształcony.
5. Posługując się oscyloskopem (z ustawionym typem sygnału wejściowego AC – sygnał przemienny). Zmierzyć i zapisać w tablicy 7-3-1 przebiegi napięcia wejściowego V_{IN} i napięcia wyjściowego V_{OUT} .
6. Obliczyć maksymalną moc wyjściową P_{out} z poniższego wzoru:

$$P_{out} = \frac{V_{OUT(p-p)}^2}{8R_L} = \dots \rightarrow \text{gdzie } R_L = 8\ \Omega$$

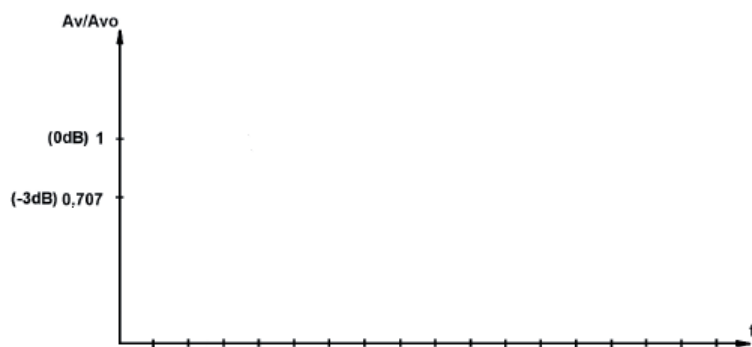
7. Regulując częstotliwość sygnału wejściowego w zakresie od 1 Hz do 20 kHz, ustawić kolejno częstotliwości podane w tablicy 7-3-2. Zmierzyć napięcia na wyjściu OUT1 odpowiadające tym częstotliwościom oraz obliczyć wzmocnienie Av/Avo , (gdzie Avo jest wartością wzmocnienia Av przy maksymalnym napięciu wyjściowym). Biorąc pod uwagę otrzymane dane, wypełnić tablicę 7-2-2.
8. Wykreślić i umieścić w tablicy 7-3-3 krzywe przenoszenia, używając do tego wyników z tablicy 7-2-2.

Przebieg	Vpp
	
	

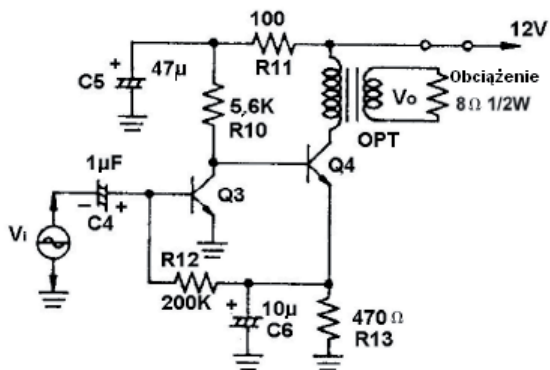
Tablica 7-3-1

Częstotliwość	1Hz	10Hz	100Hz	500Hz	1KHz	5KHz	10KHz	20kHz
Wzmocnienie								
Av/Avo								

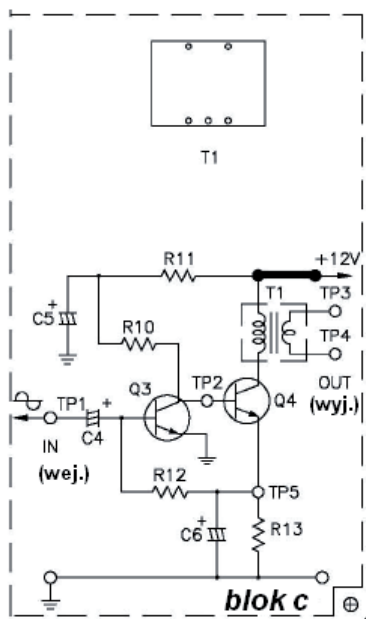
Tablica 7-3-2



Tablica 7-3-3



Rys. 7-3-3 Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym



Rys. 7-3-4 Schemat montażowy (moduł KL-25004 blok c)

PODSUMOWANIE

Wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym ma następujące własności:

1. Stosując transformator można łatwo uzyskać dopasowanie impedancji między stopniami.
2. Pasma przenoszenia wzmacniacza ze sprzężeniem transformatorowym jest wąskie.

Ćwiczenie 7-4 Wzmacniacz przeciwsoalny z podwójnym stopniem końcowym

PRZEDMIOT ĆWICZENIA

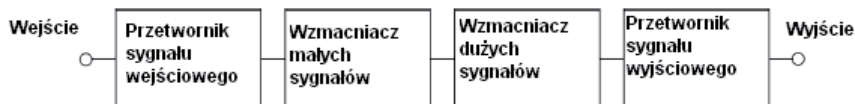
1. Poznanie zasady pracy wzmacniacza przeciwsoalnego z podwójnym stopniem końcowym.
2. Pomiar przebiegów wejściowych i wyjściowych dla wzmacniacza przeciwsoalnego z podwójnym stopniem końcowym.

DYSKUSJA

Wzmocnienie napięciowe

Na rys. 7-4-1 przedstawiono schemat blokowy układu wzmacniacza.

Wzmacniacz i wzmocnienie



Rys. 7-4-1 Schemat blokowy układu wzmacniacza

Przetwornik sygnału wejściowego: przetwarza wielkość nieelektryczną (głos ...) na sygnał elektryczny. Wzmacniacz małych sygnałów zapewnia wzmocnienie liniowe, adekwatne do sygnału wejściowego i zwiększa wzmocnienie napięciowe. Wzmacniacz dużych sygnałów zapewnia wzmocnienie mocy na wyjściu wzmacniacza małych sygnałów niezbędne do wystereowania stopnia końcowego dołączonego do jego wyjścia (przetwornika sygnału wyjściowego wzmacniacza). Przetwornik sygnału wyjściowego: transformuje sygnał pochodzący ze wzmacniacza dużych sygnałów na sygnał, który jest dopasowany do impedancji urządzenia dołączonego do wyjścia (np. głośnika).

Wzmacniacz dużych sygnałów jest też nazywany wzmacniaczem mocy lub prądu. Omówienia tego wzmacniacza koncentrują się zwykle na przedstawieniu tematów takich jak: sprawność mocy, uzyskiwanie maksymalnej mocy wyjściowej oraz problem dopasowania impedancji. Wzmocnienie wzmacniacza: Współczynnik wzmocnienia jest stosunkiem sygnału wyjściowego do sygnału wejściowego.

1) A_v (wzmocnienie napięciowe): stosunek napięcia wyjściowego do napięcia wejściowego.

$$A_v = V_o/V_i.$$

2) A_i (wzmocnienie prądowe): stosunek prądu wyjściowego do prądu wejściowego. $A_i = I_o/I_i$.

3) A_p (wzmocnienie mocy): stosunek mocy wyjściowej do mocy wejściowej.

$$A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{E_o I_o}{E_i I_i} = A_v \times A_i$$

Decybel: jednostki tej używa się do wyrażenia czułości ucha na bodziec dźwiękowy, wyrażonej w skali logarytmicznej i zapisywanej w skrócie jako dB.

1. 0 dB: odpowiada przyłożeniu napięcia 0,707 V, przy wydzielonej na obciążeniu 600 Ω mocy równej 1 mW.

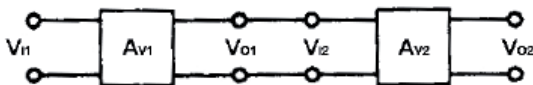
$$2. |A_p|_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_o}{P_i}$$

$$3. |A_v|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i}$$

$$4. |A_i|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{I_o}{I_i}$$

5. dBm: wartość wyrażona w dB, obliczana dla obciążenia o rezystancji 600 Ω , użytego jako obciążenie referencyjne (odniesienie), przy czym poziomem odniesienia jest moc 1 mW.

Wzmocnienie w dB układu kaskadowego



Rys. 7-4-2 Układ kaskadowy

1. Całkowite wzmocnienie układu kaskadowego

$$(1) A_{VT} = A_{V1} A_{V2} \dots$$

$$(4) |A_{VT}|_{dB} = |A_{V1}|_{dB} + |A_{V2}|_{dB} + \dots$$

$$(2) A_{IT} = A_{I1} A_{I2} \dots$$

$$(5) |A_{IT}|_{dB} = |A_{I2}|_{dB} + |A_{I1}|_{dB} + \dots$$

$$(3) A_{PT} = A_{P1} A_{P2} \dots$$

$$(6) |A_{PT}|_{dB} = |A_{P2}|_{dB} + |A_{P1}|_{dB} + \dots$$

2. Jeśli wzmocnienie wyrażone w dB jest dodatnie, to oznacza to, że układ ten funkcjonuje jako system wzmacniający; jeśli natomiast wartość wzmocnienia (w dB) jest ujemna, to oznacza, że układ ten funkcjonuje jako tłumik.

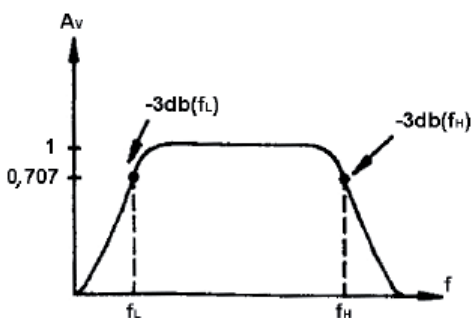
Na przykład: $\log 1 = 0$, $\log 2 = 0,3$, $\log 3 = 0,477$ $\log 10 = 1$

$$A_v = \frac{1}{2} \Rightarrow |AV|_{dB} = 20 \log x A_v = 20 \log \frac{1}{2} = 20 \log 1 - 20 \log 2 = 0 - 6 = -6 \text{ dB}$$

$$A_v = 0,707 = 20 \log 0,707 = -3 \text{ dB}$$

Pasmo przenoszenia wzmacniacza

Podczas, gdy wzmocnienie wzmacniacza w zakresie częstotliwości średnich jest stałe, to w zakresie częstotliwości dolnych i górnych gwałtownie spada. Na przykład, w przypadku wzmacniacza ze sprzężeniem RC na dolną częstotliwość pasma przenoszenia będzie miał wpływ kondensator sprzęgający C (gdyż $X_c = 1/(2\pi f C)$), i gdy $f \downarrow$, to $X_c \uparrow$, zatem wzmocnienie zmniejsza się). Na wzmocnienie to będzie miała wpływ pojemność wejściowa oraz pojemność przejścia tranzystorów połączona równolegle z obciążeniem. Stąd też, jeśli $f \uparrow$, to $X_c \downarrow$, czyli wzmocnienie będzie maleć. Na rys. 7-4-3. Charakterystykę przenoszenia (częstotliwościową) wzmacniacza przedstawiono na rys. 7-4-3.



Rys. 7-4-3 Pasmo przenoszenia wzmacniacza

Jeśli wzmocnienie wzmacniacza w zakresie częstotliwości średnich ustawimy na 1 (0 dB), to dwa punkty (F_L , F_H) znajdujące się na charakterystyce w miejscach odpowiadających wzmocnieniu 0,707 A_v są nazywane punktami połowy mocy.

F_L : jest nazywana dolną częstotliwością 3-decybelowego spadku lub dolną częstotliwością odcięcia.

F_H : jest nazywana górną częstotliwością 3-decybelowego spadku lub górną częstotliwością odcięcia.

BW (szerokość pasma): $F_H - F_L$.

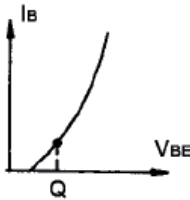
Wzmacniacz dużych sygnałów

Zależnie od sposobu polaryzacji klasyfikuje się wzmacniacze mocy na wzmacniacze klasy A, klasy B, klasy AB oraz klasy C. Ponadto, aby rozszerzyć możliwości sterowania, projektuje się wzmacniacze pracujące w układzie push-pull nazywane też wzmacniaczami przeciwobnymi. Poniżej przedstawiono porównanie własności tych czterech typów wzmacniaczy:

Klasa A

Położenie punktu pracy (Q)

1. Polaryzacja jest wybrana na liniowej części charakterystyki, przy czym wahania sygnału wejściowego mieszczą się też na części liniowej tej charakterystyki.
2. Punkt spoczynkowy umieszcza się na środku prostej obciążenia (prąd wyjściowy kolektora płynie przez cały okres).



Zalety

1. Do uzyskania pełnego wzmacnienia wystarczy jeden tranzystor.
2. Najmniejsze zniekształcenia.

Wady

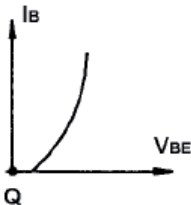
1. Sprawność jest najmniejsza (25%).
2. Można nie wyeliminować zniekształceń harmonicznnych.
3. Pobór bardzo dużej mocy przy przepływie prądu spoczynkowego.
4. Trudności przy dużych wzmacnieniach mocy.

Zastosowanie - do wzmacniania małych mocy.

Klasa B

Położenie punktu pracy (Q)

1. Polaryzacja na przecięciu liniowej części charakterystyki i obszaru odcięcia, przy czym wahania sygnału wejściowego mieszczą się w połowie na części liniowej tej charakterystyki, a połowie w obszarze odcięcia.
2. Punkt spoczynkowy umieszcza się na w miejscu odcięcia (prąd wyjściowy kolektora płynie przez cały półokres dodatni sygnału).



Zalety

1. Możliwość wyeliminowania zniekształceń w postaci parzystych harmonicznnych.
2. Możliwość osiągnięcia dużego wzmacnienia mocy.
3. Większa sprawność (78,5%).
4. Brak poboru mocy w warunkach spoczynkowych.

Wady

1. Wzmacnienie można uzyskać tylko w połączeniu komplementarnym.
2. Występują zniekształcenia związane z przejściem sygnału przez zero.

Zastosowanie - do wzmacniania dużych mocy.

Klasa AB

Położenie punktu pracy (Q)

Punkt zerowy znajduje się między punktem odcięcia, a prostą obciążenia.

Zalety

Możliwość zastąpienia klasy B wzmacnianiem w układzie przeciwobnym (push-pull) i możliwość eliminacji niekorzystnych zniekształceń związanych z przejściem sygnału przez zero (zniekształceń skrośnych).

Wady

1. Sprawność jest nieco mniejsza niż w klasie B (70%).
2. W warunkach spoczynkowych występuje niewielki przepływ prądu.

Zastosowanie - do wzmacniania dużych mocy.

Klasa C

Położenie punktu pracy (Q)

Punkt zerowy jest umieszczony poniżej punktu odcięcia.

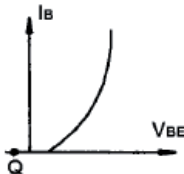
Zalety

Największa sprawność (większa od 78,5%).

Wady

Największe zniekształcenia.

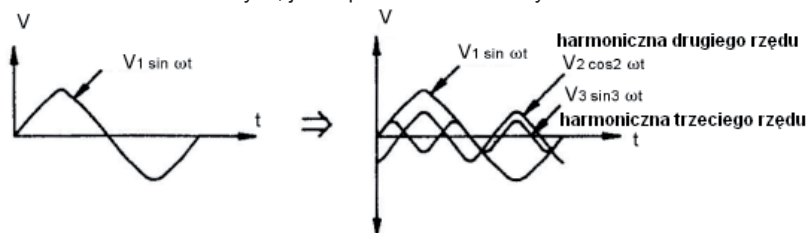
Zastosowanie - nadajnik z oscylatorem LC, generator harmonicznnych.



Zniekształcenia można sklasyfikować jako zniekształcenia nieliniowe, zniekształcenia częstotliwościowe i zniekształcenia opóźnienia (fazowe).

1. Zniekształcenia nieliniowe (nazywane też zniekształceniami amplitudowymi):

Punkt pracy wybiera się na części liniowej charakterystyki tak, że sygnał wyjściowy nie tylko odtwarza sygnał pierwotny, lecz też generuje składowe harmoniczne. Na przykład, doprowadzenie sygnału (pierwotnego) o częstotliwości 1 kHz spowoduje powstanie sygnałów harmonicznych o częstotliwościach 2 kHz i 3 kHz. Zniekształcenia te są nazywane też zniekształceniami harmonicznymi, jak to przedstawiono na rys. 7-4-4.



(a) Przebieg normalny

(b) Przebieg zawierający składowe harmoniczne

Rys. 7-4-4 Zniekształcenia harmoniczne

2. Zniekształcenia częstotliwościowe:

Zniekształcenia powodowane tym, że współczynnik wzmocnienia wzmacniacza jest inny dla różnych częstotliwości.

3. Zniekształcenia opóźnienia (zniekształcenia fazowe):

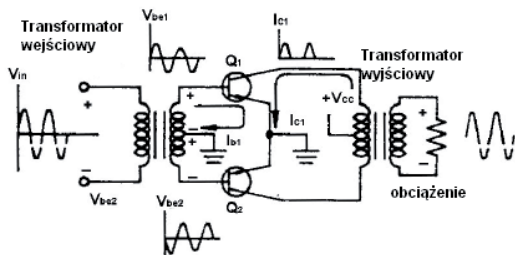
Zniekształcenia wprowadzane przez wzmacniacz, który ma inne kąty przesunięcia fazowego dla różnych częstotliwości.

Wzmacnianie w układzie przeciwsobnym (push-pull)

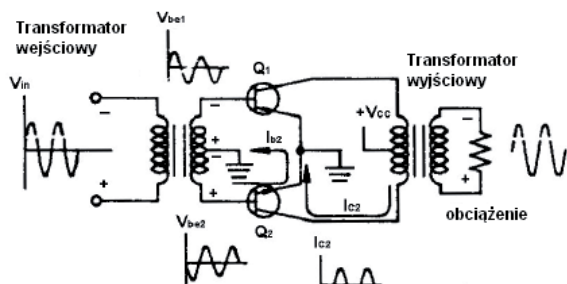
Jeśli zajdzie potrzeba, aby układ wzmacniacza miał większą mocą wyjściową niż układ konwencjonalny, to jego stopniu wyjściowym umieszcza się zwykle w dwa tranzystory pracujące w połączeniu przeciwsobnym (push-pull). Wzmacniacze przeciwsobne klasyfikuje się następnie jako wzmacniacze przeciwsobne z podwójnym stopniem końcowym i wzmacniacze przeciwsobne z pojedynczym stopniem.

Wzmacniacz przeciwsobny z podwójnym stopniem końcowym

Jak przedstawiono na rys. 7-4-5, podstawowy układ wzmacniacza przeciwsobnego składa się z transformatora wejściowego, transformatora wyjściowego i dwóch tranzystorów. Transformator wejściowy pracuje jako rozdzielacz faz, jak to przedstawiono na rys. 7-4-6. Rozdziela on sygnał wejściowy na dwa sygnały o równych amplitudach, lecz przeciwnych fazach.

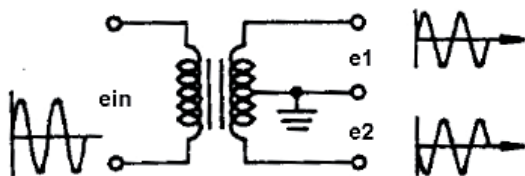


(a) Praca wzmacniacza przeciwobnego w dodatnim półokresie sygnału wejściowego



(b) Praca wzmacniacza przeciwobnego w ujemnym półokresie sygnału wejściowego

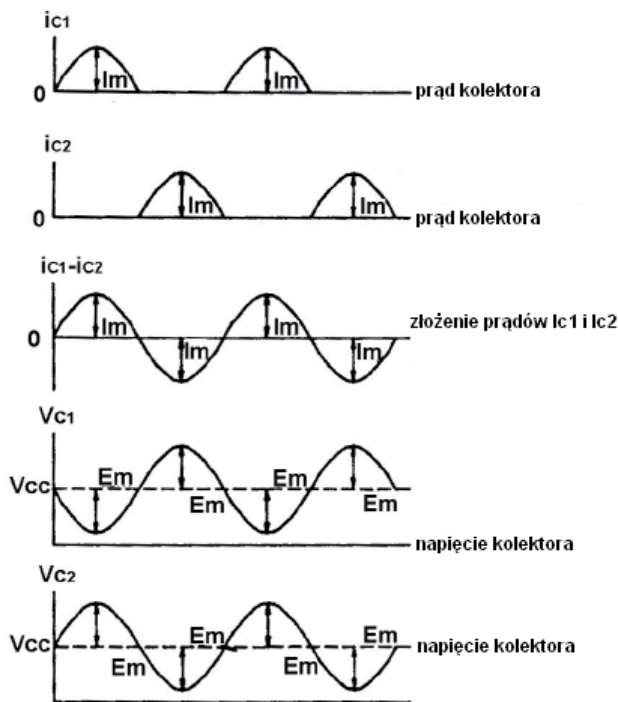
Rys. 7-4-5 Podstawowy układ wzmacniacza przeciwobnego z podwójnym stopniem końcowym



Rys. 7-4-6 Transformator w wyprowadzeniu w środku uzwojenia wtórnego pracujący jako rozdzielacz fazy

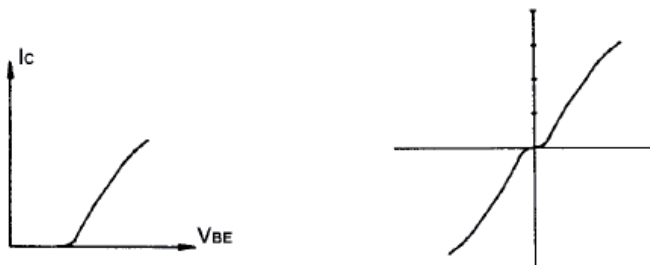
Dodatni półokres sygnału wejściowego jest wzmacniany przez tranzystor Q1 wzmacniacza przeciwobnego, jak to przedstawiono na rys. 7-4-5(a). Ujemny półokres tego sygnału jest wzmacniany przez tranzystor Q2, jak to przedstawiono na rys. 7-4-5(b). Prądy I_{c1} tranzystora Q1 i I_{c2} tranzystora Q2 są następnie składane przez transformator wyjściowy i choć dwa półokresy sygnału wejściowego są wzmacniane odpowiednio przez tranzystory Q1 i Q2, to sygnał dostarczany do obciążenia jest nadal kompletnym sygnałem przemiennym, który jest proporcjonalny do napięcia wejściowego V_{in} . Na rys. 7-4-7

przedstawiono przebiegi prądu i napięcia wyjściowego we wzmacniaczu przeciwsobnym, a na rys.7-4-8 - charakterystykę przejściową tranzystora.



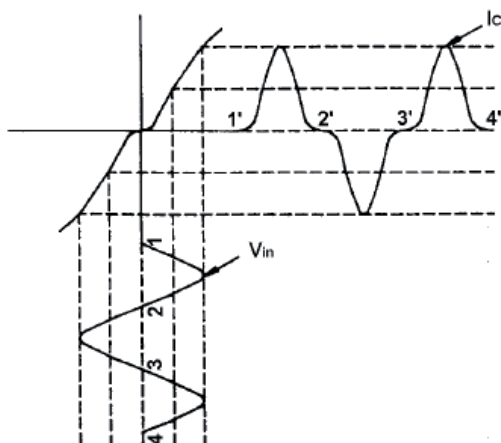
Rys. 7-4-7 Przebiegi napięć i prądów wyjściowych

Jeśli napięcie polaryzacji nie jest doprowadzane do tranzystora, lub jest ono zbyt małe, takie, że prąd $I_c \approx 0$, to tranzystor będzie pracował na kwadratowej części charakterystyki przejściowej. Ponieważ do tranzystorów Q1 i Q2 wzmacniacza przeciwsobnego z podwójnym stopniem wyjściowym pokazanego na rys. 7-4-5 nie są przyłożone oba napięcia polaryzujące, to złożona charakterystyka przejściowa wygląda jak na rys. 7-4-8(b). Gdy natomiast jest doprowadzony sygnał wejściowy, to w miejscu połączenia półokresów dodatnich i ujemnych będą pojawiać się zniekształcenia, nazywane też zniekształceniami skrośnymi (związanymi z przejściem sygnału przez zero).



(a) Charakterystyka przejściowa tranzystora

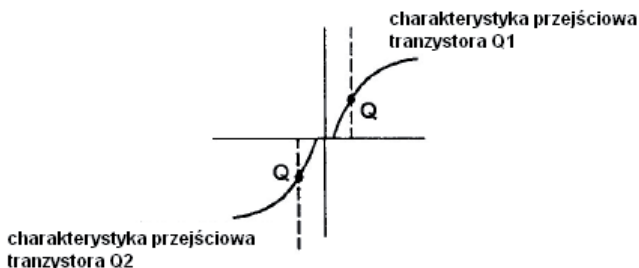
(b) Złożona charakterystyka przejściowa



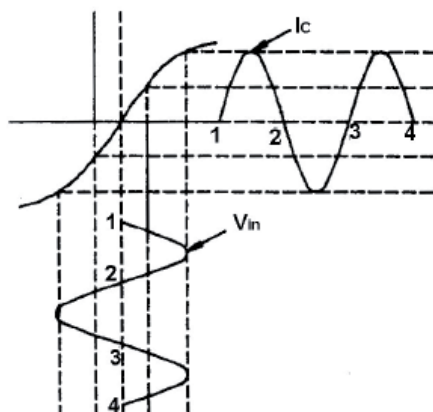
(c) Zniekształcenia skrośne powstające przy przetwarzaniu napięcia wejściowego V_{in} na prąd kolektora I_c

Rys. 7-4-8 Obraz zniekształceń skrośnych wytwarzanych przez wzmacniacz klasy B pracujący w układzie przeciwobnym (push-pull)

Aby zlikwidować zniekształcenia skrośne, doprowadza się do tranzystorów Q1 i Q2 napięcia takie, że tranzystory te pracują w zakresie prawie liniowym charakterystyki przejściowej, jak to przedstawiono na rys. 7-4-9. Tranzystory Q1 i Q2 są polaryzowane tak, że pracują w klasie AB; stąd zniekształcenia skrośne wzmacniacza przeciwobnego klasy B są wyeliminowane.



(a) Złożona krzywa przejściowa wynikająca z pracy tranzystorów Q1 i Q2 w układzie wzmacniacza przeciwsobnego (push-pull)

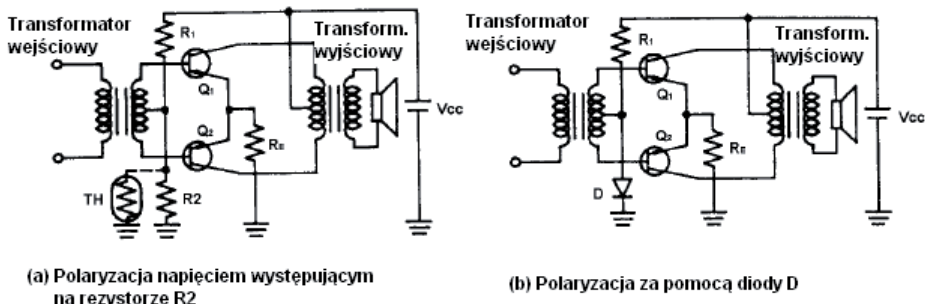


(b) Prąd kolektora I_c nie wykazuje zniekształceń zależnych od napięcia wejściowego V_i

Rys. 7-4-9 Praca wzmacniacza klasy AB w układzie przeciwsobnym

Do polaryzowania wzmacniacza przeciwsobnego z podwójnym stopniem końcowym używa się szeroko dwóch metod. Przedstawiono je na rys. 7-4-10. Układ przedstawiony na rys. 7-4-10(a) wykorzystuje do polaryzowania tranzystora spadek napięcia na rezystorze R2. Zadaniem termistora o ujemnym współczynniku temperaturowym dołączonego równolegle do rezystora R2 jest kompensowanie wzrostu temperatury. Jeśli temperatura tranzystorów Q1 i Q2 wzrasta, to wraz z temperaturą wzrasta też prąd I_c , co powoduje przesunięcie punktu pracy. W tym samym czasie rezystancja termistora zmniejsza się, co powoduje zmniejszenie stopnia spolaryzowania tranzystorów Q1 i Q2 w kierunku przewodzenia; w efekcie prąd zerowy (spoczynkowy) tranzystora nie rośnie wraz temperaturą.

Układ przedstawiony na rys. 7-4-10(b) wykorzystuje do spolaryzowania tranzystora spadek napięcia na diodzie. Ponieważ istnieje podobieństwo między diodą, która jest zbudowana ze złącza p-n i tranzystorami Q1 i Q2, w których złącza BE są też złączami p-n to, gdy temperatura rośnie, to napięcia $V_D \downarrow$, $V_{BE} \downarrow$, $V_C \downarrow$, w efekcie prąd I_C nie wzrasta. Ujemne prądowe sprzężenie zwrotne istniejące na rezystorze R_e chroni tranzystor przed uszkodzeniem w wyniku "cyklu termicznego" spowodowanego wzrostem temperatury i odpowiednim do niej wzrostem prądu I_C . (prąd $I_C \uparrow$, wydzielane ciepło \uparrow , prąd $I_C \uparrow$ wydzielane ciepło \uparrow ...).



Rys. 7-4-10 Wzmacniacz przeciwobny z podwójnym stopniem końcowym.

Zalety i wady wzmacniacza przeciwobnego ze podwójnym stopniem końcowym

Ze względu na to, że wzmacniacz przeciwobny z podwójnym stopniem końcowym wykorzystuje dwa transformatory, zatem w porównaniu ze wzmacniaczem konwencjonalnym jego pasmo przenoszenia jest węższe, a zniekształcenia większe. Większa też jest jego objętość i masa. Jednak przy mniejszym napięciu zasilania można z niego łatwiej uzyskać dużą moc wyjściową, stąd też wzmacniacz tego typu jest szeroko stosowany w przenośnych megafonach.

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

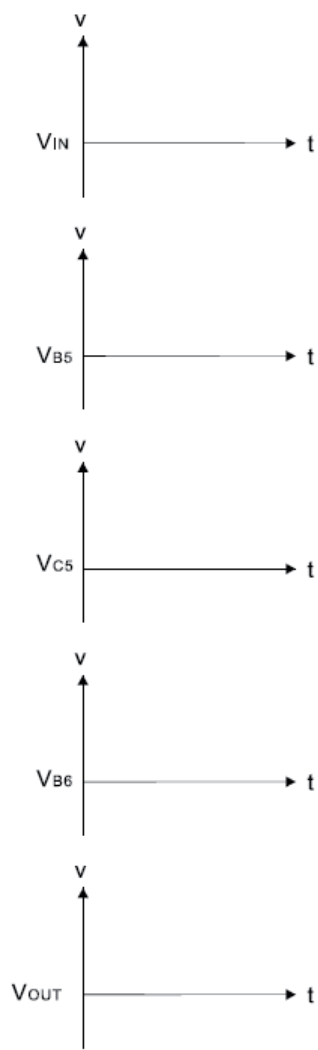
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25004 – moduł układu wzmacniacza wielostopniowego
3. Oscyloskop
4. Multimetr

PROCEDURA

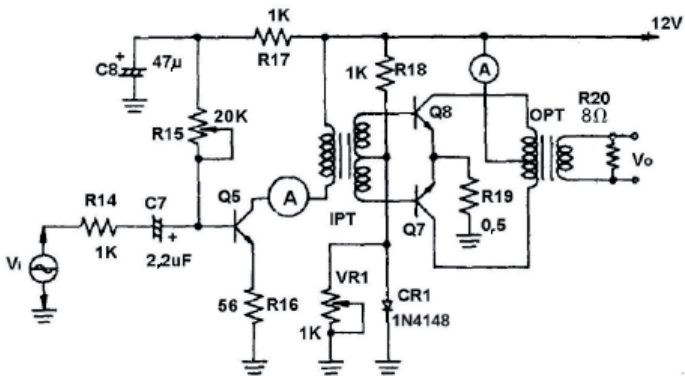
1. Ustawić moduł KL-25004 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Wykonać połączenia, posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 7-4-11 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 7-4-12. Dołączyć do układu potencjometr VR1, a do wyprowadzeń wyjściowych OUT równolegle rezystor $8 \Omega/1 W$ (R_{20}), używając do tego przewodów. Do modułu KL-25004 doprowadzić napięcie stałe $+12 V$ z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
2. Rezystor nastawny R_{15} ($20 k\Omega$) ustawić tak, aby zmierzone napięcie złącza kolektor-emiter tranzystora Q5 było równe $V_{CE} = V_{cc}/2 = 6 V$. W tym samym czasie obserwować zmiany prądu kolektora wskazywanego przez amperomierz.
3. Ustawić potencjometr VR1 ($1 k\Omega$) tak, aby prąd spoczynkowy wzmacniacza przeciwsobnego wskazywany przez amperomierz był równy $10 mA$.
4. Do wyprowadzeń wejściowych IN doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 sygnał sinusoidalny o częstotliwości $500 Hz$. Do wyprowadzeń wyjściowych OUT (TP8-TP9) dołączyć oscyloskop.
5. Stopniowo zwiększać amplitudę sygnału sinusoidalnego aż do momentu, gdy przebieg wyświetlany przez oscyloskop nie jest jeszcze odkształcony.
6. Posługując się oscyloskopem, zmierzyć i zapisać w tablicy 7-4-1 przebiegi napięć V_{IN} , V_{B5} , V_{C5} , V_{B6} i V_{OUT} .
7. Obliczyć maksymalną moc wyjściową P_{out} z poniższego wzoru:

$$P_{out} = \frac{V_{OUT(p-p)}^2}{8 R_L} = \dots, \quad \text{gdzie } R_L = 8 \Omega.$$

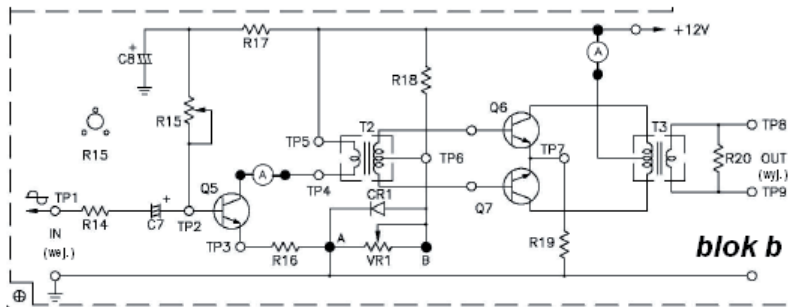
8. Ustawić potencjometr VR1 ($1 k\Omega$) na 0Ω , a następnie obserwować zniekształcenia skrośne generowane na przebiegu napięcia wyjściowego V_{OUT} .



Tablica 7-4-1



Rys. 7-4-11



Rys. 7-4 -12 Schemat montażowy (moduł KL-25004 blok b)

PODSUMOWANIE

Wzmacniacz przeciwobny z podwójnym stopniem końcowym ma następujące właściwości:

1. Łatwo dopasować do siebie impedancje poszczególnych stopni, ze względu na użycie transformatora jako elementu sprzęgającego.
2. Pasma przenoszenia wzmacniacza przeciwobnego z podwójnym stopniem końcowym jest wąskie.
3. Przy nieodpowiednim polaryzowaniu powstają zniekształcenia skośne.
4. Moc wyjściowa wzmacniacza tego typu jest dwukrotnie większa od mocy konwencjonalnego wzmacniacza ze sprzężeniem transformatorowym używającego tego samego zasilacza.



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