

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK

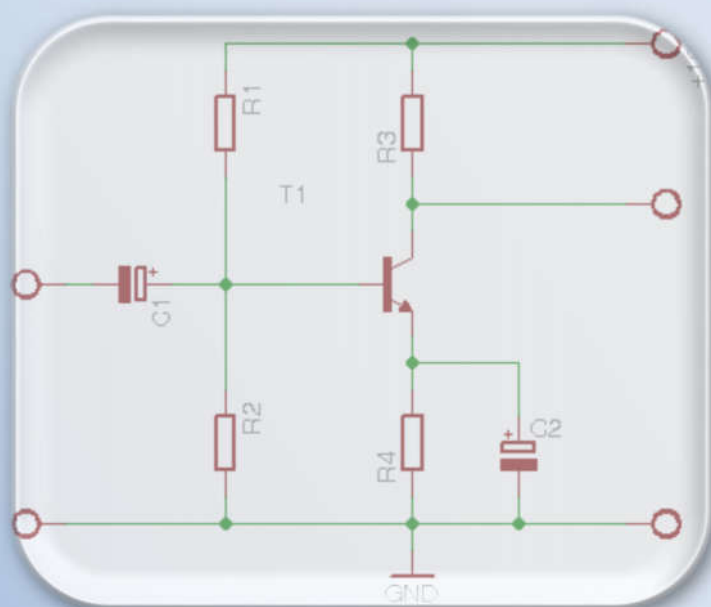
Pracownia Elektroniczna

ZESTAW 4

WZMACNIACZ

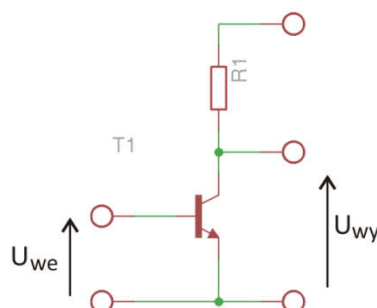
TRANZYSTOROWY MAŁEJ

CZĘSTOTLIWOŚCI



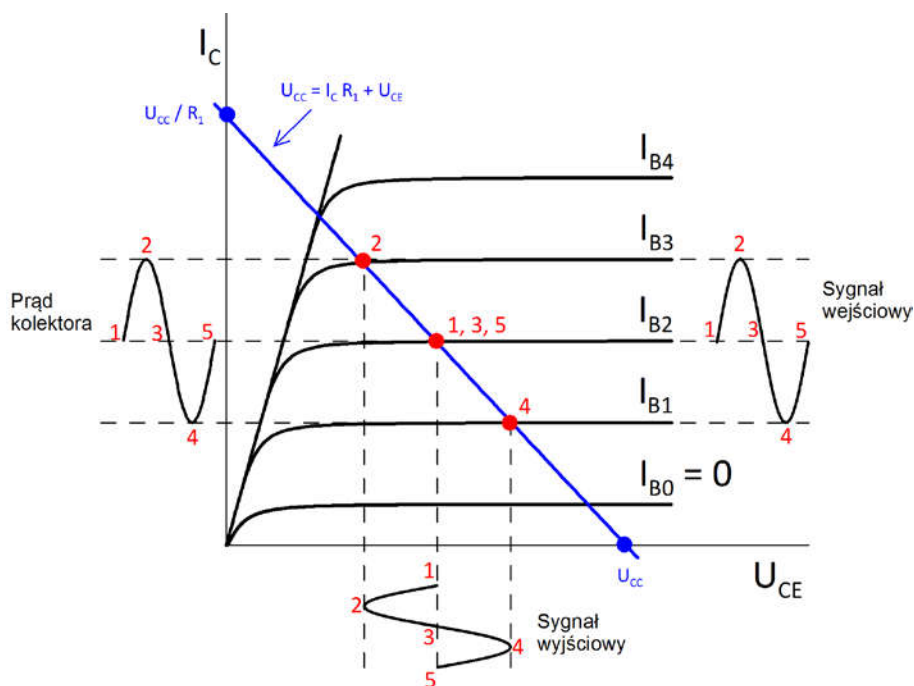
I. WSTĘP TEORETYCZNY

Zasadę pracy wzmacniacza tranzystorowego można przedstawić na przykładzie najprostszego układu przedstawionego na rysunku 1, składającego się z opornika kolektorowego R_1 oraz tranzystora T_1 , tworzących dzielnik napięcia.



Rys. 1. Wzmacniacz tranzystorowy pracujący w układzie ze wspólnym emiterem (WE).

W najprostszym modelu możemy przedstawić tranzystor jako układ ustalający natężenie prądu płynącego w obwodzie jego kolektora I_C , w zależności od natężenia prądu płynącego w obwodzie jego bazy I_B . Badając pracę tranzystora wykonuje się wykresy jego charakterystyk. W tym celu dla ustalonego prądu bazy I_B mierzona jest wartość prądu kolektora I_C , w zależności od napięcia U_{CE} między kolektorem i emiterem.



Rys. 2. Rodzina charakterystyk i prosta pracy tranzystora.

Przykład takich charakterystyk przedstawiony jest na rysunku 2. Jak widać z rysunku, dla ustalonego prądu bazy, ze wzrostem napięcia U_{CE} występuje początkowo wzrost wartości prądu kolektora I_C , a następnie dla wyższych wartości napięcia U_{CE} , wartość prądu kolektora słabo zależy od wartości tego napięcia.

Powtarzając powyższe pomiary dla większej wartości prądu bazy uzyskujemy krzywą charakterystyki przesuniętą w stronę wyższych wartości prądu kolektora. Dla wyższych wartości napięcia U_{CE} spełniona jest liniowa zależność prądu kolektora I_C od prądu bazy tranzystora I_B :

$$I_C = \beta I_B$$

gdzie β jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego tranzystora.

Najniższa krzywa z rodziny charakterystyk (rysunek 2) pokazuje, że w przypadku zerowego prądu bazy ($I_B = 0$), przez tranzystor płynie niewielki prąd, nazywany prądem zerowym I_{C0} . Prąd ten jest wynikiem wzmocnienia przez tranzystor prądu wstecznego, spolaryzowanego w kierunku zaporowym złącza baza-kolektor. Ze względu na jego małą wartość, w wielu zastosowaniach tranzystora prąd zerowy można pominąć.

Analizując pracę układu wzmacniacza, jako dzielnika napięcia możemy napisać równanie

$$U_{CC} = I_C R_1 + U_{CE}$$

(gdzie U_{CC} jest napięciem zasilania wzmacniacza).

Jest to tak zwana prosta pracy tranzystora w danym układzie wzmacniacza, opisująca możliwe punkty pracy tranzystora na jego charakterystyce.

Punkty przecięcia prostej pracy z osiami układu współrzędnych określają wartości:

- maksymalnego napięcia między kolektorem i emiterem tranzystora $U_{CEmax} = U_{CC}$, występującego gdy prąd kolektora $I_C = 0$,
- maksymalnego prądu jaki może popłynąć przez tranzystor $I_{Cmax} = U_{CC}/R_1$, gdy $U_{CE} = 0$.

Na rysunku 2 przedstawiona jest przykładowa prosta pracy tranzystora, wrysowana na tle jego charakterystyk.

Zakładamy, że w chwili początkowej wartość prądu bazy tranzystora wynosi I_{B2} . Odpowiada to określonym wartościom prądu kolektora I_C , oraz napięcia U_{CE} . Jest to punkt oznaczony nr 1 na prostej pracy tranzystora. Tak wybrana wartość składowej stałej prądu bazy jest konieczna aby móc wzmacniać sygnały zmienne. Złącze baza-emiter tranzystora wykazuje własności prostujące i bez obecności składowej stałej prądu bazy, wzmocnieniu uległa by tylko część sygnału wejściowego o dodatniej wartości napięcia.

Rozważmy sytuację, gdy do wejścia wzmacniacza podajemy sygnał o przebiegu sinusoidalnym. Wzrost napięcia sygnału wejściowego powoduje wzrost prądu bazy tranzystora do wartości I_{B3} i przesunięcie punktu pracy tranzystora, z punktu nr 1 do punktu nr 2. Odpowiada to wzrostowi prądu kolektora, zgodnie z relacją proporcjonalności $I_C = \beta I_B$. Wzrost prądu kolektora powoduje następnie zwiększenie spadku napięcia na oporniku kolektorowym R_1 . Przy stałej wartości napięcia U_{CC} , zasilającego wzmacniacz, oznacza to zmniejszenie napięcia na tranzystorze U_{CE} . Wartość napięcia wyjściowego wzmacniacza $U_{wy} = U_{CE}$ ulega więc zmniejszeniu.

Występujący następnie spadek napięcia wejściowego, powoduje przejście do punktu nr 3 na prostej pracy i powrót do początkowych wartości prądów i napięć - jak w punkcie nr 1.

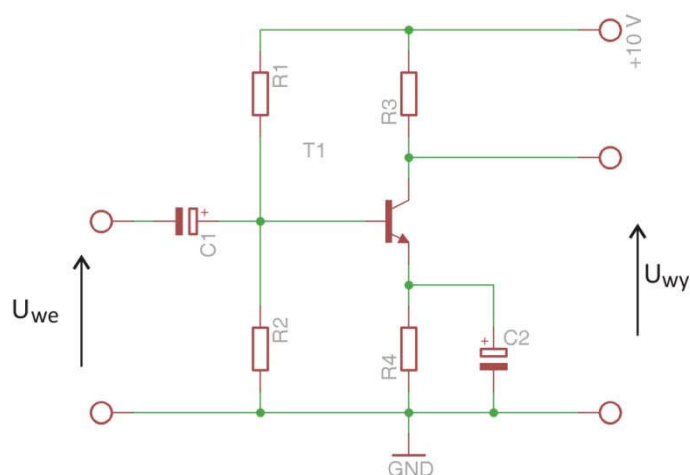
Dalszy spadek napięcia wejściowego (punkt nr 4 na prostej pracy) powoduje odpowiednio zmniejszenie prądu bazy do wartości I_{B1} oraz odpowiednie zmniejszenie wartości prądu kolektora I_C . Mniejsza wartość prądu kolektora odpowiada mniejszemu spadkowi napięcia na oporniku kolektorowym R_1 i w rezultacie zwiększeniu wartości napięcia wyjściowego wzmacniacza.

W punkcie nr 5 na prostej pracy występuje ponowny powrót do wartości początkowych wartości prądów i napięć.

Przeprowadzona analiza pracy układu pokazuje, że w tej konfiguracji wzmacniacza tranzystorowego, zmiany prądu kolektora I_C są zgodne w fazie z przebiegiem sygnału wejściowego, natomiast zmiany napięcia wyjściowego wzmacniacza, są przeciwne w fazie do zmian napięcia wejściowego.

1. OPIS BADANEGO UKŁADU

Na rysunku 3 przedstawiono schemat badanego układu wzmacniacza tranzystorowego małej częstotliwości, zbudowanego w układzie ze wspólnym emiterem WE, pracującego w klasie A.



Rys. 3. Wzmacniacz małej częstotliwości

Wartość prądu polaryzacji bazy tranzystora T_1 (określająca klasę wzmacniacza) jest ustalana poprzez dobór elementów dzielnika napięcia (oporniki R_1 oraz R_2). Kondensator C_1 separuje wzmacniacz (odcięcie składowej stałej) od źródła sygnału wejściowego.

Jeżeli w układzie wzmacniacza następują zmiany warunków jego pracy (napięcia zasilania, temperatury) to ulega zmianie wartość prądu bazy tranzystora. Powoduje to proporcjonalną zmianę prądu emitera. W przypadku wzrostu prądu bazy tranzystora wystąpi wzrost prądu emitera i odpowiedni wzrost spadku napięcia na oporniku emiterowym R_4 . Przy niezmienionej wartości napięcia bazy spowoduje to zmniejszenie napięcia na złączu baza-emiter i zmniejszenie prądu bazy, przeciwdziałające jego wcześniejszemu wzrostowi. Proces ten jest przykładem tzw. ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Podstawowym parametrem charakteryzującym wzmacniacz jest współczynnik wzmocnienia napięciowego, zdefiniowany jako stosunek napięcia sygnału wyjściowego do napięcia sygnału wejściowego:

$$k_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

Dla wzmacniacza zbudowanego w układzie ze wspólnym emiterem, z emiterowym sprzężeniem zwrotnym (patrz rysunek 3), współczynnik wzmocnienia napięciowego k_U można wyrazić w następujący sposób.

Rozpatrzmy początkowo sytuację, gdy kondensator C_2 jest odłączony.

Zmiana napięcia na bazie tranzystora ΔU_B powoduje analogiczną zmianę napięcia na emiterze tranzystora $\Delta U_E = \Delta U_B$. Spowoduje to zmianę prądu emitera $\Delta I_E = \Delta U_E / R_4 = \Delta U_B / R_4$ równą w przybliżeniu zmianie prądu kolektora $\Delta I_C = \Delta I_E$. Zmiana spadku napięcia na oporze kolektorowym R_3 wyniesie wtedy $\Delta U_C = -\Delta I_C R_C = -\Delta U_B \frac{R_3}{R_4}$. Znak minus związany jest z odwróceniem fazy sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego, występującym dla wzmacniacza w układzie ze wspólnym emiterem WE. Współczynnik wzmocnienia napięciowego wynosi więc

$$k_U = -R_3 / R_4$$

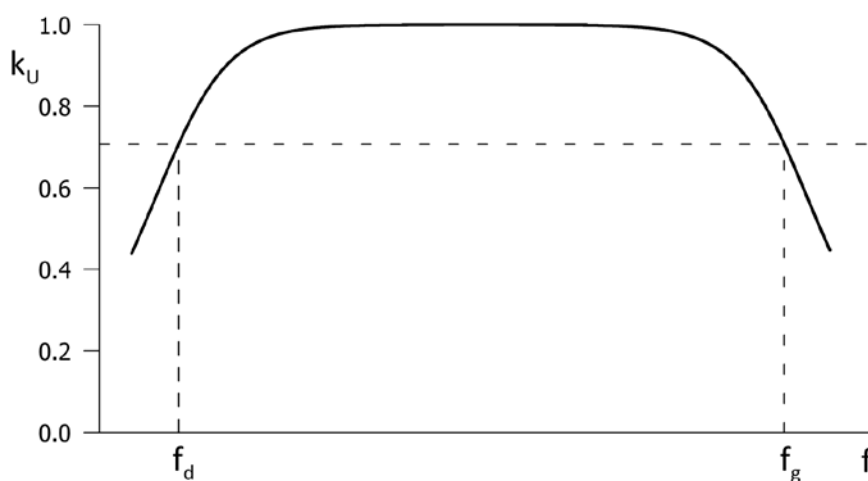
Zależy on od stosunku wartości oporów kolektorowego R_3 i emiterowego R_4 , nie zależy natomiast od parametrów samego tranzystora.

Działające w ten sposób ujemne sprzężenie zwrotne wpływa nie tylko na niepożądane zmiany prądu bazy, ale również na jego zmiany spowodowane użytecznym sygnałem wejściowym. Rozwiązaniem jest zastosowanie dużej pojemności emiterowej C_2 , która powoduje bocznikowanie oporności emiterowej R_E dla składowej zmiennej (użytecznej) sygnału wejściowego. Spełniony musi być tutaj warunek

$$\frac{1}{2\pi f C_2} \ll R_4$$

gdzie f - jest częstotliwością sygnału wejściowego.

Opisywany wzmacniacz wykazuje stałość wartości współczynnika wzmocnienia napięciowego w określonym zakresie częstotliwości sygnału wejściowego. Na rysunku 4 przedstawiono przykładową charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza, unormowaną do maksymalnej wartości wzmocnienia.



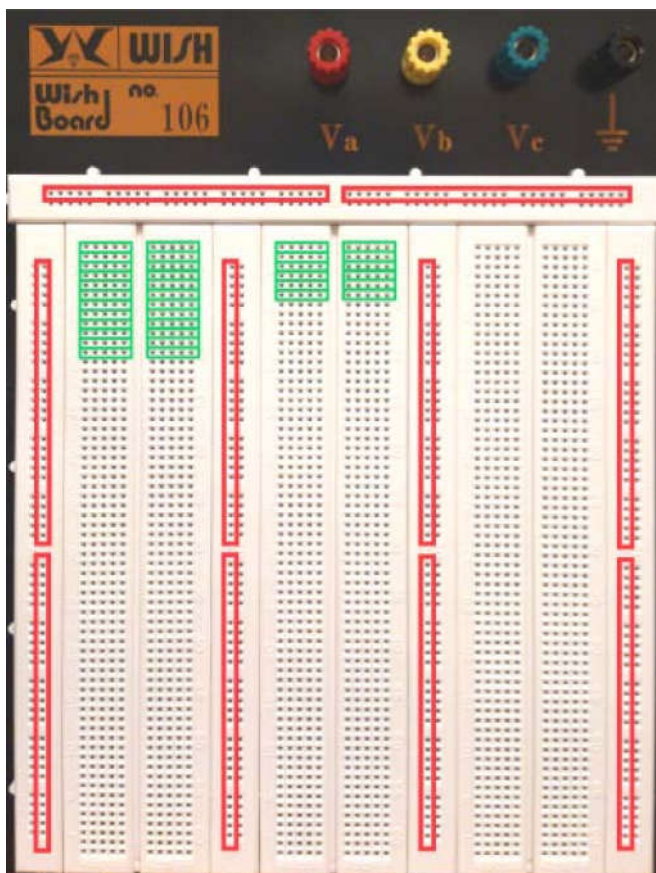
Rys. 4. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza

W zakresie niższych częstotliwości na wzmocnienie wzmacniacza mają wpływ szeregowo pojemności sprzęgające (eliminujące wpływ składowych stałych sygnału wejściowego na prąd polaryzujący tranzystor oraz odpływ części prądu polaryzacji do źródła sygnału wejściowego). Pojemności te wraz z opornością wejściową układu tworzą filtry górnoprzepustowe, tłumiące sygnały wejściowe o niższych częstotliwościach.

W zakresie wyższych częstotliwości na wzmocnienie układu mają wpływ własności tranzystora oraz pojemności pasożytnicze, zwierające sygnał użyteczny do masy. Zgodnie z rysunkiem 4 częstotliwości graniczne charakterystyki wzmacniacza: dolną - f_d oraz górną - f_g , definiujemy jako częstotliwości dla których współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza maleje do wartości $\frac{1}{\sqrt{2}}k_U$ (tłumienie - 3 dB) wzmocnienia maksymalnego. Pasmo przenoszenia wzmacniacza B rozciąga się w tym przypadku od dolnej - f_d do górnej - f_g częstotliwości granicznej:

$$B = f_g - f_d$$

II. POMIARY I ICH OPRACOWANIE

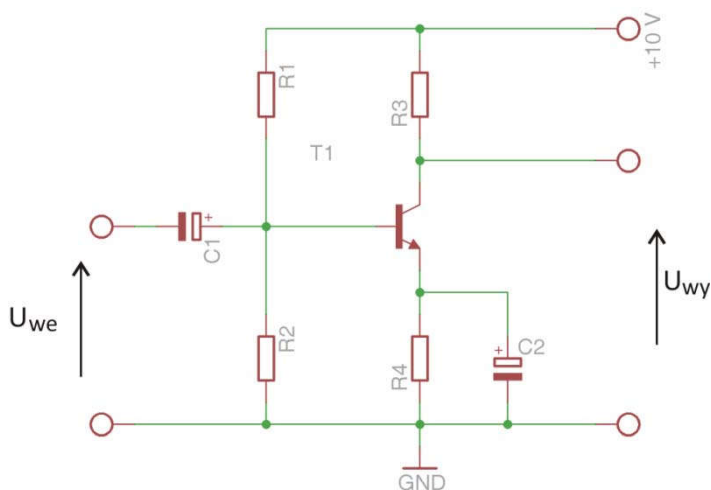


Stykowa płytki prototypowa posiada pod plastikową obudową miedziane paski tworzące ścieżki połączeń umożliwiające połączenia z innymi elementami układu.

Na rysunku obok zaznaczono sposób poprowadzenia ścieżek.

Połączenie kolumnowe (oznaczone na czerwono) często stosuje się do prowadzenia zasilania i masy układu.

- 1) Korzystając z zestawu elementów elektronicznych oraz płytki prototypowej zbudować układ przedstawiony na rysunku poniżej.



Wykaz elementów:

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

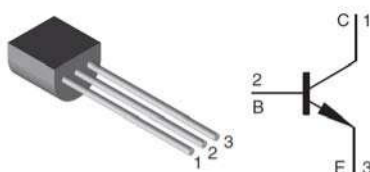
$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

$R_4 = 300 \Omega$

$C_1 = 20 \mu\text{F}$ (kondensator elektrolityczny)

$C_2 = 100 \mu\text{F}$ (kondensator elektrolityczny)

$T_1 = \text{tranzystor BC547}$



2) Wyznaczanie współczynnika wzmocnienia napięciowego.

Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 50$ mV. Do wejść oscyloskopu doprowadzić sygnał wejściowy i sygnał z wyjścia wzmacniacza. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza, zwracając uwagę na zależności fazowe między sygnałami. Zmierzyć wartość napięcia wyjściowego U_{wy} (napięcie międzyszczytowe) i wyznaczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego k_U wzmacniacza.

3) Postępując analogicznie jak w punkcie 2 wykonać pomiary współczynnika wzmocnienia napięciowego k_U , dla częstotliwości sygnału wejściowego 20 Hz, 100 Hz, 316 Hz, 1 kHz, 3.16 kHz, 10 kHz, 31.6 kHz, 100 kHz, 316 kHz, 1 MHz, 3.16 MHz

Wyniki pomiarów przedstawić w postaci tabeli (Tabela 1) oraz wykresu (częstotliwość odkładać w skali logarytmicznej).

Dla każdej wyznaczonej wartości współczynnika wzmocnienia napięciowego k_U , oszacować jej błąd Δk_U i przedstawić ją w tabeli oraz zaznaczyć ją na wykresie.

Tabela 1. Wartości napięcia wyjściowego - U_{wy} i współczynnika wzmocnienia napięciowego wzmacniacza małej częstotliwości - k_U , w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego - f .

f [kHz]	0.02	0.1	0.316	1.0	3.16	10.0	31.6	100.0	316.0	1000.0	3160.0
U_{wy} [V]											
$k_U = U_{wy} / U_{we}$											
Δk_U											

Stosując metodę graficzną, wyznaczyć częstotliwości graniczne charakterystyki wzmacniacza: dolną - f_d oraz górną - f_g . Wyznaczyć pasmo przenoszenia wzmacniacza:

$$B = f_g - f_d.$$

Oszacować błędy wyznaczonych wartości.

4) Zbadać działanie emiterowego sprzężenia zwrotnego. W tym celu odłączyć ze zbudowanego układu wzmacniacza pojemność emiterową C_2

Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 50$ mV. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza, zwracając uwagę na zależności fazowe między sygnałami. Zmierzyć wartość napięcia wyjściowego U_{wy} (napięcie międzyszczytowe) i wyznaczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego k_U wzmacniacza, w przypadku działania emiterowego sprzężenia zwrotnego.

Dla wyznaczonej wartości współczynnika wzmocnienia napięciowego k_U oszacować jej błąd i porównać ją z wartością obliczoną z zależności $k_U = -R_3 / R_4$, przyjmując $R_3 = 1$ k Ω , $R_4 = 300$ Ω oraz tolerancję elementów 10%.

Tolerancja - określa maksymalne dopuszczalne odchyłki, wyrażone w procentach wartości znamionowej.

5) Zmierzyć napięcia stałe w układzie wzmacniacza. W tym celu odłączyć sygnał wejściowy i zmierzyć napięcia stałe występujące na emiterze, bazie i kolektorze tranzystora oraz napięcie zasilania.

Pomiary te wykonać oscyloskopem przełączonym na pomiar napięć stałych (sprzężenie DC). Oszacować błędy zmierzonych napięć.

LITERATURA

1. P. Horowitz, W. Hill "Sztuka elektroniki" Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2006
2. U. Tietze, C. Schenk " Układy półprzewodnikowe" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2009
3. Ch. Platt "Elektronika - Od praktyki do teorii" Wydawnictwo Helion 2013
4. A. Bielski, R. Ciuryło "Podstawy metod opracowania pomiarów" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 2001