

Tranzystor bipolarny

1. Czas trwania: 6h

2. Cele ćwiczenia

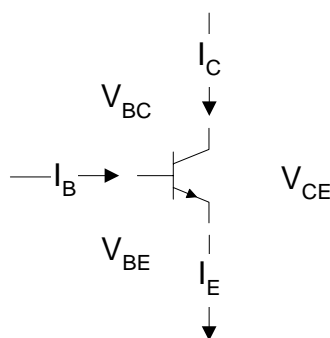
- Badanie własności podstawowych układów wykorzystujących tranzystor bipolarny.

3. Wymagana znajomość pojęć

- zasada działania tranzystora bipolarnego,
- obszary pracy tranzystora bipolarnego,
- zasada działania i zastosowanie wzmacniacza w układzie wspólnego emitera,
- wzmocnienie napięciowe.

4. Wstęp

Tranzystor jest półprzewodnikowym elementem czynnym mogącym spełniać rolę wzmacniacza prądowego. W zależności od konstrukcji wyróżnia się tranzystory bipolarne (bazujące na złączach pn): NPN i PNP oraz tranzystory polowe. Tranzystor bipolarny posiada końcówki: bazę (B), kolektor (C) i emiter (E).



Rys. 1. Oznaczenia prądów i napięć występujących w tranzystorze bipolarnym.

4.1 Punkt pracy tranzystora

Przez punkt pracy tranzystora rozumie się wartości prądów i napięć (I_C , U_{CE}), które występują na tranzystorze przy braku zewnętrznego sygnału sterującego. Zewnętrzny sygnał moduluje prąd i napięcie kolektora wokół punktu pracy. Przy analizie tranzystora należy odróżnić analizę punktu pracy (stałe wartości I_C , U_{CE}) od analizy zmiennoprądowej (zmiany sygnału I_C, U_{CE}):

$$i_c = \frac{dI_C(t)}{dt}, \quad u_{ce} = \frac{dU_{CE}(t)}{dt}$$

Tranzystor może znajdować się w jednym z trzech stanów: w odcięciu, w nasyceniu i w stanie aktywnym. W stanie odcięcia przez tranzystor (od kolektora do emitera) nie płynie prąd. W nasyceniu prąd kolektora jest stały i nie zależy od prądu bazy.

W obszarze aktywnym można przyjąć, że pracę tranzystora opisują równania:

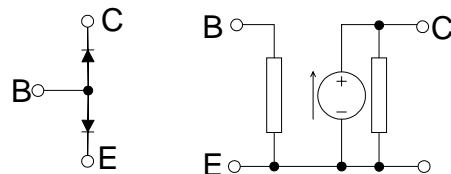
$$\begin{aligned}I_E &= I_C + I_B \\ I_C &= \beta \cdot I_B \\ I_E &= \alpha \cdot I_C\end{aligned}$$

Gdzie β (rzędu 100) jest wzmocnieniem prądowym tranzystora ($\alpha \approx 1$).

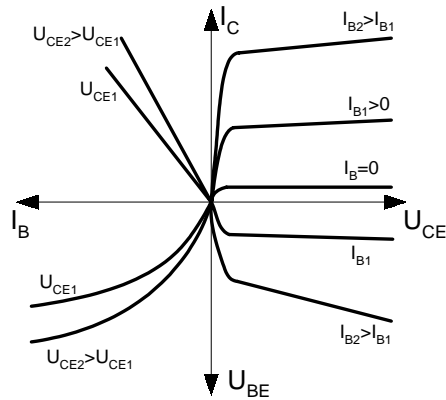
Wyróżnia się trzy podstawowe konfiguracje tranzystorowego wzmacniacza, są to układ wspólnego emitera (WE), wspólnej bazy (WB) i wspólnego kolektora (WC).

Najpopularniejszym jest układ WE. W układach wzmacniaczy efektywne wzmocnienie nie zależy od wzmocnienia tranzystora a jedynie od polaryzujących go elementów biernych.

Do analizy działania tranzystora w układzie wygodnym jest przyjęcie jednego z dwu modeli. W modelu wielko sygnałowym (wygodnym przy ustalaniu punktu pracy) tranzystor można interpretować jako dwie połączone diody. W obszarze aktywnym złącze BE przewodzi i odkłada się na nim napięcie 0.6V a złącze BC nie przewodzi. W modelu małosygnałowym tranzystor można traktować jako sterowane źródło prądowe, w którym prąd kolektora jest sterowany napięciem BE.



Rys. 2 Model wielko sygnałowy i uproszczony model małosygnałowy tranzystora NPN.



Rys. 3 Typowe charakterystyki tranzystora NPN w układzie WE.

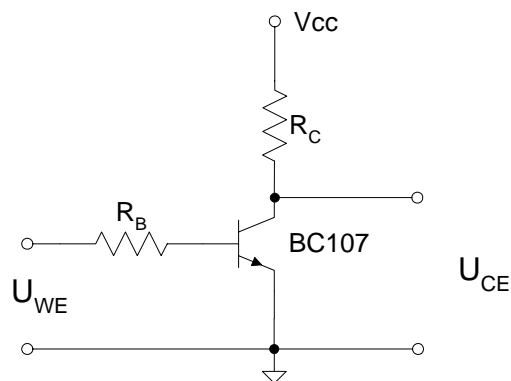
4.2 Analiza działania wzmacniacza tranzystorowego

W modelowym układzie przedstawionym na rys. 4 można zapisać dwa równania oczkowe: dla obwodu wejściowego (U_{WE} , R_B złącze BE) i obwodu wyjściowego (V_{CC} , R_C , $U_{CE}=U_{WY}$), oraz zależności między prądami I_B a I_C :

$$U_{WE} = I_B \cdot R_B + U_{BE}$$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{WY}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



Rys. 4 Modelowy wzmacniacz tranzystorowy

W wielu przypadkach napięcie U_{BE} można pominąć. Rozwiązując układ równań otrzymujemy:

$$U_{wy} = V_{CC} - \beta \frac{R_C}{R_B} \cdot U_{we}$$

Ponieważ jesteśmy zainteresowani badaniem zmian napięcia wyjściowego:

$$u_{wy} = \frac{dU_{wy}}{dt}$$

w funkcji zmian napięcia wejściowego otrzymujemy:

$$u_{wy} = -\beta \frac{R_C}{R_B} \cdot u_{we}$$

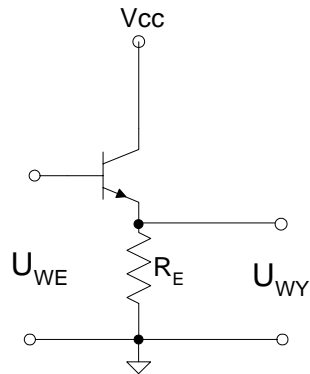
lub

$$K_U = \beta \frac{R_C}{R_B}, \quad K_{dB} = 20 \cdot \log \left(\beta \frac{R_C}{R_B} \right)$$

gdzie znak minus oznacza odwrócenie fazy sygnału a K_U wzmacnienie napięciowe (K_{dB} wzmacnienie w skali decybelowej) analizowanego wzmacniacza.

4.3 Analiza wtórnika emiterowego

Wtórnik emiterowy jest układem ze wspólnym kolektorem (WC), w który charakteryzuje się wzmacnieniem napięciowym $K_U=1$. Cechą charakterystyczną wtórnika jest transformacja impedancji. Wtórnik posiada dużą impedancję wejściową i małą impedancję wyjściową.



Rys. 5 Modelowy wtórnik emiterowy

Rozwiązując układ równań opisujących wtórnik:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_E = \frac{U_{WY}}{R_E}$$

$$U_{WY} = U_{WE}$$

otrzymujemy:

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta+1)} = (\beta+1) \frac{U_{WY}}{R_E} = (\beta+1) R_{WE}$$

albo:

$$R_{WE} = R_E \cdot (\beta + 1)$$

5. Zadania pomiarowe

5.1 Pomiar charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$ przy $U_{BE}=\text{const}$.

Zrealizować układ wzmacniacza w konfiguracji przedstawionej na rys. 4. Przyjąć $R_B=510\text{k}\Omega$, $R_C=1\text{k}\Omega$. Dla stałego napięcia U_{BE} zmieniając wartość napięcia zasilania V_{CC} dokonać pomiaru napięcia U_{CE} oraz prądu I_C . Powtórzyć pomiar dla $U_{WE}=1\text{V}$, $U_{WE}=4\text{V}$ i $U_{WE}=8\text{V}$. Wynik pomiaru zapisać w tabeli i przedstawić na wspólnym wykresie. Oszacować wartość współczynnika β tranzystora.

U_{CC} [V]	0	0.1	...	12
U_{CE} [V]				
I_C [mA]				

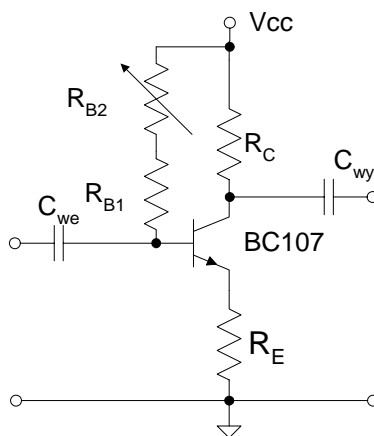
Tab. 1. pomiar charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$ dla $U_{WE}=1\text{V}$, 4V i 8V .

5.2. Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera.

5.2.1. Zrealizować układ wzmacniacza w konfiguracji wspólnego emitera przedstawiony na rys.

6. Przyjąć $V_{CC}=14\text{V}$, $R_C=4.7\text{k}\Omega$, $R_{B1}=1\text{M}\Omega$ i $R_{B2}=1\text{M}\Omega$, $R_E=1\text{k}\Omega$, $C_{we}=470\text{nF}$, $C_{wy}=470\text{nF}$.

Dobrać nastawę potencjometru R_{B2} tak, aby punkt pracy znajdował się na potencjale 6V . Podać na wejście wzmacniacza sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1kHz i zmieniając jego amplitudę wyznaczyć wzmocnienie. Wyniki zanotować w tabeli i przedstawić na wykresie. Wyznaczyć obszar napięć, dla których wzmacniacz pracuje liniowo.



Rys. 6. Wzmacniacz w układzie wspólnego emitera.

U_{we} [V]	0	0.1	...	8
U_{wy} [V]				

Tab. 2. Pomiar wzmocnienia wzmacniacza.

5.2.2. Wyznaczyć charakterystykę częstotliwościową (Bodego) wzmacniacza. Wartości pomiaru zanotować w tabeli i przedstawić na wykresie. Określić wielkość pasma przenoszenia wzmacniacza.

f [Hz]	0	100	...	500kHz
U _{we} [V]				
U _{wy} [V]				
K _{dB}				

Tab. 3. Pomiar pasma przenoszenia wzmacniacza.

6. Przyrządy

Konsolka analogowa, generator, miernik uniwersalny, oscyloskop.

7. Literatura

P.Horowitz, W.Hill, „Sztuka elektroniki”, WKŁ 1995, ISBN 83-206-1128-8, Tom 1, str.72-102.

R.Śledziwski, „Elektronika dla fizyków”, PWN 1982, ISBN 83-01-04076-9, str.36-49, 110-123.