



Ćwiczenie nr 7

Tranzystor bipolarny w układzie wzmacniacza małej częstotliwości

I. Zagadnienia do samodzielnego przygotowania

- Układy polaryzacji i stabilizacji punktu pracy tranzystora,
- podstawowy układ wzmacniacza WE,
- prosta pracy i wybór punktu pracy tranzystora,
- modele zastępcze tranzystora dla m.cz. i w.cz.,
- wzmocnienie i pasmo przenoszenia wzmacniacza,
- zniekształcenia nieliniowe wzmacniacza,
- obliczenie elementów innego wybranego układu polaryzacji stałoprądowej.

II. Program zajęć

1. Projekt elementów polaryzacji stałoprądowej wzmacniacza m.cz. w układzie WE.
2. Pomiar parametrów $[h]$ tranzystora za pomocą miernika (h-metru).
3. Montaż wzmacniacza i pomiar punktu pracy.
4. Pomiar wzmocnienia w paśmie częstotliwości.
5. Pomiar zniekształceń wzmacnianego sygnału.

III. Literatura

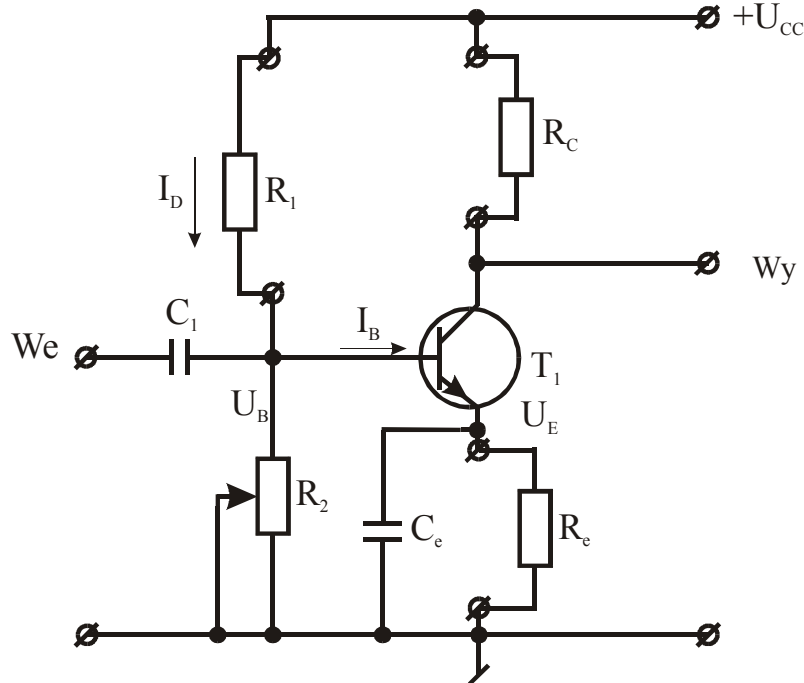
1. A. Guziński - Liniowe elektroniczne układy analogowe, WNT 1992
2. W. Golde - Wzmacniacze tranzystorowe
3. W. Marciniak - Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone

Wykonując pomiary **PRZESTRZEGAJ** przepisów BHP związanych z obsługą urządzeń elektrycznych.

Wiadomości wstępne

1. Wzmacniacz m.cz., WE

Typowy układ wzmacniacza tranzystorowego m.cz. w układzie WE przedstawiony jest na rysunku poniżej.



Jest to wzmacniacz ze sprzężeniem pojemnościowym, C_1 na wejściu oraz stabilizacją punktu pracy na rezystorze R_e . Dzielnik napięciowy R_1/R_2 zapewnia polaryzację bazy U_B , natomiast zmiany napięcia na rezystorze emiterowym R_e powodują zmianę potencjału emitera i powstanie ujemnego sprzężenia zwrotnego dla prądu stałego. Jeżeli prąd emitera wzrasta (np. na skutek wzrostu temperatury) o ΔI_E to efekt ujemnego sprzężenia można zobrazować następująco

$$I_B = \text{const.} \quad \Delta I_E \uparrow \rightarrow \Delta I_E \cdot R_e \uparrow \rightarrow U_E \uparrow \rightarrow U_{BE} \downarrow \rightarrow \Delta I_E \downarrow$$

Kondensator C_e zawiera rezystor R_e dla sygnałów zmiennych tak więc układ dla wzmacniacza m.cz. jest typu WE, bez rezystora emiterowego.

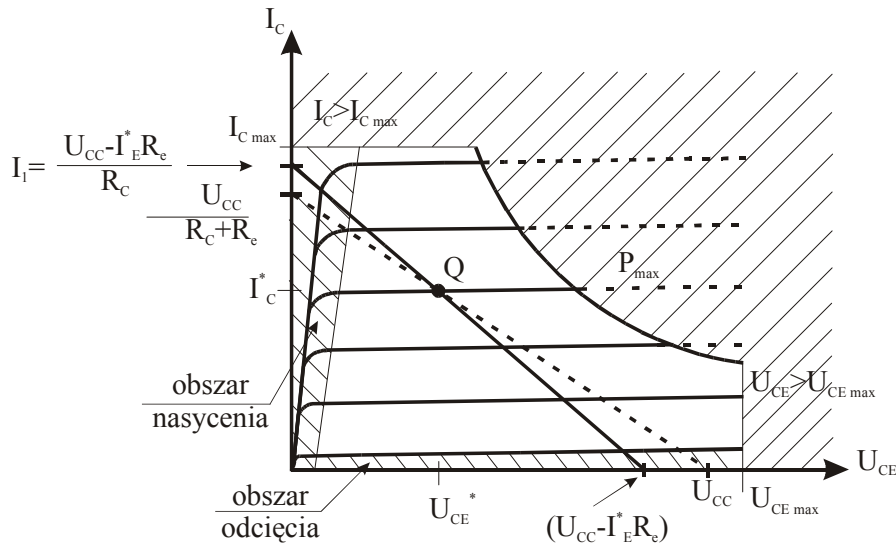
Wzmacnianie sygnałów wygodnie jest omawiać posługując się charakterystykami wyjściowymi tranzystora, na których nanosimy prostą pracy. Prosta pracy wynika z zadanej wartości obciążenia R_C oraz zasilania U_{CC} . Dla omawianego wzmacniacza prosta pracy dla prądu stałego dana jest równaniem (Wyjaśnienia dotyczące statycznej i dynamicznej prostej roboczej znajdują się w załączniku do instrukcji):

$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_e} U_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C + R_e}$$

natomiast do prądu zmiennego:

$$I_C = -\frac{1}{R_c} U_{CE} + \frac{U_{CC} - I_E \cdot R_e}{R_c}$$

Proste pracy powinny leżeć w obszarze dopuszczalnych napięć i prądów tranzystora, tak jak to przedstawiono na rysunku poniżej. Prosta pracy dla prądu stałego oznaczona jest linią przerywaną, prosta pracy dla prądu zmiennego linią ciągłą. Tą ostatnią wykorzystujemy w obliczeniach układu.



Jeżeli układ ma wzmacniać sygnał o dużej amplitudzie, to prąd kolektora w punkcie pracy Q powinien wynosić około 1/2 prądu maksymalnego w obwodzie wyjściowym, a w wyniku tego napięcie U_{CE} w punkcie pracy będzie wynosiło około 1/2 napięcia zasilania U_{CC} .

2. Przykład obliczania projektu układu wzmacniacza

1) wybieramy napięcie zasilania U_{CC}

2) wybieramy punkt pracy $U_{CE} = \frac{1}{2} U_{CC} \cdot 0,8$ $I_C^* = I_E^* \quad h_{21e} \gg 1$

Uwaga: Ważność tego założenia wyjaśni się w p. 7

$$\text{obliczamy} \quad R_e = \frac{0,2 \cdot U_{CC}}{I_C^*} \quad (1)$$

3) mierzymy h_{21e} w punkcie pracy i h_{11e}

wzmacniacz tego typu nie jest wzmacniaczem mocy, a wzmacniaczem napięciowym.

Dlatego wybieramy znacznie mniejszy I_C .

$$I_C^* = \frac{1}{2} I_1$$

$$I_C^* = \frac{1}{2} \frac{U_{CC} - I_C^* R_e}{R_c}$$

obliczamy
$$R_C = \frac{1}{2} \frac{U_{CC} - I_C^* R_e}{I_C^*} \quad (2)$$

4) prąd bazy w punkcie pracy

$$I_B^* = \frac{I_C^*}{h_{21e}} \quad (3)$$

5) prąd dzielnika rezystorowego polaryzacji bazy powinien być większy od prądu bazy (przynajmniej 10 razy) aby chwilowa zmiana bazy nie wpływała silnie na zmianę prądu dzielnika, a przez to na zmianę potencjału bazy U_B :

$$I_D = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} \geq 10 I_B^*$$

czyli
$$R_1 + R_2 \leq \frac{U_{CC}}{10 I_B^*} \quad (4)$$

6) potencjał bazy w punkcie pracy wynosi

$$U_B = U_{BE} + I_E^* R_e$$

zakładając $U_{BE} \approx 0,65 \text{ V}$ oraz $I_E \approx I_C^*$ dla $h_{21e} \gg 1$

otrzymujemy:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,65 \text{ V} + I_C^* \cdot R_e}{U_{CC}} \quad (5)$$

ponieważ $U_B \ll U_{CC}$ zależność (5) można uprościć

dla $R_2 \ll R_1$; $R_2 + R_1 \approx R_1$

$$R_2 = \frac{0,65 \text{ V} + I_C^* \cdot R_e}{U_{CC}} R_1 \quad (6)$$

Z zależności (4) i (6) obliczamy wartości R_1 , R_2 .

7) Sprawdzenie stabilności termicznej punktu pracy:

Ponieważ $U_B = \text{const.}$ oraz $U_{BE} + U_{Re} = U_B$

to $\Delta U_{BE} = -\Delta U_{Re} = -\Delta I_C^* R_e$

$$A I_C^* = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{R_e} \right|_{I_C^*} \cdot \frac{1}{I_C^*}$$

$$\frac{\Delta I_C^*}{I_C^*} = -\frac{\Delta U_{BE}}{R_e \frac{U_{Re}}{R_e}} = -\frac{\Delta U_{BE}}{U_{Re}} \quad (7)$$

Zakładając zmiany temperatury w granicach $0^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$, $\Delta T = 50 \text{ K}$ otrzymujemy

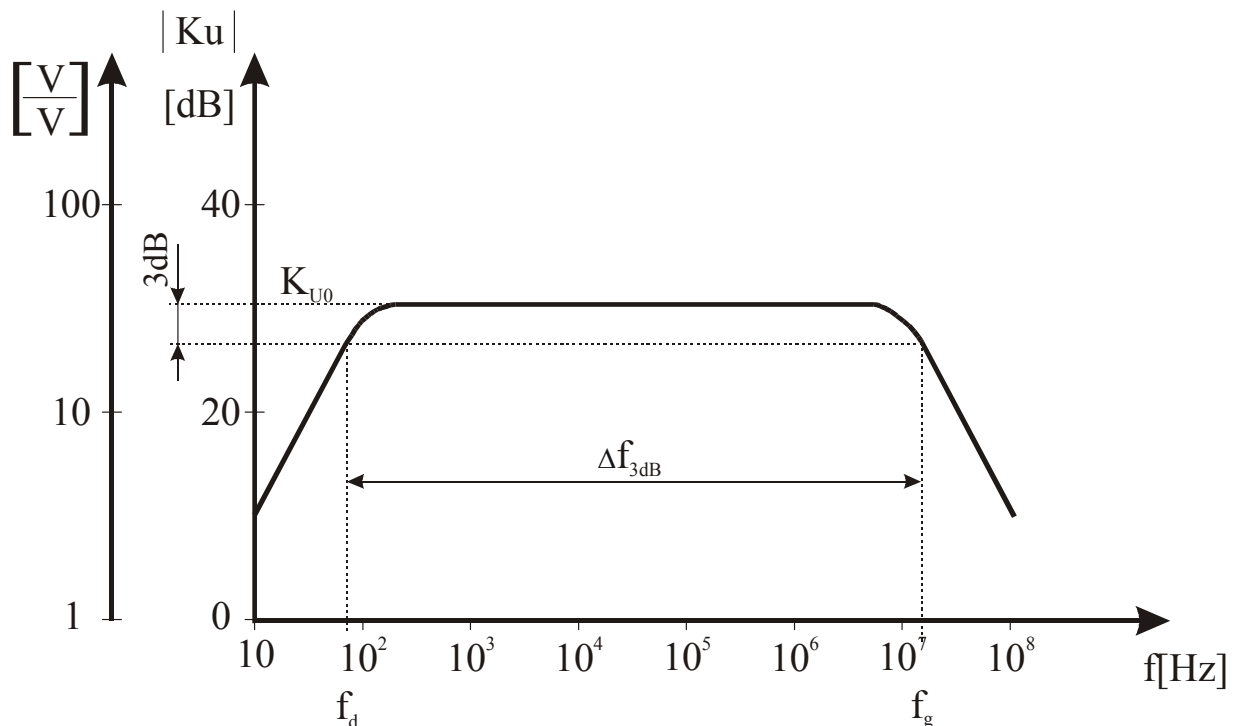
$$\Delta U_{BE} = 50 \text{ K} \cdot (-2 \text{ mV/K}) = -100 \text{ mV}$$

$$\text{jeżeli żądamy aby } \frac{\Delta I_C^*}{I_C^*} < 0,1 \quad \text{to } U_{Re} \geq 1 \text{ V}$$

Dla $U_{CC} = 5 \text{ V}$ stanowi to $0,2 U_{CC}$, dla wyższych U_{CC} odpowiednio mniej.

3. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza

Definiuje się 3-decybelowe pasmo przenoszenia częstotliwości, w zakresie których amplituda wzmocnienia nie spada więcej niż o 3 dB od wartości ustalonej K_{U0} .

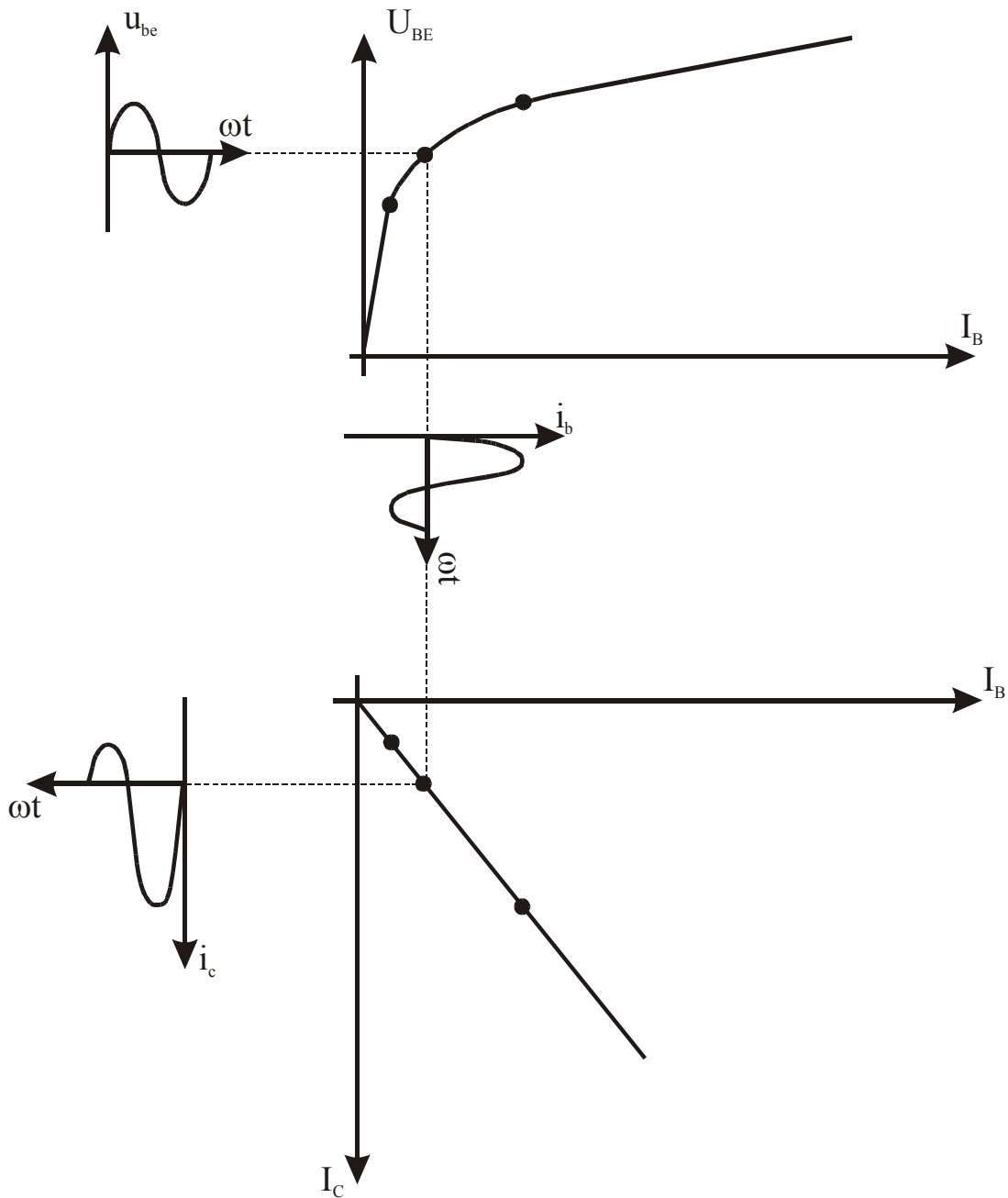


Spadek w zakresie dolnych częstotliwości wynika z istnienia dużych pojemności C_1 i C_e , natomiast w zakresie górnych częstotliwości następuje zwieranie sygnału na pojemnościach wewnętrznych tranzystora.

Dla wzmacniacza z jednym tranzystorem spadek wzmocnienia powinien wynosić 20 dB/dekadę.

4. Zniekształcenia nieliniowe

Tranzystor bipolarny jest przyrządem sterowanym prądowo. Charakterystyka przejściowa $I_C = f(I_B)$ w szerokim zakresie prądów jest liniowa. Natomiast przy sterowaniu napięciowym, na skutek silnej nieliniowości charakterystyki wejściowej $I_B = f(U_{BE})$, powstają zniekształcenia amplitudowe przenieszonego sygnału, co przedstawiono graficznie na rysunku poniżej.



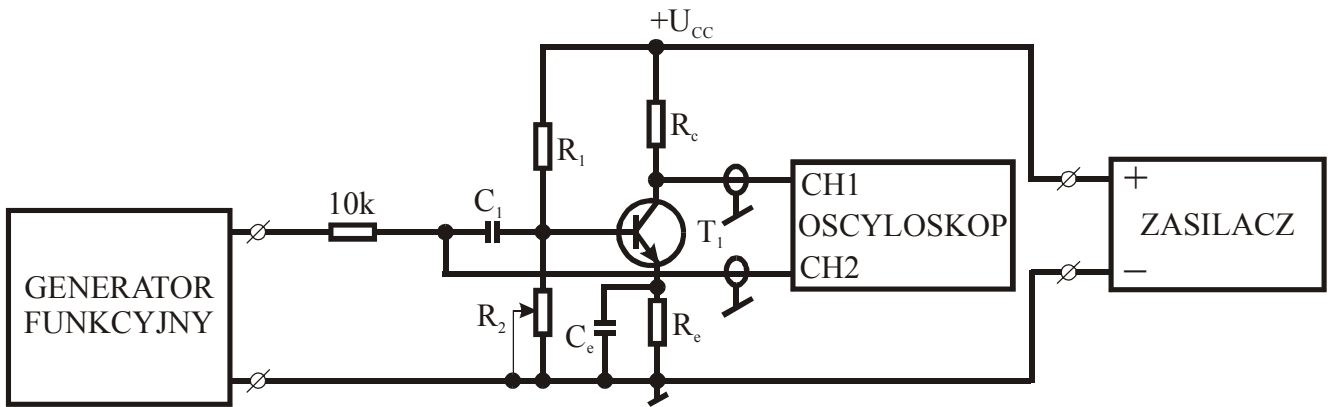
V. Pomiary

1. Tranzystor wymontować z płytki wzmacniacza i zmierzyć parametry h_{11e} , h_{21e} dla danego punktu pracy wzmacniacza. Przy dużych wartościach $h_{21e} > 100$ wygodniej przyjąć w obliczeniach prąd dzielnika $I_D \geq 20 I_B$.

2. Po wykonaniu obliczeń zmontować układ wzmacniacza. Przyjąć wartości rezystorów z szeregu E12.

3. Zmierzyć punkt pracy tranzystora posługując się woltomierzem cyfrowym (pomiar U_{Re} , U_{CE} , U_{Re}). Obliczyć wartości I_C^* . Ewentualnie skorygować potencjometrem R_2 ustawienie tak aby $U_{CE} \cong U_{Re}$.

4. Zmierzyć maksymalną amplitudę nieznieskształconego sygnału sinusoidalnego na wyjściu wzmacniacza (początek obcinania szczytów sinusoidy) w układzie pomiarowym przedstawionym poniżej



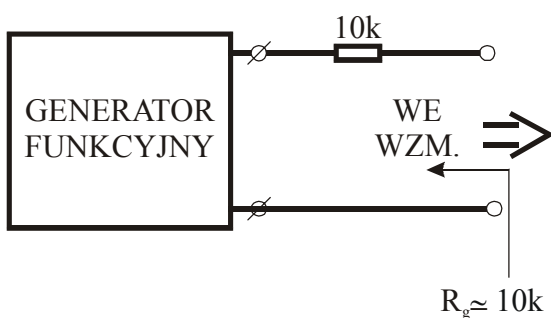
5. Zmierzyć wzmocnienie napięciowe K_u dla małych sygnałów i dla sygnału maksymalnego.

6. Zdjąć charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza $K_u=f(f)$. Wyniki pomiarów wykreślić w układzie współrzędnych log-log. Obliczyć wzmocnienie ze wzorów:

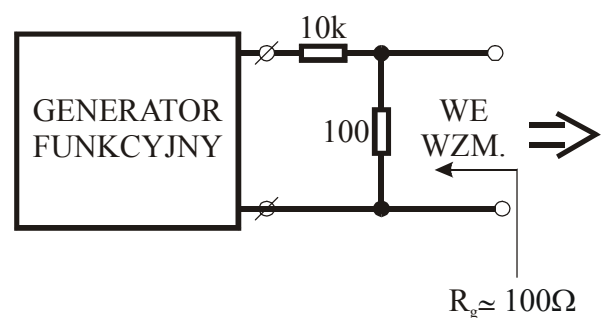
$$K_u = \frac{-h_{21e} R_{abc}}{R_{we}} \quad K_u \approx \frac{-h_{21e} R_c}{h_{11e}}$$

i porównać ze zmierzonym w zakresie średnich częstotliwości.

8. Zaobserwować różnice kształtu sygnału wyjściowego przy sterowaniu prądowym $i_b = i_{bm} \sin \omega t$ oraz napięciowym $u_b = u_{bm} \sin \omega t$. Zastosować źródła sygnału, zamodelowane jako prądowe i napięciowe, jak pokazano na rysunku poniżej.

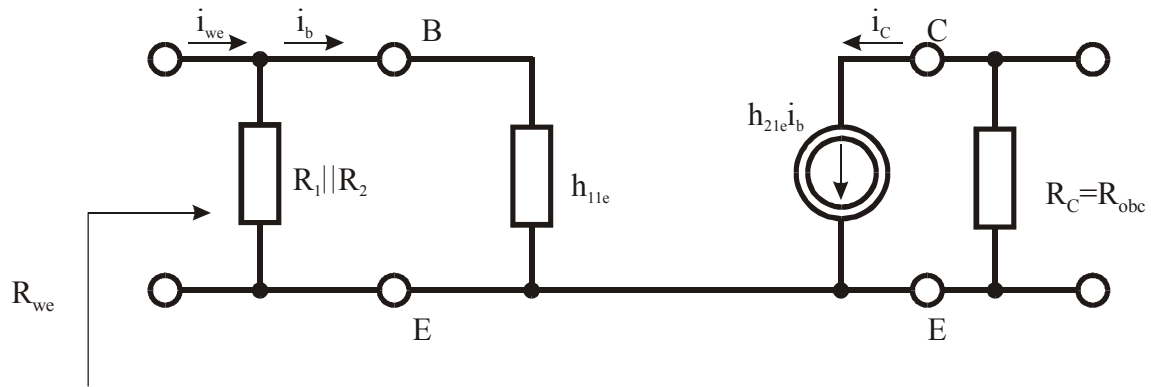


sterowanie prądowe: $R_g \gg R_{we \text{ wzm}}$



sterowanie napięciowe: $R_g \ll R_{we \text{ wzm}}$

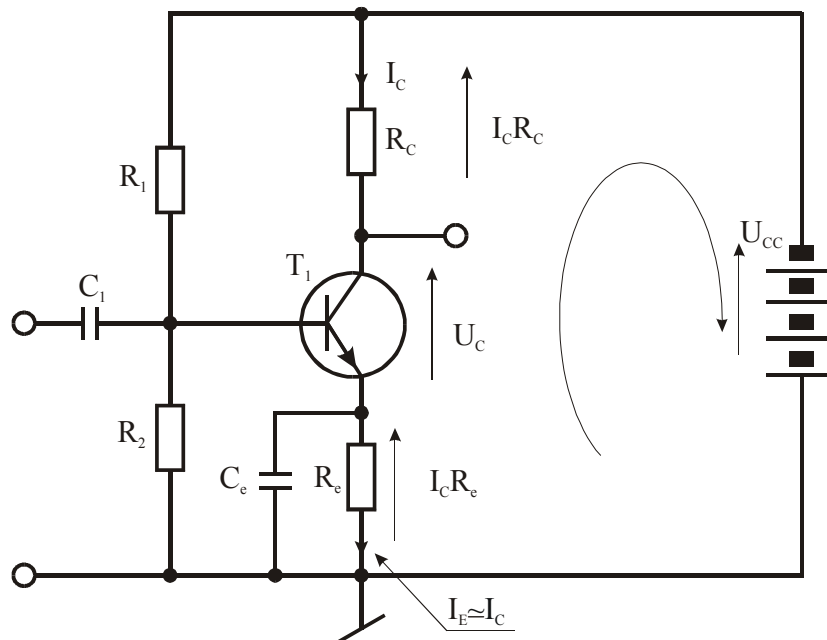
Rezystancja wejściowa wzmacniacza może być obliczona w przybliżeniu z następującego schematu zastępczego wzmacniacza.



9. Obliczenia, uwagi i wnioski zamieścić w sprawozdaniu.

DODATEK

Wyjaśnienia dotyczące statycznej i dynamicznej prostej roboczej



Dla prądu stałego w obwodzie kolektora spełnione musi być prawo Kirchhoffa tj.

$$I_C R_e + U_{CE} + I_C R_C - U_{CC} = 0$$

Stąd otrzymujemy:

$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_e} U_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C + R_e} \quad (1)$$

Jak z tego wynika w układzie współrzędnych $I_C = f(U_{CE})$ prąd kolektora odpowiadający danemu napięciu U_{CE} jest zbiorem punktów leżących na prostej określonej równaniem (1).

W przypadku składowej zmiennej, zależność pomiędzy wartościami chwilowymi $I_C = f(U_{CE})$ odpowiada zbiorowi punktów leżących na prostej o innym nachyleniu.

Dla otrzymania tej zależności zakładamy, iż pojemność C_e jest tak duża, że napięcie na tym kondensatorze pozostaje stałe, równe $I_C^* \cdot R_e$. Dla wartości chwilowych spełnione zatem musi być równanie Kirchhoffa w następującej postaci (przy uproszczeniu j.w. tj. $I_C \approx I_E$)

$$I_C^* R_e + \bar{U}_{CE} + \bar{I}_C \cdot R_C - U_{CC} = 0$$

gdzie \bar{U}_{CE} oraz \bar{I}_C są wartościami zmiennymi.

Stąd:

$$\bar{I}_C = -\frac{1}{R_C} \bar{U}_{CE} + \frac{U_{CC} - I_C^* R_e}{R_C} \quad (2)$$

Przyjęty wyżej sposób oznaczania składowej zmiennej często bywa pomijany w literaturze w wyniku czego równanie (2) zapisywane jest jak w p. IV niniejszej instrukcji.

Zadanie

Zakładając I_C^* (np. 1 mA, 2 mA, 5 mA), U_{CC} (np. 5 V, 8 V, 10 V, 12 V) oraz h_{21e} (np. 50, 100, 150, 200) obliczyć elementy polaryzacji stałoprądowej R_1 , R_C i R_e dla jednego z niżej wybranych układów wzmacniacza:

