

Rozwiązania zadań z 4 Kol. Elektroniki 26 czerwca 2015

Michał Urbański

UWAGA,

W przypadku znalezienia błędów proszę o maila.

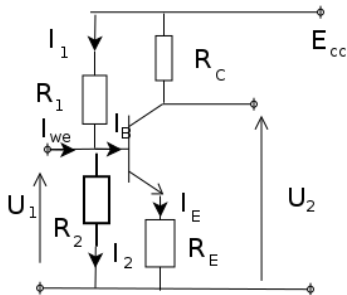
1 Zadanie 1.

Dla układu z rys. 1 wyznacz (wyprowadź wzory):

a) rezystor R_1 i R_2 tak aby punkt pracy wynosił $I_C = 1mA$ i rezystancja wejściowa wynosiła $R_{wej} = 10k\Omega$,

b) Wzmocnienie napięciowe dla składowych zmiennych napięcia $K_U = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}}$ (dla prądu wyjściowego bardzo małego) gdzie ΔU_{wy} i ΔU_{we} odpowiednio amplituda zamiany napięcia wyjściowego i wejściowego.

Dane: rezystancja wejściowa tranzystora w układzie wspólnego emitera $h_{11} = 0.5k\Omega$, $R_C = 5k\Omega$, $\beta = 100$, $R_E = 0,5k\Omega$, $E_{CC} = 12V$. Załóż, że prąd rezystora R_2 jest dużo większy od prądu bazy.



Rysunek 1: Układ wzmacniacza z tranzystorem bipolarnym. Oznaczono napięcia i prądy.

Rozwiązanie

Ad. a) Wyznaczenie rezystorów R_1 i R_2

W celu zapewnienia prądu kolektora $I_C = 1mA$ trzeba ustalić odpowiednie napięcie U_1 . Napięcie to wynosi $U_1 = U_{BE} + I_E R_E$ i jednocześnie równe jest $U_1 = R_2 I_2$. Czyli dla oczka utworzonego przez R_1 , tranzystor (złącze Baza -Emiter) i R_E mamy:

$$U_1 = I_2 R_2 = U_{BE} + I_E R_E \quad (1)$$

Założenia upraszczające i obliczenia składowych w równaniu (1):

1. Dla zerowego prądu wejściowego (przy takich założeniach wyznacza się punkt pracy). Prąd $I_1 = I_2 + I_B$, jeśli $I_B \ll I_2$ to $I_1 = I_2$. Wtedy z prawa Ohma $I_2 = \frac{E_{CC}}{R_1 + R_2}$.

2. Napięcie baza - emiter w przybliżeniu uznamy za stałe i wynoszące $U_{BE0} = 0,7V$. To założenie przyjmuje się jedynie do wyznaczania punktu pracy, czyli dla składowej stałej prądów.

3. Prąd emitera wyznaczmy na podstawie prądu kolektora: $I_C = \beta I_B$ i $I_E = I_C + I_B$, po podstawieniach $I_E = I_C \frac{\beta + 1}{\beta}$. Ponieważ β jest duże więc w przybliżeniu $I_E \approx I_C$

Dla składowej stałej napięcia wejściowego mamy więc

$$U_1 = U_{BE0} + I_C R_E = 0,7V + 1mA \cdot 0,5k\Omega = 1,2V \quad (2)$$

Równanie (1) przekształcamy do postaci:

$$E_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_1 \text{ czyli: } 1 + \frac{R_1}{R_2} = \frac{E_{CC}}{U_1} \quad (3)$$

Równanie to wyznacza związek pomiędzy R_1 i R_2 , co można zapisać:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{E_{CC}}{U_1} - 1 = 9 \quad (4)$$

Drugie równanie opisujące relację pomiędzy tymi rezystorami wynika z równania na rezystancję wejściową. Dla układu z rys. 1 przy założeniu, że $I_B \ll I_2$ rezystancja wejściowa R_{we} jest równoległym połączeniem R_1 i R_2 (co będzie uzasadnione poniżej):

$$\frac{1}{R_{we}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (5)$$

czyli podstawiając (3) do (5) mamy:

$$R_1 = R_{we} \frac{E_{CC}}{U_1} = 10k\Omega \frac{12V}{1,2V} = 100k\Omega \quad (6)$$

i dalej $R_2 = \frac{R_1}{\frac{E_{CC}}{U_1} - 1} = \frac{1}{9} 100k\Omega = 11,1k\Omega$

W celu uzasadnienia twierdzenia, że rezystancja wejściowa R_{we} równa jest rezystancji równolegle połączonych R_1 i R_2 , rozważmy prawa Kirchoffa dla obwodu wejściowego. Rezystancji wejściowa zdefiniowana jest dla małych przyrostów napięcia i prądu wejściowego:

$$R_{wej} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_{wej}} \quad (7)$$

Prąd wejściowy jest sumą prądów:

$$\Delta I_{wej} = -\Delta I_1 + \Delta I_B + \Delta I_2 \quad (8)$$

Ponieważ rezystancja wejściowa określona jest przez rozptył prądów więc wyznaczać będziemy konduktancję $R_{wej}^{-1} = \frac{\Delta I_{wej}}{\Delta U_1}$. W celu wyznaczenia składowych prądów zapiszemy prawa Kirchoffa:

$$U_1 = I_2 R_2 \quad (9)$$

$$E_{CC} = I_1 R_1 + U_1 \quad (10)$$

$$U_1 = U_{BE} + I_E R_E \quad (11)$$

dla przyrostów mamy więc:

$$\Delta I_2 = \frac{\Delta U_1}{R_2}$$

$$\Delta I_1 = -\frac{\Delta U_1}{R_1}$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E = (h_{11} + (1 + \beta) R_E) \Delta I_B$$

Wstawiamy powyższe do definicji konduktancji:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{wej}} &= \frac{-\Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_B}{\Delta U_1} = \frac{-\Delta I_1}{\Delta U_1} + \frac{\Delta I_2}{\Delta U_1} + \frac{\Delta I_B}{\Delta U_1} \\ &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{\Delta I_B}{(h_{11} + (1 + \beta) R_E) \Delta I_B} = \\ &\approx \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \end{aligned}$$

Ostatnie przybliżenie wynika z tego, że $I_B \ll I_2$ (i jednocześnie $I_B \ll I_1$) Rezystancja wyjściowa jest więc równa rezystancji równolegle połączonych oporników R_1 i R_2 .

Ad b) W celu wyznaczenia wzmocnienia napięciowego dla małych sygnałów należy wyznaczyć związek pomiędzy napięciem wyjściowym a wejściowym. Napięcie wejściowe steruje prądem kolektora poprzez sterowanie napięciem na złączu Z praw Kirchoffa mamy:

$$U_1 = U_{BE} + I_E R_E \quad (12)$$

$$E_C = U_2 + I_C R_C \quad (13)$$

Gdzie $I_E = (1 + \beta) I_B$ oraz $I_C = \beta I_B$.

Oczywiście prawdziwe jest też równanie $U_1 = I_2 R_2$, ale z tego równania można wyznaczyć prąd I_2 który nie steruje tranzystorem.

Ponieważ mamy wyznaczyć wzmocnienie dla składowych zmiennych więc trzeba zapisać te równania w postaci przyrostów (różniczek):

$$\Delta U_1 = \Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E \quad (14)$$

$$0 = \Delta U_2 + \Delta I_C R_C \quad (15)$$

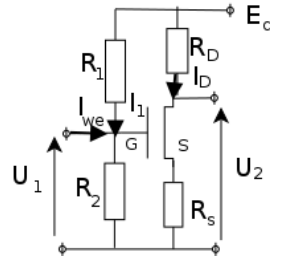
Ponieważ z definicji h_{11} mamy: $\Delta U_{BE} = h_{11} \Delta I_B$ więc mamy:

$$\begin{aligned} K_U &= \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{-\Delta I_C R_C}{\Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E} = \\ &= \frac{-\beta \Delta I_B R_C}{h_{11} \Delta I_B + \Delta(1 + \beta) I_B R_E} = -\frac{\beta R_C}{h_{11} + (1 + \beta) R_E} = \\ &= -\frac{R_C}{\frac{h_{11}}{\beta} + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E} \approx -\frac{R_C}{R_E} \quad (16) \end{aligned}$$

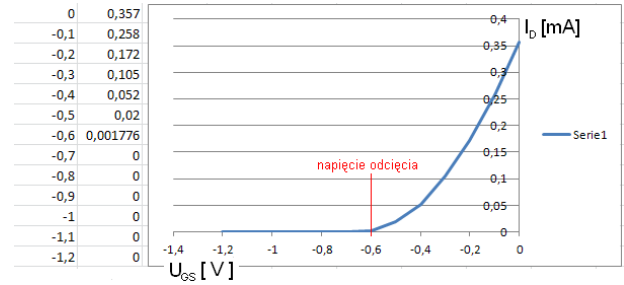
Dla danych zadania: $K_U = \frac{200 \cdot 5k\Omega}{0,5 \cdot 1k\Omega + 201 \cdot 0,5k\Omega} \approx -10$.

2 Zadanie 2.

Dla układu z tranzystorem polowym (rys. 2) wyznacz: wartości rezystorów R_1 , R_2 i R_S aby: prąd drenu wynosił $I_D = 0,357mA$, napięcie na tranzystorze $U_{SD} = 6V$, rezystancja wejściowa $R_w = 300k\Omega$, $R_D = 14k\Omega$, oraz moduł wzmocnienia napięciowego dla małych sygnałów zmiennych $|K_u| = \left| \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} \right| = 7$ Napięcie zasilania $E_C = 12V$. Charakterystyka tranzystora dana jest na rysunku. Narysuj na wykresie $I_D = f(U_{GS})$ metodę wyznaczania punktu pracy. Dla $I_D = 0,105mA$ wartość nachylenia charakterystyki i napięcie U_{GS} należy wyznaczyć z danych na rysunku.



Rysunek 2: Układ wzmacniacza FET



Charakterystyka przejściowa tranzystora 2N3370 $I_D = f(U_{GS})$

Rysunek 3: Charakterystyka tranzystora polowego

Rozwiązanie

Ponieważ dana jest wartość rezystancji R_D i współczynnik nachylenia charakterystyki (wyznaczony z podanej charakterystyki) $g = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \approx 1 \frac{mA}{V}$ więc wartość rezystora R_S można wyznaczyć na podstawie danego wzmocnienia napięciowego.

Wzmocnienie napięciowe dane jest wzorem (wyprowadzenie poniżej wzór (23)):

$$K_U = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{R_D}{\frac{1}{g} + R_S} \quad (17)$$

Po przekształceniu mamy:

$$R_S = \frac{R_D}{|K_U|} - \frac{1}{g} \quad (18)$$

podstawiając dane $R_S = \frac{14k\Omega}{7} - \frac{1}{1 \frac{mA}{V}} = 1k\Omega$

W celu wyprowadzenia wzoru (17) wypiszemy prawa Kirchoffa:

$$E_C = U_2 + I_D R_D \quad (19)$$

$$U_1 = U_{GS} + I_D R_S \quad (20)$$

Ponieważ wzmacnienie składowej zmiennej wyznaczamy jako stosunek przyrostów (różniczek) napięć więc zapiszemy ($\Delta E_C = 0$ - jest to napięcie stałe) :

$$0 = \Delta U_2 + \Delta I_D R_D \quad (21)$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_{GS} + \Delta I_D R_S \quad (22)$$

Wzmacnienie napięciowe wynosi więc:

$$\begin{aligned} K_U &= \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{-\Delta I_D R_D}{\Delta U_{GS} + \Delta I_D R_S} = \\ &= -\frac{R_D}{\frac{\Delta U_{GS}}{\Delta I_D} + R_S} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g} + R_S} \end{aligned} \quad (23)$$

(w przekształceniach podzielono licznik i mianownik przez ΔI_D).

W celu wyznaczenia rezystorów R_1 i R_2 należy ułożyć dwa równania, jedno wynika z warunku ustalenie punktu pracy a drugie z rezystancji wejściowej.

Punkt pracy ustalony jest wartością prądu drenu $I_D = 0,357mA$ co odpowiada napięciu bramka-źródło $U_{GS} = 0V$. Z praw Kirchhoffa (i prawa Ohma) dla obwodu wejściowego mamy:

$$E_C = I_1(R_1 + R_2) \quad (24)$$

$$U_1 = I_2 R_2 = I_1 R_2 \quad (25)$$

$$U_1 = U_{GS} + I_D R_S \quad (26)$$

W równaniu (26), wartości prądów i napięć wynikają danych podanych na charakterystyce przejściowej: $U_{GS} = 0V$ oraz $I_D = 0,357mA \approx 0,36mA$.

Prądy w rezystorach R_1 i R_2 są takie same ponieważ prąd bramki jest bardzo mały ($I_G = 0$), z tego samego powodu prąd źródła I_S jest równy prądowi drenu I_D .

Z równania (24) wyznaczamy I_1 , wstawiamy do (25) i następnie do (26):

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} E_C = U_{GS} + I_D R_D = 0V + 0,36mA \cdot 1k\Omega = 0,36V \quad (27)$$

Po przekształceniach:

$$\frac{R_1}{R_2} + 1 = \frac{E_C}{U_{GS} + I_D R_D} = \frac{12V}{0,36V} = \frac{1}{0,03} \quad (28)$$

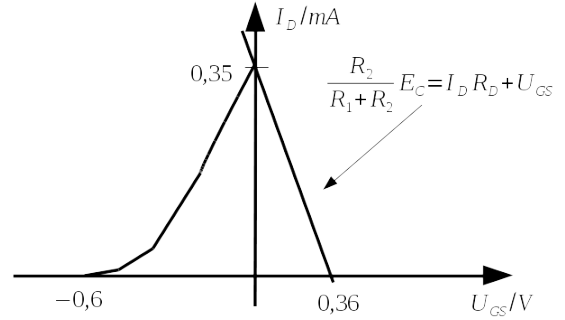
Równanie (27) można przedstawić na wykresie 4 pokazującym przecięcie prostej o równaniu (27) z charakterystyką przejściową tranzystora.

Rezystancja wejściowa równa jest rezystancji równolegle połączonych R_1 i R_2 (dowód jest analogiczny do przedstawionego dla wzmacniacza z tranzystorem bipolarnym z zadania poprzedniego) korzystając z równania (5) i wstawiając równanie (28) mamy:

$$R_1 = R_{we} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = R_{we} \frac{E_C}{U_{GS} + I_D R_D} = 30M\Omega$$

Rezystor R_2 wyliczmy z równania (28):

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{E_C}{U_{GS} + I_D R_D} - 1} \approx 0,9M\Omega \quad (29)$$



Rysunek 4: Wyznaczenie graficzne punktu pracy

UWAGA

Napięcie U_{SD} podane w zadaniu nie jest w tym rozwiązaniu wykorzystywane.