

Rozwiązania zadań z 4 Kol. Elektroniki 26 stycznia 2011

Michał Urbański

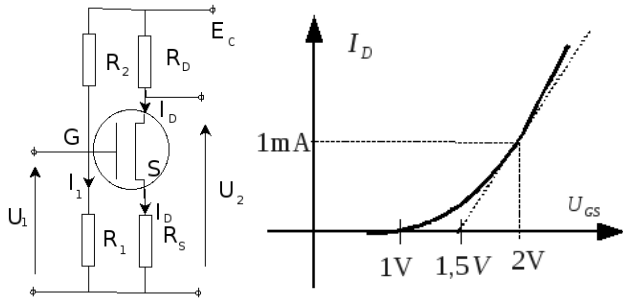
UWAGA,

W przypadku znalezienia błędów proszę o maila.

Zadanie 1.

Wyznacz stosunek rezystancji $\frac{R_2}{R_1}$, tak aby punkt pracy wynosił $I_D=1mA$, $U_{SD}=4V$, dane są:

$E_C = 9V$, $\frac{R_D}{R_S} = \gamma = 9$, oraz charakterystyka przejściowa $I_D = I_D(U_{GS})$, (dla $U_{GS} = 2V$ prąd $I_D = 1mA$).



Z praw Kirchoffa:

$$E_C = U_{SD} + I_D(R_S + R_D) \quad (1)$$

$$E_C = I_1(R_1 + R_2) \quad (2)$$

$$U_1 = I_1 R_1 \quad (3)$$

$$U_1 = U_{GS} + I_D R_S \quad (4)$$

Pierwsze dwa równania opisują obwód wyjściowy, dwa drugie obwód wejściowy. W równaniu (4), wartości prądów i napięć wynikają danych podanych na charakterystyce przejściowej: $U_{GS} = 2V$ oraz $I_D = 1mA$.

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 (1) wyznaczmy sumę rezystorów R_1 i R_2 :

$$R_S + R_D = \frac{E_C - U_{SD}}{I_D} = \frac{9V - 4V}{1mA} = 5k\Omega \quad (5)$$

Ponieważ dany jest stosunek $R_D/R_S = \gamma$ więc $R_D = \gamma R_S$, po wstawieniu do (1) mamy:

$$R_S = \frac{1}{1 + \gamma} \frac{E_C - U_{SD}}{I_D} = 0,5k\Omega \quad (6)$$

Na podstawie równań (2) i (3) mamy:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{E_C}{U_1} - 1 \quad (7)$$

gdzie U_1 dane jest równaniem (4), po wstawieniu do (4) R_S z równanie (6) mamy:

$$U_1 = U_{GS} + \frac{E_C - U_{SD}}{1 + \gamma} = 2,5V \quad (8)$$

Wstawiamy to do (7) otrzymujemy:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{E_C}{U_{GS} + \frac{E_C - U_{SD}}{1 + \gamma}} - 1 = 2,6 \quad (9)$$

UWAGA

Równania Kirchoffa (4) i (3) można zapisać w innej postaci:

$$E_C = I_1 + R_2 + U_{GS} + I_D R_S \quad (10)$$

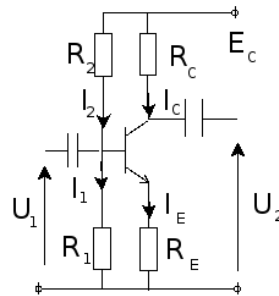
$$E_C = (R_1 + R_2) I_1 \quad (11)$$

wtedy:

$$E_C - U_{GS} - \frac{E_C - U_{SD}}{\gamma + 1} = E_C \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (12)$$

Zadanie 2.

Wyznacz wzmocnienie napięciowe układu na tranzystorze bipolarnych NPN, oraz rezystancję wejściową dla składowych zmiennych jeśli mamy dane: $R_C = 10k\Omega$, $R_E = 1k\Omega$, $R_1 = 20k\Omega$, wzmocnienie prądowe $\beta = 200$, punkt pracy $I_E = 0,5mA$, napięcie zasilania $E_C = 9V$, oraz rezystancja wejściowa tranzystora $h_{11} = 0,5k\Omega$. Załóż, że $R_2 \gg R_1$ (czyli prąd płynący w rezystorze R_2 jest dużo mniejszy niż w rezystorze R_1).



Z praw Kirchoffa:

$$U_1 = U_{BE} + I_E R_E \quad (13)$$

$$E_C = U_2 + I_C R_C \quad (14)$$

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

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

$$\Delta U_1 = \Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E \quad (15)$$

$$0 = \Delta U_2 + \Delta I_C R_C \quad (16)$$

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

$$K_U = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{-\Delta I_C R_C}{\Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E} = -\frac{\beta R_C}{h_{11} + (1 + \beta) R_E} \quad (17)$$

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

W celu wyznaczenia rezystancji wejściowej należy obliczyć dla przyrostów:

$$R_{wej} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_{wej}} \quad (18)$$

Dla przyrostów napięcia wejściowego mamy jak poprzednio:

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

Dla prądu wejściowego $\Delta I_{wej} = \Delta I_1 + \Delta I_B + \Delta I_2$, zgodnie z założeniami pomijamy ΔI_2 . Ponadto $\Delta I_1 = \frac{\Delta U_1}{R_1}$ tak więc:

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

Rezystancja wyjściowa jest więc równa rezystancji równolegle połączonych oporników R_1 i $R_B = h_{11} + (1 + \beta) R_E$. Z danych zadania $R_1 = 10k\Omega$ i $R_B = 1k\Omega + 201 \cdot 0,5k\Omega = 101k\Omega$, mamy więc $R_{wej} = \frac{R_1 R_B}{R_1 + R_B} = \frac{10k\Omega \cdot 101k\Omega}{10k\Omega + 101k\Omega} \approx 9,1k\Omega$.

UWAGA

Wzór dla rezystancji wejściowej można zapisać w postaci:

$$R_{wej} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_{wej}} = \frac{\Delta I_1 R_1}{\Delta I_1 + \Delta I_B} = \frac{R_1}{1 + \frac{\Delta I_B}{\Delta I_1}} \quad (19)$$

a ponieważ:

$$\Delta U_1 = (h_{11} + (1 + \beta) R_E) \Delta I_B = R_1 \Delta I_1$$

mamy więc:

$$\frac{\Delta I_B}{\Delta I_1} = \frac{R_1}{h_{11} + (1 + \beta) R_E}$$

po podstawieniu otrzymujemy:

$$\begin{aligned} R_{wej} &= \frac{R_1}{1 + \frac{R_1}{h_{11} + (1 + \beta) R_E}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{h_{11} + (1 + \beta) R_E}} \quad (20) \end{aligned}$$

Zadanie 3.

Wyznacz wzmocnienie napięciowe dla małych sygnałów zmiennych układu z zadania 1, jeśli charakterystyka tranzystora dana jest na rysunku,

oraz jeśli $R_D = 4,5k\Omega$, $R_S = 0,5k\Omega$

oraz punkt pracy wynosi $I_D = 1mA$ (styczna do krzywej $I(U_{GS})$ w punkcie $I = 1mA$ i $U_{GS} = 1V$ przecina oś napięcia w punkcie $U_{GS} = 1,5V$).

Schemat i charakterystyki tranzystora przedstawione są pod zadaniem 1. Z praw Kirchoffa mamy:

$$E_C = U_2 + I_D R_D \quad (21)$$

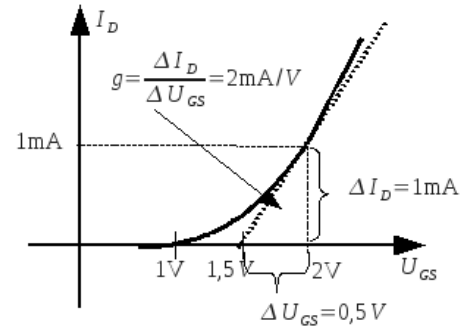
$$U_1 = U_{GS} + I_D R_S \quad (22)$$

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

$$0 = \Delta U_2 + \Delta I_D R_D \quad (23)$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_{GS} + \Delta I_D R_S \quad (24)$$

Nachylenie charakterystyki przejściowej tranzystora: $g = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{1mA}{0,5V} = 2mA/V$. Wyznaczenie współczynnika nachylenia g pokazuje poniższy rysunek:



Wzmocnienie wynosi więc:

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

(w przekształceniach podzielono licznik i mianownik przez ΔI_D).

Po podstawieniu danych:

$$K_U = -\frac{4,5k\Omega}{0,5V/mA + 0,5k\Omega} = -4,5 \quad (25)$$

Przy czym $V/mA = k\Omega$.