

WZMACNIACZ RÓŻNICOWY

Jeśli nie podano inaczej należy przyjąć że tranzystory pary różnicowej są identyczne, oraz że $r_{ce} = 1/h_{22} = \infty$, $h_{12} = 0$. Dla tranzystorów unipolarnych przyjąć, że $r_{ds} = \infty$.

1. [Odp.](#)

2. [Odp.](#)

<p>Oblicz napięcie całkowite $u_{wy}(t)$ jeśli $u_{we}(t) = 10\sin\omega t$ mV. Obliczenia przeprowadź dla średnich częstotliwości.</p>	<p>Oblicz napięcie $u_{wy}(t)$ jeśli $u_1(t) = 12\sin(\omega t)$ mV, $u_2(t) = 9\sin(\omega t + \pi/2)$ mV. Obliczenia przeprowadź w zakresie średnich częstotliwości.</p>

3. [Odp.](#)

4. [Odp.](#)

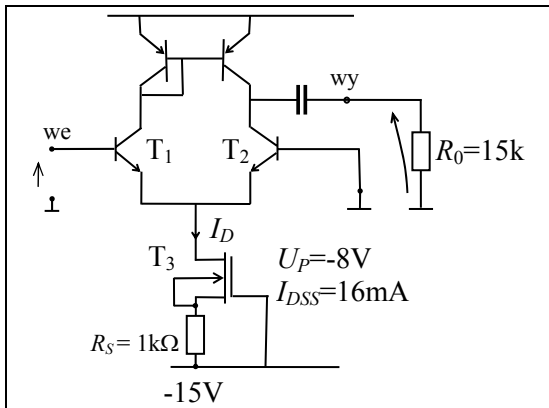
<p>Oblicz wzmocnienie w zakresie średnich częstotliwości.</p>	<p>Oblicz napięcie U_x korzystając z (a) zasady superpozycji (b) twierdzenia Thevenina (c) twierdzenia o bisekcji</p>

5. [Odp.](#)

6. [Odp.](#)

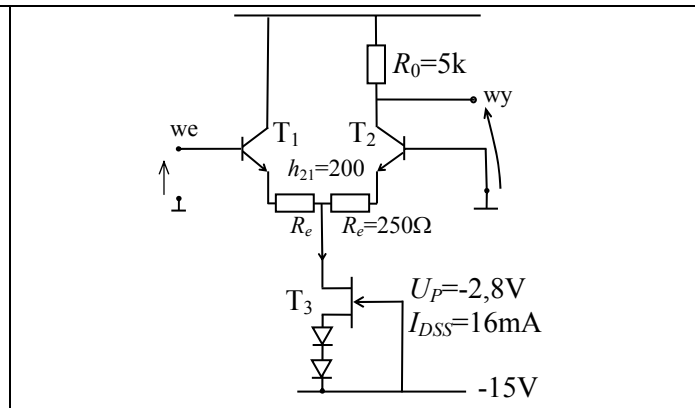
<p>Oblicz napięcie $u_{wy}(t)$ jeśli wejścia są sterowane ze źródeł napięciowych $e_1(t) = 22\sin(\omega t)$ mV, $e_2(t) = 11\sin(2\omega t)$ mV o impedancji wewnętrznej $R_{g1} = R_{g2} = 500 \Omega$. Obliczenia przeprowadź dla średnich częstotliwości.</p>	<p>Oblicz napięcie całkowite $u_{wy}(t)$ jeśli wzmacniacz jest sterowany ze źródła napięciowego $e(t) = 12\sin(\omega t)$ mV o impedancji wewnętrznej $R_g = R_B = 1k\Omega$.</p>

7. Odp.



Oblicz wzmacnienie k_u układu w zakresie średnich częstotliwości.

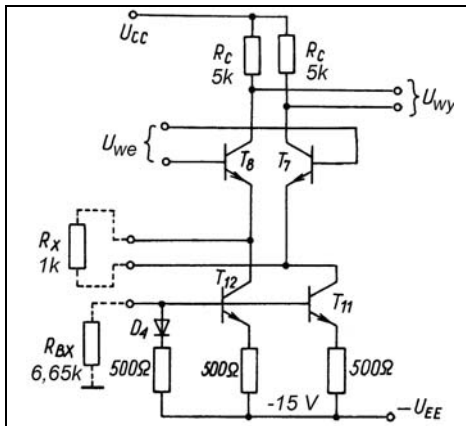
8. Odp.



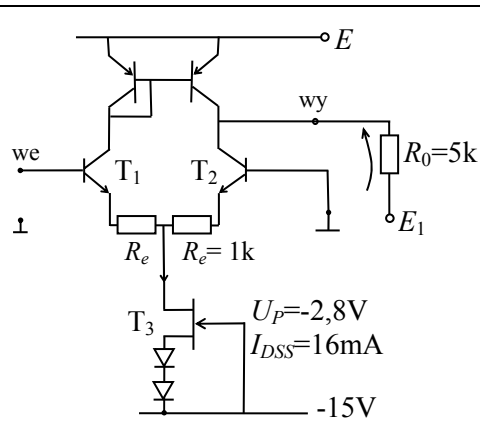
Oblicz wzmacnienie k_u i określ maksymalną amplitudę napięcia wejściowego u_{wemax} dla pracy liniowej.

9. Odp.

10. Odp.

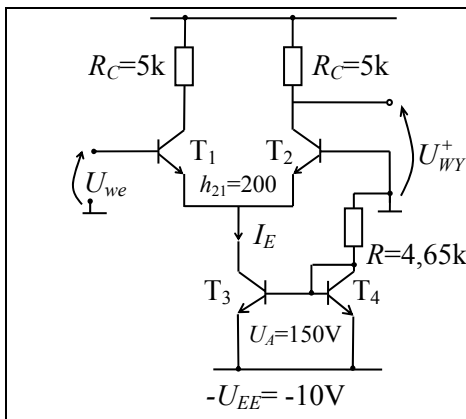


Oblicz rezystancję wejściową R_{we} oraz wzmacnienie k_u układu **jeśli parametr $h_{21}=100$.**



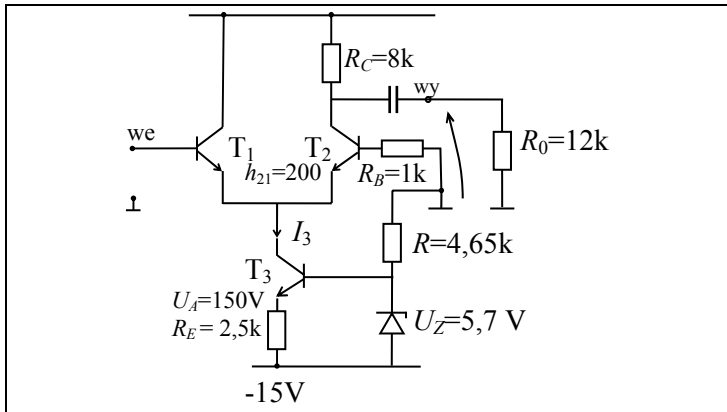
Oblicz wzmacnienie k_u i dobierz wartości napięć E i E_1 aby uzyskać maksymalną wartość amplitudy napięcia wyjściowego.

15. Rozw.



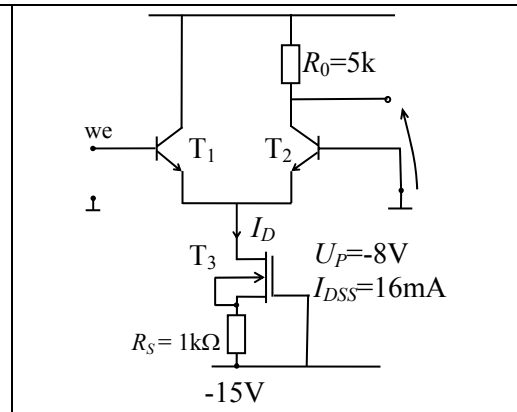
(a) Oblicz wzmacnienia dla sygnałów różnicowego k_{ur}^+ i wspólnego (sumacyjnego) k_{us}^+ , współczynnik tłumienia sygnału wspólnego $CMRR^+$, oporność wejściową R_{we} wzmacniacza oraz napięcie całkowite $U_{wy}^+(t)$ gdy $U_{we}(t) = 20\sin\omega t$ mV. Obliczenia przeprowadź dla średnich częstotliwości.
 (b) narysuj amplitudowe charakterystyki logarytmiczne wzmacnień k_{ur}^+ , k_{us}^+ oraz współczynnika $CMRR^+$. Dla wszystkich tranzystorów przyjmij $C_{b'e} = 44\text{pF}$, $C_{b'c} = 6\text{pF}$, $r_{bb'} = 60\Omega$.

16. [Odp.](#)



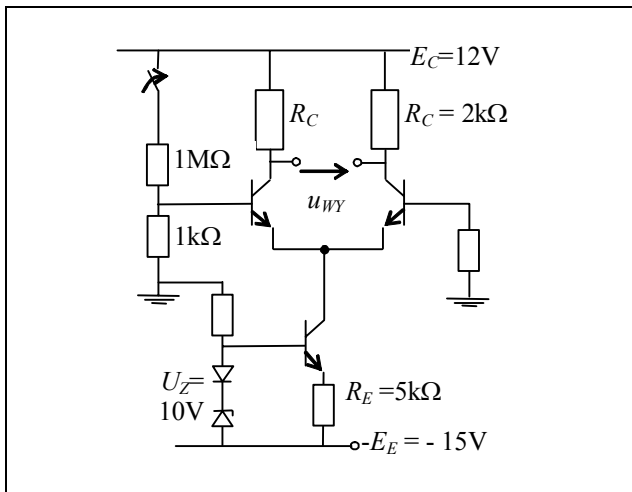
Oblicz wzmocnienie skuteczne oraz wartość współczynnika tłumienia sygnału współbieżnego CMRR. Przyjmij że współczynnik h_{21} jest identyczny dla wszystkich tranzystorów a rezystancja wewnętrzna źródła sygnału sterującego $R_g = 1k\Omega$.

17. [Odp.](#)



Oblicz współczynnika tłumienia sygnału współbieżnego CMRR. Przyjmij, że rezystancja wyjściowa tranzystora MOS w punkcie pracy wynosi $r_{ds} = 75k\Omega$.

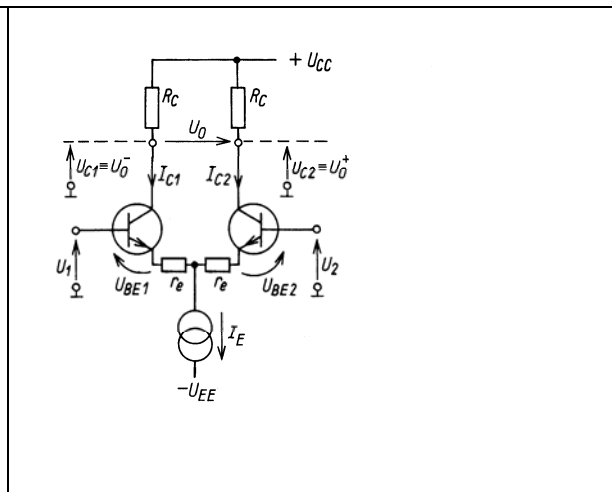
30. [Odp.](#)



Oblicz przybliżone wartości napięcia u_{wy} przed i po zamknięciu wyłącznika

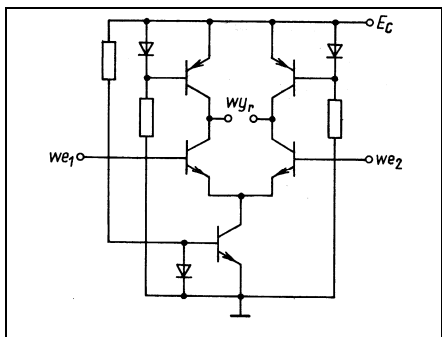
34.

31. Odp.



Oblicz przybliżone wartości napięcia u_{wy} przed i po zamknięciu wyłącznika

34.

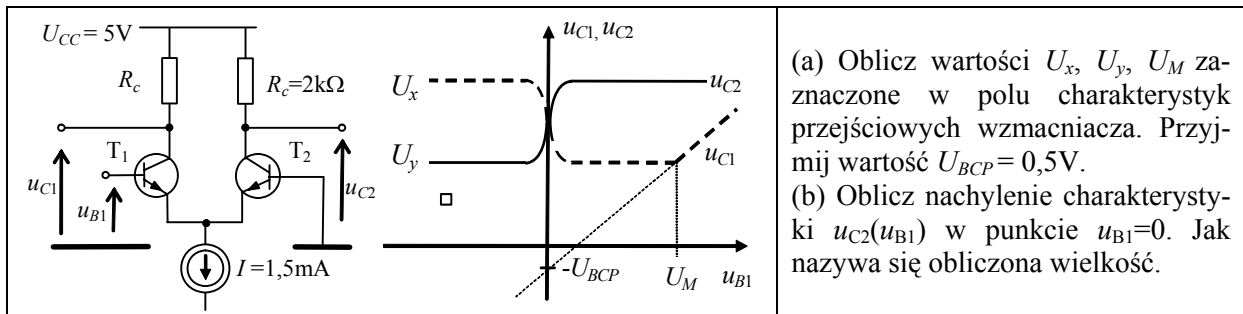


Wykaż, że $CMRR \cong 20\lg(U_A/(2U_T))$ gdzie U_A jest napięciem Early'ego tranzystorów

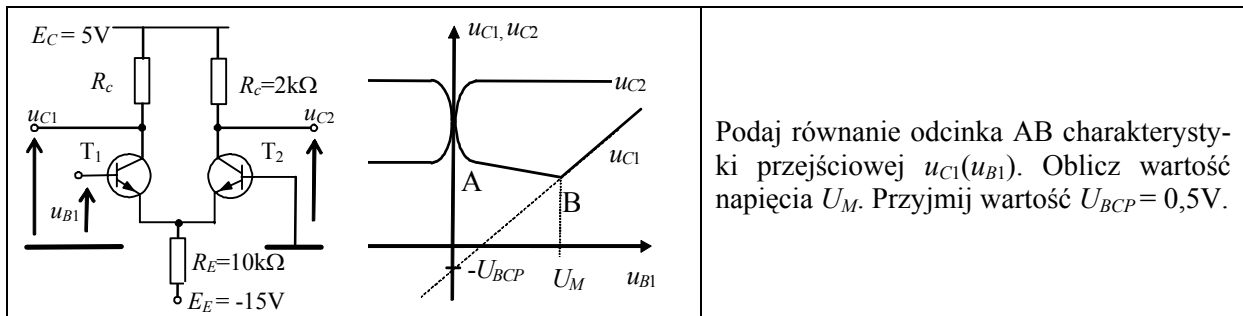
35.



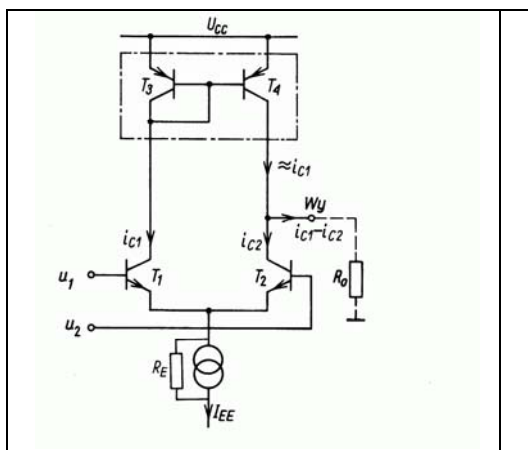
32. [Odp.](#)



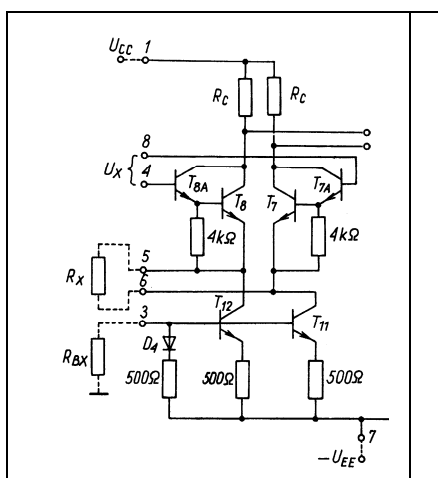
41. Odp.



5.



5.



5.

--	--

5.



Odpowiedzi

1. $u_{WY} = U_{WY} + u_{wy}, U_{WY} \cong E_C - R_C \frac{I_E}{2} = 10V, u_{wy}(t) = k_{ur}^- u_{we}(t) = -\frac{1}{2} g_m R_C u_{we}(t) = -\frac{1}{2} 40 \frac{I_E}{2} R_C$

$u_{we}(t) = -0,4\sin(\omega t) V.$ [wróć \(back\)](#)

2. $u_r(t) = u_1(t) - u_2(t) = 15\sin(\omega t - \alpha) mV, \alpha = \arctan(3/4) \cong 37^\circ, k_{ur}^+ = \frac{1}{2} g_m R_C || R_0 = \frac{I_E}{4U_T} R_C || R_0 = 80,$

$u_{wy}(t) = k_{ur}^+ u_r(t) = 1,2\sin(\omega t - \alpha)V.$ [wróć\(back\)](#)

3. $k_u = k_{ur}^- = -\frac{1}{2} g_m R_{C2} = -\frac{I_E}{4U_T} R_{C2} = -60.$ [wróć \(back\)](#)

4. (a) $U_x = U_1 \frac{R_3 || R_4 + R_2}{R_3 || R_4 + R_2 + R_1} + U_2 \frac{R_4 || (R_2 + R_1) R_1 / (R_2 + R_1)}{R_4 || (R_2 + R_1) + R_3} = 1.8V, (b) U_T = U_2 \frac{R_4}{R_4 + R_3} = \frac{8}{3}$

$R_T = R_3 || R_4 = \frac{50}{15}, U_x = U_1 + (U_T - U_1) \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_T} = 1.8V (c) U_r = U_1 - U_2 = -3,$

$U_s = (U_1 + U_2) / 2 = 2.5, U_x = U_s \frac{R_2 + 2R_4}{R_1 + R_2 + 2R_4} + \frac{U_r}{2} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2.1 - 0.3 = 1.8V.$

5. $R_r = 2r_{b'e} = 2h_{21}/g_m = 4h_{21}U_T/I_E = 10k\Omega, u_r(t) = [e_1(t) - e_2(t)]R_r/(R_r + R_{g1} + R_{g2}) = [20\sin(\omega t) - 10\sin(2\omega t)]$

$mV, k_{ur} = k_{ur}^+ - k_{ur}^- = \frac{1}{2} g_m (R_{C2} + R_{C1}) = \frac{1}{2} \frac{I_E}{2U_T} (R_{C1} + R_{C2}) = 140, u_{wy}(t) = k_{ur} u_r(t) + \frac{I_E}{2} (R_{C1} - R_{C2})$

$= [2,8\sin(\omega t) - 1,4\sin(2\omega t) + 3]V.$ [wróć\(back\)](#)

6. $k_{ur}^+ = g_m R_0 = 800, R_r = 2r_{b'e} = 2h_{21}/g_m = 4h_{21}U_T/I_E = 10k\Omega, u_r(t) = e(t)R_r/(R_r + R_B + R_g) = 10\sin(\omega t)mV,$

$u_{wy}(t) = k_{ur}^+ u_r(t) = 8\sin(\omega t) V, u_{WY}(t) = [10 + 8\sin(\omega t)]V,$ [wróć\(back\)](#)

7. źródło prądowe T₃: $I_D = 4 mA,$

wzm. różnicowy z lustrem prądowym: $k_{ur}^+ \cong g_{mT2} R_0 = \frac{I_D R_0}{2U_T} = 1200,$ [wróć \(back\)](#)

8. źródło prądowe T₃: $U_{GS} = -2U_D = -1,4V, I_D = I_{DSS}(1 - U_{GS}/U_P)^2 = 4 mA,$

wzm. różnicowy: $g_{mT2} = I_D/(2U_T) = 80mS, h_{11T2} = h_{21}/g_{mT2} = 2,5k\Omega \cong h_{11}, R_r = 2h_{11} + 2R_e(h_{21} + 1) \cong$

$2R_e(h_{21} + 1) = 100k\Omega, k_u = k_{ur}^+ = \frac{h_{21}R_0}{R_r} \cong \frac{R_0}{2R_e} = 10, u_{wemax} = \frac{1}{2} I_D R_0 / k_{ur} = I_D R_e = 1V.$ [wróć \(back\)](#)

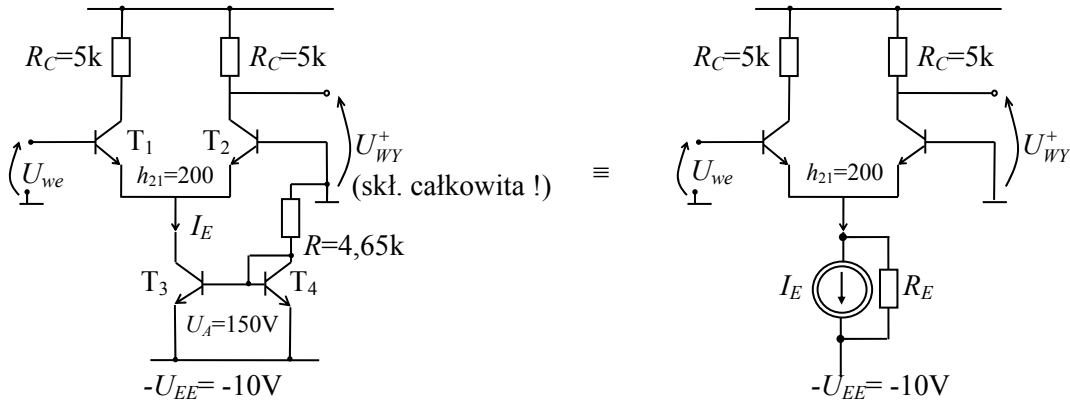
9. $I_{12} = I_{11} = (U_{EE} - 0,7)/(R_{BX} + 500\Omega) = 2mA, h_{11T8} = h_{11T7} \cong h_{11} = h_{21}/g_m = h_{21}U_T/I_{12} = 1,25k\Omega,$

$R_{we} = R_r = 2h_{11} + R_x(h_{21} + 1) \cong R_x(h_{21} + 1) \cong 100k\Omega, k_u = k_{ur}^+ - k_{ur}^- = 2 \frac{h_{21}R_C}{R_r} \cong \frac{2R_C}{R_x} = 10.$ [wróć \(back\)](#)

10. wzm. różnicowy z lustrem prądowym: $R_r \cong 2R_e(h_{21}+1)$ (patrz zadanie 8), $k_u = 2 \frac{h_{21}R_0}{R_r} \cong \frac{R_0}{R_e} = 5$,

$u_{wy\max} = I_D R_0 = 20V \Rightarrow E_1 = 20V, E = 40V$. [wróć \(back\)](#)

15. (a)



źródło prądowe T3-T4:

$$I_E = (U_{EE} - U_{BE})/R = 2 \text{ mA}, \quad R_E = \frac{1}{h_{22T3}} \cong \frac{U_A}{I_E} = 75 \text{ k}\Omega$$

$$k_{ur}^+ \cong \frac{1}{2} g_m R_C = \frac{1}{2U_T} \times \frac{1}{2} I_E R_C \cong 100 \quad (40 \text{ dB})$$

$$k_{us}^+ \cong \frac{-g_m r_{b'e} R_C}{r_{b'e} + 2R_E(1 + g_m r_{b'e})} \cong \frac{-g_m R_C}{1 + 2R_E \left(\frac{1}{r_{b'e}} + g_m \right)} \cong -\frac{R_C}{2R_E} = -\frac{1}{30} \quad (-30 \text{ dB})$$

$$\frac{|k_{ur}^+|}{|k_{us}^+|} = \frac{I_E R_C}{4U_T} \frac{2U_A}{R_C I_E} = \frac{U_A}{2U_T}, \quad \text{CMRR}^+ = 20 \lg \left(\frac{|k_{ur}^+|}{|k_{us}^+|} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_A}{2U_T} \right) \cong 70 \text{ dB}$$

$$U_{we} = 20 \sin(\omega t) \text{ mV} \rightarrow U_r = 20 \sin(\omega t) \text{ mV}, \quad U_s = 10 \sin(\omega t) \text{ mV}$$

$$\text{składowa zmienna napięcia wyjściowego: } U_{wy}^+ = k_{ur}^+ U_r + k_{us}^+ U_s = \left(100 \times 20 - \frac{10}{30} \right) \sin \omega t \cong 2 \sin \omega t$$

napięcie całkowite: $U_{wy}^+ = 5V + 2 \sin \omega t$

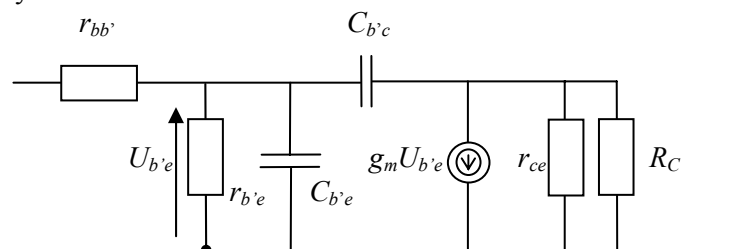
rezystancja wejściowa dla sygn. różnicowego: $R_r \cong 2r_{b'e} \cong 2 \frac{h_{21}}{g_m} = 10 \text{ k}\Omega$

rezystancja wejściowa dla sygn. wspólnego: $R_s \cong r_{b'e} + 2(h_{21} + 1)R_E = 30,16 \text{ M}\Omega$

$$I_{we} \cong \frac{U_r}{R_r} + \frac{U_s}{R_s} \cong \frac{U_r}{R_r} \Rightarrow R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}} = R_r = 10 \text{ k}\Omega$$

[wróć\(back\)](#)

(b) **pasmo wzmacniacza:**
sygnał różnicowy

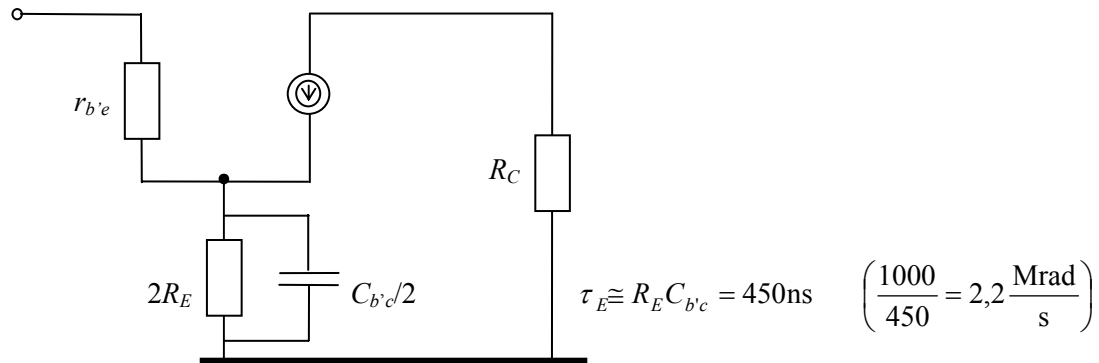


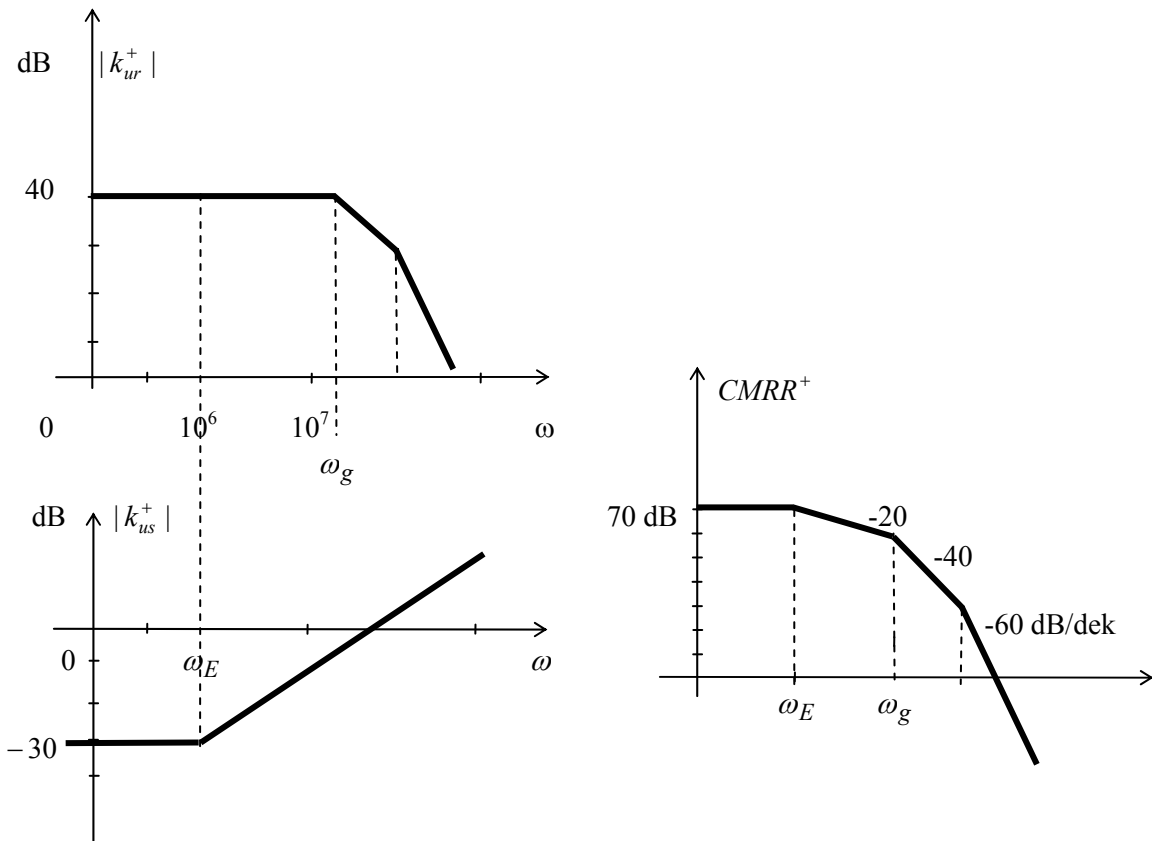
$$C_{we} = C_{b'e} + C_{b'c}(1 + g_m R_C) = 44\text{pF} + 6\text{pF}(201) = 1250\text{ pF}$$

$$\tau_{we} \cong r_{bb'} C_{we} \cong 60\Omega \times 1250\text{pF} = 75\text{ns} \quad \left(\frac{1000}{75} = 13,3 \frac{\text{Mrad}}{\text{s}} \right) = \omega_g$$

$$\tau_{wy} \cong C_{b'c} R_C \cong 6\text{pF} \times 5\text{k} = 30\text{ns} \quad \left(\frac{1000}{30} = 33,3 \frac{\text{Mrad}}{\text{s}} \right)$$

sygnał wspólny





[wróć\(back\)](#)

16. źródło prądowe T₃: $I_3 = (U_Z - U_{BE})/R_E = 2 \text{ mA}$, $1/h_{22T3} = U_A/I_3 = 75 \text{ k}\Omega$, $h_{11T3} = h_{21}/g_{mT3} = 2,5 \text{ k}\Omega$,

$$R_{wy} \cong \frac{1}{h_{22T3}} \left(1 + h_{21} \frac{R_E}{h_{11T3} + R_E} \right) \cong 7,575 \text{ M}\Omega ;$$

$$\text{wzm. różnicowy T}_1\text{-T}_2: R_r \cong 2r_{b'e} \cong 2 \frac{h_{21}}{g_{mT2}} = 10 \text{ k}\Omega, k_{ur}^+ \cong \frac{1}{2} g_{mT2} R_C \parallel R_0 = \frac{I_3 R_C \parallel R_0}{4U_T} = 96,$$

$$k_{usk} = \frac{R_r}{R_r + R_g + R_B} k_{ur}^+ = 80, k_{us}^+ \cong \frac{-h_{21} R_C \parallel R_0}{r_{b'e} + 2R_{wy}(1+h_{21})} \cong -\frac{R_C \parallel R_0}{2R_{wy}}, \text{CMRR} \cong 20 \lg \left(\frac{|k_{ur}^+|}{|k_{us}^+|} \right) =$$

$$20 \lg \left(\frac{I_3 R_{wy}}{2U_T} \right) \cong 110 \text{ dB.}$$

[wróć \(back\)](#)

17. źródło prądowe T₃: $I_D = 4 \text{ mA}$, $g_{mT3} = 2 \text{ mS}$, $R_{wy} = r_{ds}(1 + g_{mT3} R_S) + R_S \cong 226 \text{ k}\Omega$;

$$\text{wzm. różnicowy: } k_{ur}^+ \cong \frac{1}{2} g_{mT2} R_0 = \frac{I_D R_0}{4U_T} = 200, k_{us}^+ \cong -\frac{R_0}{2R_{wy}}, \text{CMRR} \cong 20 \lg \left(\frac{|k_{ur}^+|}{|k_{us}^+|} \right) =$$

$$20 \lg \left(\frac{I_D R_{wy}}{2U_T} \right) \cong 85 \text{ dB.}$$

[wróć \(back\)](#)

$$30. u_{WY \text{ otw}} = 0, u_{WY \text{ zam}} \cong k_{ur} u_r = g_m R_C \frac{E_C}{1000} = 40 \frac{I_E}{2} R_C \frac{E_C}{1000} = 40 \frac{U_Z}{2R_E} R_C \frac{E_C}{1000} = 0,96 \text{ V}$$

[wróć](#)

[\(back\)](#)

31.

5.

$$32. (a) U_x = U_{CC} = 5 \text{ V}, U_y = U_{CC} - IR_c = 2 \text{ V}, U_M = U_y + U_{BCP} \cong 2,5 \text{ V.}$$

$$(b) \frac{\partial u_{C2}}{\partial u_{B1}} = \frac{1}{2} g_m R_C = \frac{I_E R_C}{4U_T} = +30V/V = k_{ur}^+ \text{ [wróć \(back\)](#)}$$

$$41. u_{C1} \cong E_C - R_C \frac{u_{B1} - U_{BE} - E_E}{R_E} = 2,14V - 0,2u_{B1}, 2,14V - 0,2U_M = U_M - U_{BCP} \Rightarrow U_M = 2,2V. \text{ [wróć](#)}$$

[\(back\)](#)