

Podstawowe układy pracy tranzystora bipolarnego

4

Ćwiczenie opracował Jacek Jakusz

1. Wstęp

Ćwiczenie umożliwia pomiar i porównanie parametrów podstawowych konfiguracji pracy tranzystora bipolarnego. Są to kolejno:

- A - układ wspólnego emitera (CE),
- B - układ wspólnego emitera z nieobciążoną rezystancją w emiterze (CE-RE),
- D - układ wspólnej bazy (CB).

Poszczególne konfiguracje wybiera się przy pomocy przełącznika obrotowego, który poprzez przełączniki przełącza układy. Poszczególne układy wykonane są w ten sposób by zapewniały identyczne warunki zasilania tranzystorów. Różnice pomiędzy parametrami wzmacniaczy wynikają więc głównie z różnych konfiguracji pracy tranzystora, co umożliwia jakościowe porównanie układów. Dla uniezależnienia się od parametrów przyrządów pomiarowych oraz jakości połączeń, każdy ze wzmacniaczy ma wbudowany wejściowy i wyjściowy bufor o wzmacnieniu jednostkowym.

W ramach ćwiczenia wykonuje się pomiary wzmacnienia w środku pasma przepustowego, rezystancji wejściowej oraz wyjściowej, dolnej oraz górnej 3dB-owej częstotliwości granicznej a także amplitudowej charakterystyki częstotliwościowej poza pasmem przepustowym wzmacniacza.

Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zapoznać się z jego przebiegiem (podstawowe informacje zamieszczono w niniejszym opracowaniu). Prowadzący ma obowiązek sprawdzić przygotowanie do ćwiczenia.

2. Pomiary

2.1. Do układów podać z generatora sygnał wejściowy o częstotliwości: układy A, B $f=10\text{ kHz}$, układ C $f=20\text{ kHz}$, układu D $f=120\text{ kHz}$:

a) Zmierzyć dolną i górną 3-decybelową częstotliwość graniczną (f_{L3dB} , f_{H3dB}). Pomiar należy wykonać w następujący sposób:

- ustawić wartość skuteczną napięcia sygnału wejściowego dla układu: **A** $\approx 2.0\text{ mV}$, **B** $\approx 10\text{ mV}$, **D** $\approx 6\text{ mV}$ tak, aby na wyjściu badanego układu uzyskać v_{o_max} w zakresie **300÷500 mV**.
- dla układu C ustawić $v_{in} \approx 400\text{ mV}$ i przeprowadzić jedynie pomiar częstotliwości granicznej dolnej
- zmniejszać (dla pomiaru częstotliwości granicznej dolnej) lub zwiększać (dla pomiaru częstotliwości granicznej górnej) częstotliwość sygnału wejściowego aż do uzyskania napięcia wyjściowego równego $v_{o_max}/\sqrt{2}$, uzyskana wartość jest odpowiednią częstotliwością graniczną.

b) Określić częstotliwość środkową $f_0 = \sqrt{f_{L3dB} \cdot f_{H3dB}}$ i zmierzyć wzmacnienie w środku pasma $K_u(f_0)$, $K_u = v_{o_max}/v_{in}$.

c) Zmierzyć rezystancję wejściową R_{in} (sygnał wejściowy o odpowiedniej częstotliwości, o amplitudzie jak w punkcie a). Rezystancję wejściową mierzy się wykorzystując dodatkowy rezystor R_S' włączony szeregowo z rezystancją wewnętrzną generatora R_S . Należy nacisnąć przycisk R_{in} i zanotować napięcie wyjściowe. Dokładny opis pomiaru R_{in} znajduje się w części teoretycznej.

d) Zmierzyć rezystancję wyjściową R_{out} (sygnał wejściowy o odpowiedniej częstotliwości, amplituda jak w punkcie a). Rezystancję wyjściową mierzy się wykorzystując dodatkowy rezystor R_L' włączany równolegle z rezystancją obciążenia R_L wzmacniacza, którą w badanych układach jest rezystancja wejściowa bufora R_{BUF} . Należy nacisnąć przycisk R_{out} i zanotować napięcie wyjściowe. Dokładny opis pomiaru R_{out} znajduje się w części teoretycznej.

e) Pomiary charakterystyk częstotliwościowych prowadzić w zakresie od 40 Hz do 2 MHz, w rastrze 1,2, 5, 7, tzn. 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1 kHz, 2 kHz itd

Pomierzone charakterystyki umieścić na wykresach, przy czym obie osie winny mieć skalę logarytmiczną (oś pionowa – wzmacnienie wyrażone w decybelach, tj. $20 \log_{10} |v_o/v_{in}|$)

Przykłady tabel pomiarowych

	CE	CE+RE	CC	CB
v_o/v_{in} [V/V]				
R_{in} [k Ω]				
R_{out} [k Ω]				
f_{3dB}				
f_{3dBH}				

f [Hz]	100	200	...	f_{3dB}	...	f_0	...	f_{3dBH}	...	1M
v_o/v_{in}										

3. Opracowanie wyników

1) Dla układów CE, CE-RE, CC i CB należy wyznaczyć teoretyczne wartości:

- punktów pracy tranzystorów,
- wzmacnienie małosygnałowe v_o/v_{in} ,
- rezystancję wejściową i wyjściową.

2) Wyniki obliczeń należy umieścić w ten sposób, aby można było je łatwo porównać z wynikami pomiarów, np. we wspólnej tabeli.

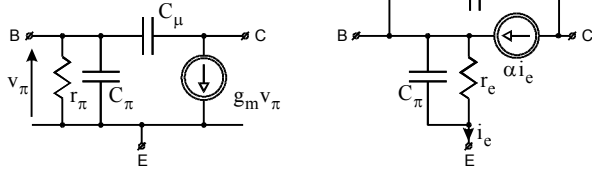
3) Zamieścić własne wnioski i spostrzeżenia. Porównać układy pomiędzy sobą, a także skomentować zgodność obliczeń z pomiarami.

4. Teoria

W ćwiczeniu wykonane są cztery wzmacniacze oznaczone literami A-D. Wszystkie układy posiadają wbudowane bufor wejściowy i wyjściowy. Bufory te są identyczne a ich parametry przedstawia poniższa tabela:

Parametr	Jednostki	Wartość
Wzmacnienie	V/V	1
Rezystancja wejściowa R_{BUF}	M Ω	1
Rezystancja wyjściowa R_{0BUF}	Ω	≈ 0
Pojemność wejściowa C_{BUF}	pF	20
Częstotliwość graniczna	MHz	4

Dla każdego tranzystora z układów A-D, punkty pracy należy wyznaczyć przy założeniu, że prąd stały bazy I_B jest pomijalnie mały oraz, że napięcie baza-emiter V_{BE} jest stałe i wynosi 0.7V



Rys. 1. Małosygnałowe schematy zastępcze typu Π i typu T tranzystora bipolarnego.

W analizie małosygnałowej należy przyjąć $V_T=25\text{mV}$. Dane tranzystora BC237: $\beta=160$, $C_\mu=4.5\text{pF}$, $f_T=150\text{MHz}$.

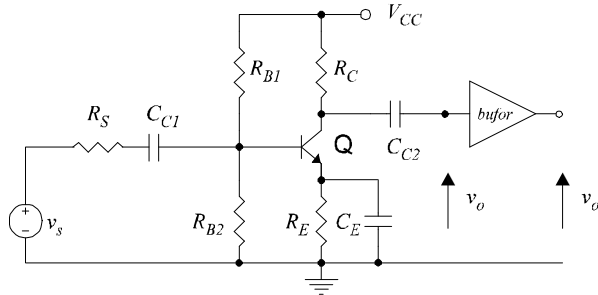
Parametry modelu małosygnałowego:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta+1} \quad r_e = \frac{r_\pi}{\beta+1}$$

$$C_\pi = \frac{g_m}{2\pi \cdot f_T} - C_\mu$$

4.1 Układ A:

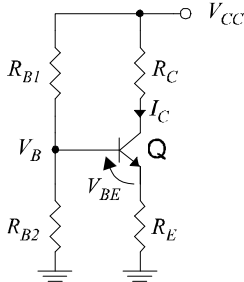
Jest to wzmacniacz w konfiguracji wspólnego emitera (CE).



Rys. 2. Schemat wzmacniacza w konfiguracji wspólnego emitera (CE).

4.1.1 Punkt pracy

liczony jest przy zaniedbaniu prądu bazy:



Rys. 3. Schemat obwodu do liczenia punktu pracy.

$$V_B = V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad (1)$$

$$I_C \approx \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \quad (2)$$

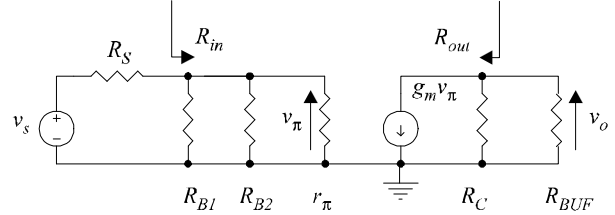
$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C \quad (3)$$

4.1.2 Analiza małosygnałowa:

Środek pasma:

Zastępczy schemat małosygnałowy w zakresie średnich częstotliwości (w paśmie przepustowym) jest tworzony przy założeniu, że pojemności sprzęgające i bocznikujące stanowią

zwarcie dla sygnałów zmiennych, natomiast pojemności pasywnicze tranzystora są rozwarciem.



Rys. 4. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CE z rys. 2 dla zakresu częstotliwości średnich.

$$R_{in} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_\pi \quad (4)$$

$$R_{out} = R_C \quad (5)$$

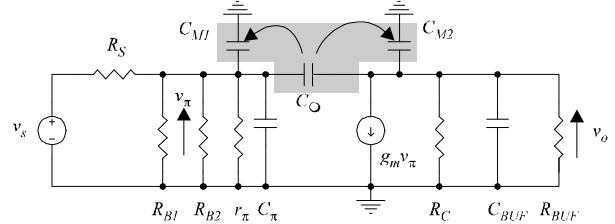
$$v_0 = -g_m v_\pi (R_C \parallel R_{BUF}) \quad (6)$$

$$v_\pi = v_s \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \quad (7)$$

$$\frac{v_0}{v_s} = -\frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} g_m (R_C \parallel R_{BUF}) \quad (8)$$

Wysokie częstotliwości:

Częstotliwość graniczna górna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami pasywniczymi tranzystora. Stałe te liczy się dla danej pojemności pasywniczej przy założeniu, że pozostałe pojemności pasywnicze stanowią rozwarciem.



Rys. 5. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CE z rys. 2 dla wyznaczenia górnej częstotliwości granicznej.

stałe czasowe:

korzystając z tw. Millera można zamienić pojemność C_μ tranzystora na pojemności C_{M1} i C_{M2} .

$$K = \frac{v_0}{v_\pi} = -g_m R_C \parallel R_{BUF} \quad (9)$$

$$C_{M1} = C_\mu (1 - K) \quad (10)$$

$$C_{M2} = C_\mu \left(1 - \frac{1}{K}\right) \quad (11)$$

Następnie wyznaczamy stałe czasowe związane z poszczególnymi pojemnościami:

$$\tau_{H1} = (C_{M1} + C_\pi)(R_S \parallel R_{in}) \quad (12)$$

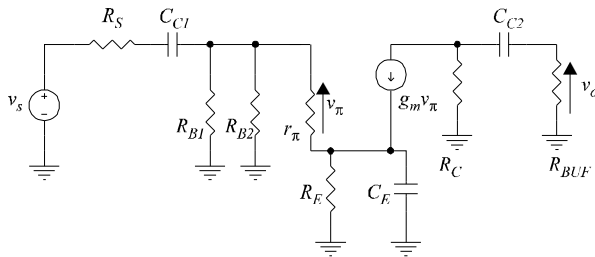
$$\tau_{H2} = (C_{M2} + C_{BUF})(R_C \parallel R_{BUF}) \quad (13)$$

Przybliżona wartość górnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{H3dB} \approx \frac{1}{2\pi \cdot (\tau_{H1} + \tau_{H2})} \quad (14)$$

Niskie częstotliwości:

Częstotliwość graniczna dolna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami sprzęgającymi lub bocznikującymi (licząc stałe czasowe dla każdej z pojemności, pozostałe należy traktować jako zwarcie). Pojemności pasywnicze tranzystora traktuje się jako rozwarciem.



Rys. 6. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CE z rys. 2 dla wyznaczenia dolnej częstotliwości granicznej.

Korzystając z powyższego schematu zastępczego poszczególne stałe czasowe są równe:

$$\tau_{L1} = C_{C1}(R_S + R_{in}) \quad (15)$$

$$\tau_{L2} = \frac{C_E R_E}{1 + g_m R_E} \quad (16)$$

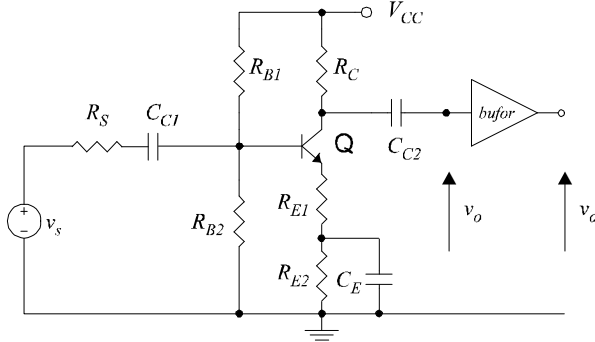
$$\tau_{L3} = C_{C2}(R_C + R_{BUF}) \quad (17)$$

Przybliżona wartość dolnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{L3dB} \approx \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{L1}} + \frac{1}{\tau_{L2}} + \frac{1}{\tau_{L3}} \right) \quad (18)$$

4.2 Układ B:

Jest to wzmacniacz w konfiguracji wspólnego emitera z niebocznikowaną rezystancją w emiterze (CE-RE).



Rys. 7. Schemat wzmacniacza w konfiguracji wspólnego emitera (CE).

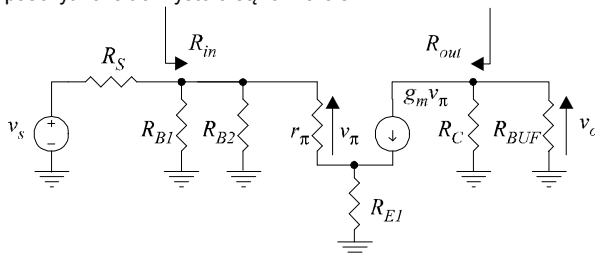
4.2.1 Punkt pracy

liczony tak jak dla układu A (we wzorach na \$I_C\$ i \$V_{CE}\$ zamiast \$R_E\$ jest suma \$R_{E1} + R_{E2}\$)

4.2.2 Analiza małosygnałowa:

Środek pasma:

Zastępczy schemat małosygnałowy w zakresie średnich częstotliwości (w paśmie przepustowym) jest tworzony przy założeniu, że pojemności sprzęgające i bocznikujące stanowią zwarcie dla sygnałów zmiennych, natomiast pojemności pasywnicze tranzystora są rozwarciem.



Rys. 8. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CE-RE z rys. 7 dla zakresu częstotliwości średnich.

$$R_{in} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel (r_\pi + (\beta + 1)R_{E1}) \quad (19)$$

$$R_{out} = R_C \quad (20)$$

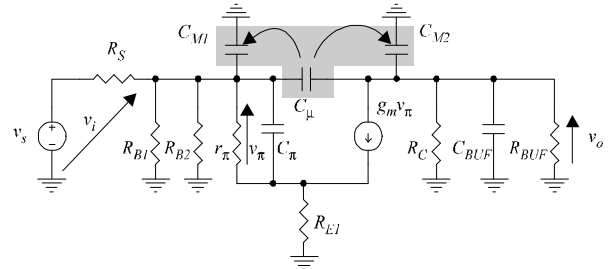
$$v_o = -g_m v_\pi (R_C \parallel R_{BUF}) \quad (21)$$

$$v_\pi = v_s \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \cdot \frac{r_\pi}{r_\pi + (\beta + 1)R_{E1}} \quad (22)$$

$$\frac{v_o}{v_s} = - \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \cdot \frac{r_\pi}{r_\pi + (\beta + 1)R_{E1}} \cdot g_m (R_C \parallel R_{BUF}) \quad (23)$$

Wysokie częstotliwości:

Częstotliwość graniczna górna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami pasywniczymi tranzystora. Stałe te liczy się dla danej pojemności pasywniczej przy założeniu, że pozostałe pojemności pasywnicze stanowią rozwarciem.



Rys. 9. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CE-RE z rys. 7 dla wyznaczenia górnej częstotliwości granicznej.

stałe czasowe:

korzystając z tw. Millera można zamienić pojemność \$C_\mu\$ tranzystora na pojemności \$C_{M1}\$ i \$C_{M2}\$.

$$K = - \frac{\alpha \cdot R_C \parallel R_{BUF}}{r_e + R_{E1}} \quad (24)$$

$$C_{M1} = C_\mu (1 - K) \quad (25)$$

$$C_{M2} = C_\mu \left(1 - \frac{1}{K} \right) \quad (26)$$

Następnie wyznaczamy stałe czasowe związane z poszczególnymi pojemnościami:

$$\tau_{H1} = C_{M1}(R_S \parallel R_{in}) \quad (27)$$

$$\tau_{H2} = C_\mu \left(r_\pi \parallel \frac{R_{E1} + R_S \parallel R_{B1} \parallel R_{B2}}{1 + g_m R_{E1}} \right) \quad (28)$$

$$\tau_{H3} = (C_{M2} + C_{BUF})(R_C \parallel R_{BUF}) \quad (29)$$

Przybliżona wartość górnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{H3dB} \approx \frac{1}{2\pi \cdot (\tau_{H1} + \tau_{H2} + \tau_{H3})} \quad (30)$$

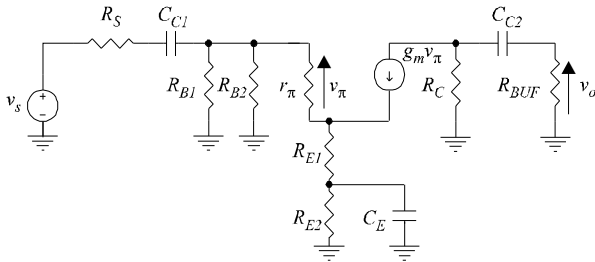
Niskie częstotliwości:

Częstotliwość graniczna dolna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami sprzęgającymi lub bocznikującymi (licząc stałe czasowe dla każdej z pojemności, pozostałe należy traktować jako zwarcie). Pojemności pasywnicze tranzystora traktuje się jako rozwarciem. Korzystając ze schematu zastępczego z rys. 10, poszczególne stałe czasowe są równe:

$$\tau_{L1} = C_{C1}(R_S + R_{in}) \quad (31)$$

$$\tau_{L2} = C_E \left(R_{E2} \parallel \left(R_{E1} + \frac{r_\pi + R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel R_S}{\beta + 1} \right) \right) \quad (32)$$

$$\tau_{L3} = C_{C2}(R_C + R_{BUF}) \quad (33)$$



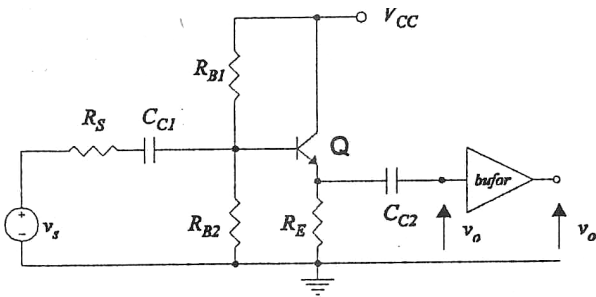
Rys. 10. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CE-RE z rys. 7 dla wyznaczenia dolnej częstotliwości granicznej.

Przybliżona wartość dolnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{L3dB} \approx \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{L1}} + \frac{1}{\tau_{L2}} + \frac{1}{\tau_{L3}} \right) \quad (34)$$

4.3 Układ C:

Jest to wzmacniacz w konfiguracji wspólnego kolektora (CC), czyli tzw. wtórnik emiterowy.



Rys. 11 Schemat wzmacniacza w konfiguracji wspólnego kolektora (CB).

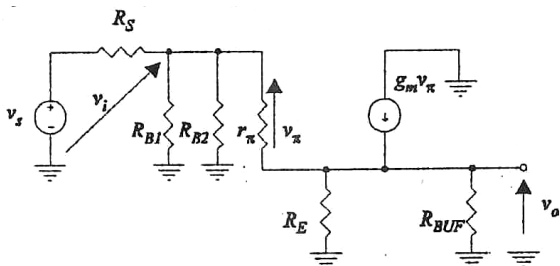
4.3.1. Punkt pracy

liczony tak jak dla układu A

4.3.2. Analiza małosygnałowa

Środek pasma:

Zastępczy schemat małosygnałowy w zakresie średnich częstotliwości (w paśmie przepustowym) jest tworzony przy założeniu, że pojemności sprzęgające i bocznikujące stanowią zwarcie dla sygnałów zmiennych, natomiast pojemności pasywnicze tranzystora są rozwarciem.



Rys. 12. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CC z rys. 11 dla zakresu częstotliwości średnich

$$R_{in} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel (r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_{BUF}))$$

$$R_{out} = R_E \parallel \left(\frac{r_\pi + R_S \parallel R_{B1} \parallel R_{B2}}{\beta + 1} \right)$$

$$v_o = v_i \cdot \frac{(\beta + 1)(R_E \parallel R_{BUF})}{r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_{BUF})}$$

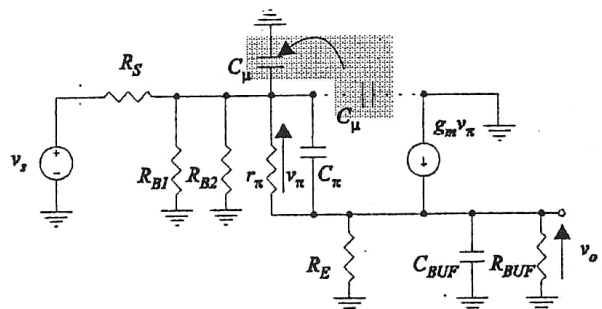
$$v_i = v_s \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S}$$

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \cdot \frac{(\beta + 1)(R_E \parallel R_{BUF})}{r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_{BUF})}$$

Uwaga: kolejne wzory posiadają w Instrukcji papierowej numery odpowiednio: (35), (36), (37), (38) i (39)

Wysokie częstotliwości

Częstotliwość graniczna górna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami pasywniczymi tranzystora. Stałe te liczy się dla danej pojemności pasywniczej przy założeniu, że pozostałe pojemności pasywnicze stanowią rozwarciem.



Rys. 13 Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CC z rys. 11 dla wyznaczenia górnej częstotliwości granicznej

W układzie CC nie występuje pojemność Millera!

Stale czasowe:

$$\tau_{H1} = C_\mu (R_S \parallel R_{in}) \quad (40)$$

$$\tau_{H2} = C_\pi \left(r_\pi \parallel \frac{R_E \parallel R_{BUF} + R_S \parallel R_{B1} \parallel R_{B2}}{1 + g_m (R_E \parallel R_L)} \right) \quad (41)$$

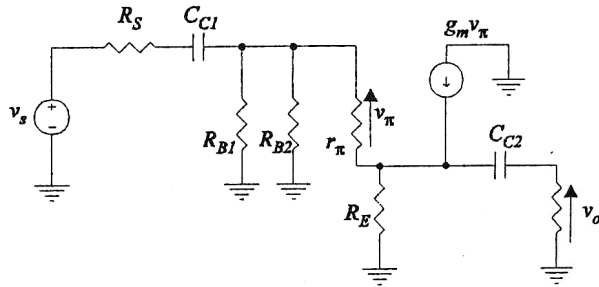
$$\tau_{H3} = C_{BUF} (R_{BUF} \parallel R_{out}) \quad (42)$$

Przybliżona wartość górnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{H3dB} \approx \frac{1}{2\pi \cdot (\tau_{H1} + \tau_{H2} + \tau_{H3})} \quad (43)$$

Niskie częstotliwości

Częstotliwość graniczna dolna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami sprzęgającymi lub bocznikującymi (licząc stałe czasowe dla każdej pojemności, pozostałe należy traktować jako zwarcie). Pojemności pasywniczej tranzystora traktuje się jako rozwarciem.



Rys. 14 Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CC z rys. 11 dla wyznaczenia dolnej częstotliwości granicznej

Korzystając z powyższego schematu zastępczego poszczególne stałe czasowe są równe:

$$\tau_{L1} = C_{C1}(R_S + R_{in}) \quad (44)$$

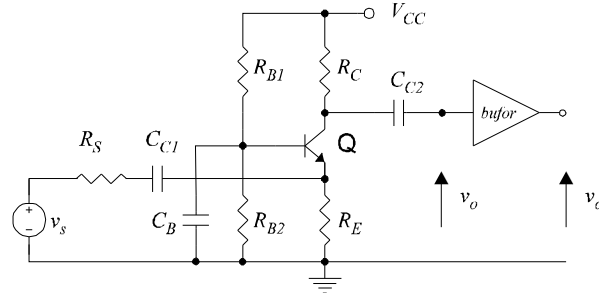
$$\tau_{L2} = C_{C2}(R_{out} + R_{BUF}) \quad (45)$$

Przybliżona wartość dolnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{L3dB} \approx \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{L1}} + \frac{1}{\tau_{L2}} \right) \quad (46)$$

4.4 Układ D:

Jest to wzmacniacz w konfiguracji wspólnej bazy (CB).



Rys. 15 Schemat wzmacniacza w konfiguracji wspólnej bazy (CB).

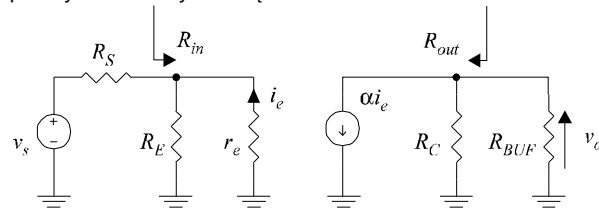
4.4.1 Punkt pracy

liczony tak jak dla układu A.

4.4.2 Analiza małosygnałowa

Środek pasma:

Zastępczy schemat małosygnałowy w zakresie średnich częstotliwości (w paśmie przepustowym) jest tworzony przy założeniu, że pojemności sprzęgające i bocznikujące stanowią zwarcie dla sygnałów zmiennych, natomiast pojemności pasywnicze tranzystora są rozwarciem.



Rys. 16. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CB z rys. 15 dla zakresu częstotliwości średnich.

$$R_{in} = R_E || r_e \quad (47)$$

$$R_{out} = R_C \quad (48)$$

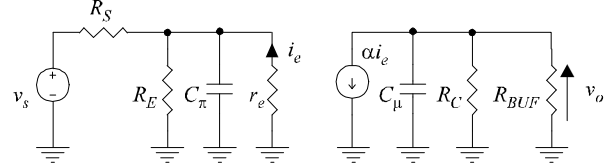
$$v_o = -\alpha \cdot i_e (R_C || R_{BUF}) \quad (49)$$

$$i_e = -\frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \cdot \frac{1}{r_e} \cdot v_s \quad (50)$$

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \cdot \frac{\alpha}{r_e} \cdot (R_C || R_{BUF}) \quad (51)$$

Wysokie częstotliwości:

Częstotliwość graniczna górna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami pasywniczymi tranzystora. Stałe te liczy się dla danej pojemności pasywniczej przy założeniu, że pozostałe pojemności pasywnicze stanowią rozwarciem.



Rys. 17. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CB z rys. 15 dla wyznaczenia górnej częstotliwości granicznej.

Dla w.cz. nie ma efektu multiplikacji pojemności (efekt Millera)

stałe czasowe:

$$\tau_{H1} = C_\pi (R_S || R_E || r_e) \quad (52)$$

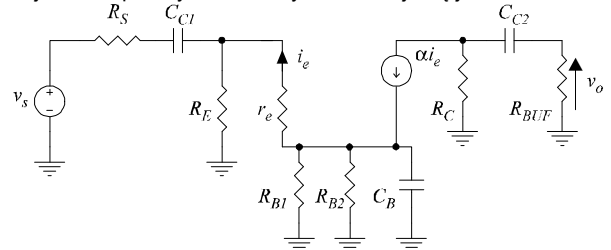
$$\tau_{H2} = (C_\mu + C_{BUF}) \cdot (R_C || R_{BUF}) \quad (53)$$

Przybliżona wartość górnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{H3dB} \approx \frac{1}{2\pi \cdot (\tau_{H1} + \tau_{H2})} \quad (54)$$

Niskie częstotliwości:

Częstotliwość graniczna dolna wyznaczona jest w oparciu o stałe czasowe powiązane z odpowiednimi pojemnościami sprzęgającymi lub bocznikującymi (licząc stałe czasowe dla każdej z pojemności, pozostałe należy traktować jako zwarcie). Pojemności pasywnicze tranzystora traktuje się jako rozwarciem.



Rys. 18. Zastępczy schemat małosygnałowy wzmacniacza w układzie CB z rys. 15 dla wyznaczenia dolnej częstotliwości granicznej.

Korzystając z powyższego schematu zastępczego poszczególne stałe czasowe są równe:

$$\tau_{L1} = C_{C1}(R_S + R_{in}) \quad (55)$$

$$\tau_{L2} = C_B [R_{B1} || R_{B2} || ((r_e + R_E || R_S) \cdot (\beta + 1))] \quad (56)$$

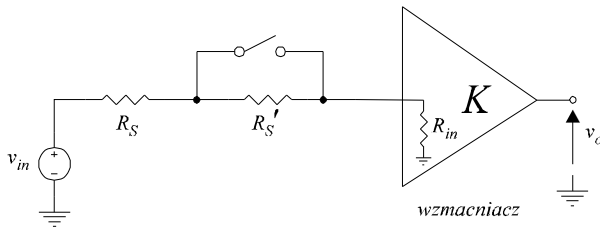
$$\tau_{L3} = C_{C2}(R_C + R_{BUF}) \quad (57)$$

Przybliżona wartość dolnej częstotliwości granicznej jest określona wzorem:

$$f_{L3dB} \approx \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{L1}} + \frac{1}{\tau_{L2}} + \frac{1}{\tau_{L3}} \right) \quad (58)$$

4.5 Pomiar rezystancji wejściowej wzmacniacza

Rezystancję wejściową mierzy się wykorzystując dodatkowy rezystor R_S' włączony szeregowo z rezystancją wewnętrzną generatora R_S . Podczas normalnej pracy jest on zwierany przełącznikiem umieszczonym na płycie czołowej. Po naciśnięciu przycisku oznaczonego R_{in} następuje dołączenie rezystora R_S' w szereg z R_S , co powoduje zmniejszenie wzmocnienia.



Rys. 19. Metoda pomiaru rezystancji wejściowej wzmacniacza.

Oznaczając jako v_o oraz v_o' odpowiednio napięcia wyjściowe przy zwartym i rozwartym rezystorze R_S' otrzymujemy:

$$v_o = K \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \cdot v_{in} \quad (59)$$

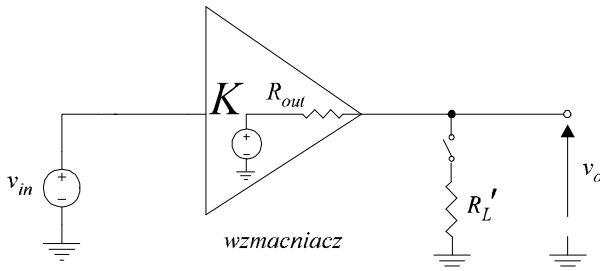
$$v_o' = K \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S + R_S'} \cdot v_{in} \quad (60)$$

$$\frac{v_o}{v_o'} = \frac{R_{in} + R_S + R_S'}{R_{in} + R_S} \quad (61)$$

$$R_{in} = \frac{v_o'}{v_o - v_o'} \cdot R_S' - R_S \quad (62)$$

4.6 Pomiar rezystancji wyjściowej wzmacniacza

Rezystancję wyjściową mierzy się wykorzystując dodatkowy rezystor R_L' włączany równolegle z rezystancją obciążenia R_L wzmacniacza, którą w badanych układach jest rezystancja wejściowa bufora R_{BUF} . Podczas normalnej pracy R_L' jest odłączony. W czasie pomiaru rezystancji dołącza się go przełącznikiem umieszczonym na płycie czołowej i oznaczonym R_{out} . Po naciśnięciu przycisku następuje dołączenie rezystora R_L' , co powoduje zmniejszenie wzmocnienia.



Rys. 20. Metoda pomiaru rezystancji wyjściowej wzmacniacza.

Oznaczając jako v_o oraz v_o' odpowiednio napięcia wyjściowe przy rozwartym i zwartym rezystorze otrzymujemy:

$$v_o = K \cdot \frac{R_{BUF}}{R_{BUF} + R_{out}} \cdot v_{in} \quad (63)$$

$$v_o' = K \cdot \frac{R_{BUF} \parallel R_L'}{R_{BUF} \parallel R_L' + R_{out}} \cdot v_{in} \quad (64)$$

$$\frac{v_o'(R_{BUF} \parallel R_L' + R_{out})}{R_{BUF} \parallel R_L'} = \frac{v_o(R_{BUF} + R_{out})}{R_{BUF}} \quad (65)$$

$$R_{out} = \frac{R_{BUF} \cdot R_L}{\frac{R_{BUF} \cdot v_o'}{v_o - v_o'} - R_L} \quad (66)$$

4.7 Dane elementów w poszczególnych konfiguracjach układowych.

Parametr	Jednostki	CE	CE-RE	CC	CB
β	-	160	160	160	160
C_μ	pF	4.5	4.5	4.5	4.5
f_T	MHz	150	150	150	150
R_S	k Ω	1	1	1	0.1
R_S'	k Ω	1	1	1	1
$CC1$	nF	68	68	68	68
$RB1$	k Ω	43	43	43	43
$RB2$	k Ω	22	22	22	22
CB	μF	nie ma	nie ma	nie ma	47
RC	k Ω	6.2	6.2	6.2	6.2
RE	k Ω	3.13	nie ma	3.13	3.13
$RE1$	k Ω	nie ma	0.16	nie ma	nie ma
$RE2$	k Ω	nie ma	2.97	nie ma	nie ma
CE	μF	100	100	100	100
$CC2$	nF	100	100	100	100
R_{BUF}	M Ω	1	1	1	1
C_{BUF}	pF	20	20	20	20
R_L'	k Ω	4.7	4.7	4.7	4.7
V_{CC}	V	12	12	12	12

Literatura:

- [1] Z. J. Staszak, J. Glinianowicz, D. Czarnecki "Materiały pomocnicze do przedmiotu Układy Elektroniczne Liniowe".
- [2] A. Guziński, "Liniowe elektroniczne układy analogowe" WNT 1992.
- [3] S. Soclof, "Zastosowania analogowych układów scalonych", WKŁ 1991.