

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

NR. 3

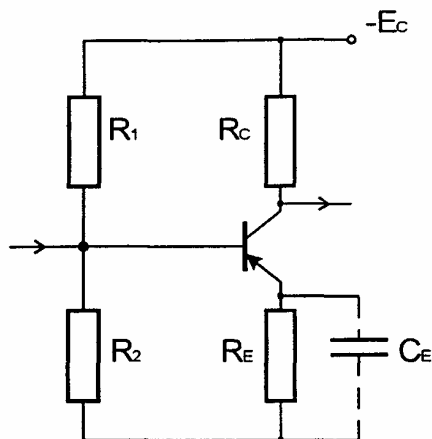
BADANIE TRANZYSTOROWYCH STOPNI WZMACNIAJĄCYCH

1. WSTĘP

Spośród możliwych układów pracy tranzystora używa się w praktyce tylko te, które zapewniają otrzymanie wzmocnienia nadawanych wielkości wejściowych. Do takich układów należą trzy podstawowe: układ ze wspólnym emiterem WE, układ ze wspólną bazą WB i układ ze wspólnym kolektorem WC. Właściwości wzmacniające każdego z tych układów są odmienne, i tak układ WE daje wzmocnienie prądowe i napięciowe nadawanego sygnału, układ WB dostarcza jedynie wzmocnienia napięciowego, układ WC wzmocnienia prądowego. Jak stąd wynika najbardziej korzystnym układem pracy tranzystora jako elementu wzmacniającego jest układ WE (szczególnie w układach pracujących przy małych częstotliwościach). Pozostałe dwa układy przeważnie znajdują zastosowanie w stopniach wejściowych lub wyjściowych spełniając rolę układów dopasowujących (transformatory oporności), lub też są układami pomocniczymi.

Tranzystor, pracujący w układach prądu zmiennego, dla zapewnienia prawidłowych parametrów wzmacniacza, musi mieć zapewnioną odpowiednią polaryzację złącz - w ten sposób ustalony zostaje odpowiednio dobrany punkt pracy tranzystora.

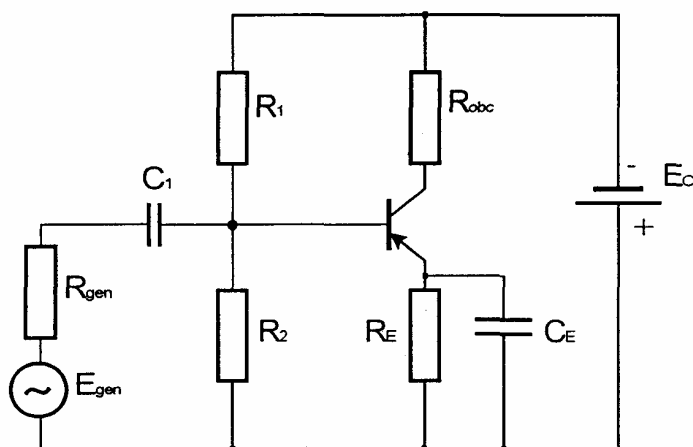
W układach liniowych tranzystor zasilany jest w ten sposób, że złącze emiterowe jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, zaś złącze kolektorowe w kierunku zaporowym. Układy zasilania tranzystora można zrealizować stosując polaryzację obu złącz z oddzielnych baterii; jest to zasilanie dwubateryjne. W praktyce stosuje się jednak najczęściej zasilanie jednobateryjne. W tym wypadku napięcie baterii kolektorowej wykorzystuje się do zasilania bazy, oczywiście stosując odpowiednie układy sprzęgające. Na rysunku 1 jest podany układ zasilania bazy z baterii kolektorowej poprzez potencjometr. W układzie zastosowano również sprzężenie emiterowe (R_E). Podany układ pracuje w konfiguracji WE. Zastosowane w układzie ujemne prądowe szeregowo sprzężenie zwrotne, dzięki wprowadzeniu opornika R_E , ma na celu stabilizację punktu pracy tranzystora. Zmiany położenia punktu pracy powstają wraz ze zmianą parametrów tranzystora. Przyczyną zasadniczą jest zmiana temperatury. Jeżeli zmienia się temperatura, to zmienia się prąd zerowy w obwodzie kolektora I_{00} , napięcie U_{BE} , oraz zwarciowy współczynnik wzmocnienia prądowego β_0 .



Rys.1. Jednobarteryjne potencjometryczne zasilanie tranzystorowego stopnia wzmacniającego w układzie.

Jeżeli w układzie zachodzi konieczność wymiany tranzystora na inny egzemplarz, to zastosowanie sprzężenia emiterowego przeciwdziała przesuwaniu punktu pracy, które mogłyby powstać wskutek występującego rozrzutu parametrów różnych egzemplarzy tranzystorów tego samego typu. Aby usunąć sprzężenie ujemne, dla przebiegów zmiennych zastosowano pojemność blokującą C_E .

Pełny schemat tranzystorowego wzmacniacza jednostopniowego przedstawia rys.2.



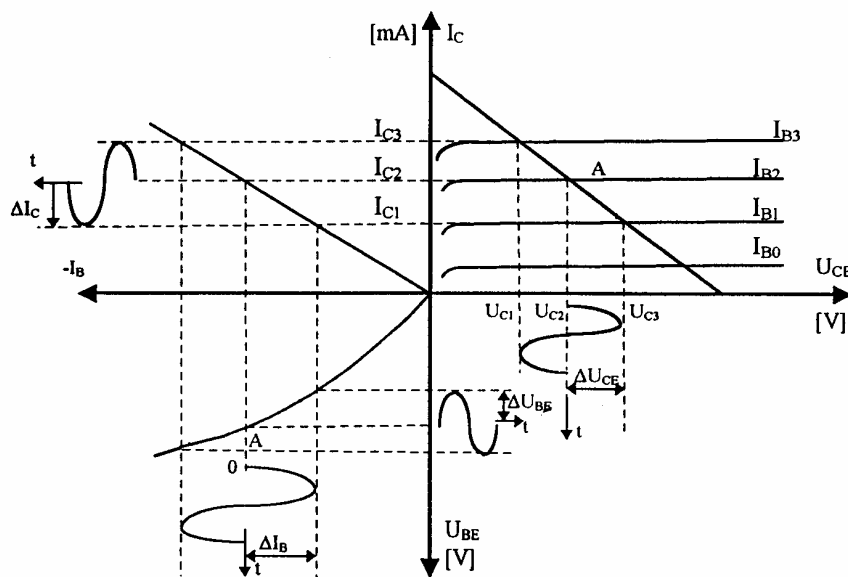
Rys.2. Wzmacniacz tranzystorowy w układzie WE.

Analizę pracy podanego układu wzmacniacza można przeprowadzić wykorzystując charakterystyki statyczne tranzystora wejściowe $I_B = f(U_{BE})$, oraz wyjściowe $I_C = f(U_{CE})$ $I_B = \text{const.}$

Na rys.3 podano przebieg tych charakterystyk dla WE. Na polu charakterystyk wyjściowych zaznaczono ponadto prostą roboczą, wyznaczoną równaniem $E_C = U_{CE} + I_C \cdot R_{obc}$. Otrzymana prosta przecina charakterystyki statyczne, wyznaczając kolejne punkty pracy wzmacniacza przy jegoysterowaniu sygnałem zmiennym. Zmiany napięcia ΔU_{EB} wywołują zmiany prądu bazy ΔI_B (prąd bazy mierzony w μA), a te powodują odpowiednie zmiany prądu kolektorowego ΔI_C /prąd rzędu kilku mA).

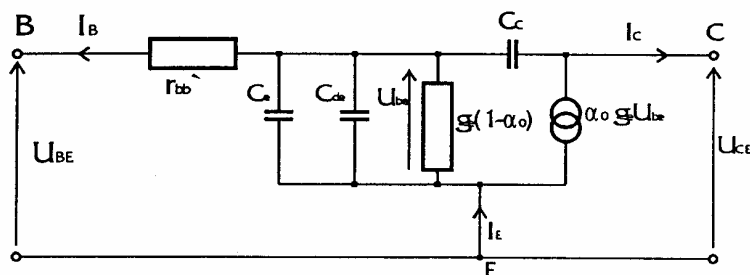
Zmiany prądu kolektorowego są w dalszym ciągu przyczyną zmian napięcia U_{CE} . Podczas tego procesu początkowy punkt pracy A, ustalony odpowiednią polaryzacją w środku prostej roboczej, przesuwa się wzdłuż tej prostej. Z podanej analizy wykresnej można wnioskować, że układ WE pozwala uzyskać dość duże wzmocnienie prądowe $\Delta I_C / \Delta I_B$ oraz wzmocnienie napięciowe określone stosunkiem $\Delta U_{CE} / \Delta U_{BE}$. Ponadto można zauważyć, że analizowany układ

wprowadza przesunięcie fazowe między sygnałem wyjściowym a wejściowym o 180° , inaczej mówiąc odwraca fazę sygnału wejściowego.



Rys.3. Analiza graficzna pracy wzmacniacza WE na charakterystykach wejściowych i wyjściowych tranzystora.

Analiza pracy układu wzmacniającego musi ponadto dotyczyć jego odporności wejściowej i wyjściowej oraz właściwości częstotliwościowych. Dla składowych zmiennych schemat zastępczy tranzystora podaje rys.4.



Rys.4. Schemat zastępczy tranzystora w układzie WE dla składowych zmiennych.

Złącze emiter - baza (emiterowe) jest reprezentowane przewodnością dyfuzyjną, pojemnością dyfuzyjną C_{de} (związaną ze skończonym czasem przelotu nośników prądu przez obszar bazy) oraz pojemnością złączową C_e , powstałą wskutek istnienia ładunku przestrzennego w warstwie zaporowej złącza emiterowego.

Złącze kolektorowe posiada pojemność złączową C_c , a w obwodzie kolektor - emiter występuje idealne źródło prądowe o wydajności proporcjonalnej do napięcia na złączu emiterowym.

Baza reprezentowana jest rezystancją rozproszoną obszaru bazy R_{2b} . W układzie parametrów czwórnikowych mieszanych, oporność wejściowa tranzystora określa parametr h_{11} . W zakresie średnich częstotliwości można ją wyznaczyć pomijając pojemności:

$$h_{11} = g_e (1 - \alpha_0) + r_{bb}$$

Tak wyznaczona oporność jest połączona równolegle do oporności dzielnika polaryzacji R_1 , R_2 (rys.1). Przy wzroście częstotliwości napięcia U_{BE} nie można przy określeniu h_{11} pomijać równolegle włączonych pojemności C_e i C_{de} . Pojemności te działają bocznikująco powodując zmniejszenie h_{11} .

Częstotliwość, przy której zachodzi równość przewodności obu gałęzi:

$$g_e (1 - \alpha_0) = \omega (C_e + C_{de})$$

nazywa się częstotliwością graniczną tranzystora w połączeniu WR oznacza się ją ω_β . Częstotliwość graniczna tranzystora wyznacza charakterystykę częstotliwościową omawianego wzmacniacza.

Oporność wyjściową w zakresie średnich częstotliwości można przyjąć równą oporności źródła prądowego $\alpha_0 \cdot g_e \cdot U_{BE}$ bliską wartości $1 \text{ M}\Omega$.

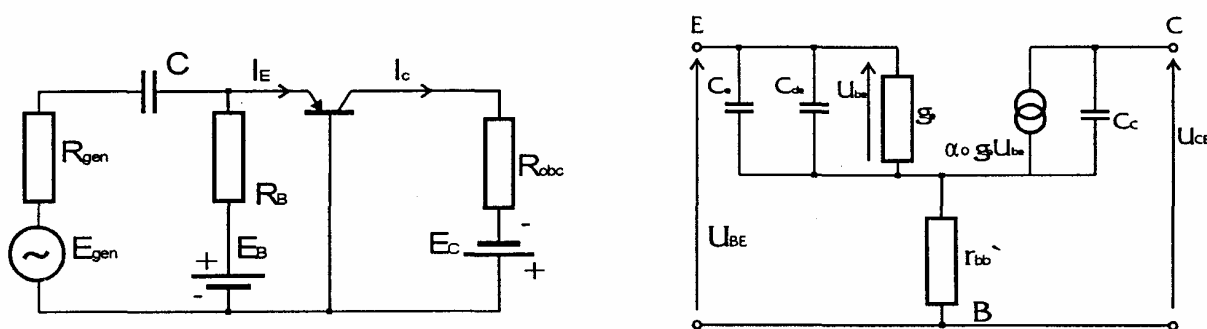
Częstotliwość graniczna układu WE nie jest zbyt wysoka, ogranicza ją xxx tranzystora. Oporność wejściowa w zakresie małych i średnich częstotliwości jest rzędu kilku $\text{k}\Omega$ tak, że wzmacniacz tylko nieznacznie obciąża źródło.

Na rys.5 podano stopień wzmacniacza w układzie WB, oraz jego schemat zastępczy dla przebiegów zmiennych.

Ten stopień można również analizować graficznie na podstawie charakterystyk statycznych tranzystora w układzie WB.

Główne właściwości tego układu to: małe wzmacnianie prądowe

$$I_C = \alpha_0 \cdot I_E \quad \alpha_0 \leq 1 \quad I_C \leq I_E$$



Rys.5. Stopień wzmacniacza w układzie WB oraz jego schemat zastępczy dla przebiegów zmiennych.

Oporność wejściowa układu jest mała $h_{i1b} = g_e$ (około 100Ω). Oporność wyjściowa jest natomiast bardzo duża (rzędu kilku $\text{M}\Omega$). Stopień ten obciąża więc znacznie źródło, wymaga sterowania prądowego. Zaletą tego układu jest znacznie większa częstotliwość graniczna ω_α . Częstotliwość tę należy wyznaczyć z równania

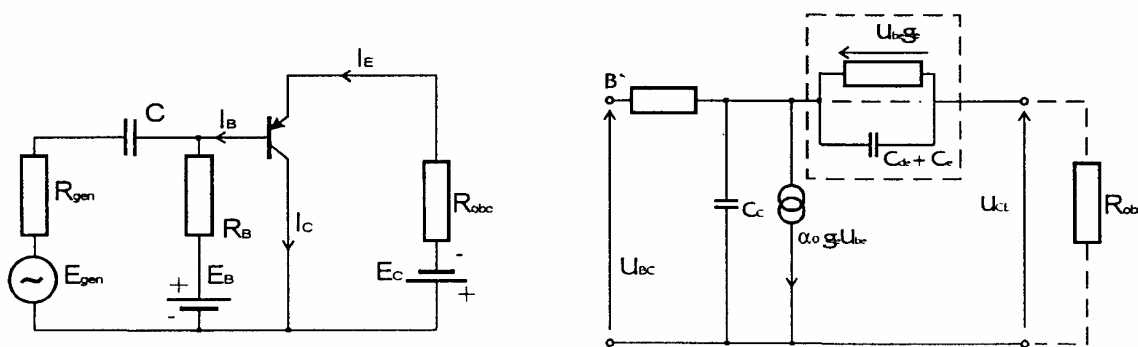
$$g_e = \omega_\alpha \cdot (C_e + C_{de})$$

Własności częstotliwościowe wzmacniaczy w układzie WB pozwalają na użycie ich do wzmacniaczy wielkiej częstotliwości.

Ze względu na zawartości oporności wejściowej i wyjściowej bywają stosowane jako stopnie dopasowujące lub separatory.

Na rysunku 6 podany jest schemat układu wzmacniacza we wspólnym kolektorze WC. Układ taki nosi nazwę wtórnik emiterowego.

Na rysunku przedstawiono również schemat zastępczy dla przebiegów zmiennych.



Rys.6. Wtórnik emiterowy i schemat zastępczy tranzystora w układzie WC.

Schemat zastępczy tranzystora w układzie WC może być uproszczony, ponieważ można pominąć dwójnik złożony z równolegle połączonych g_e i $C_e + C_{de}$, traktując go jak zwarcie wobec dużej, włączonej do niego szeregowo oporności obciążenia R_{obc} . Wobec tego napięcie wyjściowe jest w tym wypadku w przybliżeniu równe napięciu wejściowemu. Wzmocnienie napięciowe w zakresie średnich częstotliwości jest bliskie jedności. Prąd wejściowy jest $(\beta_o + 1)$ razy mniejszy od prądu w obwodzie wyjściowym, natomiast napięcia są prawie takie same. Wynika stąd, że oporność w obwodzie wejściowym R_{we} musi być $(\beta_o + 1)$ razy większa od oporności obwodu emiterowego, którym jest oporność obciążenia R_{obc} . I analogicznie oporność wyjściowa R_{wy} powinna być $(\beta_o + 1)$ razy mniejsza od oporności w obwodzie wejściowym. Można więc napisać:

$$R_{we} = (\beta_o + 1) R_{obc}$$

$$R_{wy} = \frac{R_G}{(\beta_o + 1)}$$

W związku z tymi właściwościami wtórnik emiterowy jest stosowany jako człon dopasowujący. Przenosi napięcie bezstratnie z obwodu o dużej oporności do obwodu o małej oporności.

Częstotliwość graniczną wtórnika określa pojemność złączowa kolektora C_c , jeżeli wtórnik jest obciążony rezystancyjnie.

Wartość częstotliwości granicznej układu WC zawiera się między częstotliwościami granicznymi układu WE i WB.

Jeżeli w obciążeniu wtórnika występuje pojemność obok rezystancyjnego obciążenia to graniczna częstotliwość układu uzależniona będzie od tej pojemności. Charakterystyki częstotliwościowe wzmacniaczy ograniczają wprowadzane pojemności blokujące oraz pojemności sprzęgające kilkustopniowe wzmacniacze.

Obok charakterystyk częstotliwościowych wzmacniaczy bardzo ważnymi są charakterystyki wzmacniania (dynamiczne) $U_{wy} = f(U_{we})$, lub $I_{wy} = f(I_{we})$. Na podstawie tych charakterystyk można określać zniekształcenia wzmocnienia wynikające z nieliniowości charakterystyk tranzystorów. Znaczne zniekształcenia nieliniowe występują przy pracy dużymi amplitudami napięć lub prądów.

Charakterystyki dynamiczne pozwalają określić granicę amplitud sygnałów sterujących aby nie występowały zniekształcenia nieliniowe.

2. Przebieg ćwiczenia

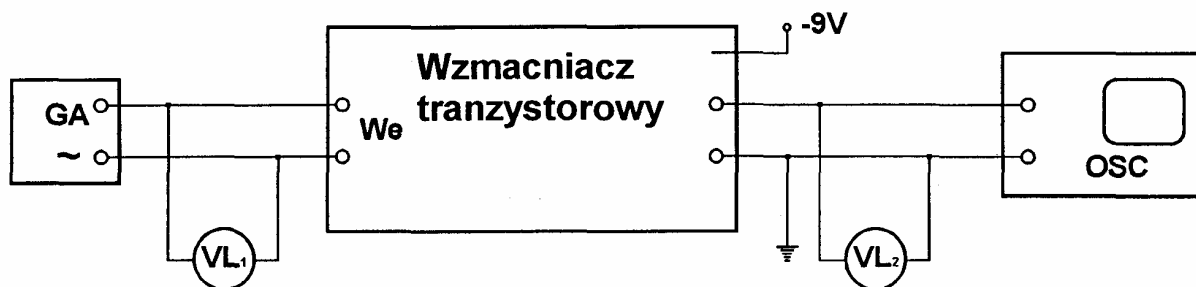
Ćwiczenie obejmuje pomiary parametrów tranzystorowych stopni wzmacniających w układach: wspólnej bazy WB, wspólnego emitera WE i wspólnego kolektora WC. Dla każdego z podanych układów należy wyznaczać:

1. charakterystykę dynamiczną $U_{wy} = f(U_{we})$,
2. charakterystykę częstotliwościową $K_u = f(f)$,
3. szerokość pasma przenoszenia wzmacniacza,
4. oporność wejściową i wyjściową,
5. zaznajomić się z klasami pracy wzmacniaczy.

2a. Charakterystyka dynamiczna

Charakterystyki dynamiczne wyznaczyć należy stosując schemat podany na rys. 7, przy czym oznaczony blokowo wzmacniacz tranzystorowy może być układem WE (jednostopniowy i dwustopniowy) WB, lub wtórnika emiterowego WC.

Charakterystykę dynamiczną wyznacza się przy stałej częstotliwości sygnału wejściowego ($f = 1000\text{Hz}$). Zmieniając amplitudę sygnału od zera aż do wartości, przy której wystąpią zniekształcenia przebiegu wyjściowego. Przebieg wyjściowy obserwuje się na oscyloskopie.



Rys. 7. Układ pomiarowy przy wyznaczaniu charakterystyk dynamicznych wzmacniaczy.

Wykaz przyrządów:

GA - generator akustyczny,

VL₁, VL₂ - woltomierze lampowe,

OSC - oscyloskop,

Wzmacniacz tranzystorowy - dowolny układ wzmacniacza: WE, WB, WC.

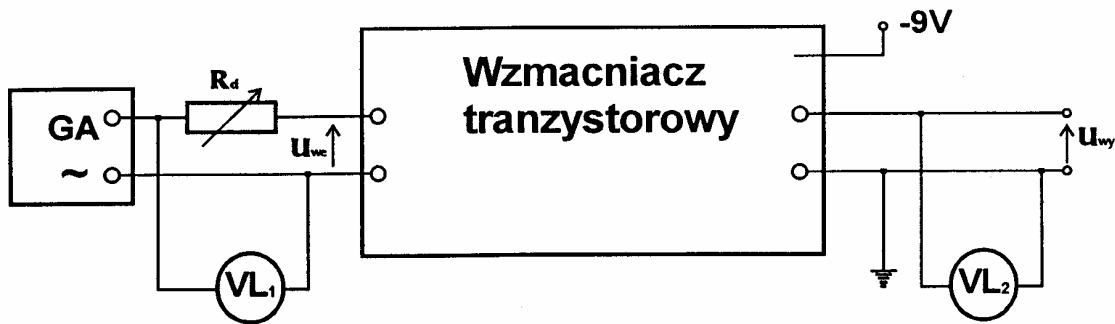
2b. Charakterystyka częstotliwościowa

Charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza należy wyznaczyć stosując schemat z rys. 7. Pomiar przeprowadza się przy stałej amplitudzie sygnału wejściowego, a zmieniać należy jego częstotliwość. Na podstawie pomiarów należy wyznaczyć wzmocnienie napięciowe:

$$K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad \text{V/V} \quad \text{oraz} \quad K_u = 20 \log \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad \text{dB}$$

2c. Pomiar oporności wejściowej stopnia

Układ do pomiaru oporności wejściowej stopnia podaje rys. 8.



Rys.8. Układ do pomiaru oporności wejściowej wzmacniacza tranzystorowego.

Użyte przyrządy:

GA - generator akustyczny,

R_d - opornik dekadowy,

VL_1 , VL_2 - woltomierze lampowe,

Wzmacniacz tranzystorowy - dowolny układ wzmacniacza (WE, WB, WC).

Pomiar oporności wejściowej należy przeprowadzić w sposób następujący:

Na oporniku dekadowym nastawić $R_d = 0$; w tym wypadku $U_{we} = U_{gen}$ a napięcie wyjściowe $U_{wy} = K_u \cdot U_{we}$. W dalszym ciągu nie zmieniając napięcia generatora U_{gen} , należy regulować wielkość oporności nastawionej na oporniku dekadowym tak, aby napięcie wyjściowe zmalało do połowy wartości napięcia U_{wy} . Będzie więc:

$$U_{wy}'' = 0,5 U_{wy}$$

Tą zależność otrzyma się, gdy napięcie wejściowe jest połową napięcia generatora:

$$U_{we} = 0,5 U_{gen}$$

Z zależności:

$$U_{we}'' = \frac{R_{we}}{R_{we} + R_d} \cdot U_{gen}$$

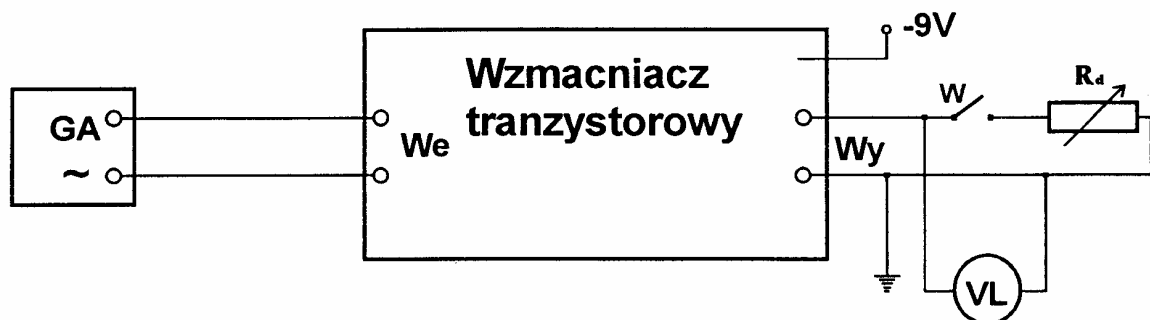
oraz uwzględniając, że

$$U_{we} = 0,5 U_{gen}$$

wynika, że poszukiwana wartość oporności wejściowej wzmacniacza wynosi: $R_{we} = R_d$. Pomiar należy powtórzyć dla kilku wartości napięcia generatora i stałej częstotliwości $f = 1000\text{Hz}$.

2d. Pomiar oporności wyjściowej stopnia wzmacniającego

Układ do pomiaru oporności wyjściowej stopnia wzmacniającego podany jest na rys.9.



Rys.9. Układ do pomiaru oporności wyjściowej stopnia wzmacniającego.

Użyte przyrządy:

GA - generator akustyczny,

R_d - opornik dekadowy,

VL - woltomierz lampowy,

Wzmacniacz tranzystorowy - dowolny układ wzmacniacza /WE, WB, WC/.

Pomiar oporności wyjściowej należy przeprowadzić w następujący sposób:

Na generatorze nastawić wartość napięcia U_{gen} i przy otwartym wyłączniku W odczytać odpowiadające wychylenie woltomierza U'_{wy} . Po dołączeniu oporności dekadowej na wyjściu należy tak zmieniać jej oporność, aby wychylenie woltomierza zmalało do połowy przy niezmiennym napięciu generatora. Zgodnie z powyższym pomiarem będzie:

$U'_{wy} = 0,5 U''_{wy}$, ponieważ $U'_{wy} = I'_{wy} \cdot R_{wy}$, więc : $U''_{wy} = 0,5 \cdot I'_{wy} \cdot R_{wy}$;
z drugiej strony można obliczyć U''_{wy} jako:

$$U''_{wy} = \frac{R_{wy} \cdot R_d}{R_{wy} + R_d} \cdot I'_{wy}$$

uwzględniając w tej zależności poprzednie równania można wyznaczyć oporność wyjściową stopnia jako: $R_{wy} = R_d$.

Powyższy pomiar należy przeprowadzić dla kilku napięć generatora, stale przy częstotliwości $f = 1000\text{Hz}$.

2e. Wyznaczenie szerokości pasma

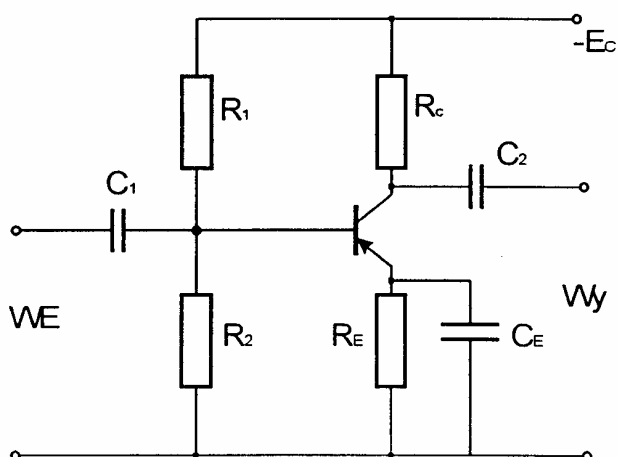
Szerokość pasma należy wyznaczyć z charakterystyk częstotliwościowych stopni stosując kryterium 3 dB-wego spadku wzmocnienia na krańcu pasma /jeżeli wzmocnienie K_u podane jest w dB, lub stosując dla krańca pasma zależność $K_{u \min} = 0,7 \cdot K_u$ (jeżeli wzmocnienie jest podane w V/V). W obu wypadkach K_u oznacza maksymalne wzmocnienie występujące w środku pasma.

3. Pomiary i wykresy

3.1. Pomiary dla układu wzmacniacza pracującego we wspólnym emiterze

3.1.1. Jednostopniowy wzmacniacz WE

Schemat badanego wzmacniacza podaje rysunek 10.



Rys.10. Tranzystorowy stopień wzmacniający w układzie WE.

Pomiary należy przeprowadzić kolejno według podanych poprzednio punktów 2a, 2b, 2c, 2d.

Charakterystyka dynamiczna $U_{wy} = f(U_{we})$ $f = \text{const}$

Pomiary przedstawić w tabelce:

U_{we}	V	
U_{wy}	V	

Z wykreślonej charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$ należy dla zakresu prostoliniowego wyznaczyć $K_u = U_{wy}/U_{we}$ V/V.

Charakterystyka częstotliwościowa $K_u = f(f)$ $U_{we} = \text{const}$

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2b zestawić w tabelce:

f	Hz	
U_{wy}	V	
K_u	V/V	
K_u	dB	

$U_{we} = \dots\dots\dots V$

Z wykresu należy określić szerokość pasma opierając się na wiadomościach z punktu 2e.

Oporność wejściowa stopnia wzmacniającego R_{we}

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2c należy zestawić w tabelce:

U_{gen}	V	
U_{wy}	V	
R_d	Ω	
R_{we}	Ω	

$R_{we} = \dots\dots\dots \Omega$

Oporność wyjściowa układu wzmacniającego R_{wy}

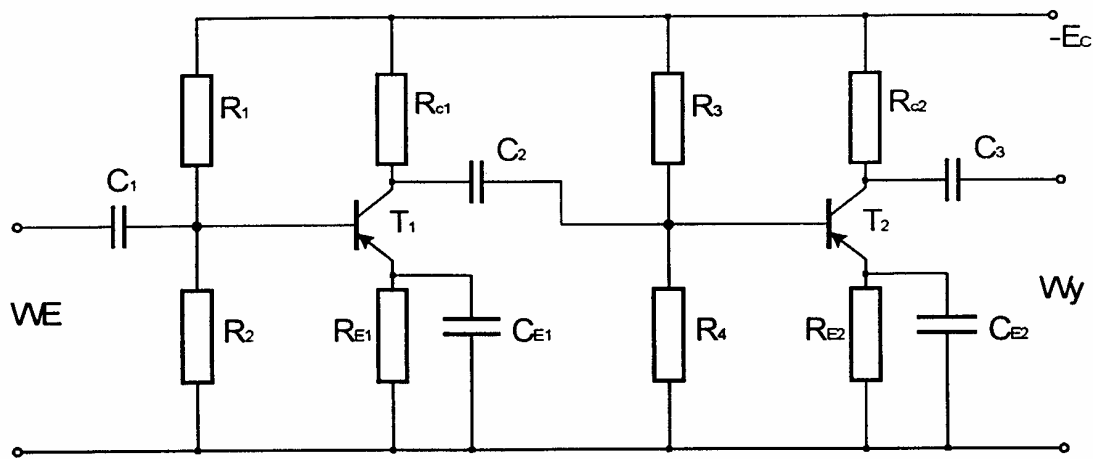
Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2d należy zestawić w tabelce:

U_{gen}	V	
U''_{wy}	V	
R_d	Ω	
R_{wy}	Ω	

$R_{wy} = \dots\dots\dots \Omega$

Dwustopniowy wzmacniacz napięciowy w układzie WE.

Schemat badanego wzmacniacza podaje rys. 11.



Rys.11. Schemat wzmacniacza dwustopniowego w układzie WE.

Pomiary przeprowadza się jak poprzednio.

Charakterystyka dynamiczna $U_{wy} = f(U_{we})$ $f = \text{const}$

U_{we}	V	
U_{wy}	V	

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

Na podstawie wykreślonej charakterystyki należy wyznaczyć wzmocnienie dla jej prostoliniowego zakresu.

$$K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

Charakterystyka częstotliwościowa $K_u = f(f)$ $U_{we} = \text{const}$

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2b zestawień w tabelce:

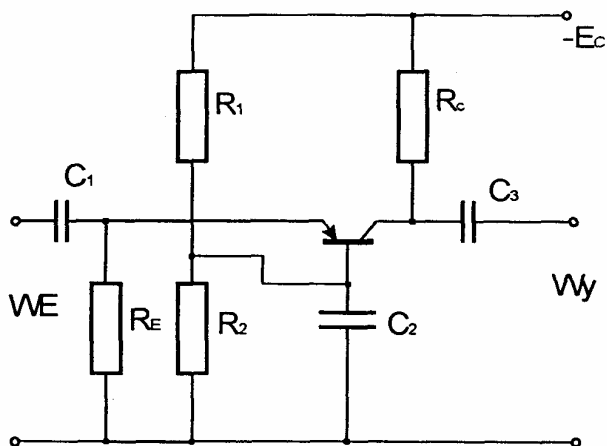
f	Hz	
U_{wy}	V	
K_u	V/V	
K_u	dB	

$$U_{we} = \dots\dots\dots \text{V}$$

Z wykonanego wykresu wyznaczyć jak poprzednio szerokość pasma.

3.2. Jednostopniowy wzmacniacz w układzie WB

Wzmacniacz w układzie WB podany jest na rysunku 12.



Rys.12. Stopień wzmacniacza tranzystorowego w układzie WB.

Charakterystyka dynamiczna $U_{wy} = U_{we}$ $f = \text{const}$

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2a należy zestawić w tabelce i wykonać wykres. Z wykresu wyznaczyć wzmocnienie napięciowe dla prostoliniowego zakresu.

U_{we}	V	
U_{wy}	V	

$f = \dots \text{Hz}$

Charakterystyka częstotliwościowa $U_{wy} = f(f)$ $U_{we} = \text{const}$

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2b zestawić w tabelce i na podstawie wykonanego wykresu określić szerokość pasma (jak poprzednio).

f	Hz	
U_{wy}	V	
K_u	V/V	
K_u	dB	

$U_{we} = \dots \text{V}$

oporność wejściowa stopnia wzmacniającego WB R_{we}

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2c należy zestawić w tabelce:

U_{gen}	V	
U''_{wy}	V	
R_d	Ω	
R_{we}	Ω	

$R_{we} = \dots \Omega$

Oporność wyjściowa układu wzmacniającego R_{wy}

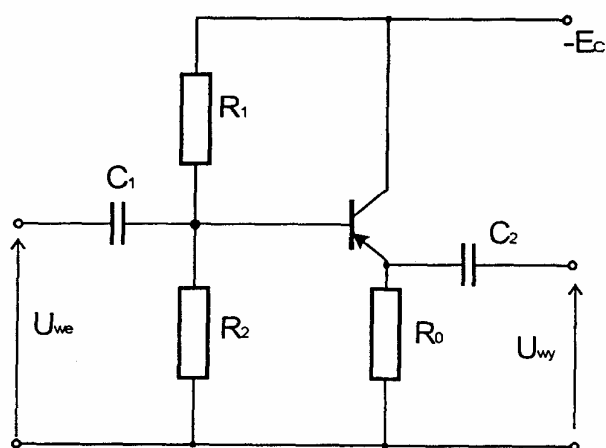
Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2d należy zestawić w tabelce:

U_{gen}	V	
U'_{wy}	V	
R_d	Ω	
R_{wy}	Ω	

$$R_{wy} = \dots\dots\dots \Omega$$

3.3. Jednostopniowy wzmacniacz w układzie WC tzw. wtórnik emiterowy

Układ wtórnika emiterowego przedstawia rysunek 13.



Rys.13. Schemat ideowy układu WC (wtórnika emiterowego).

Charakterystyka częstotliwościowa

Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2b zestawić w tabelce. Na podstawie wykresu wyznaczyć wzmacnienie w środku pasma oraz szerokość pasma.

f	Hz	
U_{wy}	V	
K_u	V/V	
K_u	dB	

$$U_{we} = \dots\dots\dots V$$

Oporność wejściowa układu R_{we}

Pomiary wykonane na podstawie punktu 2c należy zestawić w tabelce:

U_{gen}	V	
U'_{wy}	V	
R_d	Ω	
R_{we}	Ω	

$$R_{we} = \dots\dots\dots \Omega$$

Oporność wyjściowa układu R_{wy}

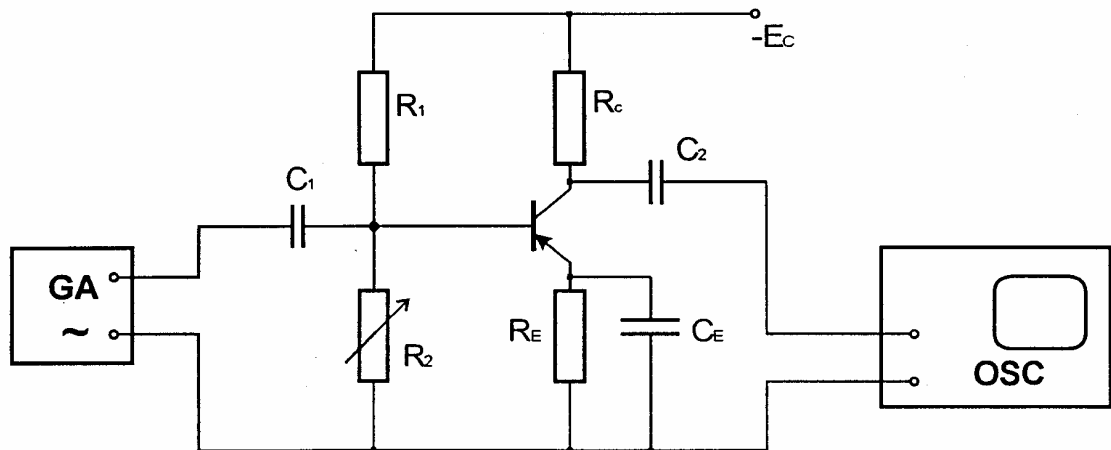
Pomiary wykonane zgodnie z punktem 2d należy zestawić w tabelce:

U_{gen}	V	
U'_{wy}	V	
R_d	Ω	
R_{wy}	Ω	

$$R_{wy} = \dots\dots\dots \Omega$$

3.4. Badanie klas pracy tranzystora w układzie WE

W układzie podanym na rysunku 14 należy obserwować przebiegi napięć na kolektorze tranzystora przy zmianach oporności R_2 . Należy tak dobrać wartości opornika R_2 , aby uzyskać warunki pracy w klasach A, B, AB. Następnie narysować zaobserwowane przebiegi napięć.



Rys.14.