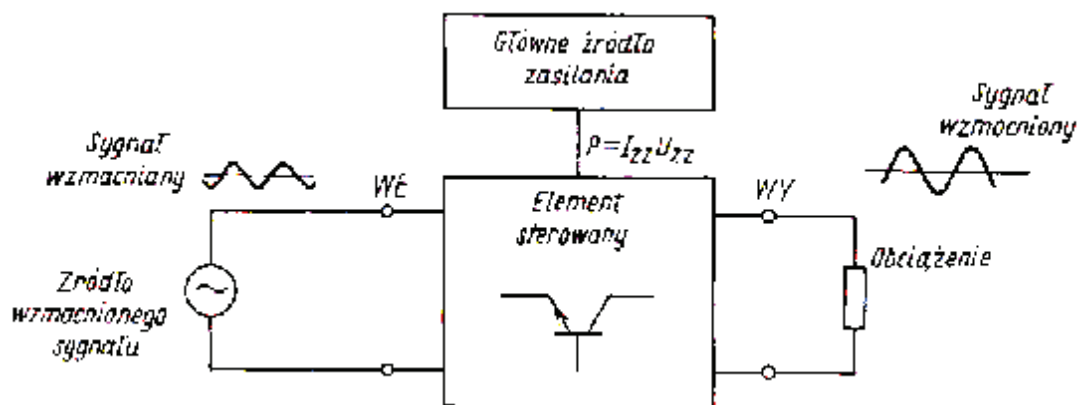


4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Budowa wzmacniaczy tranzystorowych

4.1.1. Materiał nauczania

Podstawową funkcją wzmacniacza jest zwiększenie mocy sygnału, przy zachowaniu nie zmienionego jego kształtu. Funkcję tę realizuje się przez zastosowanie w układzie wzmacniacza elementów czynnych. Jako elementy czynne wykorzystuje się tranzystory bipolarne, tranzystory unipolarne lub układy scalone. Wzmocnienie sygnału odbywa się kosztem energii doprowadzonej z źródła napięcia stałego zasilającego wzmacniacz. Sygnał przyłożony do wejścia steruje elementem czynnym wzmacniacza a ten steruje przepływem energii ze źródła zasilania do obciążenia (rys. 1).



Rys. 1. Schemat ogólny wzmacniacza [8, s. 246]

Układy pracy tranzystorów bipolarnych we wzmacniaczach

Od sposobu włączenia elementu czynnego w układzie wzmacniacza w znacznym stopniu zależą właściwości wzmacniacza. Praktycznie wykorzystuje się trzy sposoby połączeń:

1. **Układ o wspólnym emiterze** – oznaczony WE lub OE (rys. 2a), w którym sygnał jest doprowadzony między bazę i emiter a obciążenie jest włączone pomiędzy kolektor i emiter. Emiter stanowi elektrodę wspólną dla obwodu wejściowego i wyjściowego. Układ o wspólnym emiterze jest najpowszechniej stosowaną konfiguracją tranzystora bipolarnego we wzmacniaczu małej częstotliwości. Właściwości układu o wspólnym emiterze:
 - w zakresie małych i średnich częstotliwości odwraca fazę sygnału wejściowego o 180° ,
 - układ zapewnia dość duże wzmocnienie napięciowe i prądowe a przez to duże wzmocnienie mocy,
 - rezystancja wejściowa układu umiarkowanie mała, zaś wyjściowa jest umiarkowanie duża,
 - układ ten ma największe wzmocnienie mocy w stosunku do układów WC czy WB,
2. **Układ o wspólnym kolektorze** – oznaczony WC lub OC (rys. 2b), w którym sygnał jest doprowadzony między bazę i kolektor a obciążenie jest włączone pomiędzy emiter i kolektor. Kolektor stanowi elektrodę wspólną dla obwodu wejściowego i wyjściowego. w zakresie małych częstotliwości układ nie odwraca fazy sygnału wejściowego. Właściwości układu o wspólnym kolektorze:

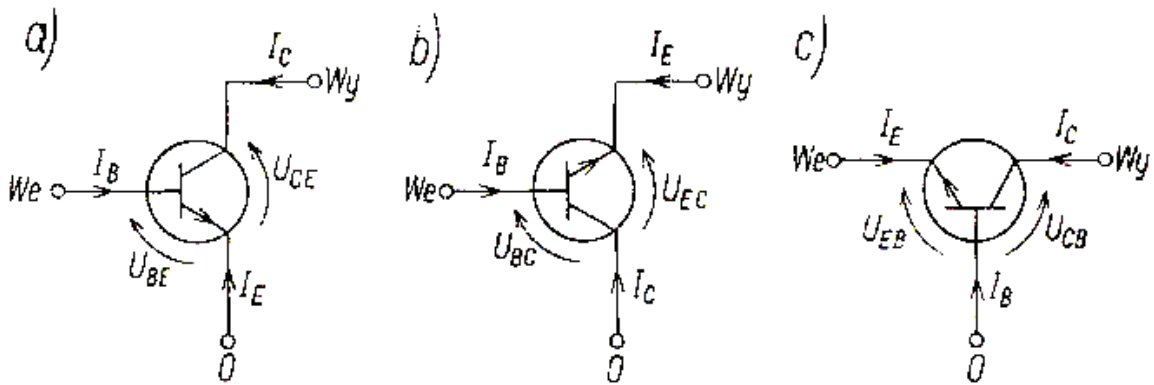
- wzmacnienie napięciowe tego wzmacniacza: $K_u \approx 1$, stąd układ ten nazywany jest wtórnikiem emiterowym,
- rezystancja wejściowa jest duża, a rezystancja wyjściowa jest mała,
- wzmacnienie prądowe podobne jak w układzie WE.

Układ ten dzięki powyższym własnościom wykorzystywany jest jako dopasowujący lub separujący.

3. **Układ o wspólnej bazie** – oznaczony WB lub OB (rys. 2c), w którym sygnał jest doprowadzony między emiter i bazę a obciążenie jest włączone pomiędzy kolektor i bazę. Baza stanowi elektrodę wspólną dla obwodu wejściowego i wyjściowego. Właściwości układu o wspólnej bazie:

- w zakresie małych częstotliwości układ nie odwraca fazy sygnału wejściowego, rezystancja wejściowa jest mała (ok. $\beta+1$ razy mniejsza niż w układzie WE),
- a rezystancja wyjściowa jest duża (ok. $\beta+1$ razy większa niż w układzie WE),
- wzmacnienie prądowe jest mniejsze od jedności,
- układ ten ma najwyższą częstotliwość graniczną,

Podstawowe parametry wzmacniaczy pracujących w powyższych konfiguracjach przedstawiono w tabeli 1.



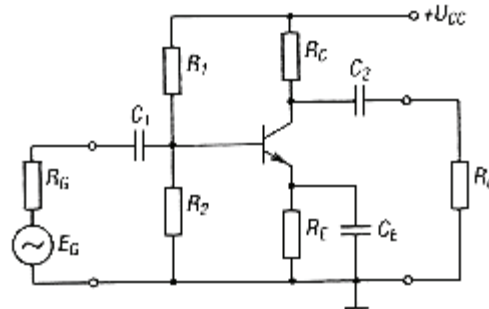
Rys. 2. Sposoby włączenia tranzystorów: a) układ WE, b) układ WC, c) układ WB [1, s. 150]

Tabela 1. Parametry wzmacniaczy w zależności w różnych konfiguracjach OE, OB, OC – konfiguracje pracy tranzystora bipolarnego OS, OG, OD – konfiguracje pracy tranzystora unipolarnego [5, s. 71]

Parametr \ Konfiguracja	OE	OB	OC
	OS	OG	OD
wzmacnienie napięciowe	duże ok. 60	duże ok. 60	małe ≤ 1
wzmacnienie prądowe	duże ok. 100	małe ≤ 1	duże ok. 100
rezystancja wejściowa	średnia kilka $k\Omega$	mała poniżej 500Ω	duże ok. kilkudziesięciu $k\Omega$
rezystancja wyjściowa	średnia kilka $k\Omega$	duża ok. kilkudziesięciu $k\Omega$	mała poniżej 500Ω

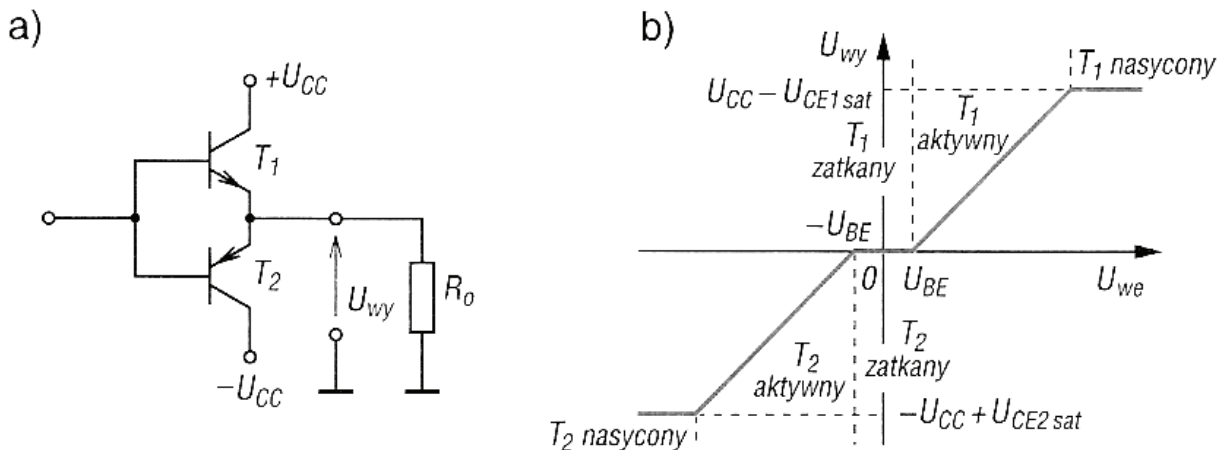
Klasy pracy wzmacniaczy

Klasa A – najczęściej stosowana klasa we wzmacniaczach napięciowych małych sygnałów. Wzmacniacz w tej klasie zawiera jeden tranzystor. Prąd kolektora tranzystora płynie przez cały okres sygnału wejściowego. Kąt przepływu wynosi więc $360^\circ = 2\pi$. Punkt pracy tranzystora ustawiony jest w środku prostej obciążenia. Wzmacniacz pracujący w tej klasie ma małe zniekształcenia, natomiast sprawność wzmacniacza nie przekracza 50%.



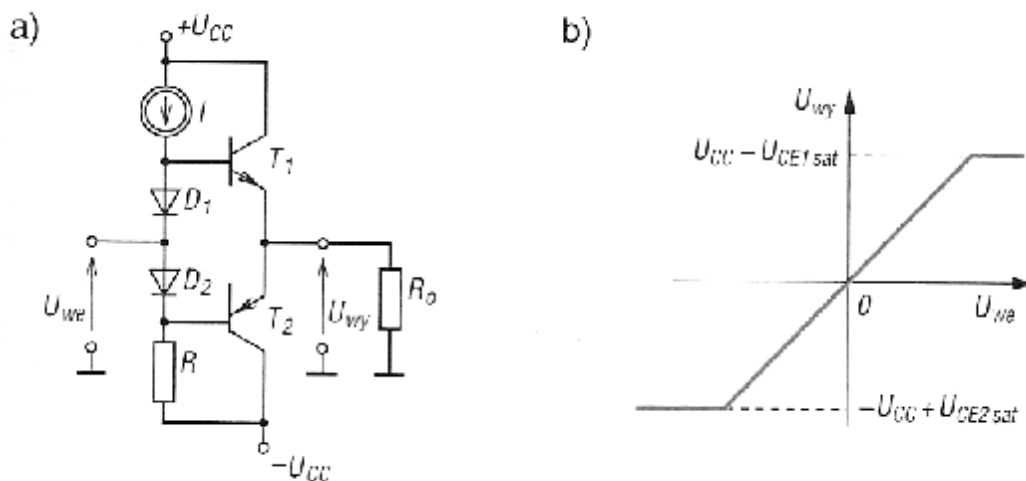
Rys. 3. Schemat ideowy wzmacniacza klasy A w układzie WE [5, s. 40]

Klasa B – Prąd kolektora tranzystora płynie w przybliżeniu przez jeden półokres sygnału wejściowego. Wzmacniacze te są stosowane jako komplementarne. Wzmacniacz taki zawiera dwa tranzystory: T1 p-n-p i T2 p-n-p. Prąd kolektora obydwu tranzystorów płynie przez połowę okresu. Jeden tranzystor przewodzi dla dodatniej połówki sygnału natomiast drugi tranzystor przewodzi dla ujemnej połówki sygnału. Sprawność tego wzmacniacza jest większa niż wzmacniacza klasy A, a zniekształcenia są większe niż w klasie A ze względu na niezerowe napięcia włączenia tranzystorów bipolarnych. Sprawność tego wzmacniacza może osiągnąć 78%.



Rys. 4. Wzmacniacz tranzystorowy klasy B: a) schemat ideowy, b) charakterystyka przejściowa, [5, s. 112]

Klasa AB – Wzmacniacz w tej klasie jest modyfikacją wzmacniacza klasy B. Prąd kolektora tranzystora płynie przez czas krótszy niż okres, ale dłuższy niż półokres sygnału wejściowego. Wzmacniacze w tej klasie także wykonuje się jako komplementarne. Zwiększenie kąta przepływu likwiduje zniekształcenia powstające w klasie B ale zmniejsza się sprawność wzmacniacza która wynosi od 50 do 70%. Wzmacniacze w tej klasie bardzo często wykorzystuje się do budowy akustycznych wzmacniaczy mocy.



Rys. 5. Wzmacniacz tranzystorowy klasy AB a) schemat układu b) charakterystyka przejściowa [5, s.113]

Klasa C – Prąd kolektora tranzystora płynie przez mniej niż połowę okresu. Sygnał wyjściowy jest znacznie zniekształcony. Sprawność wzmacniacza wynosi od 70 do 80%. Wzmacniacze w tej klasie wykorzystuje się do wzmacniania sygnałów dużej częstotliwości lub w powielaczach częstotliwości.

Zasilanie i obwody polaryzacji elementów czynnych wzmacniacza stwarzają właściwe warunki do przeniesienia i wzmocnienia sygnału przez wzmacniacz. Dobór elementów polaryzacji tranzystora wpływa na tzw. statyczny punkt pracy wzmacniacza. Omówienia wpływu poszczególnych elementów dokonano na podstawie często stosowanego wzmacniacza klasy A w układzie WE wg schematu z rys. 3. Rezystory R_1 i R_2 ustalają napięcie na bazie tranzystora przez co ustalają jednocześnie punkt pracy wzmacniacza na prostej obciążenia. Im większa wartość R_2 w stosunku do R_1 tym większy spoczynkowy prąd kolektora. Rezystor R_E określa wartość ujemnego sprzężenia zwrotnego. Im rezystor ten ma większą wartość, tym silniejsze jest to sprzężenie. Poprawia się przez to stabilność pracy układu a równocześnie zmniejsza się wzmocnienie wzmacniacza. Rezystor R_C polaryzuje kolektor tranzystora a jednocześnie wpływa na wzmocnienie wzmacniacza. Im większe R_C tym większe wzmocnienie. Szacunkowa wartość wzmocnienia:

$$K_U = -\frac{R_C}{R_E} [-]$$

Rezystory R_C i R_E wpływają również na położenie prostej obciążenia tranzystora, zmieniając przez to jego punkt pracy.

Kondensator C_1 jest elementem sprzęgającym źródło sygnału lub poprzednie stopnie wzmacniające z wejściem wzmacniacza. Kondensator ten wraz rezystorami polaryzującymi bazę i rezystancją R_{BE} tranzystora stanowią filtr dolnoprzepustowy. Kondensator C_1 dobiera się tak, aby tworzył z impedancją wejściową filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości niższej niż wymagana dolna częstotliwość graniczna f_d wzmacniacza. Kondensator C_1 odcina składową stałą napięcia polaryzującą tranzystory od wejścia wzmacniacza. Wartość tego kondensatora wyznacza się z wzoru:

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi (R_1 \parallel R_2) f_d} [F]$$

Kondensator C_2 stanowi sprzężenie wyjścia wzmacniacza z następnym stopniem układu elektronicznego oraz odcina składową stałą polaryzującą kolektor tranzystora od wyjścia wzmacniacza.

$$C_2 \geq \frac{1}{2\Pi(R_C \parallel R_O) f_d} [\text{F}]$$

Kondensator C_E stanowi ujemne sprzężenie zwrotne dla sygnałów zmiennoprądowych. Eliminuje on ujemne sprzężenie zwrotne wprowadzone przez rezystor R_E , zwierając składową zmienną do masy. Pojemność tę dobiera się tak, aby dla najniższej częstotliwości f_d przenoszonej przez wzmacniacz, jego impedancja była dużo mniejsza niż rezystancja R_E .

$$X_{CE} \ll R_E$$

Obliczanie punktu pracy tranzystora

Przykładowe obliczenia punktu pracy dokonano dla schematu ideowego wzmacniacza z rys. 3.

Dane dla tego schematu to:

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 1 \text{ k}\Omega$$

Założenia:

$$U_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$\beta = 100$$

$$I_B = 0$$

$$U_{BE} = 0,6 \text{ V}$$

$$I_C = I_E$$

Z dzielnika wejściowego R_1 i R_2 można wyznaczyć napięcie bazy zakładając $I_B = 0$

$$U_B = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1,36 \text{ [V]}$$

Napięcie na emiterze można wyznaczyć z zależności:

$$U_E = U_B - U_{BE} = 0,76 \text{ [V]}$$

znając napięcie U_E , prąd I_E wyznaczamy z zależności:

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = 0,76 \text{ [mA]}$$

korzystając z II prawa Kirchhoffa wyznaczamy:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_E (R_E + R_C) = 6,64 \text{ [V]}$$

Potencjał kolektora powinien znajdować się w połowie napięcia zasilania

$$V_C = U_{CC} - I_E R_C = 7,4 \text{ [V]}$$

Jeśli potencjał kolektora jest bliski napięcia zasilania lub ma niewielką wartość, to źle zostały dobrane wartości rezystancji R_1 lub R_2 . Jeśli potencjał kolektora jest bliski napięcia zasilania, to oznacza iż spoczynkowy prąd I_C jest za mały. W tej sytuacji należy zwiększyć wartość rezystora R_2 lub zmniejszyć R_1 . Jeśli natomiast potencjał kolektora jest znacznie mniejszy niż $\frac{1}{2} U_{CC}$ to oznacza iż spoczynkowy prąd I_C jest za duży. W tej sytuacji należy zwiększyć wartość rezystora R_1 . Po skorygowaniu wartości R_1 lub R_2 należy powtórzyć wcześniejsze obliczenia. Nie należy stosować małych wartości rezystancji R_1 i R_2 ponieważ wpływają one na wartość impedancji wejściowej wzmacniacza, która powinna być duża. W przypadku zastosowania za dużych rezystancji R_1 i R_2 prąd dzielnika będzie porównywalny z prądem bazy i zastosowane w powyższym wyznaczaniu punktu pracy wzmacniacza założenia nie będą prawdziwe. Po sprawdzeniu punktu pracy tranzystora określamy przybliżoną wartość prądu bazy dla wyznaczonego prądu emitera:

$$I_B = \frac{I_E}{(1 + \beta)} = 7,52 \text{ } [\mu\text{A}]$$

następnie porównujemy z prądem płynącym przez dzielnik R_1 i R_2 .

$$I_{\text{Dziel}} \approx \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} = 136 \text{ } [\mu\text{A}]$$

Jeśli spełniona jest zależność:

$$10 \cdot I_B < I_{\text{Dziel}}$$

to wyznaczanie punktu pracy wzmacniacza można zakończyć z dokładnością większą niż 10%. Jeśli zależność nie jest spełniona należy proporcjonalnie zmniejszyć wartości rezystancji R_1 i R_2 . W powyższym obliczeniach warunek ten jest spełniony ponieważ:

$$10 \cdot 7,52 \text{ } \mu\text{A} < 136 \text{ } [\mu\text{A}]$$

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest funkcja wzmacniacza?
2. Jakie znasz sposoby włączenia tranzystora we wzmacniaczach?
3. Który z układów pracy wzmacniacza wykorzystasz jako wtórnik?
4. Którą z klas wzmacniaczy wykorzystasz jako wzmacniacz małych sygnałów?
5. Jaka funkcję we wzmacniaczu tranzystorowym z rys. 3 pełnią rezystory R_1 i R_2 ?
6. Jaka funkcję we wzmacniaczu tranzystorowym z rys. 3 pełnią rezystory R_C i R_E ?
7. Jaka funkcję we wzmacniaczu tranzystorowym z rys. 3 pełnią kondensatory C_1 , C_2 i C_E ?
8. W jaki sposób polaryzuje się złącza B-E i B-C we wzmacniaczu tranzystorowym w układzie WE?
9. W jaki sposób uzyskuje się polaryzację elektrod tranzystora, gdy układ jest zasilany z jednego źródła ?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Narysuj schemat wzmacniacza tranzystorowego w układzie WE.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) narysować odręcznie schemat, zaznaczając wyraźnie wejście, wyjście i zasilanie wzmacniacza,
- 2) dokonać oceny poprawności i estetyki wykonanego ćwiczenia,

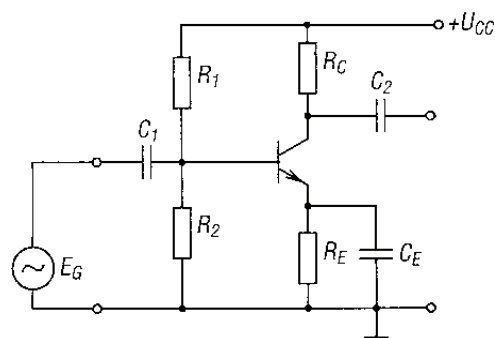
Wyposażenie stanowiska pracy:

- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Oblicz punkt pracy tranzystora pracującego we wzmacniaczu z potencjometryczną polaryzacją bazy i sprzężeniem zwrotnym emiterowym przedstawionym na rysunku.

Obliczeń dokonać dla wzmacniacza przy następujących danych: $U_{CC}=12V$, $R_1= 51k\Omega$, $R_2= 20k\Omega$, $R_C= 6k\Omega$, $R_E= 1k\Omega$, $\beta=180$.



Schemat ideowy wzmacniacza WE [5, s.40]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z kolejnością i sposobem wyznaczania punktu pracy,
- 2) obliczyć potencjały w poszczególnych punktach układu zgodnie z poleceniami zawartymi w materiale nauczania,
- 3) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 4) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 3

Pomiary napięć i prądów stałych w poszczególnych punktach pomiarowych wzmacniacza. Wyznaczanie optymalnego punktu pracy tranzystora.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia dla jednostopniowego wzmacniacza tranzystorowego w układzie wspólnego emitera (OE),
- 2) zapoznać się ze sposobem polaryzacji wzmacniacza,
- 3) przygotować wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego,
- 4) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 5) wykonać pomiary napięć i prądów dla określenia punktu pracy tranzystora przy określonych wcześniej wartościach rezystancji:
 - napięcie zasilania wzmacniacza U_{CC} V,
 - napięcie bazy tranzystora U_BV,
 - napięcie na rezystorze w obwodzie kolektora $U_{Rc} =$V,
 - napięcie kolektora tranzystora U_CV,
 - napięcie na rezystorze w obwodzie emitera $U_{Re} =$V,
 - napięcie między kolektorem a bazą $U_{CB} =$ V,
 - prąd bazy $I_B =$ μA ,
 - prąd kolektora $I_C =$mA.
- 6) zmieniać wartości rezystancji polaryzujących bazę obserwować zmiany prądu kolektora i napięcia kolektorowego,
- 7) podać wyniki obserwacji w postaci wniosków,
- 8) wyznaczyć optymalny punkt pracy tranzystora,
- 9) dokonać oceny poprawności wniosków na podstawie materiału nauczania pkt 4.1.1.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacze stabilizowane,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 4

Analiza wybranych schematów ideowych wzmacniaczy tranzystorowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem nauczania,
- 2) wspólnie w grupie dla podanych schematów ideowych określić:
 - sposób włączenia elementu czynnego,
 - klasę wzmacniacza,
 - elementy polaryzujące bazę tranzystora,
 - elementy polaryzujące kolektor tranzystora,
 - elementy polaryzujące emiter tranzystora,
 - elementy sprzęgające wejście i wyjście wzmacniacza.
- 3) podać wyniki analizy w postaci wniosków,
- 4) dokonać oceny poprawności wniosków z innymi grupami i dokonać ewentualnych korekt wniosków.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- plansze ze schematami ideowymi wzmacniaczy,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

4.1.4. Sprawdzian postępów

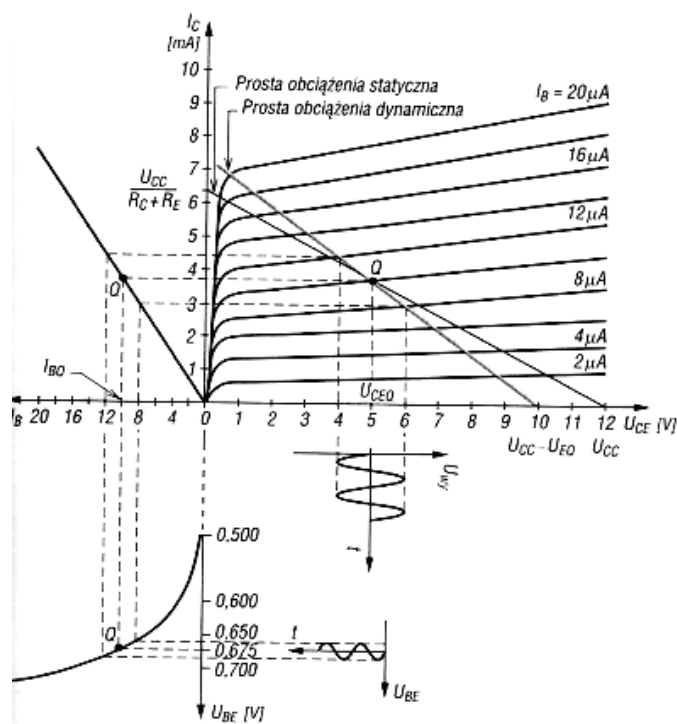
	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczeń?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dobrać konfigurację wzmacniacza dla konkretnego zastosowania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić zmiany prądu kolektora spowodowane inną polaryzacją bazy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić zmiany napięcia U_c spowodowane inną polaryzacją bazy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić wpływ poszczególnych elementów wzmacniacza na punkt pracy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić sposób przepływu mocy we wzmacniaczu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić wyprowadzenia wejściowe, wyjściowe i wspólne tranzystora w układzie WE, WC, WB?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wykonać pomiary statycznych napięć i prądów wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyznaczyć optymalny punkt pracy tranzystora.?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić poziom napięcia bazy w stosunku do napięcia emitera i kolektora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) określić zależność pomiędzy prądem bazy i kolektora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) określić na podstawie schematu ideowego klasę wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) określić na podstawie schematu ideowego sposób włączenia elementu czynnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Zasada działania wzmacniacza

4.2.1. Materiał nauczania

Zasada pracy wzmacniacza WE

Po podłączeniu napięcia zasilania wzmacniacza tranzystor zostaje odpowiednio spolaryzowany przyjmując statyczny punkt pracy zaznaczony na rys. 6 jako Q. W wyniku podania na wejście wzmacniacza sygnału zmiennego dodaje się ono do statycznego napięcia wyznaczonego wstępną polaryzacją bazy. Napięcie U_{BE} zmienia się więc wokół punktu Q oznaczającego statyczny punkt pracy. Zmiana tego napięcia powoduje zmianę prądu bazy zgodnie z charakterystyką wejściową $I_B = f(U_{BE})$. Sygnał zmienny powinien być na tyle mały, aby można było założyć, iż wzmacniacz pracuje na liniowym odcinku charakterystyki. Prąd bazy zmienia się wokół wartości I_{BQ} . Z kolei zmiany prądu bazy wywołują zmiany prądu kolektora, które są β razy większe niż zmiany prądu bazy (charakterystyka przejściowa tranzystora $I_C = f(I_B)$). Zmiany prądu kolektora wywołują na obciążeniu R_C proporcjonalne zmiany napięcia. Zmienia się również U_{CE} wokół wartości U_{CEQ} (charakterystyka $I_C = f(U_{CE})$). Zmiany napięcia U_{CE} są w przeciwfazie do zmian prądu kolektora i mają większą amplitudę (k-krotnie) niż wejściowe napięcie U_{BE} co oznacza iż nastąpiło wzmocnienie napięciowe sygnału ($K_U = U_{WY}/U_{WE}$). Dla składowej zmiennej punkt pracy porusza się po dynamicznej prostej obciążenia. Prosta ta ma inne nachylenie jak prosta obciążenia statyczna, ponieważ dla składowej zmiennej rezystor R_E bocznikowany jest pojemnością C_E która dla sygnału zmiennego stanowi zwarcie. Dynamiczna prosta obciążenia przechodzi przez punkt Q który nie uległ zmianie oraz punkt $U_{CC} - U_{EQ}$ na osi odciętych. Napięciem wyjściowym wzmacniacza jest składowa zmienna napięcia kolektora. Składowa stała tego napięcia jest blokowana dzięki pojemności C_2 . Zmiany napięcia wyjściowego są odwrócone w fazie w stosunku do sygnału wejściowego.



Rys. 6. Zasada działania wzmacniacza [5, s.47]

Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego

Wpływ sprzężenia zwrotnego przeanalizujemy w oparciu o schemat wzmacniacza z rys. 3. Gdy zwiększymy nieznacznie sygnał wejściowy (napięcie U_B) wówczas wzrośnie prąd bazy, a tym samym prąd emitera i kolektora. Wzrost prądu emitera spowoduje zwiększenie napięcia na rezystorze emiterowym, a tym samym zmniejszenie napięcia między bazą i emiterem, które było przyczyną wzrostu prądu bazy. Napięcie na rezystorze emiterowym przeciwdziała zmianom sygnału wejściowego. We wzmacniaczu możemy więc wyróżnić blok podstawowy odpowiedzialny za wzmocnienie sygnału (k -krotnie) i układ sprzężenia zwrotnego (rezystor R_E), którego zadaniem jest przekazanie na wejście układu części sygnału wyjściowego. W wyniku oddziaływania sprzężenia zwrotnego zmieniają się więc właściwości całego układu. Sprzężenie zwrotne może powodować wzrost (dodatnie sprzężenie) lub zmniejszenie (ujemne sprzężenie) sygnału doprowadzonego do wejścia układu podstawowego.

Dodatnie sprzężenie zwrotne wykorzystywane jest w generatorach i przerzutnikach i nie jest przedmiotem tego opracowania. Ujemne sprzężenie zwrotne powoduje zmniejszenie sygnału wejściowego, w związku z tym sygnał wyjściowy jest odpowiednio zmniejszony. Dla wzmacniacza z ujemnym sprzężeniem zwrotnym wzmocnienie jest mniejsze od układu podstawowego. Jest to wadą zastosowania ujemnego sprzężenia zwrotnego, jednak zastosowanie tego sprzężenia korzystnie wpływa na inne parametry wzmacniacza. Do zalet tych należą:

- zwiększenie pasma przenoszenia Δf wzmacniacza,
- zmniejszenie zniekształceń nieliniowych,
- zmniejszenie poziomu szumów i zakłóceń,
- zmniejszenie impedancji wyjściowej,
- zwiększenie impedancji wejściowej.

W układzie bez kondensatora C_E wzmocnienie to można szacunkowo wyznaczyć:

$$K_U = -\frac{R_C}{R_E} [-]$$

W układzie z kondensatorem C_E w miejsce R_E należy wstawić X_{C_E} . Ujemne sprzężenie zwrotne wpływa również na stałość punktu pracy wzmacniacza. Nawet niewielka zmiana prądu kolektora może powodować duże zmiany parametrów wzmacniacza takich jak wzmocnienie, czy impedancja wejściowa. Na zmianę prądu kolektora wpływa:

- prąd zerowy kolektora I_{CB0} ,
- napięcie U_{BE} ,
- współczynnik wzmocnienia prądowego β .

Wszystkie te wielkości ściśle zależą od temperatury w jakiej pracuje wzmacniacz. Prąd I_{CB0} podwaja się co 6°C , napięcie U_{BE} maleje o $2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, a współczynnik wzmocnienia prądowego β wzrasta o ok. $1/80$ na 1°C . Dodając do wzmacniacza ujemne sprzężenie nie eliminujemy wpływu tych wielkości na pracę wzmacniacza, ale zapewniamy, iż wzmacniacz pracuje stabilnie w określonych granicach zmian tych wielkości.

4.2.2. Pytania sprawdzające

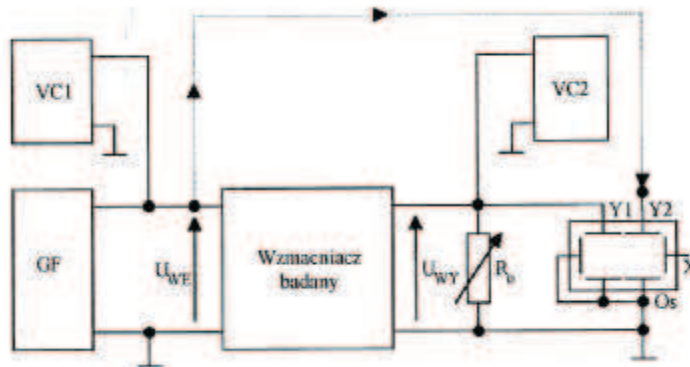
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest zależność pomiędzy prądem bazy i prądem kolektora?
2. Jaka jest zależność pomiędzy prądem kolektora i napięciem kolektorowym?
3. Jaką funkcję we wzmacniaczu pełni rezystor emiterowy?
4. Jak ujemne sprzężenie zwrotne wpływa na wzmocnienie i stabilność wzmacniacza?
5. Jak obliczyć wzmocnienie napięciowe wzmacniacza?
6. Jaki kształt będzie miał sygnał wyjściowy wzmacniacza w stosunku do sygnału wejściowego?
7. Które z parametrów tranzystora wpływają na niestabilność pracy wzmacniacza?
8. Czy potrafisz wyjaśnić zasadę działania wzmacniacza na podstawie charakterystyk?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Pomiary sygnałów zmiennoprądowych dla jednostopniowego wzmacniacza tranzystorowego w układzie wspólnego emitera (OE).



Schemat do badania wzmacniacza tranzystorowego

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia dla jednostopniowego wzmacniacza tranzystorowego w układzie wspólnego emitera (OE) zgodnie z rysunkiem,
- 2) przygotować wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego,
- 3) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 4) ustawić optymalny punkt pracy tranzystora,
- 5) wykonać pomiary napięć zmiennych wejściowego i wyjściowego przy częstotliwości $f = 1\text{kHz}$,
- 6) obliczyć wzmocnienie napięciowe wzmacniacza wg wzoru:

$$K_U = \frac{U_{WY}}{U_{WE}} [-]$$

- 7) zaobserwować na ekranie lampy oscyloskopowej oscyloskopu dwustrumieniowego przesunięcia fazowe między napięciami U_{WE} i U_{WY} ,
- 8) zaprezentować wyniki z wykonanego ćwiczenia,
- 9) dokonać oceny ćwiczenia.

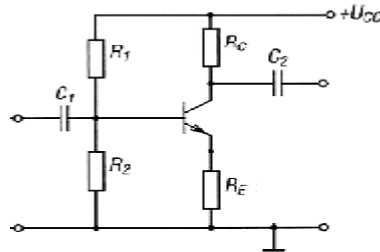
Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne mierniki uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Pomiary wpływu ujemnego sprzężenia zwrotnego na wzmocnienie i pasmo przenoszenia jednostopniowego wzmacniacza tranzystorowego w układzie wspólnego emitera (OE).

Układ pomiarowy podano w ćwiczeniu 1. Do badania można wykorzystać wzmacniacz z rysunku:



Schemat ideowy wzmacniacza WE [5, s.40]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia dla jednostopniowego wzmacniacza tranzystorowego w układzie wspólnego emitera (OE),
- 2) przygotować wykaz przyrządów i sprzętu pomiarowego,
- 3) ustawić optymalny punkt pracy tranzystora,
- 4) podłączyć do wejścia wzmacniacza generator funkcyjny,
- 5) podłączyć do wejścia i wyjścia wzmacniacza oscyloskop dwukanałowy,
- 6) przyjąć częstotliwość sygnału sterującego $f = 1\text{kHz}$, a maksymalne U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,
- 7) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 8) obliczyć wzmocnienie napięciowe wzmacniacza wg wzoru $K_U = \frac{U_{WY}}{U_{WE}}$
- 9) wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową zmieniając częstotliwość generatora w zakresie od 10Hz do 200 kHz skokami według skali logarytmicznej: 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz itd.,
- 10) wyznaczyć wzmocnienie i pasmo przenoszenia na charakterystyce amplitudowo-częstotliwościowej dla trzech wartości rezystora R_E ,
- 11) wyznaczyć i porównać wzmocnienie z równolegle włączonym do rezystora R_E kondensatorem $C_E=2,2\mu\text{F}$ i bez tego kondensatora, (porównanie wzmocnień można dokonać tylko dla nieznkształconych przebiegów wyjściowych),
- 12) dokonać oceny poprawności wyników na podstawie materiału nauczania pkt 4.2.1,
- 13) zaprezentować wyniki z wykonanego ćwiczenia,
- 14) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne mierniki uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- opornica dekadowa,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

4.2.4. Sprawdź postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) zorganizować stanowisko do wykonania ćwiczeń?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) narysować schemat układu pomiarowego dla pomiarów sygnałów zmiennoprądowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyjaśnić zasadę działania wzmacniacza dla sygnałów zmiennoprądowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyznaczyć na podstawie pomiarów wzmocnienie napięciowe wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na pracę wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na parametry wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić wpływ temperatury na stabilność pracy wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) zmierzyć wzmocnienie napięciowe wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) określić zniekształcenia sygnału wyjściowego przy źle dobranym punkcie pracy i zbyt dużym napięciu wejściowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić rodzaj sprzężenia, które zwiększa wzmocnienie wzmacniacza i gdzie się je wykorzystuje?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Parametry wzmacniacza

4.3.1. Materiał nauczania

Do najważniejszych parametrów wzmacniaczy należą:

- wzmacnienie napięciowe (K_U), prądowe (K_I) i mocy (K_P),
- dolna i górna częstotliwość graniczna,
- pasmo przenoszonych częstotliwości,
- impedancja wejściowa i wyjściowa,
- zniekształcenia liniowe i nieliniowe.

Ponadto właściwości wzmacniaczy określa się na podstawie charakterystyki przejściowej oraz charakterystyk częstotliwościowych: amplitudowej i fazowej.

1. **Wzmocnieniem napięciowym** wzmacniacza K_U nazywa się stosunek napięcia wyjściowego U_{WY} do napięcia wejściowego U_{WE} .

$$K_U = \frac{U_{WY}}{U_{WE}} [-] \quad K_{U\text{ dB}} = 20 \log \frac{U_{WY}}{U_{WE}} [\text{dB}]$$

2. **Wzmocnienie prądowe** K_I definiuje się jako stosunek prądów wyjściowego do wejściowego.

$$K_{I\text{ dB}} = 20 \log \frac{I_{WY}}{I_{WE}} [\text{dB}]$$

3. **Wzmocnienie mocy** jest określane stosunkiem mocy dostarczonej do obciążenia do mocy wejściowej.

$$K_P = \frac{U_{WY} I_{WY}}{U_{WE} I_{WE}} = K_U \cdot K_I [-] \quad K_{P\text{ dB}} = 10 \log(K_U \cdot K_I) [\text{dB}]$$

Ze względu na przeznaczenie wymaga się od wzmacniacza dużego wzmocnienia napięciowego, prądowego lub mocy.

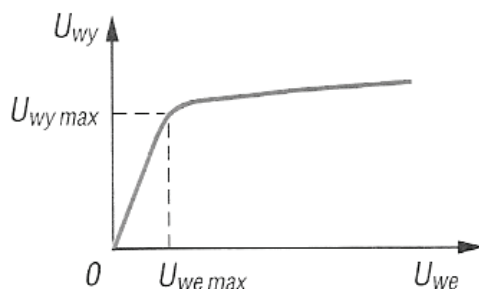
4. **Impedancję wejściową** definiuje się jako stosunek napięcia wejściowego do prądu wejściowego

$$Z_{WE} = \frac{U_{WE}}{I_{WE}} [\Omega]$$

5. **Impedancję wyjściową** definiuje się jako stosunek napięcia wyjściowego do prądu wyjściowego

$$Z_{WY} = \frac{U_{WY}}{I_{WY}} [\Omega]$$

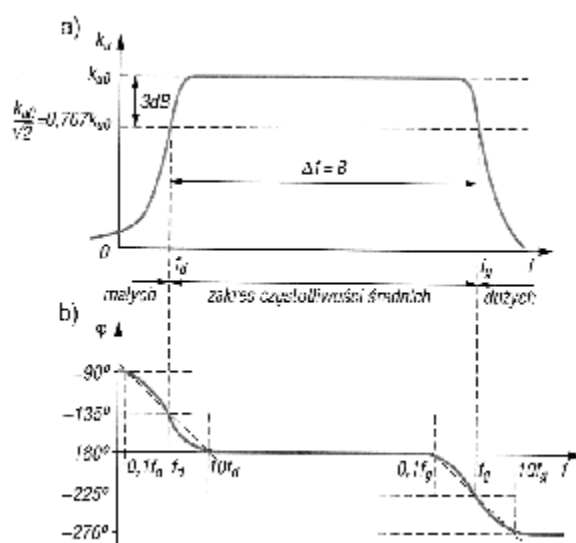
6. **Charakterystyka przejściowa** (rys. 7) określa zależność U_{WY} od U_{WE} dla sygnału sinusoidalnego o częstotliwości $f = \text{const}$ leżącej w paśmie przenoszenia wzmacniacza.



Rys. 7. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza [5, s.36]

W zależności od wartości amplitudy sygnału wejściowego wzmacniacz może ten sygnał wzmacniać bez zniekształceń lub ze zniekształceniami. Dla napięć wejściowych od 0 do $U_{WE\ max}$ zachowana jest proporcja przyrostu napięcia wyjściowego do wejściowego. Po przekroczeniu tej wartości elementy aktywne wzmacniacza wchodzą w stan nasycenia co powoduje powstanie dużych zniekształceń sygnału wyjściowego.

7. **Charakterystyka amplitudowa** (rys. 8a) określa zależność modułu wzmocnienia od częstotliwości. Wykreśla się ją w skali logarytmicznej. Dla tej zależności wyznacza się dwie wartości, przy których wzmocnienie zmniejsza się do wartości $\frac{K_{u0}}{\sqrt{2}} = 0,707 K_{u0}$, co w mierze logarytmicznej odpowiada 3dB, przy której moc sygnału wyjściowego zmniejsza się o połowę. Wartości te określa się jako częstotliwość graniczną dolną (f_d) i górną (f_g). Odległość pomiędzy częstotliwością graniczną dolną i górną nazywa się pasmem przenoszenia i oznacza Δf .



Rys. 8. Charakterystyki częstotliwościowe wzmacniacza a) amplitudowa b) fazowa [5, s.35]

8. **Charakterystyka fazowa** przedstawia zmiany wartości przesunięcia fazy pomiędzy sygnałem wyjściowym i wejściowym w zależności od częstotliwości. Przykład takiej charakterystyki przedstawiono na rys. 8b

Wzmacniacz idealny powinien wzmacniać sygnały nie powodując zmiany ich kształtu. We wzmacniaczach rzeczywistych powstają dwa rodzaje zniekształceń sygnałów:

- **zniekształcenia nieliniowe**, wywołane przez nieliniowość charakterystyk statycznych niektórych elementów wzmacniacza (tranzystora, transformatora z rdzeniem żelaznym itp.) Zniekształcenia nieliniowe mierzy się za pomocą specjalistycznych mierników,
- **zniekształcenia liniowe** wywołane niejednakowym przenoszeniem przez wzmacniacz sygnałów o różnych częstotliwościach. Zniekształcenia liniowe można określić na podstawie charakterystyki amplitudowo - częstotliwościowej.

4.3.2. Pytania sprawdzające

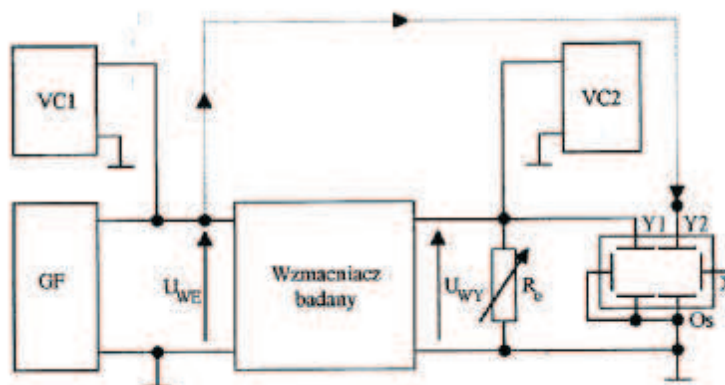
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczenia.

1. Jakie znasz podstawowe parametry wzmacniacza?
2. Czy znasz definicje podstawowych parametrów wzmacniacza?
3. W której części charakterystyki przejściowej powinien pracować wzmacniacz?
4. Jaki kształt ma charakterystyka częstotliwościowa?
5. Jak wyznacza się częstotliwość graniczną dolną i górną oraz pasmo przenoszenia?
6. Jakie wielkości określają wzmocnienie napięciowe?
7. Jakie wielkości określają wzmocnienie mocy?
8. Jak obliczyć impedancję wejściową i wyjściową?
9. Jakie rodzaje zniekształceń powstają we wzmacniaczu?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Pomiar charakterystyki przejściowej.



Schemat blokowy układu do wyznaczania podstawowych charakterystyk wzmacniaczy

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem,
- 2) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 3) ustalić rezystancję obciążenia $R_o = 5k\Omega$,
- 4) wyznaczyć charakterystykę przenoszenia, zmieniając U_{WE} w granicach od 0 do do takiej wartości która nie uszkodzi wzmacniacza mierząc napięcie wejściowe U_{WE} i wyjściowe U_{WY} ,
- 5) na podstawie pomiarów wyznaczyć charakterystykę $U_{WY} = f(U_{WE})$,
- 6) porównać otrzymane wyniki z teoretycznymi (p 4.3.1) i ocenić efekty swojej pracy,
- 7) dokonać oceny ćwiczenia.

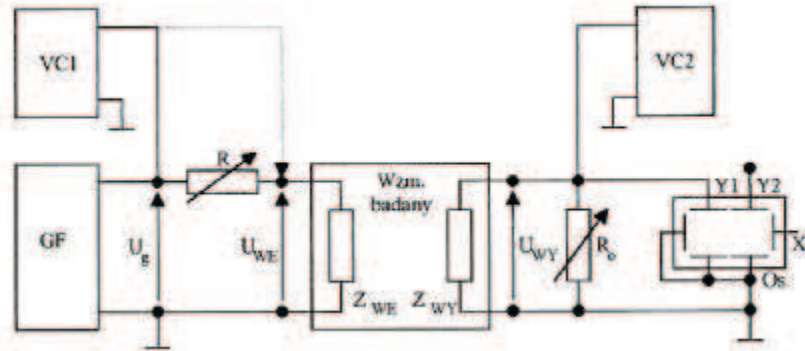
Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,

- opornice dekadowe,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Pomiar wzmacnienia prądowego.



Schemat blokowy układu do wyznaczenia wzmacnienia prądowego wzmacniacza oraz impedancji wejściowej i wyjściowej

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem,
- 2) do wejścia podłączyć dodatkową rezystancję R ,
- 3) przyjąć częstotliwość sygnału sterującego $f=1\text{kHz}$, a amplitudę U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,
- 4) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 5) zmieniać rezystancję obciążenia w zakresie od 1-10 $k\Omega$ co 1 $k\Omega$,
- 6) prąd wejściowy i wyjściowy wyznaczyć z zależności:

$$I_{WE} = \frac{U_R}{R} \text{ [A]}$$

$$I_{WY} = \frac{U_{WY}}{R_o} \text{ [A]}$$

- 7) wzmacnienie prądowe K_I definiuje się jako stosunek prądów wyjściowego do wejściowego.

$$K_I = \frac{I_{WY}}{I_{WE}} \text{ [-]}$$

- 8) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- opornice dekadowe,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 3

Pomiar charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy z ćwiczenia 2,
- 2) ustalić rezystancję obciążenia $R_o = 5k\Omega$ oraz $R=0$,
- 3) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 4) przyjąć częstotliwość sygnału sterującego $f = 1kHz$, a maksymalne U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,
- 5) wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową, zmieniając częstotliwość generatora w zakresie od 10Hz do 100kHz skokami według skali logarytmicznej: 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz itd. mierząc napięcie wyjściowe U_{WY} , gdy $U_{WE} = const.$,
- 6) na podstawie pomiarów wyznaczyć charakterystykę $K_U = f(f)$,
- 7) na wykresie wyznaczyć dwie wartości częstotliwości: dolną i górną oraz pasmo przenoszenia,
- 8) powtórzyć operacje od pkt. 5 do 7 dla 2-3 wartości rezystora R_E , a charakterystyki nanieść na jednym układzie współrzędnych,
- 9) porównać otrzymane wyniki z teoretycznymi i ocenić efekty swojej pracy,
- 10) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 4

Pomiar impedancji wejściowej Z_{WE}

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy z ćwiczenia 2,
- 2) ustalić wskazaną przez prowadzącego ćwiczenie rezystancję obciążenia R_o , np.: 1k Ω , 5k Ω , 10 k Ω . Przyjąć częstotliwość sygnału sterującego $f=1kHz$, a amplitudę U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,
- 3) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 4) zmierzyć napięcie wyjściowe dla rezystancji $R = 0$,
- 5) zwiększać rezystancję R ($R_{max} = 100 k\Omega$) i obserwować napięcie na wyjściu - ustawić je tak, aby zmalało o połowę,
- 6) wyłączyć napięcie zasilania wzmacniacza i odłączyć rezystancję R od obwodu,
- 7) zmierzyć rezystancję R która odpowiada impedancji wejściowej ($Z_{WE}=R$).

UWAGA. Jeśli mimo maksymalnej rezystancji R nie udało się zmniejszyć napięcia wyjściowego o połowę możesz skorzystać z wzoru:

$$Z_{WE} = \frac{U_{WE}'}{U_{WE} - U_{WE}'} \cdot R \quad [\Omega]$$

gdzie:

U_{WE}' – napięcie wejściowe dla $R=R_{\max}$

U_{WE} – napięcie wejściowe dla $R=0$

- 8) porównać otrzymane wyniki z teoretycznymi i ocenić efekty swojej pracy,
- 9) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- opornice dekadowe,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 5

Pomiar impedancji wyjściowej Z_{WY} .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy z ćwiczenia 2,
- 2) przyjąć częstotliwość sygnału sterującego $f=1\text{kHz}$, a amplitudę U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,
- 3) ustalić rezystancję $R=0$,
- 4) odłączyć rezystancję R_0 ,
- 5) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 6) zmierzyć napięcie wyjściowe,
- 7) ustawić R_0 na maksymalną i włączyć do układu zgodnie ze schematem,
- 8) zmniejszać rezystancję R_0 do wartości minimalnej $1\text{ k}\Omega$ obserwując napięcie na wyjściu i ustawić je tak, aby zmalało o połowę,
- 9) wyłączyć napięcie zasilania wzmacniacza i odłączyć rezystancję R_0 od obwodu,
- 10) zmierzyć rezystancję R_0 , która odpowiada impedancji wyjściowej. ($Z_{WY}=R_0$),

UWAGA. Jeśli mimo minimalnej rezystancji R_0 nie udało się zmniejszyć napięcia wyjściowego o połowę, możesz skorzystać ze wzoru:

$$Z_{WY} = \frac{U_{WY} - U_{WY}'}{U_{WY}'} \cdot R_0 \quad [\Omega]$$

gdzie:

U_{WY}' - napięcie wyjściowe dla R_0 włączonego

U_{WY} - napięcie wyjściowe dla R_0 wyłączzonego

R_0 - rezystancja dla której zmierzono U_{WY}'

- 11) porównać otrzymane wyniki z teoretycznymi i ocenić efekty swojej pracy,
- 12) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) zorganizować stanowisko do pomiaru charakterystyki przenoszenia i amplitudowo-częstotliwościowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić parametry wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyznaczyć maksymalną wartość napięcia wejściowego z ch-ki przejściowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zmierzyć wzmocnienie napięciowe wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zmierzyć wzmocnienie prądowe wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) obliczyć na podstawie K_U i K_i wzmocnienie mocy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić przykładowy kształt charakterystyki amplitudowej wzm. akustycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) odczytać parametry z charakterystyki częstotliwościowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyznaczyć na charakterystyce amplitudowej częstotliwości graniczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wyznaczyć pasmo przenoszenia wzmacniacza na podstawie pomiarów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) zmierzyć impedancję wejściową?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) zmierzyć impedancję wyjściową?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) określić, jaka powinna być impedancja wejściowa i wyjściowa dla wzmacniacza idealnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) wykorzystać zdobyte wiadomości w pomiarach rzeczywistego wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

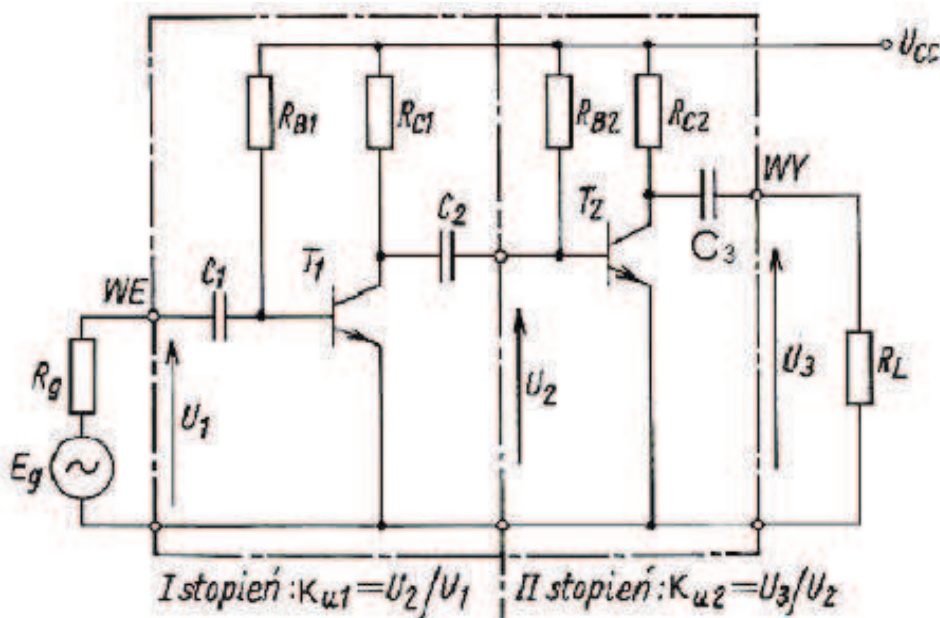
4.4. Klasyfikacja wzmacniaczy

4.4.1. Materiał nauczania

Wzmacniacz wielostopniowy

Gdy jest wymagane wzmocnienie większe od możliwego do uzyskania w pojedynczym stopniu wzmacniającym (wzmacniaczu jednostopniowym), wówczas stosuje się wzmacniacze wielostopniowe, czyli składające się z wielu stopni pojedynczych. W takich wzmacniaczach poszczególne stopnie wzmacniające są połączone tak, że napięcie wyjściowe stopnia poprzedniego jest jednocześnie napięciem wejściowym stopnia następnego. Takie połączenie pojedynczych stopni wzmacniających jest nazywane połączeniem kaskadowym. Poszczególne stopnie mogą być połączone bezpośrednio (wyjście stopnia poprzedniego jest zwarte galwanicznie z wejściem stopnia następnego) - jest to wzmacniacz ze sprzężeniem bezpośrednim, pojemnościowe (wyjście stopnia poprzedniego jest połączone poprzez kondensator o odpowiednio dużej pojemności z wejściem stopnia następnego) - jest to wzmacniacz ze sprzężeniem pojemnościowym lub transformatorowe (sygnał wyjściowy stopnia poprzedniego jest przez transformator podawany na wejście stopnia następnego) - jest to wzmacniacz ze sprzężeniem transformatorowym.

W dwustopniowym wzmacniaczu ze sprzężeniem pojemnościowym (rys. 9) rezystory R_{B1} i R_{C1} oraz R_{B2} i R_{C2} stanowią obwód polaryzacji ustalający spoczynkowy punkt pracy tranzystorów T_1 i T_2 . Kondensator sprzęgający C_2 zastosowano w celu oddzielenia napięć stałych występujących w pierwszym i drugim stopniu (punkty pracy tych stopni są od siebie niezależne), natomiast kondensatory C_1 i C_3 oddzielają napięcia stałe występujące we wzmacniaczu od źródła sygnału i obciążenia (źródło sygnału i obciążenie nie wpływają na punkt pracy tranzystorów T_1 i T_2). [8,s264]



Rys. 9. Schemat ogólny wzmacniacza dwustopniowego [8, s.265]

Wzmocnienie dwóch stopni połączonych kaskadowo, czyli wzmocnienie wypadkowe K_u , jest równe iloczynowi wzmocnień poszczególnych stopni K_{u1} i K_{u2} .

$$K_u = U_3/U_1 = K_{u1} \cdot K_{u2} [-]$$

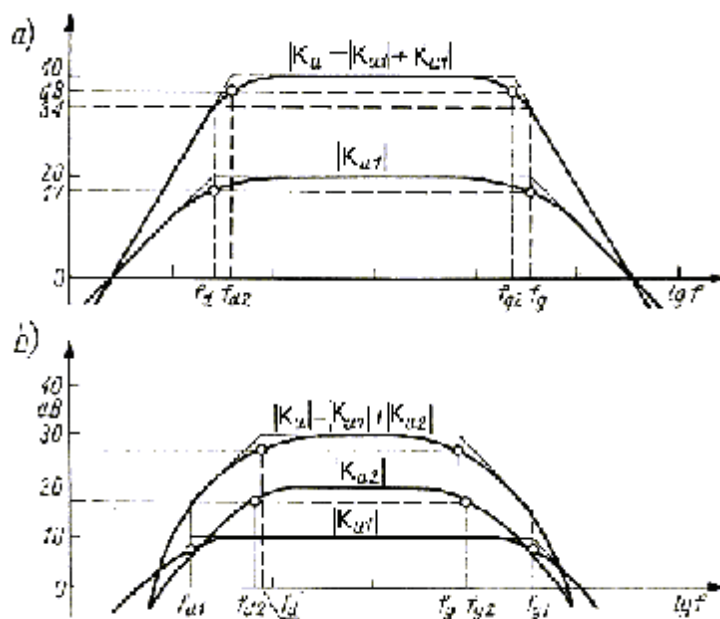
gdzie:

- K_{u1} - wzmocnienie 1 stopnia,
- K_{u2} - wzmocnienie 2 stopnia,
- K_u - wzmocnienie wypadkowe,
- U_1 - napięcie wejściowe,
- U_3 - napięcie wyjściowe.

Ponieważ wzmocnienie jest często wyrażane w jednostkach logarytmicznych, wtedy wypadkowe wzmocnienie wzmacniacza wyrażone w dB jest równe sumie wzmocnień (w dB) poszczególnych stopni.

$$(K_u)_{dB} = (K_{u1})_{dB} + (K_{u2})_{dB} [dB]$$

Pasmo przenoszenia wzmacniacza składającego się z dwóch identycznych stopni o wzmocnieniu K_{u1} oraz częstotliwościach granicznych f_d (dolna) i f_g (górna) wyznaczono graficznie na rys. 10a. Pasmo to jest trochę mniejsze niż pojedynczych stopni wzmacniających. W przypadku dwóch różnych stopni wzmacniających pasmo wypadkowe jest mniejsze od najmniejszego z nich (rys.10b).



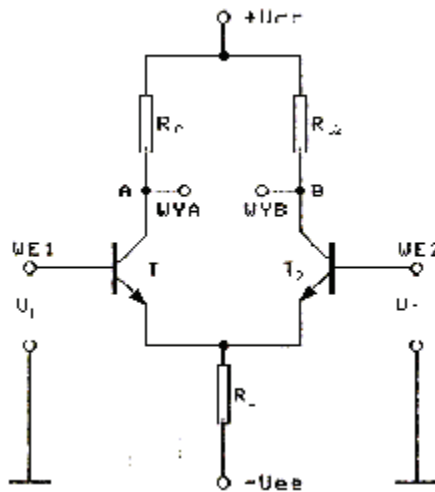
Rys. 10. Charakterystyka amplitudowo - częstotliwościowa wzmacniacza a) składająca się z dwóch identycznych stopni b) składająca się z dwóch stopni o różnych charakterystykach [8, s.266]

Wzmacniacz różnicowy

Wzmacniacz różnicowy jest wzmacniaczem z dwoma wejściami. Podstawową własnością wzmacniacza różnicowego jest zdolność wzmacniania różnicy wartości sygnałów przychodzących na jego wejścia (czyli tzw. sygnałów różnicowych), tłumienia natomiast wspólnej części sygnałów wejściowych (np. na tle stałych poziomów napięć o tej samej polaryzacji lub zakłóceń przychodzących w tej samej fazie na oba wejścia). Można więc w ten sposób wydzielić mały sygnał użyteczny z tła różnorodnych zakłóceń lub stałych sygnałów maskujących. Napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do różnicy napięć wejściowych.

Wzmacniacz ten stosowany jest jako wzmacniacz wejściowy wzmacniaczy mocy i wzmacniaczy operacyjnych. Układ wzmacniacza różnicowego zbudowany jest z dwóch tranzystorów połączonych emiterami. Stabilizacji prądu emiterów tranzystorów T_1 i T_2 dokonuje się za pomocą wspólnego rezystora R_E . Bazy tranzystorów stanowią dwa wejścia wzmacniacza, a ich kolektory – wyjścia. Układ może być sterowany niesymetrycznie, tzn. sygnał z jednego źródła jest podawany względem masy na jedno z wejść, podczas gdy drugie wejście ma ustalony potencjał (np. potencjał masy układu) lub symetrycznie, jeśli sygnał użyteczny podawany jest między oba wejścia (praktycznie jest to sterowanie z dwóch źródeł, a wzmacnianym sygnałem użytecznym jest różnica sygnałów tych źródeł). Jeżeli sygnał wyjściowy jest pobierany tylko z kolektora tranzystora T_1 lub T_2 względem masy układu to wzmacniacz ma wyjście niesymetryczne. Jeżeli natomiast sygnałem jest różnica napięć między kolektorem T_1 i kolektorem T_2 , to wzmacniacz ma wyjście symetryczne. [8, s 270]

Układ ten charakteryzuje się małym dryfem temperaturowym, gdyż spowodowane temperaturą zmiany punktu pracy obu tranzystorów następują współbieżnie i niepożądany sygnał wyjściowy zależy tylko od różnic między parametrami tranzystorów. Gdy tranzystory są identyczne (takie same charakterystyki przejściowe oraz jednakowe wzmocnienia prądowe β) i rezystory R_{C1} i R_{C2} mają takie same wartości, wówczas przy jednakowych napięciach wejściowych $U_1=U_2$ napięcie na węzłach A i B mają tę samą wartość, a więc różnicowe napięcie wyjściowe jest równe zero. Jeżeli napięcie U_1 jest większe niż U_2 , to prąd kolektora tranzystora T_1 jest większy niż prąd kolektora T_2 , a więc wskutek spadku napięcia na rezystorze R_{C1} potencjał na węzle A jest niższy niż na węzle B. Przy odwrotnej relacji napięć wejściowych zmienia się znak różnicy napięć między węzłami A i B. Na wyjściu symetrycznym zatem pojawia się napięcie U_{AB} proporcjonalne do napięć wejściowych. [8, s 271]



Rys. 11. Podstawowy układ wzmacniacza różnicowego [8, s 270]

$$U_{AB} = U_A - U_B = K_{US}(U_1 - U_2) \text{ [V]}$$

gdzie K_{US} jest wzmocnieniem dla wyjścia symetrycznego

$$K_{US} = -g_m R_C \text{ [-]}$$

Wzmocnienie dla wyjścia niesymetrycznego jest dwa razy mniejsze niż dla wyjścia symetrycznego

$$K_{UN} = -g_m R_C / 2 \text{ [-]}$$

gdzie

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{I_C}{26\text{mV}} \approx \frac{I_E}{26\text{mV}} \text{ [1/\Omega]}$$

W obydwu przypadkach wzmocnienie jest jednak proporcjonalne do prądu emitera.

Jednym z ważniejszych parametrów wzmacniacza różnicowego jest współczynnik tłumienia sygnału wspólnego (oznaczany również skrótem CMRR) definiowany jako iloraz wzmocnienia dla sygnału różnicowego i wzmocnienia dla sygnału wspólnego

$$CMRR = \frac{K_s}{K_w} \approx g_m R_E \quad [-]$$

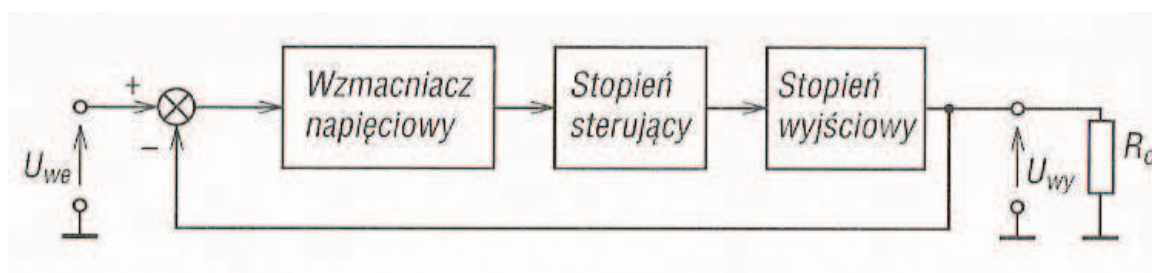
gdzie:

K_s - wzmocnienie sygnału różnicowego

K_w - wzmocnienie sygnału wspólnego

Wzmacniacz mocy

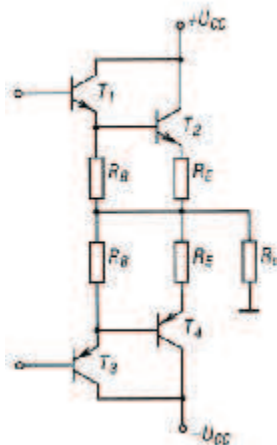
W każdym wzmacniaczu, oprócz zwiększania amplitudy sygnału (napięcia lub prądu), następuje również wzmocnienie mocy. Wzmacniaczem mocy jest nazywany wzmacniacz o specjalnej konstrukcji, którego zadaniem jest dostarczenie do obciążenia (np. głośnika we wzmacniaczach akustycznych) odpowiednio dużej mocy użytecznej wzmacnianego sygnału. Są to przeważnie wzmacniacze o dużym wzmocnieniu prądowym i małym (zwykle bliskim 1) wzmocnieniu napięciowym. Dlatego też stopnie poprzedzające wzmacniacz mocy powinny dostarczać sygnał o odpowiednio dużej amplitudzie, wystarczającej do jego wysterowania.



Rys. 12 Schemat funkcjonalny wzmacniacza mocy [5,s.108]

Głównymi parametrami roboczymi określającymi właściwości wzmacniacza mocy są:

- maksymalna użyteczna moc wyjściowa sygnału P_{Omax} ;
- sprawność energetyczna η , określana stosunkiem użytecznej mocy wyjściowej do mocy dostarczanej ze źródła zasilania,
- zniekształcenia nieliniowe określone zawartością harmonicznych w sygnale wyjściowym przy wymuszeniu sinusoidalnym o określonej częstotliwości,
- pasmo przenoszenia oraz kształt charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej.



Rys. 13 Schemat stopnia wyjściowego w klasie AB [5, s.114]

Przy projektowaniu wzmacniaczy mocy dąży się do zapewnienia wymaganej użytecznej mocy wyjściowej sygnału, przy jak największej sprawności energetycznej układu i możliwie najmniejszych zniekształceniach nieliniowych.

Wzmacniacz selektywny

Wzmacniaczem selektywnym nazywa się wzmacniacz wzmacniający tylko sygnały w wąskim paśmie częstotliwości wokół pewnej częstotliwości zwanej środkową f_0 . Wzmacniacz ten tłumí wszystkie inne sygnały o częstotliwościach leżących poza tym przedziałem. Idealną charakterystyką amplitudowo – częstotliwościową takiego wzmacniacza jest prostokąt przedstawiony linią przerywaną na rys. 14. Takiej charakterystyki nie daje się uzyskać w praktyce. W rzeczywistych układach osiąga się charakterystykę zaznaczoną pogrubioną linią ciągłą. Głównymi parametrami roboczymi określającymi właściwości wzmacniacza selektywnego są:

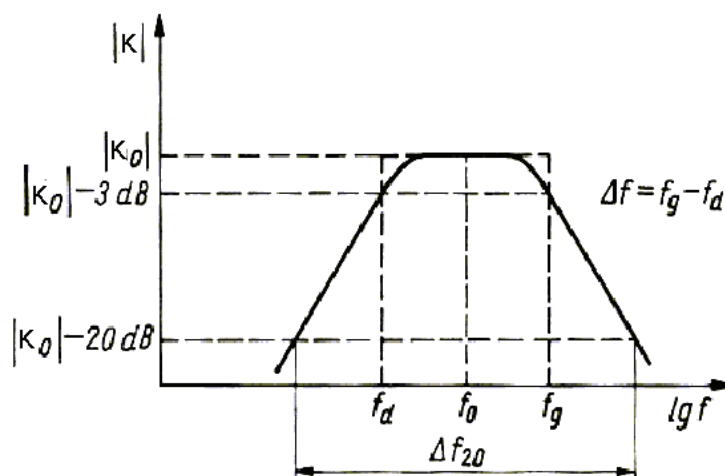
- częstotliwość środkowa f_0 ,
- pasmo przenoszenia Δf ,
- współczynnik prostokątności określający stromość zboczy charakterystyki amplitudowej -miara selektywności wzmacniacza. Współczynnik ten zdefiniowany jest wzorem:

$$p = \frac{\Delta f}{\Delta f_{20}}$$

gdzie:

Δf - przedział częstotliwości dla spadku wzmocnienia o 3 dB

Δf_{20} - przedział częstotliwości dla spadku wzmocnienia o 20 dB



Rys. 14. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa wzmacniacza selektywnego [8, s.283]

Pozostałe parametry wzmacniacza definiuje się i mierzy tak samo jak dla innych wzmacniaczy.

Wzmacniacz ten w budowie różni się od zwykłego wzmacniacza tym, iż zamiast rezystora kolektorowego zawiera równoległy obwód rezonansowy (rys. 15). Ponieważ wzmocnienie napięciowe wzmacniacza zależy od impedancji obciążenia (obwód rezonansowy) jego wartość będzie się zmieniała w zależności od częstotliwości, tak jak impedancja obwodu rezonansowego. Największą wartość wzmocnienia osiągnie dla częstotliwości rezonansowej:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]}$$

Pasmo przenoszenia wzmacniacza będzie zależało od dobroci obwodu rezonansowego LC

gdzie $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

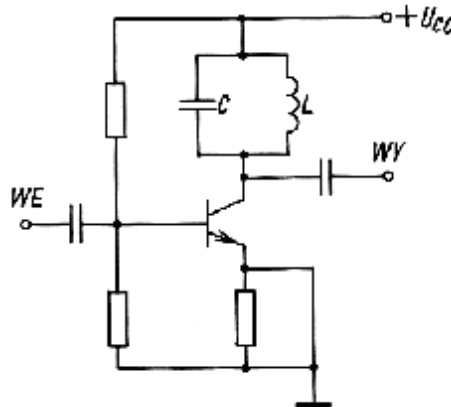
gdzie:

R - rezystancja cewki

L – indukcyjność cewki

C – pojemność

Im mniejsza dobroć obwodu rezonansowego tym szersze pasmo wzmacniacza.



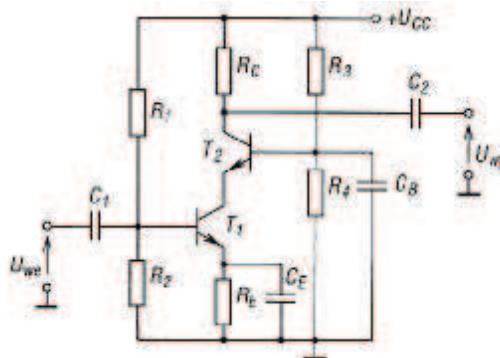
Rys. 15. Wzmacniacz selektywny z pojedynczym obwodem rezonansowym [8, s.284]

Wzmacniacz szerokopasmowy

Wzmacniacze te służą do wzmacniania sygnałów o szerokim widmie częstotliwości. Stosuje się je głównie jako:

- wzmacniacze teletransmisyjne,
- wzmacniacze odbiorników TV,
- wzmacniacze urządzeń radarowych.

We wzmacniaczach szerokopasmowych dąży się do uzyskania jak najmniejszej dolnej częstotliwości granicznej i jak największej górnej częstotliwości granicznej. Wzmacniacz szerokopasmowy opisuje się za pomocą tych samych parametrów jak zwykły wzmacniacz pasmowy. W zakresie wysokich częstotliwości wzmocnienie wzmacniacza jest ograniczone przez pojemności własne tranzystorów oraz pojemności montażowe. Do budowy tych wzmacniaczy wykorzystuje się więc tranzystory o małych pojemnościach złączowych. Wzmacniacze te są zbudowane jako układy OE o sprzężeniu pojemnościowym.



Rys. 16. Schemat wzmacniacza z układem kaskadowym [5, s.93]

W razie trudności z uzyskaniem szerszego pasma stosuje się układy WB lub wzmacniacze z stopniami kaskodowymi. Układ kaskody tworzą dwa tranzystory pracujące w układzie OE-OB. (rys 16.) Tranzystor T_1 pracujący w układzie OE ma duże wzmocnienie prądowe i niewielkie wzmocnienie napięciowe, ponieważ jego kolektor obciążony jest rezystancją wejściową tranzystora T_2 pracującego w układzie OB. Z tego wynika małe wzmocnienie napięciowe stopnia z tranzystorem T_1 . Efekt Millera jest prawie niezauważalny i w związku z tym wartość górnej częstotliwości granicznej jest duża. Kaskoda charakteryzuje się również bardzo małym oddziaływaniem wyjścia układu na wejście i dużą liniowością charakterystyki przejściowej.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczenia.

1. Jak wyznaczyć wzmocnienie wzmacniacza wielostopniowego?
2. Jak zmieni się charakterystyka amplitudowa dwóch jednakowych połączonych stopni wzmacniających?
3. Jakimi właściwościami charakteryzuje się wzmacniacz różnicowy?
4. Co oznacza wejście symetryczne i niesymetryczne dla wzmacniacza różnicowego?
5. Jakimi właściwościami charakteryzuje się wzmacniacz mocy?
6. Jak wyznaczyć sprawność wzmacniacza mocy?
7. Jakimi właściwościami charakteryzuje się wzmacniacz selektywny?
8. Gdzie stosuje się wzmacniacze selektywne?
9. Jakimi właściwościami charakteryzuje się wzmacniacz szerokopasmowy?
10. Gdzie stosuje się wzmacniacze szerokopasmowe?

4.4.3. Ćwiczenia

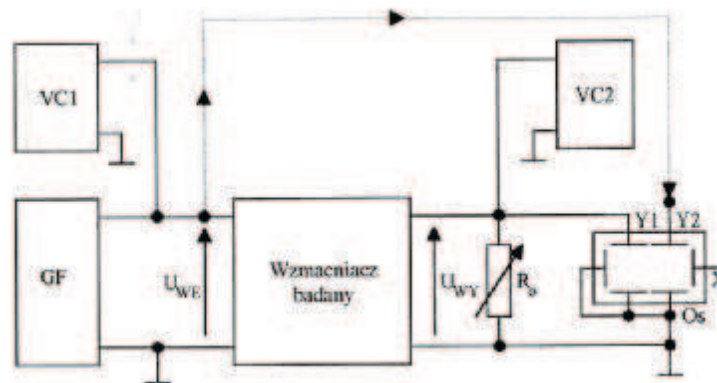
Ćwiczenie 1

Pomiar wzmocnienia napięciowego i pasma przenoszenia wzmacniacza dwustopniowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) połączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem,



Schemat blokowy układu do wyznaczania wzmocnienia napięciowego wzmacniacza i pasma przenoszenia

- 3) dokonać pomiaru wzmocnienia napięciowego dwóch jednostopniowych wzmacniaczy,

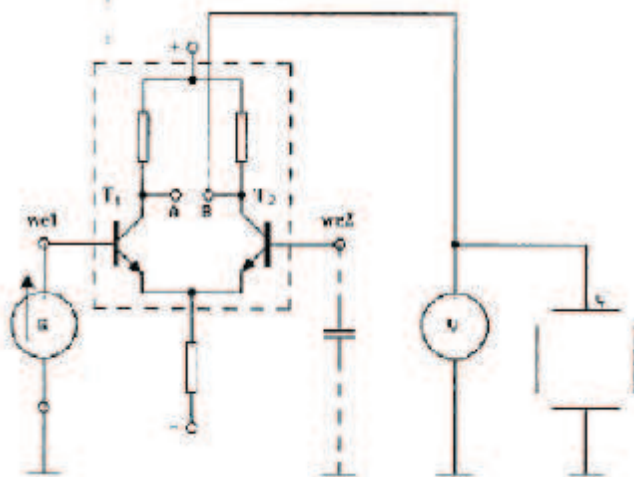
- 4) wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową obydwu pojedynczych stopni wzmacniających, zmieniając częstotliwość generatora w zakresie od 10Hz do 100kHz skokami według skali logarytmicznej: 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz itd. mierząc napięcie wyjściowe U_{WY} gdy $U_{WE} = \text{const.}$,
- 5) połączyć wzmacniacze tak, aby wyjście pierwszego wzmacniacza było połączone z wejściem drugiego wzmacniacza za pomocą pojemności,
- 6) dokonać pomiaru wzmocnienia napięciowego tak połączonych wzmacniaczy,
- 7) wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową wzmacniacza dwustopniowego, w identyczny sposób jak wzmacniacza pojedynczego,
- 8) nanieść charakterystyki amplitudowe na jeden układ współrzędnych i wyznaczyć pasmo przenoszenia,
- 9) porównać otrzymane wyniki z teoretycznymi (p 4.4.1),
- 10) dokonać oceny pracy.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe dwustopniowego wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Poznanie własności, parametrów i zasady działania wzmacniacza różnicowego.



Schemat blokowy układu do badania wzmacniacza różnicowego

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) połączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem,
- 2) włączyć generator funkcyjny na wejście 1. Wejście 2 połączyć do masy przez kondensator $C = 470\mu\text{F}$,
- 3) zmierzyć wzmocnienie układu przy wyjściu asymetrycznym pomiędzy kolektorem tranzystora T_2 a masą. Badanie wykonać dla częstotliwości sygnału wejściowego $f = 1\text{kHz}$.

- 4) zmierzyć wzmocnienie układu przy wyjściu symetrycznym pomiędzy kolektorem tranzystora T_1 i T_2 . Badanie wykonać dla częstotliwości sygnału wejściowego $f = 1\text{kHz}$,
- 5) porównać wyniki otrzymane z dwóch poprzednich punktów i dokonać oceny poprawności wyników na podstawie materiału nauczania pkt 4.4.1,
- 6) podać sygnał z generatora na obydwa wejścia i zmierzyć wzmocnienie układu przy wyjściu symetrycznym pomiędzy kolektorem tranzystora T_1 i T_2 . Badanie wykonać dla częstotliwości sygnału wejściowego $f=1\text{kHz}$. Wyznaczyć wzmocnienie sygnału wspólnego i współczynnik CMRR,
- 7) porównać wyniki otrzymane i dokonać oceny poprawności wyników na podstawie materiału nauczania pkt 4.4.1,
- 8) dokonać analizy wykonanego ćwiczenia,
- 9) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe różnicowego wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 3

Pomiar charakterystyki amplitudowej wzmacniacza szerokopasmowego i selektywnego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem w ćwiczeniu 1,
- 2) ustalić rezystancję obciążenia $R_o = 5\text{k}\Omega$,
- 3) przyjąć częstotliwość sygnału sterującego $f = 1\text{kHz}$, a maksymalne U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,
- 4) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 5) wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową wzmacniacza szerokopasmowego, zmieniając częstotliwość generatora w zakresie od 10 Hz do 100 MHz mierząc napięcie wyjściowe U_{WY} gdy $U_{WE} = \text{const}$,
- 6) wyznaczyć charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową wzmacniacza selektywnego, dobierając zakres badanych częstotliwości w zależności od parametrów (pasma przenoszenia i częstotliwości środkowej) mierząc napięcie wyjściowe U_{WY} gdy $U_{WE} = \text{const}$,
- 7) wyznaczyć na podstawie pomiarów charakterystykę $K_U = f(f)$,
- 8) wykonać powyższe czynności dla wzmacniacza selektywnego dla dwóch wartości C w obwodzie rezonansowym,
- 9) nanieść charakterystyki na jeden układ współrzędnych za pomocą programu komputerowego „Excel”,
- 10) wyznaczyć na wykresach dwie wartości częstotliwości granicznych: dolną i górną oraz pasmo przenoszenia,
- 11) porównać wyniki otrzymane i dokonać oceny poprawności wyników na podstawie materiału nauczania pkt 4.4.1,
- 12) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe szerokopasmowego wzmacniacza tranzystorowego,
- stanowisko pomiarowe selektywnego wzmacniacza tranzystorowego,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacze stabilizowane,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

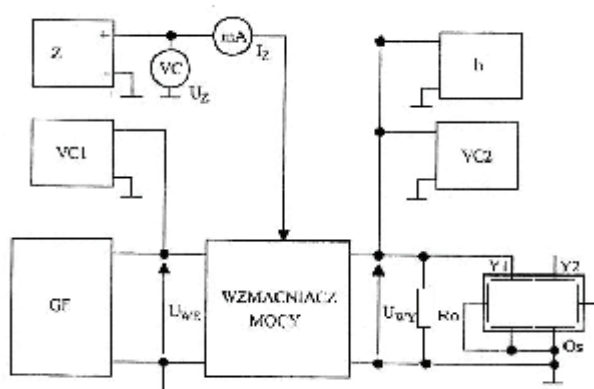
Ćwiczenie 4

Pomiar wybranych parametrów i charakterystyk wzmacniacza mocy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmontować układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem,
- 2) wykonać pomiary napięć i prądów stałych w poszczególnych punktach pomiarowych i ustalić punkt pracy układu (klasę pracy wzmacniacza),
- 3) przyjąć częstotliwość sygnału wejściowego $f = 1\text{kHz}$, a maksymalne U_{WE} dobrać tak, aby kształt przebiegu wyjściowego nie był zniekształcony,



Układ pomiarowy wzmacniacza mocy

- 4) przygotować tabele do notowania wyników pomiarów,
- 5) przyłączyć do wyjścia wzmacniacza opornik suwakowy lub dekadowy dużej mocy,
- 6) obliczyć moc pobraną z zasilania, moc dostarczoną do obciążenia i sprawność dla różnych wartości obciążenia (1 k Ω , 100 Ω , 50 Ω , 10 Ω , 8 Ω , 4 Ω) korzystając z zależności:

$$\eta = \frac{P_{WY}}{P_{ZAS}} \cdot 100 [\%], \quad P_{WY} = U_{WY}^2 / R_O [W], \quad P_{ZAS} = I_{ZAS} \cdot U_{ZAS} [W]$$

- 7) wyznaczyć charakterystykę dopasowania energetycznego odbiornika do impedancji wyjściowej wzmacniacza. dla podanych wartości obciążenia R_o (1 k Ω , 100 Ω , 50 Ω , 10 Ω , 9 Ω , 8 Ω , 7 Ω , 6 Ω , 5 Ω , 4 Ω , 3 Ω , 2 Ω , 1 Ω)

$$P_{WY} = f(R_o)$$

- 8) wyznaczyć charakterystykę współczynnika zawartości harmonicznych w funkcji napięcia wejściowego za pomocą miernika zniekształceń. Napięcie wejściowe zmieniać od zera do takiej wartości, przy której na wyjściu wzmacniacza przebieg obserwowany na oscyloskopie będzie widocznie zniekształcony

$$h = f(U_{WE})$$

- 9) wyznaczyć charakterystykę $K_P = f(f)$, zmieniając częstotliwość generatora w zakresie od 10 Hz do 100 kHz skokami według skali logarytmicznej: 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz itd. mierząc napięcie wyjściowe U_{WY} gdy $U_{WE} = \text{const}$.

UWAGA: Pomiary z pkt 7 i 9 można wykonać wykorzystując miernik mocy wyjściowej np. PWM 6

- 10) wyznaczyć na wykresach dwie wartości częstotliwości granicznych: dolną i górną oraz pasmo przenoszenia,
 11) porównać wyniki otrzymane i dokonać oceny poprawności wyników na podstawie materiału nauczania pkt 4.4.1,
 12) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko pomiarowe tranzystorowego wzmacniacza mocy,
- elektroniczne przyrządy uniwersalne,
- zasilacz stabilizowany,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop z sondami pomiarowymi,
- miernik zniekształceń,
- rezystory regulowane,
- przybory i materiały do pisania, gumka, linijka,
- literatura z rozdziału 6.

4.4.4. Sprawdzenie postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) zaprojektować układy pomiarowe i sposób pomiaru wzmocnienia i charakterystyki amplitudowej wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zmontować wszystkie układy pomiarowe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) obliczyć wzmocnienie i oszacować pasmo przenoszenia wzmacniacza wielostopniowego na podstawie pomiarów pojedynczych stopni?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić, jaki wzmacniacz zastosować dla czujnika temperatury oddalonego od wzmacniacza (duże zakłócenia wspólne na przewodach) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić, jaki wzmacniacz zastosować do wysterowania głośnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić, jaki wzmacniacz zastosować dla wzmocnienia sygnału z kamery (pasmo kilka MHz)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić, jaki wzmacniacz zastosować, aby odebrać tylko jedną stację radiową z całego pasma częstotliwości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) zmierzyć sprawność wzmacniacza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) określić, gdzie wydziela się moc tracona we wzmacniaczu mocy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) podać parametry wzmacniacza mocy określające jaki głośnik można przyłączyć do niego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) włączyć sygnał wejściowy symetryczny i niesymetryczny do wzmacniacza różnicowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) narysować charakterystykę amplitudową wzmacniacza za pomocą programu Excel?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) obliczyć i wyznaczyć praktycznie częstotliwość środkową wzmacniacza selektywnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) znaleźć w katalogu tranzystory do zastosowania we wzmacniaczu szerokopasmowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. LITERATURA

1. Chwaleba A., Moeschke B., Płoszajski G. : Elektronika. WSiP, Warszawa 1996.
2. Grabowski L. : Pracownia elektroniczna WSiP, Warszawa 1999.
3. Horowitz P., Hill W. : Sztuka elektroniki WKiŁ 1999
4. Masewicz T. : Radioelektronika dla praktyków WKiŁ 1986
5. Pióro B., Pióro M. : Podstawy elektroniki WSiP, Warszawa 1997.
6. Praca zbiorowa pod redakcją Ziolo K. : Laboratorium elektroniki Gliwice 2000
7. Rusek A. : Podstawy elektroniki WSiP, Warszawa 1981
8. Rusek M. ,Pasiebiński J. : Elementy i układy elektroniczne. WNT, Warszawa 1999.
9. Woźniak J. : Pracownia elektryczna. Instytut Technologii Eksploatacji Radom 1995