

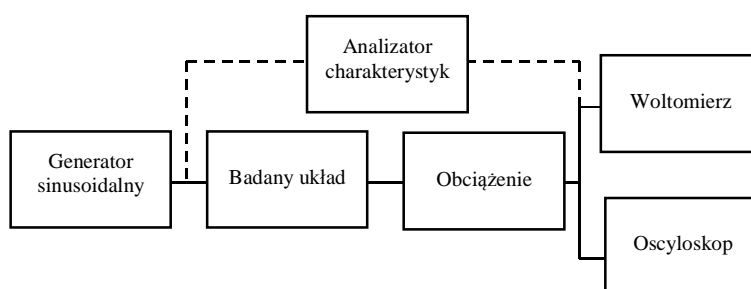
1. WZMACNIACZ RC +USZ

1.1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest pomiar podstawowych parametrów roboczych wzmacniacza RC oraz jego charakterystyk amplitudowych dla różnych układów włączenia tranzystora, różnych wartości elementów układu i **podstawowych typów sprzężeń zwrotnych**.

1.2. SCHEMAT BLOKOWY UKŁADU POMIAROWEGO

Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 1.1.



Rys. 1.1. Schemat blokowy układu pomiarowego

Badany układ jest sterowany z przestrajanego generatora sinusoidalnego. Obciążeniem zewnętrznym jest rezystor o regulowanej wartości rezystancji. Wartość napięcia na obciążeniu jest mierzona woltomierzem napięcia zmiennego. Kształt napięcia jest kontrolowany przy pomocy oscyloskopu. Opcjonalnie stanowisko pomiarowe może być wyposażone w analizator charakterystyk częstotliwościowych. Wszystkich połączeń sygnałowych dokonuje się kablem koncentrycznym.

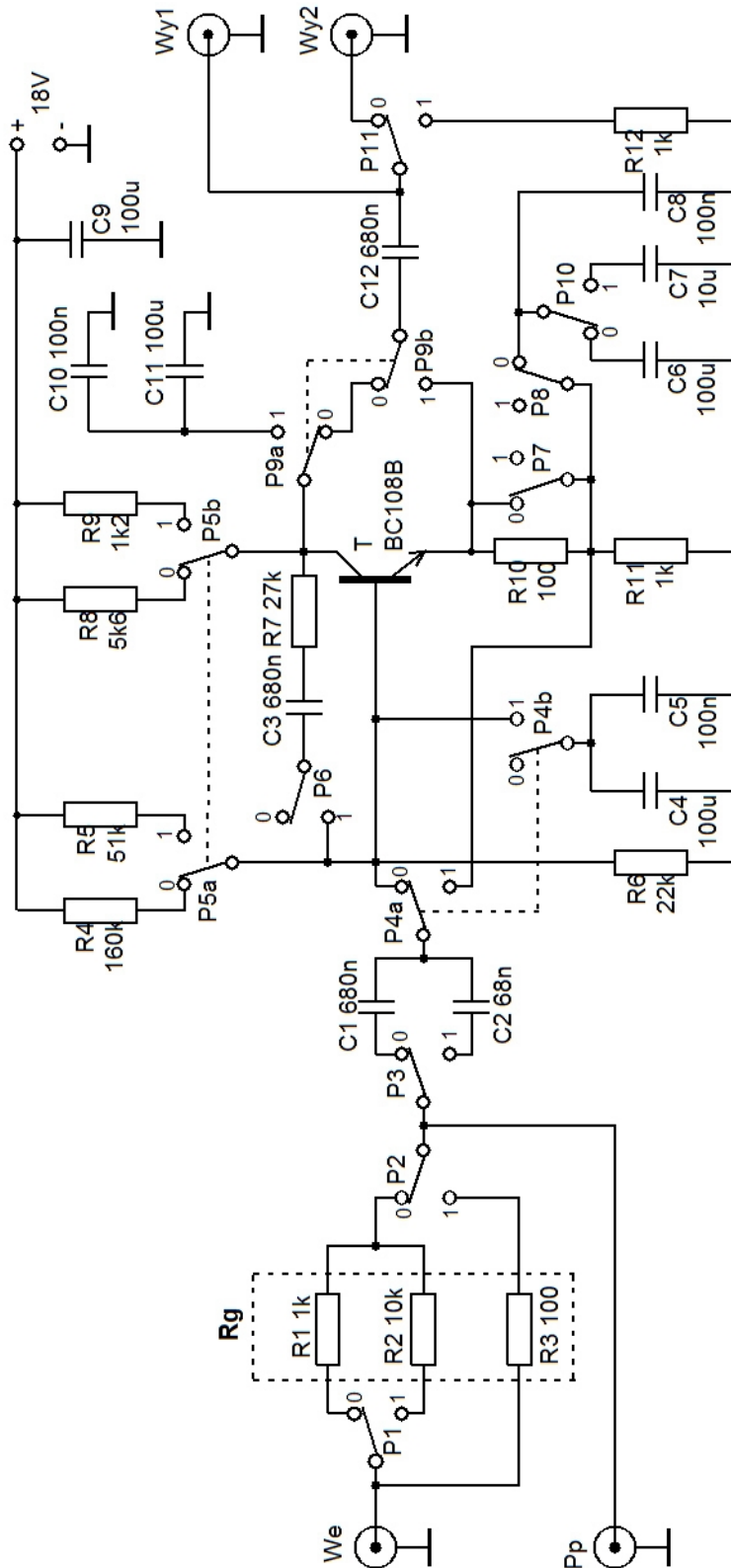
1.3. SCHEMAT IDEOWY BADANEGO UKŁADU

Schemat ideowy badanego układu przedstawiono na rysunku 1.2. Badany układ jest jednostopniowym wzmacniaczem zbudowanym na tranzystorze bipolarnym BC-108B. Sterowanie układu odbywa się z wejścia „We”. Ponieważ generatory sterujące (rys.1.1) stosowane do badań mają ustaloną i zwykle małą rezystancję wyjściową (50 lub 75 Ω) w związku z tym zastosowano dodatkowe rezystory $R_1...R_3$ (przełączane przełącznikami P_1, P_2) co pozwala badać własności wzmacniacza sterowanego z generatora o różnej rezystancji wewnętrznej. Do wyjścia układu „Wy2” można podłączyć obciążenie o zmienianej rezystancji. Pozwala to badać własności wzmacniacza dla ustalonej (R_{12}) lub zmienianej rezystancji obciążenia (przełącznik P_{11}). Do wyjścia „Wy1” podłącza się woltomierz i oscyloskop. Dobierając odpowiednio położenie przełączników P_4 i $P_6 \div P_{10}$ można zrealizować układy:

- wzmacniacza z tranzystorem włączonym w układzie OE (w skrócie wzmacniacz OE) - ustawiając wszystkie przełączniki $P_3...P_{10}$ w pozycji spoczynkowej;
- wzmacniacza OB - przełączając w stosunku do OE przełączniki P_4 i P_8 ,
- wzmacniacza OC - przełączając w stosunku do OE przełączniki P_8 i P_9 ,

- d) wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym w układzie OE - przełączając w stosunku do OE przełącznik P_7 ,
- e) wzmacniacza ze sprzężeniem napięciowym równoległym w układzie OE - przełączając w stosunku do OE przełącznik P_6 .
- f)

WZMACNIACZ RC



Rys. 1.2. Schemat ideowy badanego wzmacniacza

W zależności od potrzeb możliwa jest zmiana pojemności sprzęgającej (P_3), emiterowej (P_{10}) i prądu kolektora tranzystora (P_5), a poza tym zmiana rezystancji generatora (P_1, P_2) i obciążenia (rezystorem zewnętrznym).

Rezystory R_4 (R_5), R_8 (R_9), R_6, R_{11} zapewniają poprawną polaryzację tranzystora i stabilizują jego punkt pracy. Zmiana rezystora bazowego (R_4 lub R_5) zapewnia zmianę punktu pracy tranzystora. Aby z dwóch parametrów określających punkt pracy (I_C i U_{CE}) zmieniał się tylko prąd kolektora, ze zmianą rezystora bazowego jednocześnie zmienia się jeden z rezystorów kolektorowych (R_8, R_9). Pozwala to zmieniać prąd kolektora I_C z 1,5 mA na 4,5 mA, przy niezmiennym napięciu kolektor-emiter $U_{CE} = 8V$.

Podane wartości liczbowe należy traktować jako przybliżone, gdyż rezystory nie są dobierane a tranzystory w każdym badanym modelu laboratoryjnym mają różne parametry ze względu na rozrzut produkcyjny.

Kondensator C_9 eliminuje ewentualne tętnienia w obwodzie prądu stałego. Równolegle do kondensatorów C_4, C_6 (C_7), C_{11} (elektrolitycznych) o pojemnościach rzędu μF są podłączone kondensatory ceramiczne C_5, C_8, C_{10} o pojemności 100 nF. Ze względu na różnicę pojemności o kilka rzędów jest to na pozór bezcelowe, gdyż zastępcza pojemność będzie określona przez wartość większą. Taki zabieg stosuje się ze względów praktycznych, gdyż kondensatory elektrolityczne są przeznaczone do pracy w obwodach prądu stałego, a jeśli zmiennego to o niezbyt dużej częstotliwości. W układach szerokopasmowych funkcje blokowania rezystancji rozdziela się więc na dwa kondensatory – elektrolityczny dla składowej stałej i niezbyt dużych częstotliwości oraz ceramiczny dla wyższych częstotliwości. Kondensator C_3 zapewnia niezmienność punktu pracy tranzystora po włączeniu sprzężenia napięciowego równoległego, co pozwala porównać parametry tego układu z układem bez sprzężenia zwrotnego.

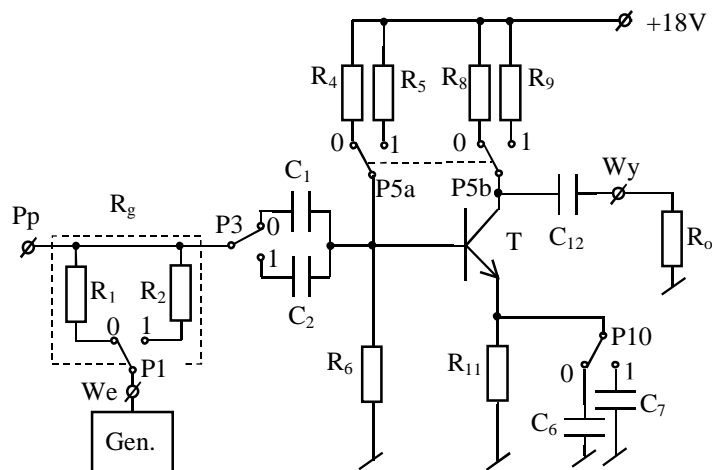
1.4. WYBRANE WŁASNOŚCI BADANEGO UKŁADU

1.4.1. Wzmacniacz OE

Korzystając ze schematu przedstawionego na rys. 1.2 można stworzyć schemat wzmacniacza OE przedstawiony na rys. 1.3, w którym zamieszczono tylko elementy istotne z punktu widzenia dalszej analizy i docelowych badań. W tym i następnych schematach pominięto, wspomniane wcześniej, dodatkowe kondensatory ceramiczne.

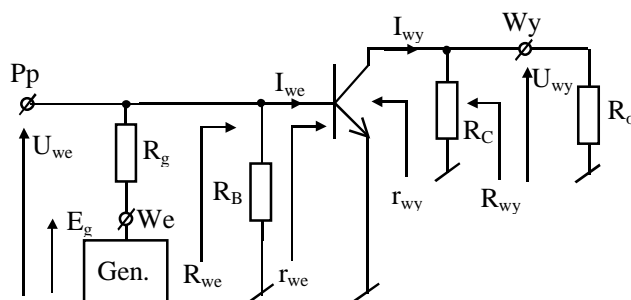
1.4.1.1. Parametry robocze

Parametrami roboczymi wzmacniacza nazywamy parametry, które charakteryzują wzmacniacz w stanie pracy, tzn. z podłączonym generatorem i obciążeniem. Wszystkie parametry robocze wzmacniacza można wyznaczać dla dowolnej częstotliwości, jednak powszechnie przyjmuje się, że wyznacza się je dla zakresu średnich częstotliwości. W dalszych rozważaniach pod pojęciem napięcia czy prądu należy konsekwentnie rozumieć ich wartość dla składowej zmiennej, z wyjątkiem parametrów określających punkt pracy tranzystora.



Rys. 1.2. Schemat ideowy wzmacniacza OE

Aby uniknąć błędów interpretacyjnych parametrów roboczych i zapewnić możliwość porównania ich z parametrami wzmacniaczy OB, OC i ze sprzężeniem zwrotnym celowym jest stworzenie schematu zastępczego wzmacniacza dla składowych zmiennych. Strukturę takiego wzmacniacza przedstawiono na rys. 1.4.



Rys. 1.3. Schemat zastępczy wzmacniacza OE

Korzystając z tego schematu interesujące nas parametry robocze zdefiniujemy następująco:

a) wzmocnienia napięciowe:

$$G_{u0} = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad (1.1)$$

b) wzmocnienie prądowe:

$$G_{i0} = \frac{I_{wy}}{I_{we}} \quad (1.2)$$

c) wzmocnienie napięciowe skuteczne:

$$G_{us0} = \frac{U_{wy}}{E_g} \quad (1.3)$$

gdzie E_g to SEM (wydajność napięciowa, napięcie źródłowe) generatora. Stosujemy tu wygodne dla celów pomiarowych i obliczeniowych przybliżenie, utożsamiając E_g z napięciem na wejściu „We”, gdyż rezystancja wewnętrzna rzeczywistego generatora „Gen” (50 lub 75 Ω) jest znikomo mała w porównaniu z symulowaną wartością R_g (1 lub 10 $k\Omega$).

d) wzmocnienie prądowe skuteczne

$$G_{is0} = \frac{I_{wy}}{I_g} \quad (1.4)$$

gdzie I_g wydajność prądowa generatora „Gen” z uwzględnieniem R_g .

e) rezystancja wejściowa

$$r_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}} \quad (1.5)$$

f) rezystancja wyjściowa

$$r_{wy} = \frac{U_{wy0}}{I_{wy}} \quad (1.6)$$

gdzie U_{wy0} jest napięciem na wyjściu tranzystora bez uwzględnienia rezystancji R_C i R_o (zgodnie z procedurą wyznaczania rezystancji wyjściowej).

g) uogólniona rezystancja wejściowa

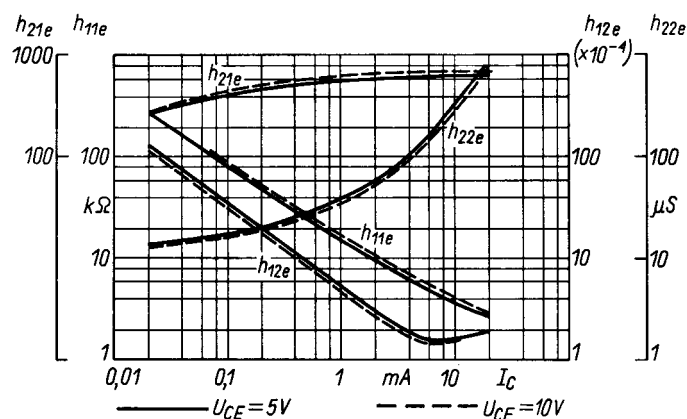
$$R_{we} = r_{we} \parallel R_B \quad (1.7)$$

h) uogólniona rezystancja wyjściowa

$$R_{wy} = r_{wy} \parallel R_C \quad (1.8)$$

Analizę parametrów roboczych wzmacniacza rozpoczniemy od wzmocnienia prądowego.

Jak wynika z rys. 1.4 na ten parametr ma wpływ przede wszystkim sam tranzystor. W zakresie niezbyt dużych częstotliwości najwygodniej skorzystać z jego parametrów macierzy „ h_e ”, gdyż wartość parametru h_{21e} wprost określa stosunek prądu kolektora do prądu bazy. Jest to co prawda parametr zwarciový, ale przy praktycznie stosowanych w układzie wartościach R_C i R_o i małej wartości konduktancji wyjściowej tranzystora h_{22e} (dużej rezystancji wyjściowej) jest to przybliżenie wystarczające. Do oceny wpływu zmian punktu pracy na wzmocnienie prądowe wzmacniacza skorzystajmy z wykresu zmian parametrów macierzowych tranzystora w funkcji wartości średniej prądu kolektora (składowej stałej) przedstawiony na rys. 1.5.



Rys. 1.4. Wpływ punktu pracy na parametry macierzowe tranzystora

Z rysunku wynika wprost, że ze wzrostem wartości średniej prądu kolektora (zmiana przełącznikiem P_5) wystąpi wzrost wzmocnienia prądowego dla składowej zmiennej.

Wzmocnienie napięciowe jest funkcją wzmocnienia prądowego. W tym wypadku należy jednak uwzględnić fakt, że zmieniając prąd kolektora zmieniamy także rezystancję kolektorową, a przez to uogólnioną rezystancję obciążenia.

Wzmocnienie napięciowe skuteczne i prądowe skuteczne jest mniejsze niż wzmocnienia napięciowe i prądowe ze względu na wpływ na te parametry wartości rezystancji generatora R_g .

Rezystancja wejściowa (r_{we}) jest zależna od parametru macierzowego h_{11e} tranzystora. Zmiana prądu kolektora powoduje zmianę tego parametru macierzowego, a przez to roboczego wzmacniacza.

W każdym układzie wartość rezystancji wejściowej jest zależna od wartości rezystancji obciążenia ze względu na przezroczystość układu (wyjście oddziałuje na wejście). W rozpatrywanym przypadku wzmacniacza parametr tranzystora odpowiedzialny za przezroczystość (h_{12e}) ma jednak wartość znikomo małą (rzędu 10^{-4} V/V).

Rozpatrując problem rezystancji wyjściowej zauważamy, że sytuacja jest podobna jak przy rezystancji wejściowej. Poziom rezystancji wyjściowej wzmacniacza jest określony przede wszystkim przez rezystancję wyjściową tranzystora (odwrotność h_{22e}), a ta jest także zależna od prądu kolektora.

Reasumując, charakter zmian rezystancji wejściowej i wyjściowej wzmacniacza OE jest silnie uzależniony od charakteru zmian h_{11e} i h_{22e} , a wpływ rezystancji obciążenia na rezystancję wejściową i rezystancji generatora na rezystancję wyjściową wzmacniacza jest niewielki, ze względu na małą przezroczystość tranzystora w układzie OE.

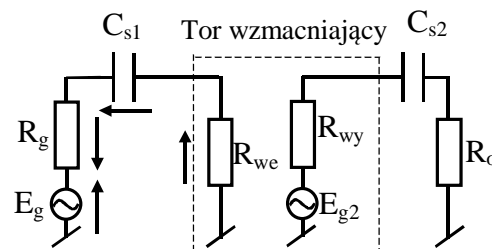
Ostatniego wniosku nie należy uogólniać na pozostałe analizowane układy.

Uogólniona rezystancja wejściowa R_{we} i wyjściowa R_{wy} wzmacniacza ma zawsze wartość mniejszą niż rezystancja wejściowa r_{we} i wyjściowa r_{wy} , co wynika wprost z rys. 1.4.

1.4.1.2. Charakterystyki częstotliwościowe

Poza parametrami roboczymi istotnymi z punktu widzenia własności wzmacniacza są jego charakterystyki częstotliwościowe. Ten problem rozważymy oddzielnie dla zakresu dolnych i górnych częstotliwości, ograniczając się głównie do charakterystyk amplitudowych.

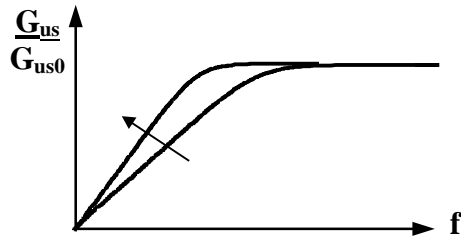
Analizę wpływu elementów układu dla zakresu dolnych częstotliwości przeprowadzimy oddzielnie dla wpływu pojemności sprzęgających i emiterowej. Schemat obwodu wejściowego i wyjściowego z uwzględnieniem pojemności sprzęgających wzmacniacza przedstawiono na rys. 1.6.



Rys. 1.5. Schemat obwodu wejściowego i wyjściowego wzmacniacza

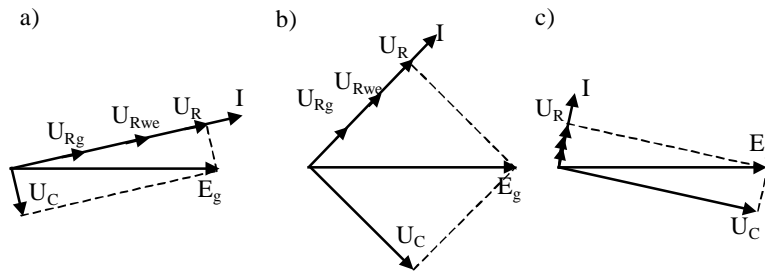
Rozpatrując tylko wpływ obwodu wejściowego zauważamy, że w miarę malenia częstotliwości sygnału z generatora na pojemności C_{s1} odkłada się coraz większy spadek napięcia kosztem sygnału na wejściu toru wzmacniającego. Dla częstotliwości bliskich zeru tor wzmacniający nie będzie sterowany. Ponieważ jest to układ filtra górnoprzepustowego opisanego funkcją jednobiegunową więc jego charakterystyka jest monotoniczna i poniżej zakresu średnich częstotliwości opada z nachyleniem 6 dB/oktawę (20dB/dek). Częstotliwość graniczną dolną określa się na poziomie jej spadku o 3 dB w stosunku do zakresu średnich częstotliwości.

Dla większych wartości pojemności sprzęgającej spadek napięcia na niej będzie mniejszy i częstotliwość graniczna będzie mniejsza, a dla mniejszych większa co zilustrowano na rys. 1.7 dla liniowej skali częstotliwości (strzałka wskazuje kierunek wzrostu wartości pojemności).



Rys. 1.6. Wpływ pojemności sprzęgającej na charakterystykę wzmacniacza

Na przebieg charakterystyki w zakresie dolnych częstotliwości mają wpływ również rezystancje obwodu wejściowego co zilustrowano na rys. 1.8.



Rys. 1.7. Wykres wektorowy obwodu wejściowego

W całym zakresie dolnych częstotliwości obwód ma charakter pojemnościowy, więc występuje (różne dla różnych częstotliwości tego zakresu) przesunięcie fazy między napięciem E_g generatora a prądem I płynącym w obwodzie.

Dla wyższych częstotliwości tego zakresu (wykres 1.8.a) dominuje napięcie na rezystancji U_R jako suma spadków napięć na rezystancji generatora U_{Rg} i rezystancji wejściowej U_{Rwe} , gdyż napięcie na kondensatorze U_C jest niewielkie (jego reaktancja jest mała). Napięcie na rezystancji jest oczywiście w fazie z prądem. Napięcie na kondensatorze U_C jest przesunięte w fazie w stosunku do prądu o 90° . Zgodnie z prawem Kirchhoffa suma spadków napięć na rezystancjach i pojemnościach (zawsze jest to suma wektorowa) jest równa napięciu z generatora.

Dla częstotliwości granicznej dolnej obwodu (wykres 1.8.b) napięcie na kondensatorze jest równe sumie napięć na rezystancjach. Z tego rysunku wynika ciekawy wniosek, że dla dolnej częstotliwości granicznej suma napięć na rezystorach i kondensatorze (co do modułu, a nie wektorowa) jest większa niż napięcie z generatora.

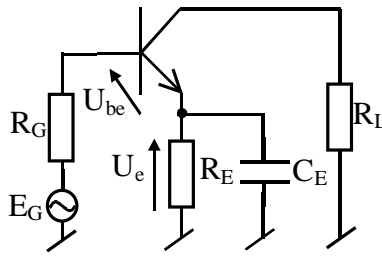
Dla małych częstotliwości (wykres 1.8.c) dominuje napięcie na kondensatorze (duża reaktancja).

Z analizy rysunków 1.8.a...c wynika wniosek, że na częstotliwość graniczną dolną obwodu wejściowego ma wpływ nie tylko wartość pojemności sprzęgającej, ale równoprawnie wartości rezystancji obwodu wejściowego (rezystancji generatora i / lub rezystancji wejściowej).

Analogiczną analizę można przeprowadzić dla obwodu wyjściowego.

Zjawiska zachodzące w rozpatrywanych obwodach można rozpatrywać alternatywnie analizując stałą czasu filtrów, gdyż częstotliwość graniczna filtru jednobiegunowego jest odwrotnie proporcjonalna do stałej czasu (iloczyn pojemności i sumy rezystancji) filtru.

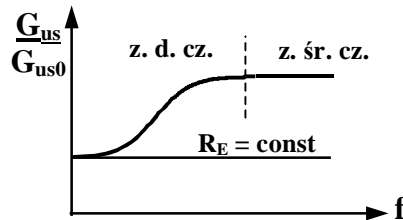
Na zakres dolnych częstotliwości ma wpływ również obwód emiterowy. Schemat zastępczy wzmacniacza z pojemnością emiterową przedstawiono na rys. 1.9, gdzie R_G jest uogólnioną rezystancją generatora, a R_L uogólnioną rezystancją obciążenia.



Rys. 1.8. Schemat zastępczy wzmacniacza z obwodem emiterowym

W zakresie średnich częstotliwości kondensator skutecznie bocznkuje rezystor R_E i napięcie U_e jest praktycznie zerowe.

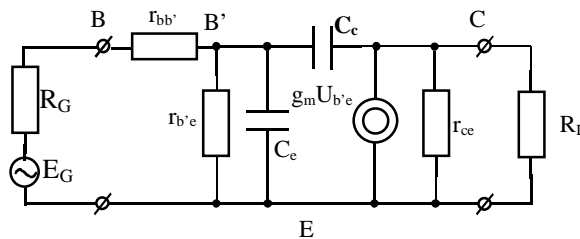
W miarę malenia częstotliwości rośnie reaktancja kondensatora i na obwodzie emiterowym odkłada się coraz większe napięcie U_e kosztem napięcia sterującego tranzystor U_{be} , więc kosztem wzmocnienia wzmacniacza. Zmniejszając częstotliwość do dowolnie małej, kondensator stanowi praktycznie rozwarcie i napięcie U_e ustala się na wartości określonej wartością R_E . Przebieg charakterystyki nie będzie już monotoniczny jak na rys. 1.7, lecz taki jak na rys. 1.10.



Rys. 1.9. Wpływ pojemności emiterowej na charakterystykę wzmacniacza

Wypadkowa charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza w zakresie dolnych częstotliwości zależy od przebiegu charakterystyk wszystkich trzech obwodów (wejściowego, wyjściowego i emiterowego).

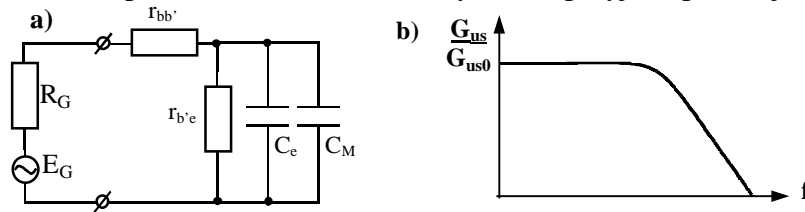
Przebieg charakterystyki amplitudowej wzmacniacza w zakresie górnych częstotliwości jest uzależniony od parametrów tranzystora oraz od rezystancji generatora i obciążenia. Stosując schemat zastępczy tranzystora hybryd Π oraz pojęcia uogólnionych rezystancji generatora i obciążenia, tranzystor w układzie wzmacniającym jest włączony jak przedstawiono na rys. 1.11.



Rys. 1.10. Schemat zastępczy wzmacniacza w zakresie górnych częstotliwości

Analiza własności takiej struktury jest złożona, ze względu na istnienie sprzężenia zwrotnego przez pojemność baza-kolektor C_c . Procedurę można znacznie uprościć stosując twierdzenie Millera. Pozwala ono przekształcić schemat tranzystora ze struktury bilateralnej na unilateralną (wyeliminować sprzężenie zwrotne) i analizować obwód wejściowy i wyjściowy wzmacniacza niezależnie. Ponieważ współczynnik multiplikacji Millera pojemności C_c do obwodu wyjściowego jest o wiele mniejszy niż dla wejściowego, dalszą analizę wzmacniacza można ograniczyć do obwodu wejściowego.

Po przekształceniach i uproszczeniach schemat z rys. 1.11 przyjmie postać jak na rys. 1.12.



Rys. 1.11. Schemat obwodu wejściowego wraz z charakterystyką amplitudową

Ze względu na pojemności równoległe układ jest jednobiegunowym filtrem dolnoprzepustowym, a charakterystyka amplitudowa będzie oczywiście funkcją monotoniczną (rys. 1.12.b). Na częstotliwość graniczną górną mają wpływ wszystkie elementy RC układu, przy czym pojemność C_M , zwana pojemnością Millera, ma najczęściej wpływ znaczący. Jej wartość jest tym większa im większe jest wzmocnienie napięciowe wzmacniacza (w przybliżeniu o wartość wzmocnienia razy większa niż C_c z rys. 1.11). Zmieniając rezystancję obciążenia wzmacniacza wpływamy na wzmocnienie, a przez to na wartość pojemności Millera i w efekcie na częstotliwość graniczną wzmacniacza. Rezystancja generatora jako element filtru ma także wpływ na zakres górnych częstotliwości, podobnie jak dla zakresu dolnych częstotliwości.

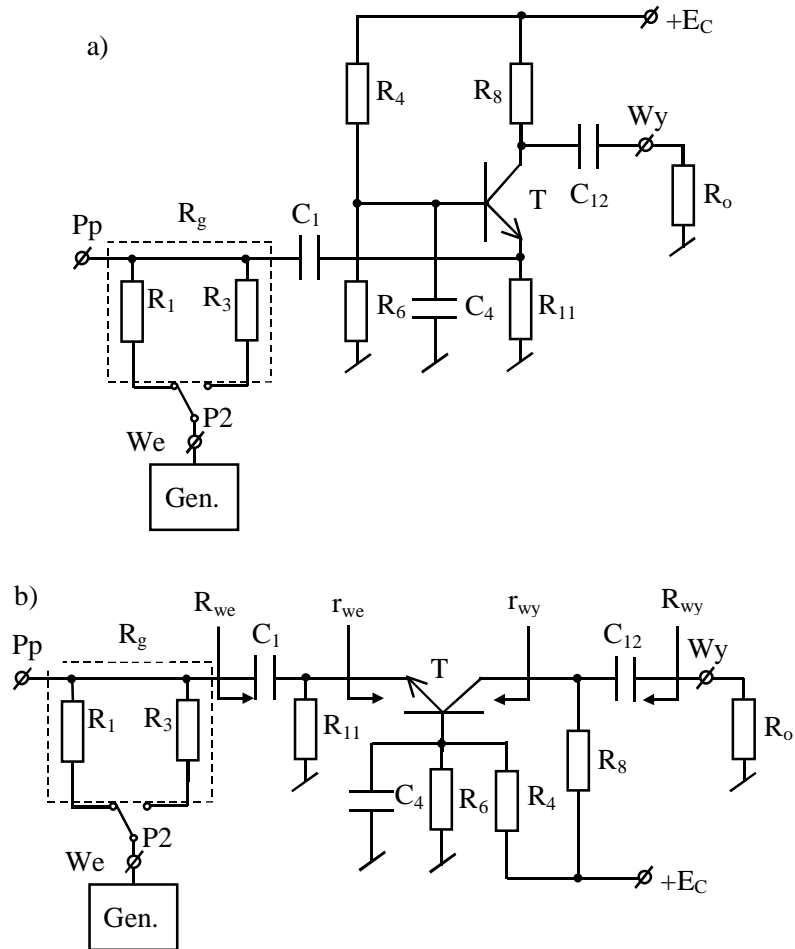
1.4.2. Wzmacniacz OB

Dokonując odpowiednich przełączeń przełączników modelu laboratoryjnego przedstawionego na rys.1.2 można zrealizować wzmacniacz w układzie OB. Schemat zrealizowanego układu przedstawiono na rys.1.13.a, a jego układ graficzny wygodniejszy do analizy na rys.1.13.b. Dla przejrzystości pominięto zmiany rezystorów bazowych i kolektorowych.

Strukturalnie, w stosunku do wzmacniacza OE, wystąpiły dwie zmiany: sygnał sterujący jest doprowadzony do emitera i wspólną końcówką dla obwodu wejściowego i wyjściowego (dla składowych zmiennych) jest baza, dzięki zastosowaniu kondensatora C_4 . Pamiętajmy, że konfiguracja włączenia tranzystora jest możliwa do określenia dopiero po podłączeniu generatora i obciążenia.

Dość szczegółowa analiza przedstawiona przy studiowaniu wzmacniacza OE jest pomocna w poznaniu własności wzmacniacza OB. Z analizy schematu (rys. 1.13) można wyciągnąć wnioski odnośnie parametrów roboczych wzmacniacza OB.

Prądem wejściowym jest prąd emitera, a prądem wyjściowym jest prąd kolektora. Z relacji między prądem kolektora a emitera tranzystora wynika, że wzmocnienie prądowe wzmacniacza OB jest mniejsze od jedności.

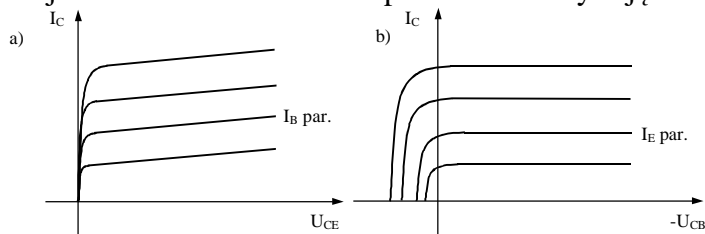


Rys. 1.12. Schemat ideowy wzmacniacza OB.

Napięcie wyjściowe jest uzależnione od prądu kolektora tranzystora, a ten zależy od napięcia między bazą a emiterem. Kondensator C_4 możemy traktować jako zwarcie, więc sygnał z generatora jest doprowadzony do złącza baza-emiter, tak jak we wzmacniaczu OE. Wynika stąd wniosek, że nie ma różnicy między wzmocnieniami napięciowymi wzmacniacza OB i OE.

Rezystancja wejściowa (r_{we}) wzmacniacza OB to stosunek napięcia baza-emiter do prądu emitera, a nie do prądu bazy jak dla wzmacniacza OE. Prąd emitera jest wielokrotnie większy od prądu bazy, więc rezystancja wejściowa układu OB jest o wiele mniejsza niż układu OE (w przybliżeniu h_{21e} razy).

Poziom rezystancji wyjściowej (r_{wy}) wzmacniacza OB w stosunku do rezystancji wyjściowej wzmacniacza OE można porównać korzystając z rysunku 1.14.



Rys. 1.13. Charakterystyki wyjściowe tranzystorów w układzie OE a) i OB b)

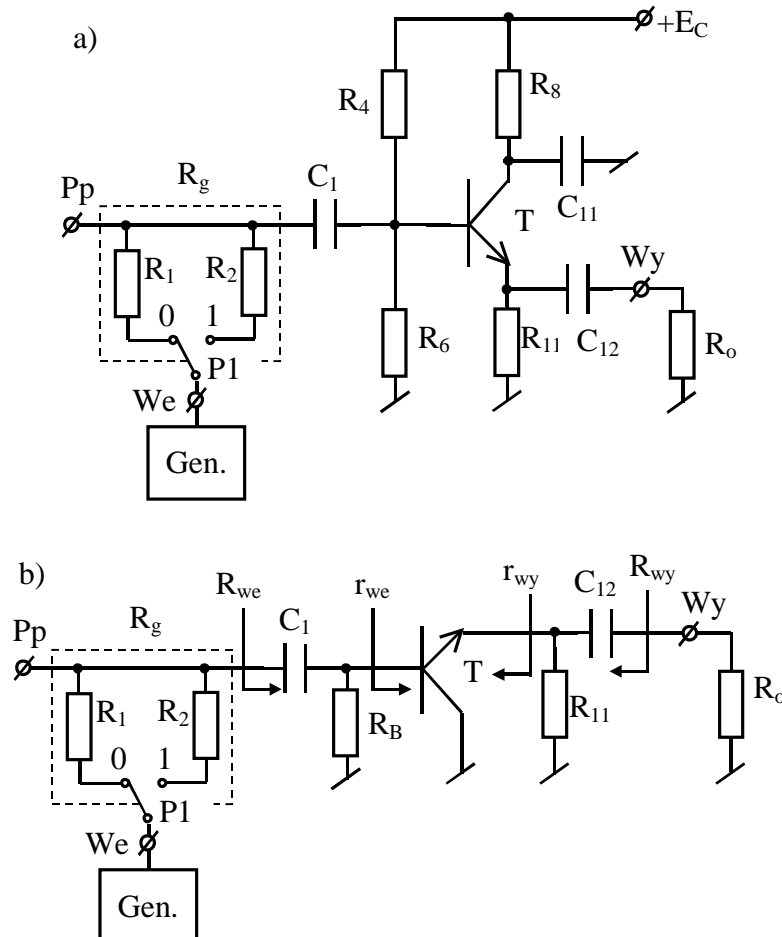
Z przebiegu tych charakterystyk wynika, że ich nachylenie jest różne, więc rezystancja wyjściowa wzmacniacza OB jest większa niż wzmacniacza OE.

Przy ocenie przebiegu charakterystyki amplitudowej w zakresie dolnych częstotliwości obowiązuje ta sama procedura jak przy wzmacniaczu OE. Zmniejszenie rezystancji wejściowej powoduje wzrost częstotliwości granicznej dolnej obwodu wejściowego, a zwiększenie rezystancji wyjściowej zmniejszenie częstotliwości granicznej dolnej obwodu wyjściowego.

Włączenie tranzystora w układzie OB zapewnia możliwość uzyskania większej częstotliwości granicznej górnej wzmacniacza niż w układzie OE, gdyż w tym układzie włączenia tranzystor ma większą częstotliwość graniczną (brak efektu Millera).

1.4.3. Wzmacniacz OC

Aby zrealizować wzmacniacz OC należy obciążenie podłączyć do końcówki emiterowej tranzystora. Dodatkowo należy zapewnić, aby wspólną końcówką tranzystora dla obwodu wejściowego i wyjściowego tranzystora był kolektor. W tym celu rezystor kolektorowy jest zbocznikowany kondensatorem C_{11} . Schemat zrealizowanego układu przedstawiono na rys.1.15.a, a jego schemat dla składowych zmiennych na rys.1.15.b.



Rys. 1.14. Schemat idealny i zastępczy wzmacniacza OC

Wzmocnienie prądowe jest stosunkiem prądu emitera do prądu bazy. Z bilansu prądów w tranzystorze wynika, że wzmocnienie prądowe wzmacniacza OC jest liczbowo o jeden większe od wzmocnienia wzmacniacza OE.

Napięcie wejściowe to napięcie panujące na złączu baza kolektor (U_{cb} - rys. 1.15.b). Z rys. 1.15.a wynika, że to napięcie wejściowe jest równe sumie napięcia na złączu emiterowym i napięcia wyjściowego, a to oznacza, że napięcie wyjściowe jest mniejsze od wejściowego i wzmocnienie napięciowe wzmacniacza OC jest mniejsze do jedności. Napięcie wyjściowe jest zazwyczaj dużo większe od napięcia na złączu emiterowym i dlatego wzmocnienie napięciowe jest zwykle bliskie jedności. Ponieważ dodatkowo nie występuje przesunięcie fazy, więc napięcie wyjściowe (na wyjściu emiterowym) „wtóruje” napięciu wejściowemu, stąd powszechnie wzmacniacz OC jest nazywany wtórnikami emiterowym.

Z rys. 1.15.a wynika, że rezystancja wejściowa jest sumą rezystancji złącza emiterowego i rezystancji jaką przedstawia sobą odwód podłączony w do emitera. Przez te rezystancje płyną jednak różne prądy (bazy i emitera) i nie można ich wprost dodawać. Aby te rezystancje można było dodać, to dla poprawnej analizy należy „wyrównać” prądy i wystarczy wartość rezystancji włączonej w obwód emitera potraktować jako o stosunek prądu emitera do prądu bazy większą. Rezystancja włączona w obwód emitera jest więc „odczuwana” na wejściu jako o wiele większa. Przyjmując $h_{21e} = 300$ i rezystancję włączoną w obwód emitera równą $1\text{ k}\Omega$ otrzymujemy przyrost rezystancji wejściowej o $301\text{ k}\Omega$ w stosunku do rezystancji wzmacniacza OE.

Rezystancja wyjściowa jest stosunkiem napięcia wyjściowego do prądu wyjściowego. Napięcie wyjściowe jest praktycznie równe wejściowemu ale prąd wyjściowy jest jednak o wiele większy od wejściowego. Wzmacniacz OC ma więc małą rezystancję wyjściową a dużą rezystancję wejściową (tzw. transformator rezystancji).

Ujemną cechą wzmacniacza OC jest jego duża przezroczystość. Wynika to z tego, że wejście i wyjście wzmacniacza jest połączone ze sobą poprzez rezystancję złącza baza emiter spolaryzowanego w kierunku przewodzenia (rys.1.15.b). W efekcie rezystancja wejściowa silnie zależy od rezystancji obciążenia, a wyjściowa od rezystancji generatora.

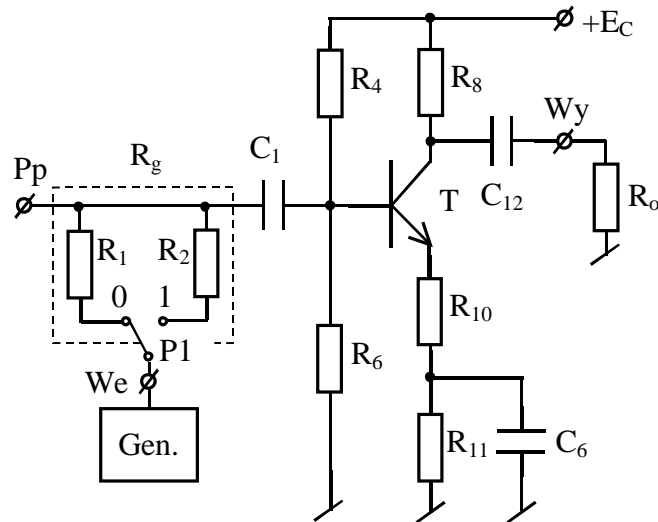
Zmiana układu włączenia tranzystora z OB na OC wpływa odmiennie na wartość rezystancji wejściowej i wyjściowej. Czytelnik może więc samodzielnie wyciągnąć wnioski odnośnie charakterystyki wzmacniacza OC w zakresie dolnych częstotliwości.

Analizując zakres górnych częstotliwości wzmacniacza OC wystarczy zauważyć, że w obwodzie wejściowym (rys. 1.15.b) występuje pojemność złącza baza-kolektor. Jej wartość jest stosunkowo mała w porównaniu z pojemnością obwodu wejściowego wzmacniacza OE, gdzie występuje znacząca wartość tzw. pojemności Millera. Stąd wynika wniosek, że wzmacniacz OC umożliwi uzyskanie większej częstotliwości granicznej górnej niż OE.

1.4.4. Wzmacniacz ze sprzężeniem prądowym szeregowym

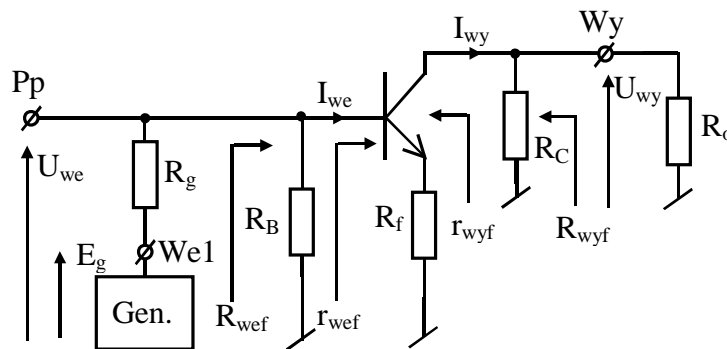
Rozwierając rezystor R_{10} w układzie przedstawionym na rys. 1.2 zrealizujemy wzmacniacz ze sprzężeniem prądowym szeregowym (rys. 1.16).

Jedynym elementem różniącym schemat otrzymanego wzmacniacza w stosunku do wzmacniacza OE bez sprzężenia zwrotnego jest rezystor R_{10} . Znajomość poprzednich wzmacniaczy, w szczególności wzmacniacza OE, pozwoli w prosty sposób poznać właściwości wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym.



Rys. 1.15. Schemat ideowy wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym

Do analizy parametrów roboczych przyjmijmy schemat zastępczy dla zakresu średnich częstotliwości przedstawiony na rys. 1.17.



Rys. 1.16. Schemat zastępczy wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym

Napięcie wejściowe podlega podziałowi między złącze baza-emiter i rezystancję sprzężenia zwrotnego R_f (R_{10} na rys. 1.16). Efektywne napięcie sterujące złączem baza-emiter ulega zmniejszeniu i wzmocnienie napięciowe wzmacniacza z tym sprzężeniem zwrotnym ulega redukcji w stosunku do wzmacniacza bez sprzężenia zwrotnego (OE).

Włączenie rezystora R_f w obwodzie wejściowym powoduje zmniejszenie prądu wejściowego (prądu bazy), więc zmniejsza się prąd wyjściowy, ale ich stosunek (wzmocnienie prądowe) pozostanie bez zmian.

Rozpatrując problem rezystancji wejściowej zauważamy, że obwód wejściowy wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym jest analogiczny jak we wzmacniaczu OC, więc sprzężenie prądowe szeregowe powoduje wzrost rezystancji wejściowej w stosunku do wzmacniacza bez sprzężenia zwrotnego.

Wpływ sprzężenia prądowego szeregowego na rezystancję wyjściową rozpatrzmy analizując wpływ zmian rezystancji obciążenia. Nie uwzględniając sprzężenia zwrotnego ($R_f = 0$), jeśli zmniejszymy rezystancję obciążenia, to w obwodzie wyjściowym popłynie większy prąd. Jeśli uwzględnimy sprzężenie ($R_f > 0$), to przez rezystor R_f popłynie też większy prąd. Większe napięcie na R_f zmniejszy napięcie na złączu baza-emiter tranzystora wymuszając mniejszy prąd. Pętla sprzężenia zwrotnego przeciwdziała więc zmianom prądu wyjściowego pod wpływem zmian obciążenia. Źródło, które dostarcza do obciążenia prąd o stałej wartości (w tym przypadku oczywiście zmienny), jest źródłem prądowym o dużej rezystancji

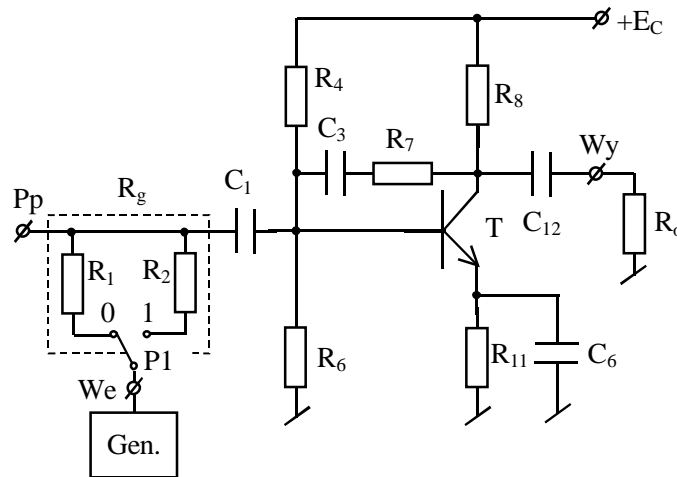
wewnętrznej. Sprężenie prądowe szeregowo powoduje wzrost rezystancji wyjściowej wzmacniacza.

Zmianom rezystancji wejściowej i wyjściowej towarzyszy zmiana częstotliwości granicznej dolnej wzmacniacza. Postępując jak przy poprzednich wzmacniaczach można przewidzieć charakter zmian charakterystyki amplitudowej wzmacniacza w zakresie dolnych częstotliwości.

W stosunku do wzmacniacza bez sprężenia zwrotnego ulegnie zmianie także częstotliwość graniczna górna. Korzystając z twierdzenia Millera zauważamy, że pojemność wejściowa zmniejszy się ponieważ sprężenie redukuje wzmocnienie napięciowe.

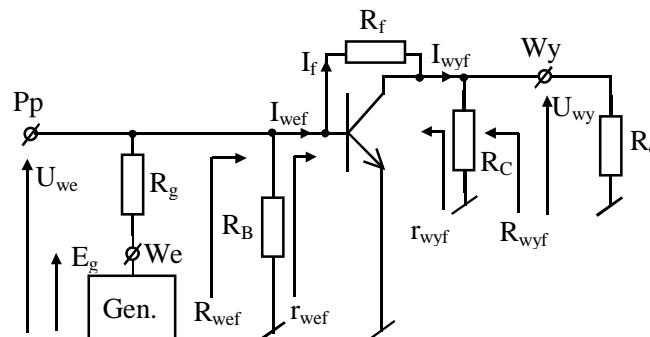
1.4.5. Wzmacniacz ze sprężeniem napięciowym równoległym

Sprzęgając wyjście wzmacniacza z wejściem poprzez gałąź $R_7 C_3$ (rys. 1.2) zrealizujemy wzmacniacz ze sprężeniem napięciowym równoległym w układzie przedstawionym na rys. 1.18.



Rys. 1.17. Schemat ideowy wzmacniacza ze sprężeniem napięciowym równoległym

Do analizy parametrów roboczych przyjmijmy schemat zastępczy dla zakresu średnich częstotliwości przedstawiony na rys. 1.19.



Rys. 1.18. Schemat zastępczy wzmacniacza ze sprężeniem napięciowym równoległym

W odróżnieniu od wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym tranzystor jest wprost sterowany napięciem wejściowym, więc wprowadzenie sprzężenia napięciowego równoległego praktycznie nie zmienia wzmocnienia napięciowego wzmacniacza.

W obwodzie wejściowym występuje rozptyw prądu wejściowego na prąd bazy i prąd I_f . Efektywny prąd sterujący tranzystor ulega zmniejszeniu i dlatego sprzężenie napięciowe równoległe redukuje wzmocnienie prądowe.

Prąd płynący przez gałąź sprzężenia zwrotnego I_f jest dodatkowym prądem pobieranym z generatora i dlatego sprzężenie napięciowe równoległe redukuje rezystancję wejściową. Ze schematu wynika wprost, że im większe wzmocnienie napięciowe (większa różnica potencjałów na R_f) tym prąd I_f jest większy i silniej maleje rezystancja wejściowa.

Wpływ sprzężenia napięciowego równoległego na rezystancję wyjściową rozpatrzmy jak poprzednio, analizując wpływ zmian rezystancji obciążenia. Nie uwzględniając sprzężenia zwrotnego, jeśli zmniejszymy rezystancję obciążenia, to w obwodzie wyjściowym popłynie większy prąd. Jeśli uwzględnimy sprzężenie to przez pętlę sprzężenia zwrotnego popłynie do obciążenia dodatkowy prąd. Zmianom rezystancji obciążenia towarzyszy więc zmiana prądu. Źródło, które dostarcza do obciążenia prąd o wartości zależnej od obciążenia jest źródłem napięciowym o małej rezystancji wewnętrznej. Sprzężenie napięciowe równoległe powoduje zmniejszenie rezystancji wyjściowej wzmacniacza.

Zmianom rezystancji wejściowej i wyjściowej towarzyszy zmiana częstotliwości granicznej dolnej. Postępując jak poprzednio można przewidzieć charakter zmian w zakresie dolnych częstotliwości.

W stosunku do wzmacniacza bez sprzężenia zwrotnego ulegnie zmianie także częstotliwość graniczna górna. W odróżnieniu od wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym nie ulega redukcji pojemność wejściowa (niezmiennosc wzmocnienia napięciowego), lecz rezystancja wejściowa. Efekt jest jednak taki sam, gdyż o częstotliwości granicznej nie decyduje tylko wartość pojemności wejściowej, ale równoprawnie wartość rezystancji wejściowej.

1.5. OPIS TECHNICZNY POMIARÓW

1.5.1. Zakres i metodyka pomiarów

W trakcie ćwiczenia laboratoryjnego należy przeprowadzić pomiary charakterystyk amplitudowych i parametrów roboczych wzmacniaczy:

- a) wzmacniacza OE;
- b) wzmacniacza OB;
- c) wzmacniacza OC;
- d) wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym;
- e) wzmacniacza ze sprzężeniem napięciowym równoległym.

Najpowszechniej stosowanym wzmacniaczem tranzystorowym jest wzmacniacz OE i ten należy traktować jako układ odniesienia dla pozostałych. Aby uniknąć błędnej konfiguracji przed rozpoczęciem badań wzmacniaczy typu b) ... e) najpierw należy skonfigurować wzmacniacz odniesienia.

Charakterystyki amplitudowe wzmacniacza należy zdejmować metodą punkt po punkcie lub z wykorzystaniem analizatora charakterystyk. W pierwszym przypadku pomiary rozpocząć od zakresu średnich częstotliwości, np. 10 kHz i odstrajać generator kolejno w kierunku dolnych i górnych częstotliwości aż do częstotliwości, przy której napięcie na obciążeniu zmniejszy się do około połowy (6 dB) w stosunku do napięcia wyjściowego w zakresie częstotliwości średnich. W drugim przypadku pomiary przeprowadzić zgodnie z instrukcją analizatora, a wyniki pomiarów odrysować z ekranu lub wydrukować. Pomiaru wzmocnienia napięciowego i napięciowego skutecznego dokonać przez porównanie wartości napięcia wyjściowego odpowiednio z wartością napięcia wejściowego lub napięcia z generatora.

Pomiaru wzmocnienia prądowego i prądowego skutecznego dokonać metodą pośrednią, poprzez przeliczenia napięć na prądy.

Pomiaru rezystancji wejściowej dokonać metodą pośrednią, poprzez pomiar napięcia wejściowego wzmacniacza i obliczenie prądu płynącego przez znaną wartość rezystancji generatora R_g .

Pomiaru rezystancji wyjściowej dokonać poprzez poszukiwanie takiej rezystancji obciążenia wzmacniacza, przy której wzmacniacz pracuje w stanie dopasowania rezystancyjnego.

1.5.2. Uruchomienie układu

Skonfigurować wzmacniacz w układzie odniesienia ustawiając wszystkie przełączniki w pozycji spoczynkowej - pozycja 0, co odpowiada wyciśnięciu przycisku przełącznika. Podłączyć sinusoidalny sygnał sterujący z generatora o poziomie 5 mV. Do wyjścia podłączyć rezystancję obciążenia 1 k Ω . Ustalić i podłączyć napięcie zasilania 18V. Ocenić sprawność układu poprzez sprawdzenie kształtu napięcia wyjściowego na oscyloskopie i porównanie wartości napięcia wyjściowego i napięcia z generatora. Wynik sprawdzenia jest poprawny, jeśli przebieg na wyjściu ma kształt sinusoidalny, a napięcie wyjściowe jest większe od napięcia z generatora.

1.5.3. Pomiary wzmacniacza OE

Po skonfigurowaniu struktury wzmacniacza w układzie odniesienia (OE), ustalić dla wszystkich pomiarów tego wzmacniacza napięcie wyjściowe z generatora $E_g = 5 \text{ mV}$.

1.5.3.1. Badanie wpływu rezystancji generatora i obciążenia na kształt charakterystyki amplitudowej

Pomiary przeprowadzić dla czterech kombinacji rezystancji generatora i obciążenia przy ustalonej strukturze wzmacniacza zgodnie z tabelą 1.

Tabela 1

Lp	R_g [k Ω]	C_S [nF]	C_E [μ F]	R_C [k Ω]	R_o [k Ω]
1	1	680	100	5,6	1
2	1				10
3	10				1
4	10				10

Wyniki pomiarów metodą punkt po punkcie zanotować w tabeli 2.

Tabela 2

f	kHz				f_{sr}		
U_{wy}	mV						
G_{us}/G_{us0}	V/V						

gdzie:

G_{us} - wzmacnienie napięciowe skuteczne (U_{wy}/E_g) dla bieżącej częstotliwości;

G_{us0} – wzmacnienie napięciowe skuteczne dla średniej częstotliwości.

Aby uprościć obliczenia wystarczy zauważyć, że stosunek G_{us}/G_{us0} jest równoważny stosunkowi napięć wyjściowych U_{wy}/U_{wy0} .

1.5.3.2. Badanie wpływu pojemności sprzęgającej i emiterowej na kształt charakterystyki amplitudowej

Pomiary przeprowadzić według metodyki opisanej w poprzednim punkcie dla czterech kombinacji pojemności sprzęgającej i emiterowej przy ustalonej rezystancji generatora i obciążenia zgodnie z tabelą 3.

Tabela 3

Lp	R_g [k Ω]	C_S [nF]	C_E [μ F]	R_C [k Ω]	R_o [k Ω]
1	10	680	100	5,6	10
2		680	10		
3		68	100		
4		68	10		

1.5.3.3. Badanie wpływu prądu kolektora na rezystancję wejściową i wyjściową

Pomiaru rezystancji wyjściowej dokonać dla częstotliwości 10 kHz przez poszukiwanie takiej rezystancji obciążenia przy której wzmacniacz będzie pracował w stanie dopasowania

rezystancyjnego na wyjściu. W tym celu pomierzyć napięcia wyjściowe przy odłączonej rezystancji obciążenia $U_{wy\cancel{z}}$, a następnie do wyjścia podłączyć rezystor regulowany i dobrać taką jego rezystancję przy której napięcie wyjściowe zmniejszy się o połowę. Dobrana wartość rezystancji obciążenia jest równa rezystancji wyjściowej

Pomiaru rezystancji wejściowej dokonać metodą pośrednią. Do tego celu niezbędna jest znajomość napięcia i prądu wejściowego. Napięcie wejściowe otrzymamy z pomiaru na wyjściu Pp . Prąd można obliczyć znając napięcie na rezystancji R_g , które jest różnicą wydajności napięciowej generatora E_g i napięcia na wyjściu Pp . Poszukiwaną wartość rezystancji wejściowej otrzymamy z zależności

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{E_g - U_{we}} R_g \quad (1.9)$$

Wyniki pomiarów zestawień w tabeli 4.

Tabela 4

Lp	R_g [kΩ]	R_o [kΩ]	I_C [mA]	$U_{wy\cancel{z}}$ [mV]	R_{wy} [kΩ]	U_{we} [mV]	R_{we} [kΩ]
1	1	∞	1,5			-----	-----
2			4,5			-----	-----
3		10	1,5	-----	-----		
4			4,5	-----	-----		

1.5.3.4. Badanie wpływu rezystancji generatora na rezystancję wyjściową i obciążenia na wejściową

Pomiary przeprowadzić według metodyki opisanej w poprzednim punkcie. Wyniki pomiarów zestawień w tabeli 5.

Tabela 5

Lp	R_g [kΩ]	R_o [kΩ]	I_C [mA]	$U_{wy\cancel{z}}$ [mV]	R_{wy} [kΩ]	U_{we} [mV]	R_{we} [kΩ]
1	1	∞	1,5			-----	-----
2	10					-----	-----
3	1	1		-----	-----		
4		10		-----	-----		

1.5.4. Pomiary wzmacniacza OB

Wszystkie pomiary wzmacniacza OB przeprowadzić przy napięciu generatora $E_g = 50$ mV.

1.5.4.1. Pomiar charakterystyki amplitudowej

Pomiary przeprowadzić zgodnie z metodyką jak dla wzmacniacza OE przy jednej kombinacji rezystancji generatora i obciążenia dla struktury wzmacniacza zgodnie z tabelą 6.

Tabela 6

R_g [kΩ]	C_S [nF]	R_E [kΩ]	C_E [μF]	R_C [kΩ]	R_o [kΩ]
1	680	1	0	5,6	10

1.5.4.2. Pomiar rezystancji wejściowej i wyjściowej

Pomiary przeprowadzić dla częstotliwości 30 kHz według metodyki jak dla wzmacniacza OE. Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 7.

Tabela 7

Lp	R_g [Ω]	R_o [k Ω]	$\overline{U_{wy}}$ [mV]	R_{wy} [k Ω]	$\overline{U_{we}}$ [mV]	R_{we} [k Ω]
1	100	∞			-----	-----
2		10	-----	-----		

1.5.5. Pomiary wzmacniacza OC

Wszystkie pomiary wzmacniacza OC przeprowadzić przy napięciu generatora $E_g = 50$ mV.

1.5.5.1. Pomiar charakterystyki amplitudowej

Pomiary przeprowadzić zgodnie z metodyką jak dla wzmacniacza OE przy jednej kombinacji rezystancji generatora i obciążenia dla struktury wzmacniacza zgodnie z tabelą 8.

Tabela 8

R_g [k Ω]	C_S [nF]	R_E [k Ω]	C_E [μ F]	R_C [k Ω]	R_o [k Ω]
1	680	1	0	5,6	10

1.5.5.2. Pomiar rezystancji wejściowej i wyjściowej

Pomiary przeprowadzić dla częstotliwości 10 kHz według metodyki jak dla wzmacniacza OE. Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 9.

Tabela 9

Lp	R_g [k Ω]	R_o [k Ω]	U_{wy} [mV]	R_{wy} [k Ω]	U_{we} [mV]	R_{we} [k Ω]
1	10	∞			-----	-----
2		10	-----	-----		

1.5.6. Pomiary wzmacniacza ze sprzężeniem prądowym szeregowym

Zrealizować strukturę wzmacniacza OE i wprowadzić sprzężenie prądowe szeregowe rozwierając rezystor R_{10} . Wszystkie pomiary wzmacniacza przeprowadzić przy napięciu generatora $E_g = 50$ mV.

1.5.6.1. Pomiar charakterystyki amplitudowej

Pomiary przeprowadzić zgodnie z metodyką jak dla wzmacniacza OE przy jednej kombinacji rezystancji generatora $R_g = 1$ k Ω i obciążenia $R_o = 10$ k Ω zgodnie z tabelą 10.

Tabela 10

R_g [k Ω]	C_S [nF]	R_E [k Ω]	C_E [μ F]	R_C [k Ω]	R_o [k Ω]
1	680	1,1	100	5,6	10

1.5.6.2. Pomiar rezystancji wejściowej i wyjściowej

Pomiary przeprowadzić dla częstotliwości 10 kHz według metodyki jak dla wzmacniacza OE. Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 11.

Tabela 11

Lp	R_g [k Ω]	R_o [k Ω]	U_{wy} [mV]	R_{wy} [k Ω]	U_{we} [mV]	R_{we} [k Ω]
1	1	∞			-----	-----
2	10				-----	-----
3	10	1	-----	-----		
4		10	-----	-----		

1.5.7. Pomiary wzmacniacza ze sprzężeniem napięciowym równoległym

Zrealizować strukturę wzmacniacza OE. Do zrealizowania wzmacniacza ze sprzężeniem napięciowym równoległym zamknąć pętlę sprzężenia zwrotnego. Wszystkie pomiary wzmacniacza przeprowadzić przy napięciu generatora $E_g = 50$ mV.

1.5.7.1. Pomiar charakterystyki amplitudowej

Pomiary przeprowadzić zgodnie z metodyką jak dla wzmacniacza OE przy jednej kombinacji rezystancji generatora $R_g = 1$ k Ω i obciążenia $R_o = 10$ k Ω zgodnie z tabelą 12.

Tabela 12

R_g [k Ω]	C_S [nF]	R_E [k Ω]	C_E [μ F]	R_C [k Ω]	R_o [k Ω]
1	680	1	100	5,6	10

1.5.7.2. Pomiar rezystancji wejściowej i wyjściowej

Pomiary przeprowadzić dla częstotliwości 10 kHz według metodyki jak dla wzmacniacza OE. Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 13.

Tabela 13

Lp	R_g [k Ω]	R_o [k Ω]	$U_{wy\infty}$ [mV]	R_{wy} [k Ω]	U_{we} [mV]	R_{we} [k Ω]
1	1	∞			-----	-----

2	10				-----	-----
3	1	1	-----	-----		
4		10	-----	-----		

1.6. OPRACOWANIE OTRZYMANYCH WYNIKÓW

Wykreślić charakterystyki amplitudowe poszczególnych wzmacniaczy w postaci unormowanej (tzn. jako G_{us}/G_{us0}) na czterech oddzielnych wykresach. Na pierwszych dwóch zgrupować charakterystyki wzmacniacza OE wynikające z pomiarów odpowiednio w p. 1.5.3.1 i 1.5.3.2, na trzecim wzmacniaczy OE (dla $R_g = 1 \text{ k}\Omega$ $R_o = 10 \text{ k}\Omega$), OB i OC, a na czwartym ponownie ww. OE oraz ze sprzężeniem prądowym szeregowym i napięciowym równoległym. Na każdym wykresie wyznaczyć częstotliwość graniczna dolną i górną. W tabeli 14 zestawzić otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń.

Tabela 14

Typ układu	R_g [k Ω]]	R_o [k Ω]]	R_{we} [Ω]	R_{wy} [Ω]	r_{we} [Ω]	r_{wy} [Ω]	G_{u0} [V/V]]	G_{i0} [A/A]	G_{us0} [V/V]	G_{is0} [A/A]
OE	1	10								
OB	0,1	10								
OC	10	10								
s. z. p. s.	1	10								
s. z. n. r.	1	10								

Stosowane wzory obliczeniowe:

$$r_{we} = \frac{R_{B(E)} R_{we}}{R_{B(E)} - R_{we}} \quad (1.10)$$

gdzie: $R_{B(E)}$ - wartość równoległego połączenia rezystorów bazy (R_4 i R_6 - rys. 1.2) dla wszystkich wzmacniaczy z wyjątkiem OB, dla którego $R_{B(E)}$ - wartość R_E (R_{11} - rys. 1.13 i 1.2),
 R_{we} - wartość odpowiednio z tabeli 5, 7, 9, 11 i 13.

$$r_{wy} = \frac{R_{C(E)} R_{wy}}{R_{C(E)} - R_{wy}} \quad (1.11)$$

gdzie: $R_{C(E)}$ - wartość rezystora kolektorowego dla prądu kolektora 1,5 mA dla wszystkich wzmacniaczy z wyjątkiem OC, dla którego $R_{C(E)}$ - wartość R_E (R_{11} - rys. 1.15 i 1.2),
 R_{wy} - wartość odpowiednio z tabeli 5, 7, 9, 11 i 13.

$$G_{u0} = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad (1.12)$$

gdzie: U_{wy} , U_{we} – zmierzone wartości napięć odpowiedniego wzmacniacza w zakresie średnich częstotliwości dla prądu kolektora 1,5 mA.

$$G_{us0} = \frac{U_{wy}}{E_g} \quad (1.13)$$

gdzie: E_g – zastosowana w pomiarach danego wzmacniacza wartość napięcia generatora.

$$G_{i0} = \frac{\frac{U_{wy}}{R_L}}{\frac{U_{we}}{r_{we}}} = G_{u0} \frac{r_{we}}{R_L} \quad (1.14)$$

gdzie: R_L - wartość równoległego połączenia rezystorów R_C (dla wzmacniacza OC rezystora R_E) i R_o .

$$G_{is0} = G_{us0} \frac{R_g}{R_L} \quad (1.15)$$

gdzie: R_g - wartość zgodnie z tabelą 14.

We wnioskach przeprowadzić dyskusję otrzymanych charakterystyk amplitudowych i parametrów roboczych badanych wzmacniaczy.

1.7. ZAGADNIENIA KONTROLNE

Po przestudiowaniu powyższych punktów Czytelnik powinien samodzielnie sprawdzić swój stopień opanowania wiedzy według następujących zagadnień:

1. Określić drogę przepływu składowej stałej i zmiennej prądu w obwodzie wejściowym i wyjściowym każdego badanego wzmacniacza.
2. Zdefiniować na schemacie ideowym każdego badanego wzmacniacza jego parametry robocze.
3. Ocenić wpływ punktu pracy tranzystora na parametry macierzowe tranzystora OE.
4. Ocenić wpływ wartości rezystancji kolektorowej na wzmocnienie napięciowe, rezystancję wejściową i wyjściową wzmacniacza OE.
5. Ocenić wpływ wartości rezystancji generatora i obciążenia na wzmocnienie napięciowe i prądowe skuteczne wzmacniacza OE.
6. Ocenić wpływ wartości pojemności sprzęgającej, emiterowej, rezystancji generatora i rezystancji obciążenia na częstotliwość graniczną dolną wzmacniacza OE.
7. Ocenić wpływ pojemności tranzystora na częstotliwość graniczną górną wzmacniacza OE.
8. Ocenić wpływ wartości rezystancji generatora i obciążenia na częstotliwość graniczną górną wzmacniacza OE.
9. Ocenić wpływ układu włączenia tranzystora na parametry robocze i częstotliwości graniczne wzmacniacza.
10. Określić wpływ poszczególnych sprzężeń zwrotnych na wzmocnienie napięciowe, prądowe, rezystancję wejściową, wyjściową, częstotliwość graniczną dolną i górną każdego badanego wzmacniacza.
11. Omówić metodę pomiaru charakterystyki amplitudowej każdego badanego wzmacniacza.
12. Omówić metodę pomiaru parametrów roboczych każdego badanego wzmacniacza.

1.8. LITERATURA

1. Z. Nosal, J. Baranowski, Układy Elektroniczne cz. I Układy analogowe liniowe, WNT Warszawa 1998.
2. A. Filipkowski, Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe, WNT Warszawa 1993.
3. J. Pawłowski, Podstawowe układy elektroniczne, WNT Warszawa 1980.
4. J. Boksa, L. Kachel, B. Smólski, Podstawy układów elektronicznych, WAT Warszawa 1994.