

KATEDRA ELEKTRONIKI AGH

LABORATORIUM
ELEMENTY ELEKTRONICZNE

PARAMETRY
MAŁOSYGNAŁOWE
TRANZYSTORÓW
BIPOLARNYCH

REV. 1.1

1. CEL ĆWICZENIA

- zapoznanie się z metodami pomiaru i wyznaczania parametrów małosygnałowych elementów elektronicznych,
- wyznaczenie na podstawie pomiarów niektórych parametrów małosygnałowych modelu hybrydowego i modelu hybryd π tranzystora bipolarnego.

2. WYKORZYSTYWANE MODELE I ELEMENTY

W trakcie ćwiczenia wykorzystane zostaną:

- płyta prototypowa NI ELVIS Prototyping Board (ELVIS) połączona z komputerem PC,
- wirtualne przyrządy pomiarowe: Virtual Instruments (VI):
 - Variable Power Supply (VPS).
- multimetr Agilent 34401A,
- generator sygnałowy,
- oscyloskop,
- zestaw elementów przedstawionych w Tabeli 1.

Tabela 1. Wartości elementów do wykonania ćwiczenia

Rezystory	2 x 20 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 47 k Ω 100 k Ω , 1 M Ω
Kondensatory	10 μ F, 100 μ F (lub inny o podobnej wartości)
Tranzystor	BD 411 lub BD 283 lub BC337 lub inny

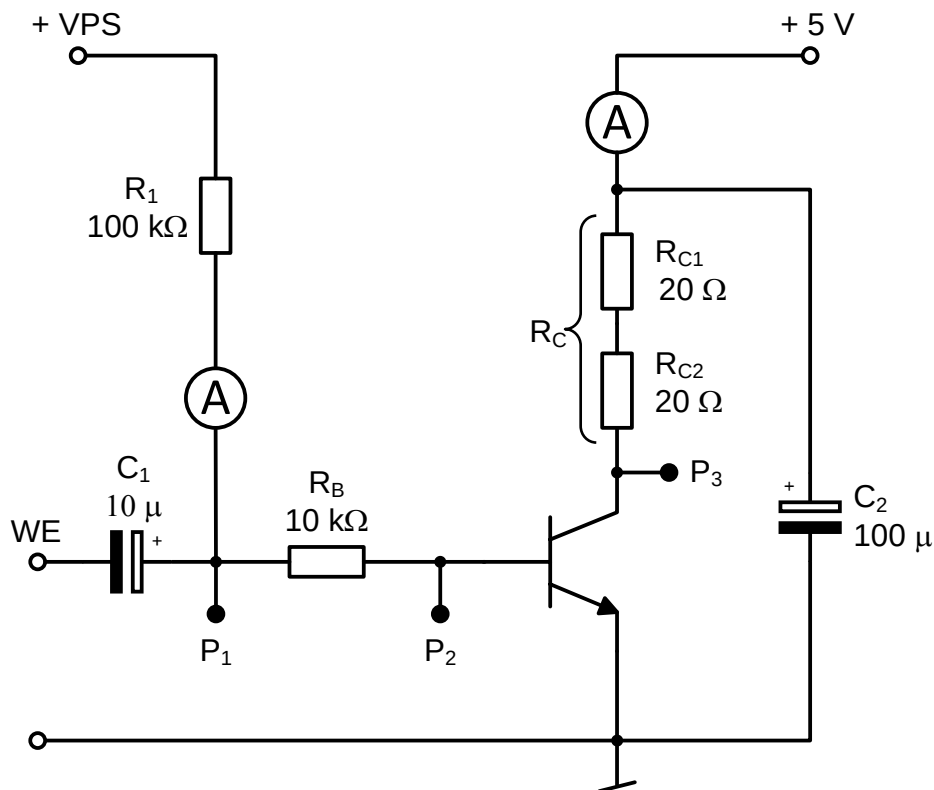
3. PRZYGOTOWANIE KONSPEKTU

- 3.1. Narysuj czwórnikowy model hybrydowy i hybryd- π dla tranzystora bipolarnego. Podaj równania definicyjne parametrów tych modeli.
- 3.2. Na podstawie wykreślonych charakterystyk w ćwiczeniu nr 5 dla wybranego punktu pracy tranzystora (np. $U_{CE} = 4$ V, $I_C = 5$ mA), korzystając z definicji, wylicz parametry modelu hybrydowego tranzystora bipolarnego.
- 3.3. Wykorzystując rysunek [płyty stykowej NI ELVIS](#) przygotuj rysunki montażowe dla układów pomiarowych w tym ćwiczeniu.

4. PRZEBIEG ĆWICZENIA

UWAGA: Pomiary wszystkich parametrów małosygnałowych wykonywane są w pewnym określonym **punkcie pracy** tranzystora. Ponieważ układ pomiarowy jest zasilany ze źródła napięcia stałego wystarczy kontrolować prąd kolektora utrzymując jego stałą wartość. Większość parametrów małosygnałowych tranzystora można zmierzyć w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 1. Wartości elementów tak dobrano, aby spełnić (przynajmniej częściowo) warunki wyznaczania poszczególnych parametrów. Może zaistnieć potrzeba zmiany wartości rezystora R_1 dla różnych typów tranzystorów. Dla tranzystorów o małym wzmocnieniu prądowym (np. tych z serii DB)

R_1 powinien mieć mniejszą wartość (kilkanaście $k\Omega$), tak aby uzyskać wymagany punkt pracy. Kondensator C_1 stanowi zwarcie dla sygnałów zmiennych, aby wyeliminować wpływ rezystancji wewnętrznej amperomierza na wyniki pomiarów.



Rys. 1. Schemat pomiarowy do wyznaczania parametrów małosygnałowych tranzystora bipolarnego.

4.1. Pomiar stałoprądowego (β) oraz małosygnałowego (h_{21e} – model hybrydowy) współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora w funkcji częstotliwości

- *Przygotowanie układu i ustawienia wstępne:*

- Połącz układ do wyznaczania parametrów małosygnałowych tranzystora bipolarnego według rysunku 1.
- Za pomocą źródła $+VPS$ ustaw takie napięcie, aby prąd kolektora był równy **25 mA** (punkt pracy tranzystora, lub inna wartość wskazana przez prowadzącego).
- Zmierz prąd bazy. Zanotuj wartości prądów bazy i kolektora (te wyniki pozwolą na obliczenie stałoprądowego współczynnika wzmocnienia β).
- Usuń amperomierz z obwodu bazy. Pozostawienie amperomierza może spowodować powstanie większych zakłóceń w układzie, co spowoduje pogorszenie dokładności pomiarów. Sprawdź wartość prądu I_C , ewentualnie skoryguj napięcie $VPS+$, tak aby uzyskać wymaganą wartość prądu kolektora.
- Podłącz sondy oscyloskopowe do punktów pomiarowych P_1 , P_2 i P_3 . Ustaw współczynnik podziału sond na **X10**. Należy użyć oscyloskopu zewnętrznego, nie zaleca się stosowania wirtualnego przyrządu Scope.
- Podłącz do wejścia (WE) generator zewnętrzny. Ustaw sygnał sinusoidalny o częstotliwości **1 kHz** i amplitudzie **100 mV** (obserwowane na oscyloskopie napięcie w punkcie P_1).

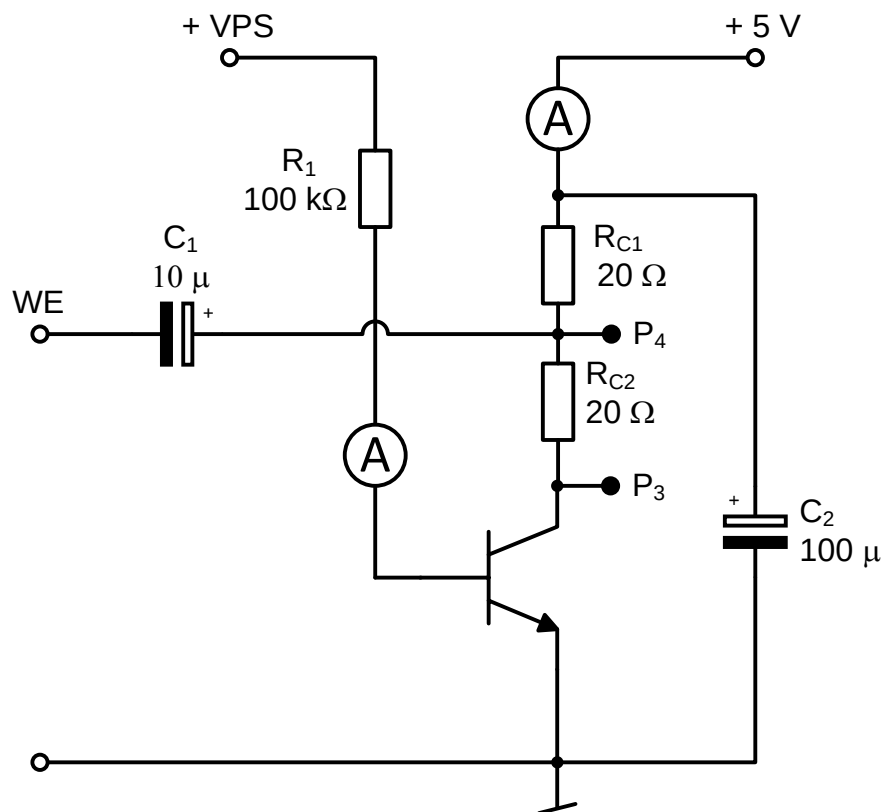
- *Pomiary:*

- Zmieniając częstotliwość sygnału zmierz amplitudy napięć w punktach **P₁**, **P₂** i **P₃** (wykonaj np. 3 pomiary na dekadę częstotliwości do takiej wartości częstotliwości, dla której amplituda sygnału w **P₃** jest na mierzalnym poziomie lub do maksymalnej częstotliwości dostępnego generatora).

UWAGA: można wykorzystać oscyloskop do pomiarów amplitudy napięcia w poszczególnych kanałach (funkcja MEASURE), jednakże model TEKTRONIX mierzy wartości międzyszczytowe napięcia (V_{PK-PK}) ale one również mogą być użyte do obliczeń.

4.2. Pomiar konduktancji wyjściowej tranzystora h_{22e}

Na rysunku 2 przedstawiono schemat układu pomiarowego do wyznaczania małosygnałowej konduktancji wyjściowej (h_{22e}) tranzystora bipolarnego. Mierząc napięcie u_{ce} (małosygnałowe) i prąd kolektora i_c wymuszony przez generator można obliczyć konduktancję wyjściową zgodnie z definicją. Tranzystor musi być spolaryzowany i należy zapewnić taki sam punkt pracy taki jak dla poprzednich pomiarów oraz należy zapewnić rozwarcię wejścia dla składowej zmiennej. Warunek rozwarcia jest spełniony przez zastosowanie dużej wartości rezystora w bazie (R_1).



Rys. 2. Schemat pomiarowy do wyznaczania konduktancji wyjściowej tr. bipolarnego (h_{22e}).

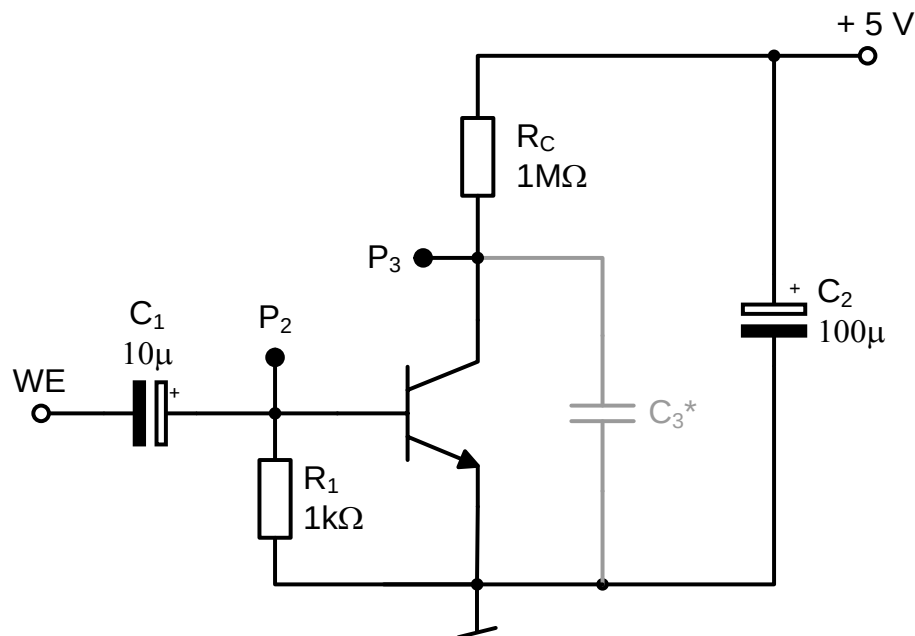
- *Przygotowanie układu i ustawienia wstępne:*

- Zmontuj układ do wyznaczania konduktancji wyjściowej tranzystora bipolarnego według rysunku 2. Nie podłączaj generatora do wejścia układu.
- Za pomocą źródła +VPS ustaw takie napięcie, aby prąd kolektora był równy **25 mA** (ten sam punkt pracy tranzystora jak poprzednio).
- Podłącz sondy oscyloskopowe do punktów **P₃** i **P₄**. Ustaw współczynnik podziału sond na **X10**.

- Podłącz do wejścia generator. Ustawić sygnał sinusoidalny o częstotliwości **1 kHz** i amplitudzie **100 mV** (obserwowane na oscyloskopie napięcie w punkcie **P₄**).
- *Pomiary:*
 - Dla ustawionych parametrów sygnału wejściowego dokładnie zmierz wartości napięć: u_{we} i u_{ce} (w punktach **P₃** i **P₄**).
 UWAGA: w przypadku małej różnicy napięć można wykorzystać oscyloskop i mierzyć różnicę napięć z dwóch kanałów, wykorzystując funkcję MATH.

4.3. Pomiar pojemności złącza baza-kolektor $C_{b'c}$

W układzie zbudowanym wg schematu pomiarowego z rysunku 3 można zmierzyć pojemność złączową zaporowo spolaryzowanego złącza baza-kolektor ($C_{b'c}$) tranzystora bipolarnego. Tranzystor pracuje w zakresie odcięcia. Mierzona pojemność wraz z kondensatorem C_3 tworzy dzielnik pojemnościowy. Wykonując pomiar dwóch napięć można wyznaczyć wartość $C_{b'c}$.



Rys. 3. Schemat pomiarowy do wyznaczania pojemności złącza baza-kolektor ($C_{b'c}$).

- *Przygotowanie układu i ustawienia wstępne:*
 - Połącz układ do wyznaczania pojemności złączowej złącza baza-kolektor $C_{b'c}$ tranzystora bipolarnego według rysunku 3.
 UWAGA: Wartość kondensatora C_3 zależy od badanego tranzystora. Dla BD411 lub BDP285 może to być 75 pF, a dla BC109 (lub inny małej mocy) kondensator C_3 może być pominięty. Jego rolę spełni pojemność sondy oscyloskopowej (którą należy zawsze uwzględnić w obliczeniach).
 - Podłącz sondy oscyloskopowe do punktów **P₂** i **P₃**. Ustaw współczynnik podziału sond na **X10**.
 - Podłącz do wejścia generator. Ustaw sygnał sinusoidalny o częstotliwości **100 kHz** i amplitudzie **500 mV** (na oscyloskopie napięcie w punkcie **P₂**).
- *Pomiary:*
 - Dla ustawionych parametrów sygnału wejściowego zmierz wartości napięć na bazie i kolektorze tranzystora (w punktach **P₂** i **P₃**).

5. OPRACOWANIE DANYCH POMIAROWYCH

5.1. Wzmocnienie prądowe: β i h_{21e}

- Na podstawie zmierzonych wartości prądów bazy i kolektora oblicz stałoprądowy współczynnik wzmocnienia prądowego β .
- Na podstawie napięć zmierzonych w punktach pomiarowych P_1 , P_2 i P_3 oblicz małosygnałowy współczynnik wzmocnienia h_{21e} (wyniki zawrzeć w tabeli).
- Narysuj charakterystykę współczynnika wzmocnienia prądowego h_{21e} w funkcji częstotliwości w skali logarytmicznej.
- Wyznacz z wykresu wartość częstotliwości granicznej tranzystora f_β i f_T .
- Porównaj otrzymane wyniki z danymi katalogowymi badanego tranzystora.

5.2. Małosygnałowa impedancja wejściowa h_{11e}

- Na podstawie pomiarów napięć wykonanych wg punktu 4.1 niniejszej instrukcji w punktach pomiarowych P_1 i P_2 dla częstotliwości **1 kHz**, oblicz wartość małosygnałowej impedancji wejściowej h_{11e} tranzystora bipolarnego.

5.3. Parametry małosygnałowe modelu hybryd- π : g_m , $r_{b'e}$, $r_{bb'}$ oraz n

Transkonduktancja g_m , rezystancja dynamiczna złącza baza-emiter $r_{b'e}$ oraz rezystancja rozproszona bazy $r_{bb'}$ to parametry małosygnałowe występujące w modelu **hybryd π** tranzystora bipolarnego. Na podstawie wyników otrzymanych w punkcie 4.1 należy obliczyć powyższe parametry tranzystora.

- Korzystając z wyników poprzednich obliczeń oraz wyników pomiarów dla sygnału o częstotliwości **1 kHz** oblicz wartość transkonduktancji, współczynnika emisji, rezystancji dynamicznej złącza baza-emiter oraz rezystancji rozproszonej bazy.
- Oblicz pojemność dyfuzyjną złącza baza-emiter i czas przelotu nośników.

5.4. Konduktancja wyjściowa tranzystora h_{22e}

Na podstawie wyników pomiarów wykonanych wg punktu 4.2 oblicz konduktancję wyjściową h_{22e} tranzystora bipolarnego.

5.5. Pojemność złącza baza-kolektor $C_{b'c}$

Na podstawie wyników pomiarów wykonanych wg punktu 4.3 oblicz wartość pojemności $C_{b'c}$.

Uwaga: należy uwzględnić pojemność sondy oscyloskopowej w obliczeniach (16 pF gdy sonda ustawiona jest na podział napięcia X10 lub 95 pF, gdy sonda ustawiona na X1 w przypadku sondy TEKTRONIX i odpowiednio 100 pF i 20,5 pF w przypadku zastosowania sondy HanTek PP-80).

5.6. Na podstawie uzyskanych wyników parametrów małosygnałowych oblicz pojemność złącza emiterowego $C_{b'e}$.

5.7. Narysuj fizyczny model małosygnałowy hybryd- π oraz wpisz wyznaczone wartości parametrów na schemacie. Zbierz w jednej tabeli parametry małosygnałowe obliczone w konspekcie oraz uzyskane w trakcie realizacji ćwiczenia. Porównaj wyniki i skomentuj.

6. LITERATURA

[1] Wykład

[2] [Załącznik](#) do ćwiczenia nr 6.