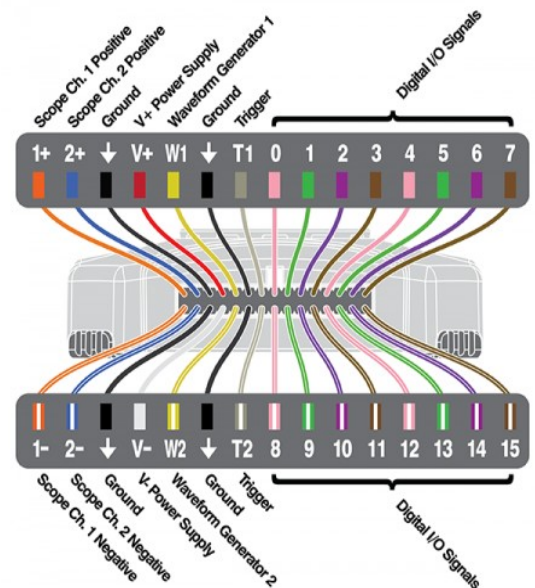


Program ćwiczenia - Charakterystyki tranzystora (A-8) i wzmacniacz w układzie WE (P-4)

Celem ćwiczenia jest zaprojektowanie wzmacniacza jedno-tranzystorowego ze zdegenerowanym emiterem na podstawie przedstawionych parametrów i wyznaczenie jego charakterystyki amplitudowej. Montażu dokonujemy na płytce stykowej z dostępnych w pracowni elementów elektronicznych. Pomiary wykonywane będą z wykorzystaniem wielofunkcyjnego urządzenia laboratoryjnego Analog Discovery 2, które łączy funkcjonalność dwukanałowego oscyloskopu, generatora, zasilacza i analizatora stanów logicznych. Całą funkcjonalnością Analog Discovery 2 (dalej AD2) można sterować za pomocą aplikacji WaveForms dostępnej na pracowni (po zalogowaniu się na Linux'a). Po uruchomieniu aplikacji w jej oknie głównym dostępnych jest wiele funkcjonalności z czego na potrzeby niniejszego ćwiczenia warto zwrócić uwagę na:

- Scope (oscyloskop) – umożliwia obserwację przebiegów w czasie na dwóch kanałach. Wejściem różnicowym pierwszego kanału są piny 1+ oraz 1-, natomiast wejściem drugiego kanału analogicznie 2+ i 2-
- Wavegen (generator) – generuje przebiegi na dwóch niezależnych kanałach. Wyjściami są odpowiednio W1 oraz W2
- Network (analizator sieci) – umożliwia pomiar funkcji przenoszenia układu, używając obu kanałów oscyloskopu.
- Tracer (analizator półprzewodników) – umożliwia pomiar charakterystyki diod i tranzystorów. Używa obu kanałów generatora i obu kanałów oscyloskopu
- Voltmeter (woltomierz) – pomiar napięć stałych, wartości AC i RMS. Używa kanałów oscyloskopu jako wejścia
- Supplies (zasilacze) – Zasilacz regulowany $\pm 0...5V$ z wyjściem V+ oraz V-



Nie wszystkie funkcje urządzenia mogą działać jednocześnie, gdyż np. woltomierz używa wejść dedykowanych dla oscyloskopu. Dla wielu funkcjonalności w menu File → Export można zapisać dane w formacie *.csv.

0. Pomiary testowe – filtr RC (nie umieszczać w sprawozdaniu!)

Z wykorzystaniem płytki stykowej zbudować prosty filtr dolnoprzepustowy RC o częstotliwości granicznej kilku kHz (np. złożony z rezystora $20k\Omega$ i kondensatora $2.2nF$). Na wejście filtra podać sygnał z pierwszego kanału generatora (W1). Pierwszy kanał oscyloskopu (1+) powinien być dołączony do wejścia filtra, a kanał drugi (2+) do jego wyjścia. Pin masy (Ground) układu AD2 oraz wejścia 1- i 2- oscyloskopu należy dołączyć do masy filtra (na płytce stykowej).

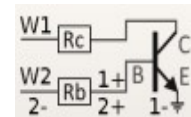
a) korzystając z funkcjonalności generatora i oscyloskopu dokonać obserwacji odpowiedzi filtra na sygnał sinusoidalny o małej częstotliwości (np. $100Hz$) oraz na skok jednostkowy.

b) wykorzystując analizator sieci dokonać pomiaru funkcji przenoszenia układu (amplitudowej charakterystyki częstotliwościowej) w zakresie $10Hz - 5MHz$. Ustawić amplitudę na $100mV$ oraz całkowitą ilość kroków (Steps) na 101. Wyznaczyć wzmocnienie w pasmie przepustowym filtra, częstotliwość graniczną i nachylenie asymptotyczne charakterystyki w pasmie zaporowym.

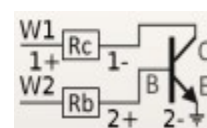
1. Charakterystyki tranzystora bipolarnego

Charakterystyki tranzystora wyznaczyć korzystając z analizatora półprzewodników (Tracer). W opcjach należy wybrać pomiary bez dedykowanego adaptera (No Adapter) oraz typ tranzystora NPN. Do kolektora dołączyć rezystor szeregowy R_C (100 Ω), a do bazy rezystor R_B (10k Ω). Szczegółowy schemat połączeń tranzystora z systemem AD2 będzie zależał od badanej charakterystyki. Pomiaru jednorazowego dokonujemy przyciskiem Single.

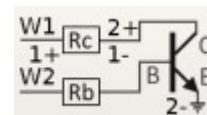
a) wyznaczyć charakterystykę wejściową tranzystora ustawiając typ pomiaru (Measure) na I_B/V_{BE} (schemat połączeń na rysunku po prawej). Ilość kroków (Steps) ustawić na 1 a napięcie V_{RC} na 5V. Zakres napięcia V_{RB} na 0V-1.5V. Narysować charakterystykę $I_B=f(V_{BE})$, wyznaczyć i narysować zależność rezystancji r_{be} w funkcji prądu kolektora I_C , korzystając z definicji oraz wzoru małosygnałowego (dwie krzywe na wykresie).



b) wyznaczyć charakterystykę przejściową tranzystora ustawiając typ pomiaru (Measure) na I_C/V_{BE} (schemat połączeń na rysunku po prawej). Ilość kroków (Steps) ustawić na 1 a napięcie V_{RC} na 5V. Zakres napięcia V_{RB} na 0V-1.5V. Narysować charakterystykę $I_C=f(V_{BE})$, wyznaczyć i narysować zależność transkonduktancji g_m w funkcji V_{BE} , korzystając z definicji oraz wzoru małosygnałowego (dwie krzywe na wykresie).



c) wyznaczyć charakterystykę wyjściową tranzystora ustawiając typ pomiaru (Measure) na $I_C/V_{CE}(I_B)$ (schemat połączeń na rysunku po prawej). Ilość kroków (Steps) ustawić na 6, a zakres napięcia V_{RB} na 600mV-1.6V. Zakres napięcia V_{RC} ustawić na 0V-5V. Narysować charakterystykę wyjściową $I_C=f(V_{CE})$, wyznaczyć napięcie Early'ego jako wartość bezwzględną miejsca zerowego prostej dopasowanej do prostoliniowego odcinka charakterystyki wyjściowej (dla każdej ze zmierzonych krzywych). Wyznaczyć i narysować zależność rezystancji r_{ce} w funkcji prądu kolektora I_C , korzystając z definicji oraz wzoru małosygnałowego (dwie krzywe na wykresie). Narysować współczynnik β w zależności od prądu kolektora I_C .



Podpowiedź: Podpunkty a i b analizować razem otrzymując kolumny V_{BE} , I_B oraz I_C . Pochodne najlepiej zastąpić odpowiednimi ilorazami różnicowymi. Warto w obliczeniach obok kolumn z danymi V_{BE} , I_B oraz I_C , stworzyć kolumny ΔV_{BE} , ΔI_B oraz ΔI_C (wartość aktualna minus wartość poprzednia), a następnie kolejne reprezentujące β , g_m (policzoną dwoma metodami), r_{be} (policzoną dwoma metodami) itd.

2. Projektowanie wzmacniacza w układzie WE

Korzystając ze schematów w instrukcji P-4 (rysunek 3) wyliczyć wartości komponentów pozwalających na zbudowanie wzmacniacza jedno-tranzystorowego ze zdegenerowanym emiterem. Wartości komponentów dla ustalonej wersji układu należy wyznaczyć w oparciu o dane z tabeli:

I.p.	Ucc [V]	Ic [mA]	Beta []	Ku [V/V]	fg1[Hz]	fg2 [kHz]	VE [V]
1	12	1,50	300	-20	95	135	1,2
2	12	2,00	300	-25	270	180	1,2
3	13	1,50	300	-30	270	80	1,3
4	13	2,00	300	-20	360	105	1,3
5	14	1,50	300	-15	85	140	1,4
6	14	2,00	300	-20	240	140	1,4
7	15	1,50	300	-25	240	160	1,5
8	15	2,00	300	-20	160	100	1,5
9	16	1,50	300	-20	230	100	1,6
10	16	2,00	300	-15	150	120	1,6

Gdzie: U_{cc} - napięcie zasilania wzmacniacza, I_c – prąd kolektora, β – współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora (warto zmierzyć dokładną wartość przed obliczeniami), K_U – wzmocnienie napięciowe układu w pasmie przepustowym, f_{g1} – dolna częstotliwość graniczna, f_{g2} – górna częstotliwość graniczna, V_E – potencjał na emiterze (zwykle 10% zasilania).

Podczas obliczeń należy skorzystać z uproszczeń inżynierskich zakładając że $I_C \approx I_E$, a prąd płynący przez dzielnik do polaryzacji bazy jest znacznie większy od prądu bazy tranzystora i równy $20 \cdot I_B$ (można wtedy pominąć prąd bazy w obliczeniach dzielnika R_1, R_2). Założyć napięcie $U_{BE} = 0.7V$, a wartość kondensatora $C_E = 470\mu F$, co pozwoli uznać jego reaktancję bliską 0 dla sygnałów o częstotliwościach z pasma przepustowego. Napięcie wyjściowe U_O powinno być optymalne z punktu widzenia sygnału symetrycznego.

3. Budowa i pomiar punktów pracy wzmacniacza w układzie WE

Po wyznaczeniu wartości elementów zmontować układ z wykorzystaniem prototypowej płytki stykowej i dostępnych elementów elektronicznych. Należy pamiętać iż nie wszystkie wartości elementów są dostępne i otrzymane elementy mogą się różnić od wyliczonych. Korzystając z połączeń szeregowych dobrać (w szczególności R_1, R_2) wartości rezystancji z dokładnością $\pm 5\%$ względem obliczonej. Do zasilania układu wykorzystać zasilacz laboratoryjny. Pierwszego uruchomienia dokonać w obecności prowadzącego. Po uruchomieniu należy dokonać pomiaru napięć na końcówkach B, C i E tranzystora i zweryfikować jego punkt pracy. Porównać zmierzone wartości z obliczonymi teoretycznymi zakładając rzeczywiste wartości komponentów jakie zostały użyte do budowy wzmacniacza.

4. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza w układzie WE

Na wejście wzmacniacza podłączyć sygnał z pierwszego kanału generatora (W1). Pierwszy kanał oscyloskopu (1+) powinien być dołączony do wejścia wzmacniacza a kanał drugi (2+) do jego wyjścia. Pin masy (Ground) układu AD2 oraz wejścia 1- i 2- oscyloskopu należy dołączyć do masy wzmacniacza (na płytce stykowej).

a) korzystając z funkcjonalności generatora i oscyloskopu dokonać obserwacji odpowiedzi układu na sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1kHz i amplitudzie 100mV. Porównać wartość offsetu sygnału wyjściowego z napięciem na kolektorze tranzystora wyznaczonym w punkcie 2. Stopniowo zwiększając amplitudę sygnału wejściowego wyznaczyć maksymalną amplitudę dla której sygnał na wyjściu nie jest zniekształcony (obcinany). Odnieść te wyniki do pojęcia optymalnej wartości napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza.

b) wykorzystując analizator sieci dokonać pomiaru funkcji przenoszenia układu (amplitudowej charakterystyki częstotliwościowej) w zakresie 10Hz – 5MHz. Ustawić amplitudę na 100mV oraz ilość kroków na 101. W ustawieniach kanału 2 ustawić offset sygnału wyjściowego zgodny z pomiarami w podpunkcie a) oraz wzmocnienie 25x (zakres pomiarowy 5V). Wyznaczyć wzmocnienie w pasmie przepustowym układu, obie częstotliwości graniczne i nachylenia asymptotyczne charakterystyki w dolnym i górnym pasmie zaporowym. Porównać wyniki z obliczeniami teoretycznymi.