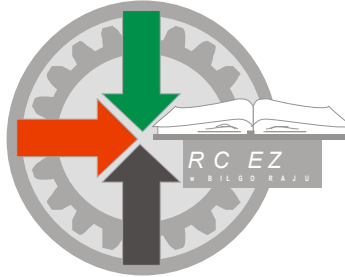


**REGIONALNE CENTRUM EDUKACJI
ZAWODOWEJ W BILGORAJU**



**LABORATORIUM POMIARÓW
ELEKTRONICZNYCH UKŁADÓW ANALOGOWYCH**

ĆWICZENIE 1:

POMIAR PARAMETRÓW TRANZYSTOROWEGO WZMACNIACZA NAPIĘCIA W UKŁADZIE WSPÓLNEGO EMITERA

**OPRACOWAŁ MGR INŻ. ARTUR KŁOSEK
BILGORAJ 2014**

PRZECZYTAJ W DOMU I ZAPAMIĘTAJ !!! WIEDZA NIEZBĘDNA PODCZAS WYKONYWANIA ĆWICZENIA.



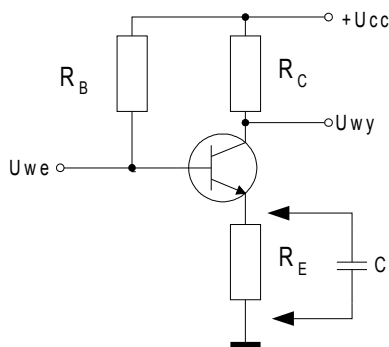
POLARYZACJA.

Tranzystor NPN, aby mógł pełnić funkcję wzmacniacza, musi być odpowiednio spolaryzowany napięciem stałym DC (napięcie między bazą, a emiterem około 0,6V – 0,8V, potencjał kolektora wyższy od potencjału bazy i od potencjału emitera).

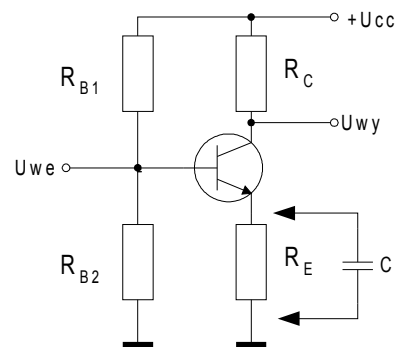
Spełnienie powyższych wymagań zapewniają układy polaryzacji, na które składają się:

- źródło napięcia stałego U_{CC} ,
- rezystory R_B i R_C .

Wyróżniamy dwa podstawowe układy polaryzacji tranzystora jako wzmacniacza WE:



Układ polaryzacji
stałym prądem bazy



Układ polaryzacji potencjometryczny
stałym potencjałem bazy

Dodatkowe dwa układy powstaną po zastosowaniu rezystora emiterowego R_E .

W układzie polaryzacji stałym prądem bazy, przez rezystory R_B i R_C płyną prądy I_B oraz I_C , wywołując na nich spadki napięcia ustalające odpowiednie potencjały bazy i kolektora. Potencjał bazy zależy tu od wartości prądu bazy.

W układzie potencjometrycznym dzielnik napięcia R_{B1} , R_{B2} ustala stały (niezależny od prądu bazy) potencjał bazy, a rezystor R_C odpowiedni potencjał kolektora (wyższy od potencjału bazy).

W przypadku obu układów, przy braku rezystora R_E , potencjał bazy powinien wynosić około 0,6V.

PUNKT PRACY.

Przez zmiany wartości rezystorów polaryzujących ustalamy podstawowe wartości stałych (DC) prądów I_B oraz I_C i napięcia U_{CE} tranzystora określanych jako punkt pracy tranzystora.

Punkt pracy można wyznaczyć algebraicznie korzystając z równań Kirchhoffa, ale dla każdego z czterech układów polaryzacji sposób rozwiązania jest inny.

Łatwiejszym i bardziej uniwersalnym sposobem wyznaczania współrzędnych punktu pracy jest metoda algebraiczno – graficzna z wykorzystaniem charakterystyki wyjściowej użytego tranzystora.

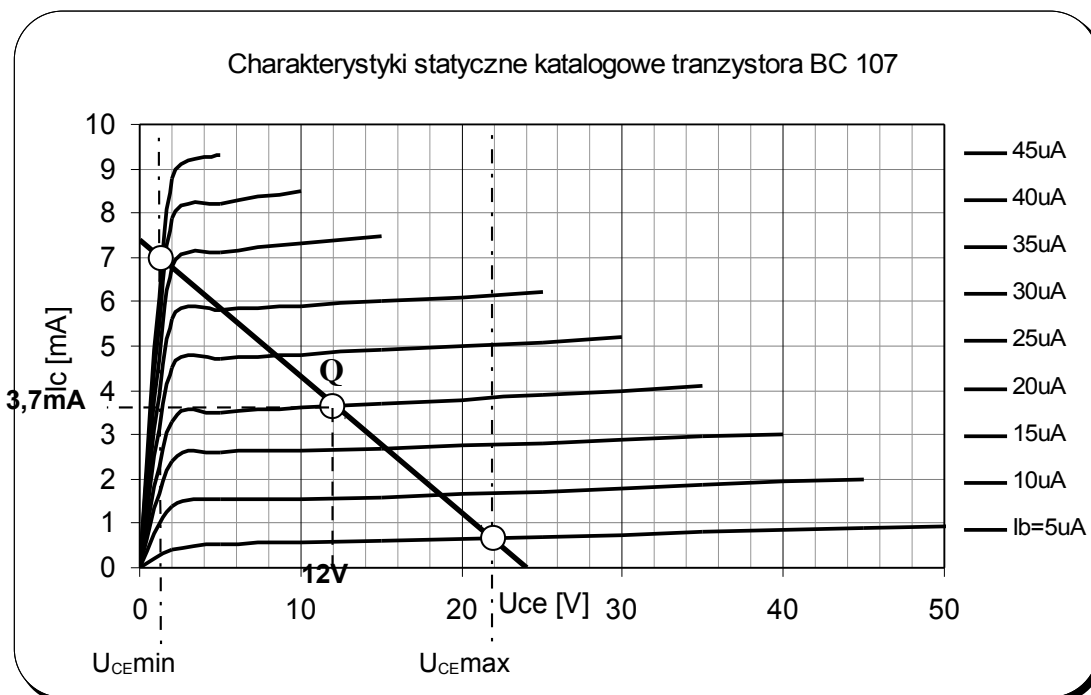
Punkt pracy jest wyznaczany przez przecięcie prostej obciążenia z charakterystyką wyjściową dla określonego prądu bazy. Należy więc umieć wyznaczać prostą obciążenia z dwóch jej krańcowych punktów. Rozważamy dwa przypadki wynikające z twierdzenia Thevenina:

1. **Rozwarty kolektor, $I_C = 0$.** Wtedy napięciowe równanie Kirchhoffa dla wyjściowego oczka tranzystora $U_{CE} = U_{CC} - I_C/(R_C + R_E)$ przyjmie postać $U_{CE} = U_{CC}$. W układzie współrzędnych U_{CE} , I_C na charakterystyce, zaznaczamy punkt o współrzędnych $(U_{CC}; 0)$.

2. **Zwarty kolektor i emiter, $U_{CE} = 0$.** Wtedy przekształcone napięciowe równanie Kirchhoffa dla wyjściowego oczka tranzystora $I_C = (U_{CC} - U_{CE})/(R_C + R_E)$ przyjmie postać $I_C = U_{CC}/(R_C + R_E)$. W układzie współrzędnych U_{CE} , I_C na charakterystyce, zaznaczamy punkt o współrzędnych $(0; U_{CC}/(R_C + R_E))$.

Dla układu bez rezystora emiterowego, we wzorach przyjmujemy $R_E = 0$.

Po połączeniu wyznaczonych punktów otrzymujemy prostą obciążenia, która jest zbiorem wszystkich możliwych punktów pracy tranzystora w układzie wzmacniacza. Najczęściej przyjmuje się punkt pracy optymalny na środku prostej obciążenia, gdzie $U_{CE} = U_{CC}/2$.



W powyższym przypadku dla optymalnego punktu pracy Q współrzędne wynoszą: $U_{CE} = 12V$
 $I_c = 3,7mA$

ZAKRES ZMIAN NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO.

Współrzędne napięciowe skrajnych punktów pracy U_{CEmin} i U_{CEmax} wyznaczają zakres zmian napięcia wyjściowego (sygnału wzmocnionego sinusoidalnego na wyjściu wzmacniacza). Różnica tych napięć jest wartością międzyszczytową napięcia wyjściowego. $U_{WYss} = \Delta U_{WY} = U_{CEmax} - U_{CEmin}$. Amplitudę otrzymamy dzieląc ją przez 2 ($U_{WYmax} = U_{WYss}/2$), a wartość skuteczną dzieląc ją przez $2\sqrt{2}$ ($U_{WY} = U_{WYss}/2\sqrt{2}$).

POMIAR REZYSTANCJI WEJŚCIOWEJ WZMACNIACZA DLA SYGNAŁÓW ZMIENNYCH.

Dołączając szeregowo z wejściem wzmacniacza rezystor dodatkowy, możemy zmierzyć rezystancję wejściową wzmacniacza dla sygnałów zmiennych. Jeżeli doprowadzimy do zrównania rezystancji rezystora dodatkowego z rezystancją wejściową, na wejściu wzmacniacza powstanie dzielnik napięcia wejściowego. Dzielnik o równych rezystancjach podzieli dwukrotnie napięcie wejściowe, czego skutkiem będzie zmniejszenie się napięcia wyjściowego o połowę.

POMIAR REZYSTANCJI WYJŚCIOWEJ WZMACNIACZA DLA SYGNAŁÓW ZMIENNYCH.

Dołączając równolegle z wyjściem wzmacniacza rezystor dodatkowy, możemy zmierzyć rezystancję wyjściową wzmacniacza dla sygnałów zmiennych. Jeżeli doprowadzimy do zrównania rezystancji rezystora dodatkowego z rezystancją wyjściową, na wyjściu wzmacniacza powstanie dzielnik napięcia wyjściowego. Dzielnik o równych rezystancjach podzieli dwukrotnie napięcie wyjściowe, czego skutkiem będzie zmniejszenie się napięcia wyjściowego o połowę.

PROGRAM ĆWICZENIA.

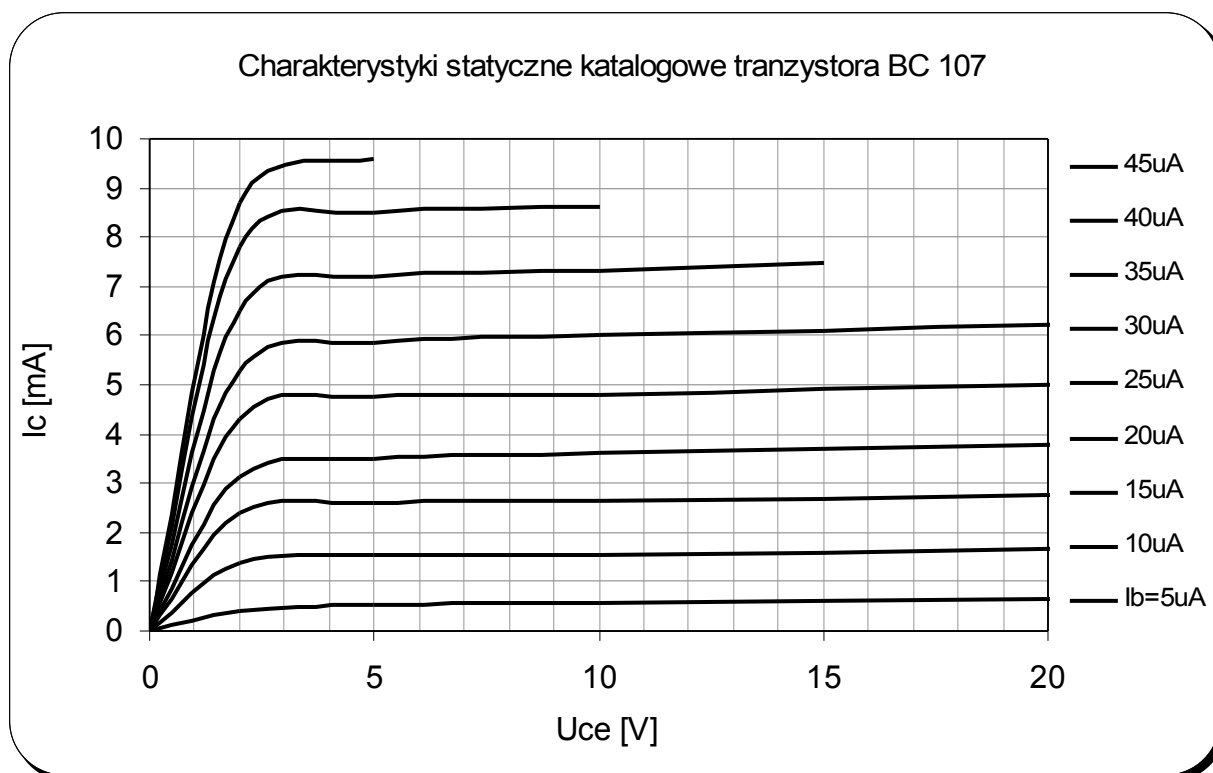


1. BADANIE UKŁADU POLARYZACJI STAŁYM PRĄDEM BAZY.

- 1.1. Skonfiguruj panel ćwiczeniowy według schematu układu polaryzacji stałym prądem bazy bez rezystora emiterowego R_E . Wykorzystaj rezystor R_{B1} , potencjometr P_{B1} , rezystor R_{C2} i kondensator C_{B1} , $U_{CC} = 12V$.
- 1.2. Zmieniając rezystancję potencjometru P_{B1} ustaw optymalny punkt pracy ($U_{CE} = 0,5U_{CC}$). Zmierz omomierzem sumaryczną rezystancję $R_B = R_{B1} + P_{B1}$.
- 1.3. Miernikiem uniwersalnym zmierz podane w tabeli napięcia. Wyniki pomiarów zapisz w tabeli. Wypisz możliwe równania napięciowe Kirchhoffa, podstaw wyniki pomiarów i sprawdź na tej podstawie poprawność pomiarów.

						OBLICZ	
U_{BE} [V]	U_B [V]	U_{RC} [V]	U_{RB} [V]	U_{RE} [V]	U_{CE} [V]	I_B [mA]	I_C [mA]

- 1.4. Na charakterystyce wyjściowej tranzystora $I_C = f(U_{CE})$ narysuj prostą obciążenia tranzystora. Na prostej zaznacz punkt pracy. Odczytaj z charakterystyki wartości prądu bazy i kolektora, porównaj ich wartości z obliczonymi.



I_B obliczone =, I_B odczytane = I_C obliczone =, I_C odczytane =

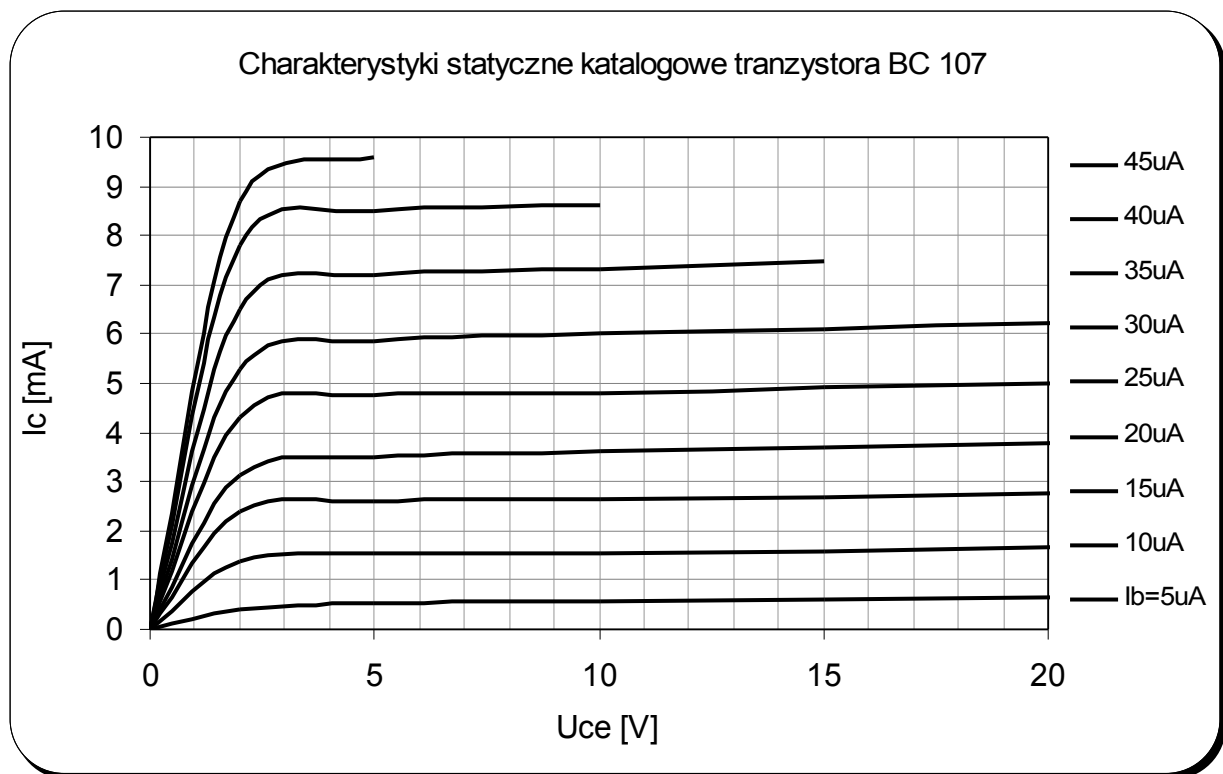
- 1.5. Liniami przerywanymi pionowymi zaznacz obszar, w którym może przemieszczać się punkt pracy tranzystora.
- 1.6. Jaki jest zakres zmian napięcia wyjściowego ΔU_{WY} ?

$U_{CEmin} = \dots\dots\dots$ $U_{CEmax} = \dots\dots\dots$ $\Delta U_{WY} = U_{WYss} = U_{CEmax} - U_{CEmin} = \dots\dots\dots$

- 1.7. Skonfiguruj panel ćwiczeniowy według schematu układu polaryzacji stałym prądem bazy z rezystorem emiterowym $R_E = 1k\Omega$ (pozostałe elementy bez zmian).
- 1.8. Zmieniając rezystancję potencjometru P_{B1} ustaw optymalny punkt pracy ($U_{CE} = 0,5U_{CC}$). Zmierz omomierzem sumaryczną rezystancję $R_B = R_{B1} + P_{B1}$.
- 1.9. Miernikiem uniwersalnym zmierz podane w tabeli napięcia. Wyniki pomiarów zapisz w tabeli. Wypisz możliwe równania napięciowe Kirchhoffa, podstaw wyniki pomiarów i sprawdź na tej podstawie poprawność pomiarów.

						O B L I C Z	
U_{BE} [V]	U_B [V]	U_{RC} [V]	U_{RB} [V]	U_{RE} [V]	U_{CE} [V]	I_B [mA]	I_C [mA]

- 1.10. Na charakterystyce wyjściowej tranzystora $I_C = f(U_{CE})$ narysuj prostą obciążenia tranzystora. Na prostej zaznacz punkt pracy. Odczytaj z charakterystyki wartości prądu bazy i kolektora, porównaj ich wartości z obliczonymi.



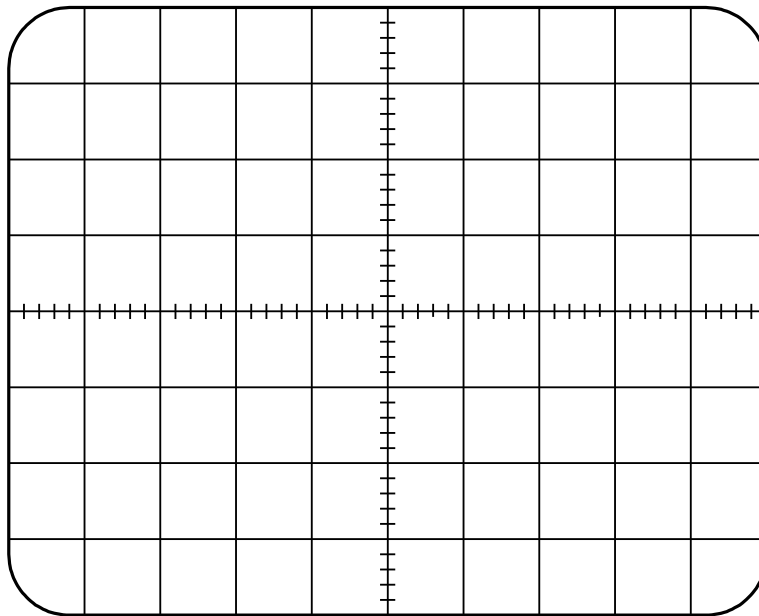
I_B obliczone =, I_B odczytane = I_C obliczone =, I_C odczytane =

- 1.11. Liniami przerywanymi pionowymi zaznacz obszar, w którym może przemieszczać się punkt pracy tranzystora.
- 1.12. Jaki jest zakres zmian napięcia wyjściowego ΔU_{WY} ?

$U_{CEmin} = \dots\dots\dots$ $U_{CEmax} = \dots\dots\dots$ $\Delta U_{WY} = U_{WYss} = U_{CEmax} - U_{CEmin} = \dots\dots\dots$

- 1.13. W jaki sposób zwiększenie rezystancji emiterowej R_E od 0 do $1k\Omega$ wpływa na zakres zmian napięcia wyjściowego?

- 1.14. Do wejścia układu podłącz napięcie sinusoidalne o wartości $U_{WEpp} = 1V$, $f = 1kHz$. Zmierz za pomocą oscyloskopu napięcie wejściowe U_{WEpp} i wyjściowe U_{WYpp} oraz przerysuj ich przebiegi.
- 1.15. Na podstawie oscylogramów określ wartość następujących wielkości:



$$U_{WYpp} = \dots\dots\dots$$

$$K_U = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$C_{Uwe} = \dots\dots\dots V/dz$	$C_{Uwy} = \dots\dots\dots V/dz$	$C_T = \dots\dots\dots s/dz$
----------------------------------	----------------------------------	------------------------------

- 1.16. Szeregowo z wejściem wzmacniacza podłącz rezystor i ustaw jego rezystancję na minimum. Zmierz woltmierzem napięcie wyjściowe i tak zmieniaj rezystancję rezystora (zaczynając od najmniejszych rezystancji), aby napięcie wyjściowe zmniejszyło się o połowę. Odłącz rezystor i zmierz omomierzem jego rezystancję. Rezystancja ta jest równa rezystancji wejściowej wzmacniacza dla sygnałów zmiennych. $r_{we} = \dots\dots\dots$
- 1.17. Równoległe z wyjściem wzmacniacza podłącz rezystor i ustaw jego rezystancję na maksimum. Zmierz woltmierzem napięcie wyjściowe i tak zmieniaj rezystancję rezystora (zaczynając od największych rezystancji), aby napięcie wyjściowe zmniejszyło się o połowę. Odłącz rezystor i zmierz omomierzem jego rezystancję. Rezystancja ta jest równa rezystancji wyjściowej wzmacniacza dla sygnałów zmiennych. $r_{wy} = \dots\dots\dots$
- 1.18. Czy wartość rezystancji wyjściowej jest zbliżona do jednej z rezystancji w układzie wzmacniacza? Wskaż której. $r_{wy} \cong R\dots$

2. BADANIE UKŁADU POLARYZACJI STAŁYM POTENCJAŁEM BAZY.

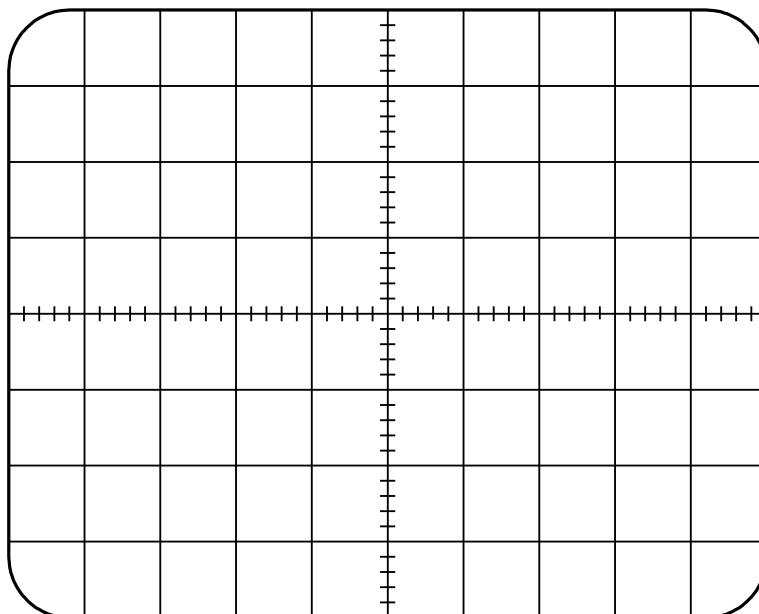
- 2.1. Skonfiguruj panel ćwiczeniowy według schematu układu polaryzacji stałym potencjałem bazy bez rezystora emiterowego R_E . Wykorzystaj rezystor R_{B2} , potencjometr P_{B3} , rezystor R_{C2} i kondensator C_{B1} , $U_{CC} = 12V$.
- 2.2. Zmieniając rezystancję potencjometru P_{B3} ustaw optymalny punkt pracy ($U_{CE} = 0,5U_{CC}$). Zmierz omomierzem rezystancję potencjometru P_{B3} .
- 2.3. Miernikiem uniwersalnym zmierz podane w tabeli napięcia. Wyniki pomiarów zapisz w tabeli. Wypisz możliwe równania napięciowe Kirchhoffa, podstaw wyniki pomiarów i sprawdź na tej podstawie poprawność pomiarów.

						OBLICZ	
$U_{BE} [V]$	$U_B [V]$	$U_{RC} [V]$	$U_{RB2} [V]$	$U_{RE} [V]$	$U_{CE} [V]$	$I_B [mA]$	$I_C [mA]$

- 2.4. Skonfiguruj panel ćwiczeniowy według schematu układu polaryzacji stałym potencjałem bazy z rezystorem emiterowym $R_E = 1k\Omega$. Teraz wykorzystaj potencjometr P_{B2} .
- 2.5. Zmieniając rezystancję potencjometru P_{B2} ustaw optymalny punkt pracy ($U_{CE} = 0,5U_{CC}$). Zmierz omomierzem rezystancję potencjometru P_{B2} .
- 2.6. Miernikiem uniwersalnym zmierz podane w tabeli napięcia. Wyniki pomiarów zapisz w tabeli. Wypisz możliwe równania napięciowe Kirchhoffa, podstaw wyniki pomiarów i sprawdź na tej podstawie poprawność pomiarów.

						O B L I C Z	
U_{BE} [V]	U_B [V]	U_{RC} [V]	U_{RB2} [V]	U_{RE} [V]	U_{CE} [V]	I_B [mA]	I_C [mA]

- 2.7. Do wejścia układu podłącz napięcie sinusoidalne o wartości $U_{WEpp} = 0,5V$, $f = 1kHz$. Zmierz za pomocą oscyloskopu napięcie wejściowe U_{WEpp} i wyjściowe U_{WYpp} oraz przerysuj ich przebiegi.
- 2.8. Na podstawie oscylogramów określ wartość następujących wielkości:



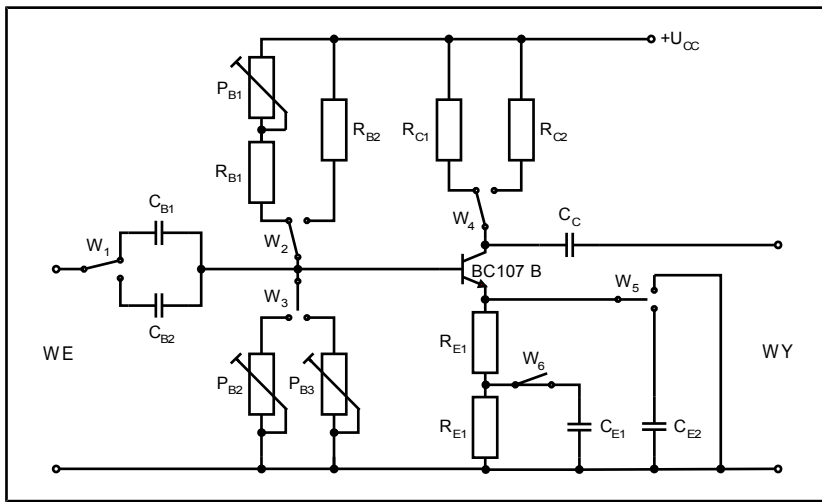
$$U_{WYpp} = \dots\dots\dots$$

$$K_U = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$C_{Uwe} = \dots\dots\dots V/dz$	$C_{Uwy} = \dots\dots\dots V/dz$	$C_T = \dots\dots\dots s/dz$
----------------------------------	----------------------------------	------------------------------

- 2.9. Zmierz opisanymi w punktach 1.16 i 1.17 metodami, rezystancję wejściową i wyjściową dla sygnałów zmiennych. $r_{we} = \dots\dots\dots$ $r_{wy} = \dots\dots\dots$
- 2.10. Rezystancja wejściowa r_{we} dla sygnałów zmiennych jest mniejsza / identyczna / większa niż w układzie polaryzacji stałym prądem bazy.
- 2.11. Rezystancja wyjściowa r_{wy} dla sygnałów zmiennych jest mniejsza / identyczna / większa niż w układzie polaryzacji stałym prądem bazy.

SCHEMAT UKŁADU ĆWICZENIOWEGO.



$R_{B1} = 2,5 \text{ M}\Omega$	$C_{B1} = 1 \mu\text{F}$
$R_{B2} = 82 \text{ k}\Omega$	$C_{B2} = 10 \text{ nF}$
$P_{B1} = 1 \text{ M}\Omega$	$C_{E1} = 100 \mu\text{F}$
$P_{B2} = 50 \text{ k}\Omega$	$C_{E2} = 200 \mu\text{F}$
$P_{B3} = 10 \text{ k}\Omega$	$C_C = 10 \mu\text{F}$
$R_{C1} = 5,6 \text{ k}\Omega$	
$R_{C2} = 2,7 \text{ k}\Omega$	
$R_{E1} = 180 \Omega$	
$R_{E2} = 820 \Omega$	

OPRACOWANIE ĆWICZENIA. WSKAZÓWKI NIEZBĘDNE PODCZAS WYKONYWANIA SPRAWOZDANIA.



- ✓ SPRAWOZDANIE WYKONAJ WEDŁUG KOLEJNYCH PODPUNKTÓW ZAMIESZCZONYCH W PROGRAMIE ĆWICZENIA.
- ✓ W PUNKTACH 1.1 i 2.1 ZAMIEŚĆ SCHEMATY BADANYCH UKŁADÓW UWZGLĘDNIAJĄC UŻYTE W DANYM UKŁADZIE ELEMENTY, A W PUNKTACH 1.16 i 1.17 ZAMIEŚĆ SCHEMATY BLOKOWE UKŁADÓW POMIAROWYCH DO POMIARU REZYSTANCJI WEJŚCIOWEJ I WYJŚCIOWEJ WZMACNIACZA.
- ✓ WYKONAJ NIEZBĘDNE OBLICZENIA ZGODNIE Z POLECENIAMI ZAWARTYMI W PODPUNKTACH. NIE ZAPOMNIJ O RÓWNANIACH KIRCHHOFFA W PUNKTACH 1.3, 1.9, 2.3, 2.6.
- ✓ NARYSUJ PROSTE OBCIĄŻENIA, ZAZNACZ PUNKTY PRACY I WYZNACZ ZAKRESY ZMIAN NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO W ODPOWIEDNIACH PODPUNKTACH PROGRAMU ĆWICZENIA.
- ✓ ZAMIĄST KOŃCOWYCH WNIOSKÓW ODPOWIEDZ NA KOLEJNE PYTANIA ZAWARTE W PROGRAMIE ĆWICZENIA.

PRZYKŁADOWE ZADANIE ZALICZENIOWE. WSKAZÓWKI NIEZBĘDNE PODCZAS ZALICZENIA.

- ✓ SKONFIGURUJ PANEL ĆWICZENIOWY WEDŁUG SCHEMATU UKŁADU POLARYZACJI STAŁYM POTENCJALEM BAZY Z REZYSTOREM EMITEROWYM $R_E = 1\text{k}\Omega$. WYKORZYSTAJ REZYSTOR R_{B2} , POTENCJOMETR P_{B2} I REZYSTOR R_{C2} ORAZ KONDENSATOR C_{B1} , $U_{CC} = 12\text{V}$.
- ✓ ZMIENIAJĄC REZYSTANCJĘ POTENCJOMETRU P_{B2} USTAW PUNKT PRACY $U_{CE} = 7\text{V}$. MIERNIKIEM UNIWERSALNYM ZMIERZ NAPIĘCIA: U_{BE} , U_B , U_{RC} , U_{RB2} , U_{RE} , U_{CE} . WYNIKI POMIARÓW ZAPISZ W TABELI. NA PODSTAWIE POMIARÓW OBLICZ WARTOŚCI PRĄDU BAZY i_B ORAZ KOLEKTORA i_C .
- ✓ NA WEJŚCIE WZMACNIACZA PODŁĄCZ NAPIĘCIE SINUSOIDALNE O WARTOŚCI $U_{WYPP} = 0,5\text{V}$, $f = 1\text{kHz}$. ZMIERZ ZA POMOCĄ OSCYLOSKOPU NAPIĘCIE WEJŚCIOWE U_{WYPP} I WYJŚCIOWE U_{WYPP} ORAZ PRZERYSUJ ICH PRZEBIEGI. NA PODSTAWIE OSCYLOGRAMÓW WYZNACZ WZMOCNIENIE NAPIĘCIOWE K_u .
- ✓ WYZNACZ REZYSTANCJĘ WEJŚCIOWĄ I WYJŚCIOWĄ WZMACNIACZA DLA SYGNAŁÓW ZMIENNYCH.
- ✓ NA CHARAKTERYSTYCE WYJŚCIOWEJ TRANZYSTORA NARYSUJ PROSTĄ OBCIĄŻENIA TRANZYSTORA. NA PROSTEJ ZAZNACZ PUNKT PRACY.
- ✓ WYZNACZ ZAKRES ZMIAN NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO ΔU_{WY} .

CHARAKTERYSTYKI TRANZYSTORA BC 107 PRZYDATNE DO WKLEJENIA DO SPRAWOZDANIA

