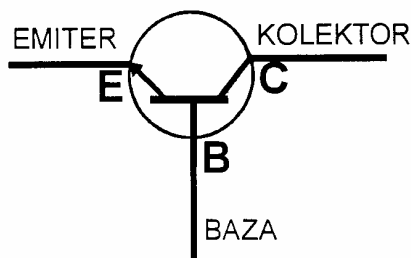


INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR.1

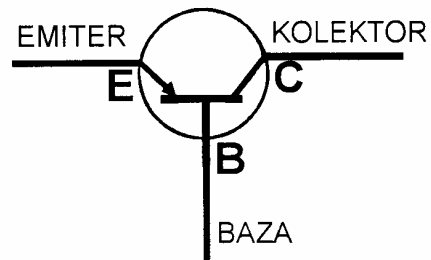
BADANIE CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH TRANZYSTORA

1. Wstęp

Tworząc w monokryształe półprzewodnika (germanu lub krzemu) kombinację dwóch złączy p-n, otrzymuje się przyrząd półprzewodnikowy tzw. tranzystor. Posiada on trzy zaciski wyjściowe. Przy pomocy tranzystora można uzyskiwać wzmacnianie mocy sygnałów elektrycznych. Obszary otrzymanej w ten sposób struktury p-n-p lub n-p-n (zależnie od stosowanych domieszek) noszą nazwy: emiter, baza, kolektor. Przyjęto następujące graficzne oznaczenia tranzystorów, pokazane na rysunkach 1 i 2.

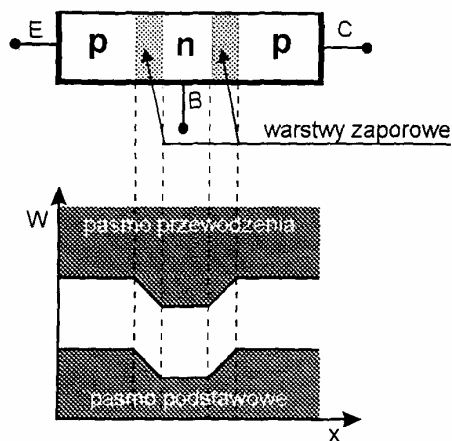


Rys. 1
Tranzystor typu n-p-n

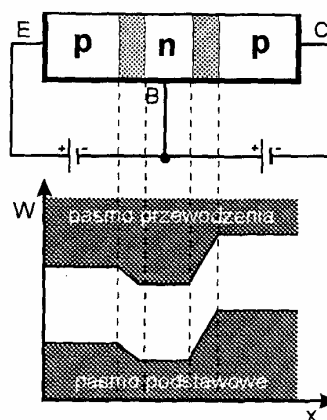


Rys. 2
Tranzystor typu p-n-p

Tranzystor pracuje zwykle przy polaryzacji złącza emiter-baza w kierunku przewodzenia, zaś złącza kolektor-baza w kierunku zaporowym. Modele pasmowe tranzystora nie spolaryzowanego i spolaryzowanego pokazane są na rysunkach 3 i 4, wykonane są na podstawie modeli pasmowych złącza p-n.



Rys. 3
Model pasmowy tranzystora p-n-p niespolaryzowanego w warunkach równowagi termicznej.



Rys. 4
Model pasmowy tranzystora p-n-p w warunkach, w których złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przepustowym, a złącze kolektor-baza w zaporowym.

Przez spolaryzowane przepustowo złącze emiter-baza płynie prąd emitery (bariera potencjału została w tym złączu obniżona), prąd ten powoduje wprowadzenie do obszaru bazy (obszar n) dodatkowych dziur (ponad stan równowagi termicznej). W obszarze bazy dziury podlegają dyfuzji w kierunku złącza kolektorowego dzięki powstałemu gradientowi koncentracji, częściowo jednak ulegają rekombinacji z elektronami obszaru bazy. Rekombinacja dziur jest przyczyną przepływu prądu w doprowadzeniu bazy, zwanego prądem bazy. Dziury, które nie uległy rekombinacji w obszarze bazy, wskutek dyfuzji docierają do złącza kolektorowego i są dalej unoszone przez silne pole elektryczne, istniejące w obszarze warstwy zaporowej tego złącza, do obszaru kolektora, tworząc tzw. prąd kolektorowy. Oznaczając I_e - prąd emitery, I_b - prąd bazy, I_c - prąd kolektora można opisać rozływ prądów w tranzystorze przez równanie:

$$I_e = I_b + I_c$$

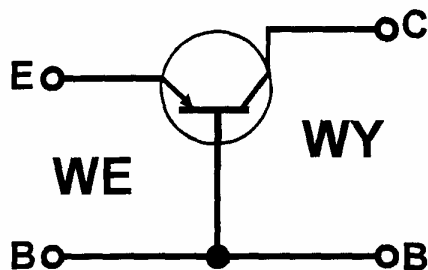
Prąd kolektora pojawia się wtedy, gdy płynie prąd emitery i nie może być większy od prądu emitery (liczba dziur zebranych z bazy przez kolektor jest mniejsza od liczby dziur wprowadzonych z emitery do bazy). Powstaje przyrost prądu kolektora, który można wyrazić zależnością:

$$\Delta I_c = \alpha_0 \Delta I_e \quad U_{cb} = \text{const}$$

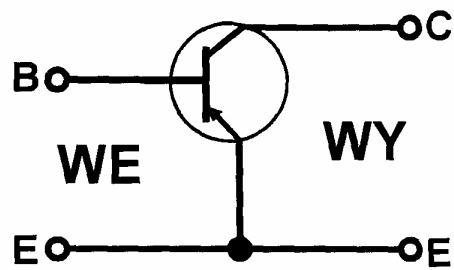
Współczynnik α_0 nosi nazwę zwarciovego współczynnika wzmocnienia prądowego. Na podstawie tej zależności można określić α_0 , jako stosunek przyrostu prądu kolektora do przyrostu prądu emitery, przy niezmienniej wartości napięcia między kolektorem i bazą. Jeżeli prąd emitery jest równy zero (napięcie emiter-baza jest równe zero) w obwodzie kolektora płynie prąd wsteczny zaporowy spolaryzowanego złącza kolektor-baza. Cały więc prąd kolektorowy w wypadku, gdy prąd emitery nie jest równy zero, jest sumą prądu wstecznego złącza kolektor-baza oraz prądu pojawiającego się wskutek istnienia prądu emiteryowego

$\alpha_0 I_e$ będzie więc: $I_c = I_{co} + \alpha_0 I_e$, I_{co} oznacza prąd wsteczny złącza kolektorowego. Prąd I_{co} nazywany jest również prądem zerowym lub spoczynkowym kolektora. Prąd ten w nowoczesnych tranzystorach germanowych ma wartość rzędu kilkudziesięciu mikroamperów, zaś w tranzystorach krzemowych kilkudziesięciu nanoamperów i mniej. Wartość prądu zerowego zależy od

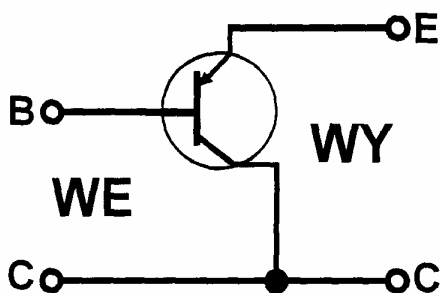
temperatury pracy tranzystora, dla tranzystorów germanowych zależność ta jest silniejsza. Obwód wejściowy tranzystora może być między dwoma dowolnymi z trzech zacisków (emiter, baza, kolektor). Obwód wyjściowy stanowi trzeci zacisk i jeden z obwodu wejściowego. Jeden więc z zacisków tranzystora jest zawsze wspólny dla obwodu wejściowego i wyjściowego. Może istnieć 6 rodzajów połączeń, ale w praktyce znalazły zastosowanie trzy, charakteryzujące się tym, że wzmacnienie mocy jest w nich większe od jedności. Podstawowe trzy układy pracy tranzystora podane są na rysunkach 5,6,7.



Rys. 5
Układ WB (wspólnej bazy)



Rys. 6
Układ WE (wspólnego emitera)



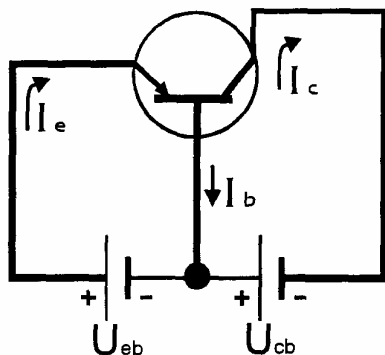
Rys. 7
Układ WC (wspólnego kolektora)

Jeżeli tranzystor ma pracować jako element wzmacniający, należy ustalić odpowiednie jego parametry dla prądu zmiennego. Wartości parametrów tranzystora dla prądu zmiennego zależą od napięć stałych, polaryzujących złącza emiter-baza i kolektor-baza tranzystora. Są więc one, podobnie jak i w lampach zależne od obranego punktu pracy. W normalnej pracy tranzystora złącze emiter-baza należy polaryzować w kierunku przewodzenia, zaś złącze kolektor-baza w kierunku zaporowym. Oznaczając kolejno potencjały emitera, bazy i kolektora przez U_e , U_b i U_c to dla tranzystora p-n-p właściwa polaryzacja wystąpi przy spełnieniu warunku:

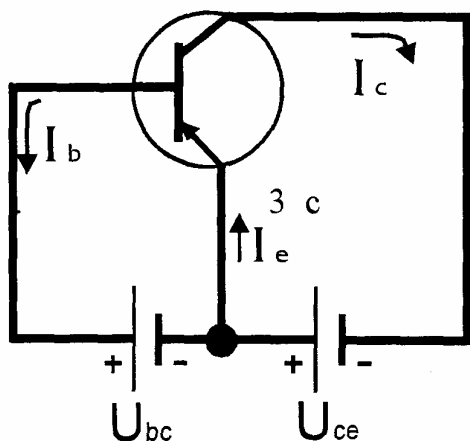
$$U_e > U_b > U_c$$

Wartość napięcia U_{bc} jest zwykle większa od napięcia U_{eb} .

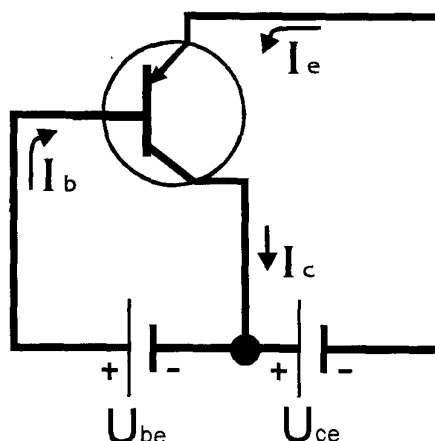
Sposoby podłączenia napięć polaryzujących złącza tranzystora typu p-n-p, pracującego w różnych połączeniach (WB, WE, WC) podane na rysunkach 8,9,10.



Rys. 8
Polaryzacja elektrod i kierunki prądów w układzie WB (p-n-p)



Rys. 9
Polaryzacja elektrod i kierunki prądów w układzie WE (p-n-p)



Rys. 10
Polaryzacja elektrod i kierunki prądów w układzie WC (p-n-p)

W tranzystorach typu n-p-n, zgodnie z zasadami polaryzacji elektrod, potencjały elektrod powinny spełniać następującą nierówność:

$$U_e < U_b < U_c$$

Dla tego typu tranzystora znaki napięć i prądów są przeciwne aniżeli na rysunkach 8, 9, 10. Tranzystor może być przedstawiony w postaci czwórnika, zasadniczo nieliniowego, rys. 11.



Rys. 11
Tranzystor przedstawiony jako czwórnik

Każdy czwórnik może być opisany wzajemnymi zależnościami napięć i prądów na wejściu $I_1 U_1$ i wyjściu $I_2 U_2$. Można opisać sześć takich układów równań. Dla czwórników tranzystorowych najszerze zastosowanie znajdują następujące trzy układy równań:

impedancyjne $U_1 = f/I_1 I_2/$, $U_2 = f/I_1 I_2/$

admitancyjne $I_1 = f/U_1 U_2/$, $I_2 = f/U_1 U_2/$

mieszane $U_1 = f/I_1 U_2/$, $I_2 = f/I_1 U_2/$

Charakterystyki statyczne tranzystora określa się najwygodniej na podstawie równań mieszanych, przy niezbyt dużych gęstościach prądu. W wypadku równań mieszanych można wyznaczyć cztery charakterystyki (rodziny charakterystyk):

Charakterystyki wejściowe

$U_1 = f/I_1/$ przy $U_2 = \text{const}$

Charakterystyki oddziaływania wstecznego

$U_1 = f/U_2/$ przy $I_1 = \text{const}$

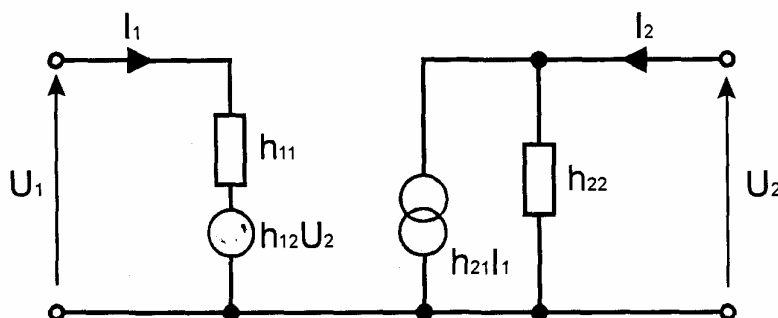
Charakterystyki przejściowe

$I_2 = f/I_1/$ przy $U_2 = \text{const}$

Charakterystyki wyjściowe

$I_2 = f/U_2/$ przy $I_1 = \text{const}$

Na podstawie wyznaczonych przez pomiary charakterystyk statycznych tranzystora można dość dokładnie wyznaczyć parametry mieszane przyrostowe dla tranzystora pracującego małymi amplitudami napięć zmiennych w zakresie małych częstotliwości. Na rysunku 12 podany jest schemat zastępczy czwórnika tranzystorowego, określonego parametrami mieszanymi.



Rys. 12

Układ zastępczy czwórnika z parametrami mieszanymi

Układ z rysunku 12 można opisać równaniami:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2$$

Z podanych równań wynika definicja parametrów mieszanych h . Zakładając niewielkie zmiany wielkości napięć i prądów, mamy:

$$h_{11} = \Delta u_1 / \Delta i_1 \quad u_2 = \text{const} \text{ (czyli } \Delta u_2 = 0 \text{)}$$

określa impedancję wejściową tranzystora

$$h_{22} = \Delta i_2 / \Delta u_2 \quad i_1 = \text{const} \text{ (} \Delta i_1 = 0 \text{)}$$

określa admitancję wyjściową

$$h_{12} = \Delta u_1 / \Delta u_2 \quad i_1 = \text{const}$$

określa oddziaływanie wsteczne obwodu wyjściowego na wejściowy w tranzystorze

$$h_{21} = \Delta i_2 / \Delta i_1 \quad u_2 = \text{const}$$

(jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego tranzystora)

$U_{CB} = \dots\dots\dots V$			$U_{CB} = \dots\dots\dots V$			$U_{CB} = \dots\dots\dots V$			$U_{CB} = \dots\dots\dots V$		
U_{eb}	I_e	I_c	U_{eb}	I_e	I_c	U_{eb}	I_e	I_c	U_{eb}	I_e	I_c
V	mA	mA	V	mA	mA	V	mA	mA	V	mA	mA

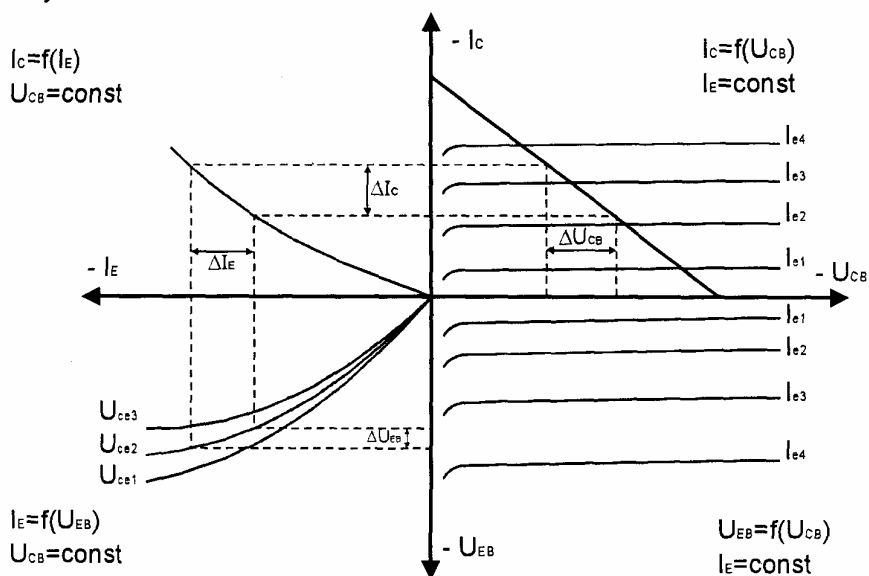
2.1.2 Charakterystyka wyjściowa $I_c = f / U_{cb}$ przy $I_e = \text{const}$

Charakterystyka oddziaływania wstecznego $U_{eb} = f / U_{cb} / I_c = \text{const}$

Pomiary należy przeprowadzić dla trzech wartości prądu emitera. Prąd emitera nie powinien przekroczyć wartości 10 mA. Napięcie U_{cb} nie powinno przekraczać -5V. Wyniki pomiarów zestawień w tabelce.

$I_e = \dots\dots\dots \text{mA}$			$I_e = \dots\dots\dots \text{mA}$			$I_e = \dots\dots\dots \text{mA}$			$I_e = \dots\dots\dots \text{mA}$		
U_{cb}	I_c	U_{eb}	U_{cb}	I_c	U_{eb}	U_{cb}	I_c	U_{eb}	U_{cb}	I_c	U_{eb}
V	mA	V	V	mA	V	V	mA	V	V	mA	V

Na podstawie tabelki pomiarowych należy wykonać wykresy charakterystyk zgodnie z podanym wzorem na rysunku 14.



Rys. 14

2.1.3 Według podanego wzoru na rys. 14 należy wyliczyć przyrostowe parametry mieszane, wynikające z równań:

$$U_{eb} = h_{11b} I_e + h_{12b} U_{cb}$$

$$I_c = h_{21b} I_e + h_{22b} U_{cb}$$

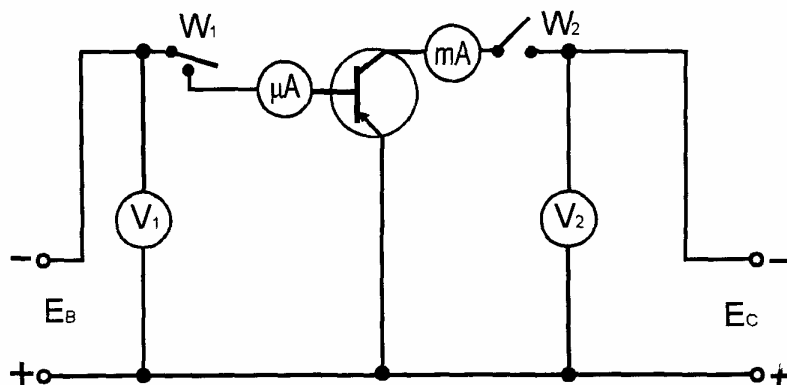
$$h_{11b} = \Delta U_{cb} / \Delta I_e \quad U_{cb} = \text{const} \quad \text{oporność wejściowa WB} \quad h_{11b} = \dots\dots\dots$$

$$h_{21b} = \Delta I_c / \Delta I_e \quad U_{cb} = \text{const} \quad \text{współczynnik wzmocnienia prądowego WB} \quad h_{21b} = \dots\dots\dots$$

$$h_{22b} = \Delta I_c / \Delta U_{cb} \quad I_e = \text{const} \quad \text{admitancja wyjściowa WB} \quad h_{22b} = \dots\dots\dots$$

$$h_{12b} = \Delta U_{eb} / \Delta U_{cb} I_e = \text{const}$$
 oddziaływanie wsteczne we WB $h_{12b} = \dots\dots\dots$

2.2 Wyznaczanie charakterystyk statycznych w układzie WE. Pomiary należy przeprowadzić w układzie podanym na rys. 15



Rys. 15
Układ WE

Użyte przyrządy: μA - mikroamperomierz ME
mA - miliamperomierz ME
 V_1, V_2 - woltomierze ME

2.2.1 Wyznaczanie charakterystyk wejściowych $I_b = f/U_{be}$ / $U_{ce} = \text{const}$, oraz charakterystyki przejściowej $I_c = f/I_b$ / $U_{ce} = \text{const}$.

Przy pomiarach nie należy przekraczać wartości prądu bazy 0,15 mA. Pomiary wykonać dla czterech wartości napięcia U_{ce} . Wyniki pomiarów zestawić w tabelce

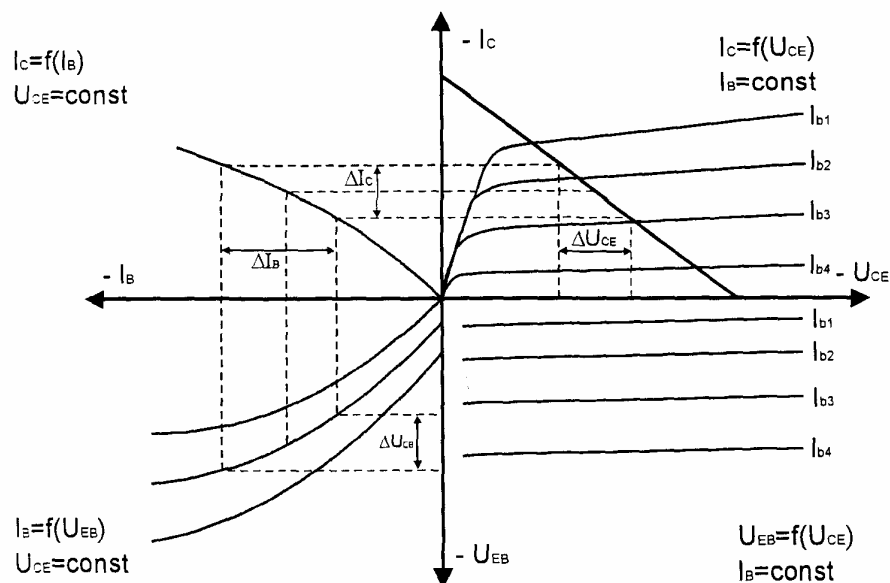
$U_{CE} = \dots\dots\dots V$			$U_{CE} = \dots\dots\dots V$			$U_{CE} = \dots\dots\dots V$			$U_{CE} = \dots\dots\dots V$		
U_{be}	I_b	I_c	U_{be}	I_b	I_c	U_{be}	I_b	I_c	U_{be}	I_b	I_c
V	mA	mA	V	mA	mA	V	mA	mA	V	mA	mA

2.2.2 Wyznaczenie charakterystyk wyjściowych $I_c = f / U_{ce} / I_b = \text{const}$, oraz charakterystyki oddziaływania wstecznego $U_{be} = f / U_{ce} / I_b = \text{const}$.

Pomiary należy wykonać dla czterech wartości prądu bazy nie przekraczającej wartości 0,15 mA. Napięcie U_{ce} należy zmieniać nie przekraczając wartości -6V. Wyniki należy zestawzić w tabelce.

$I_b = \dots\dots\dots \text{mA}$			$I_b = \dots\dots\dots \text{mA}$			$I_b = \dots\dots\dots \text{mA}$			$I_b = \dots\dots\dots \text{mA}$		
U_{ce}	I_c	U_{be}	U_{ce}	I_c	U_{be}	U_{ce}	I_c	U_{be}	U_{ce}	I_c	U_{be}
V	mA	V	V	mA	V	V	mA	V	V	mA	V

Na podstawie tabelki należy wykonać wykres charakterystyk tranzystora we WE zgodnie ze wzorem podanym na rys. 16.



Rys. 16 Charakterystyki statyczne w układzie WE

2.2.3 Wyznaczenie parametrów mieszanych dla układu WE (przyrostowych) na podstawie charakterystyk statycznych, dla wybranego punktu pracy.

Równania mieszane dla układu WE:

$$\begin{aligned} U_{be} &= h_{11e} I_b + h_{12e} U_{ce} \\ I_c &= h_{21e} I_b + h_{22e} U_{ce} \end{aligned}$$

$h_{11e} = \Delta U_{bc} / \Delta I_b$ $U_{ce} = \text{const}$ impedancja wejściowa tranzystora we WE
 $h_{11e} = \dots\dots$

$h_{21e} = \Delta I_c / \Delta I_b$ $U_{ce} = \text{const}$ współczynnik wzmacnienia prądowego we WE
 $h_{21e} = \dots\dots$

$h_{22e} = \Delta I_c / \Delta U_{ce}$ $I_b = \text{const}$ admitancja wejściowa tranzystora we WE
 $h_{22e} = \dots\dots$

$h_{12e} = \Delta U_{be} / \Delta U_{ce}$ $I_b = \text{const}$ współczynnik oddziaływania wstecznego w tranzystorze we WE $h_{12e} = \dots\dots$

Tematy do opracowania:

1. Zasada działania tranzystora,
2. Układy pracy tranzystora,
3. Zasady polaryzacji normalnej złącz tranzystora,
4. Opis tranzystora przy użyciu równań mieszanych,
5. Charakterystyki statyczne tranzystora w połączeniu WB,
6. Charakterystyki statyczne tranzystora w połączeniu WE,
7. Sposoby wyznaczania mieszanych parametrów (h) przyrostowych tranzystora na podstawie charakterystyk statycznych.