

Ćwiczenie - 3

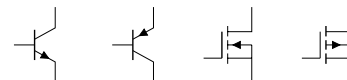
Parametry i charakterystyki tranzystorów

Spis treści

1	Cel ćwiczenia	1
2	Podstawy teoretyczne	2
2.1	Tranzystor bipolarny	2
2.1.1	Charakterystyki statyczne tranzystora npn	4
2.2	Tranzystor polowy	5
3	Przebieg ćwiczenia	6
3.1	Wyznaczenie charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego	6
3.1.1	Charakterystyka wejściowa	6
3.1.2	Charakterystyka przejściowa	7
3.1.3	Charakterystyka wyjściowa	8
3.2	Wyznaczanie charakterystyk statycznych tranzystora polowego	9
3.2.1	Charakterystyka przejściowa	9
3.2.2	Charakterystyka wyjściowa	10
4	Sprawozdanie	11
5	Niezbędne wyposażenie	11
	Protokół	12
	Wyniki pomiarów	12
	Charakterystyki tranzystora bipolarnego	14
	Charakterystyki tranzystora polowego	15

1 Cel ćwiczenia

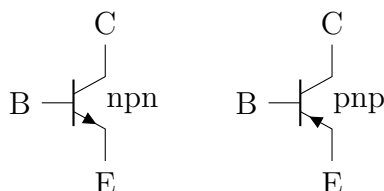
- Poznanie właściwości tranzystora bipolarnego i polowego.



2 Podstawy teoretyczne

2.1 Tranzystor bipolarny

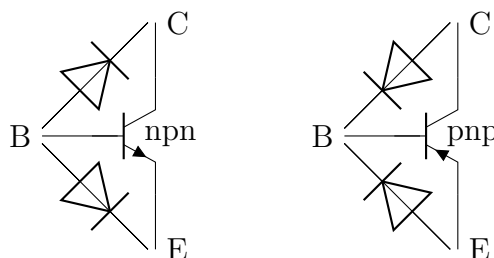
Tranzystor jest elementem o trzech zaciskach: C - kolektor, B - baza i E - emiter. Tranzystor bipolarny występuje w dwóch odmianach npn i pnp. Poniższe rozważania obowiązują dla tranzystorów npn. Przy rozpatrywaniu tranzystorów pnp wszystkie napięcia i prądy zmieniają znak.



Rysunek 1: Symbol tranzystora npn i pnp

Dla tranzystora **npn** obowiązują następujące reguły:

- potencjał kolektora musi być większy od potencjału emitera,
- obwody baza-emiter i baza-kolektor zachowują się jak diody, w warunkach normalnej pracy złącze baza-emiter spolaryzowane jest w kierunku przewodzenia, a złącze baza-kolektor w kierunku zaporowym,

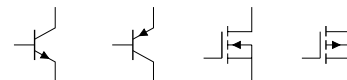


Rysunek 2: Interpretacja złącza baza-emiter i baza kolektor tranzystora npn i pnp

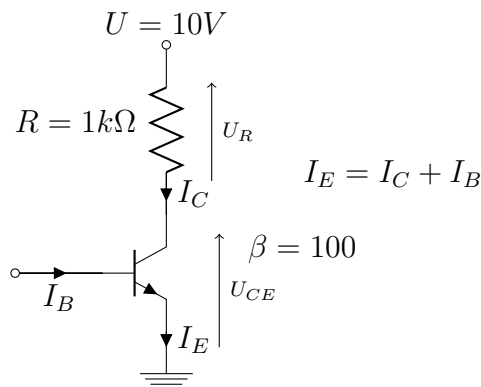
- każdy tranzystor charakteryzuje się wartościami maksymalnymi prądów i napięć I_{Cmax} , I_{Bmax} , U_{CEmax} , przekroczenie których prowadzi do uszkodzenia. Ograniczeniem również jest moc strat na tranzystorze P_{max} , temperatura złącza oraz napięcie U_{BEmax} .
- jeśli spełnione są powyższe warunki prąd bazy steruje prądem kolektora i w przybliżeniu prąd kolektora jest proporcjonalny do prądu bazy:

$$I_C = \beta I_B = h_{FE} I_B,$$

gdzie β lub h_{FE} nazywamy wzmocnieniem prądowym, typowe tranzystory małej mocy mają wzmocnienie powyżej 100.



Gdy prądu bazy I_B w układzie na rysunku 3 równa się 0, to tranzystor jest w **stanie zatkania**. Wówczas prąd kolektora nie płynie ($I_C = 0$), napięcie $U_{CE} = U$.



Rysunek 3

Gdy w układzie na rysunku 3 prąd bazy wzrośnie do wartości $I_B = 10\mu A$, wówczas:

- prąd kolektora: $I_C = \beta I_B = 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 10^{-3} A = 1 mA$,
- napięcie na rezystorze R : $U_R = I_C R = 10^{-3} \cdot 10^3 = 1 V$,
- napięcie kolektor-emiter: $U_{CE} = U - U_R = 10 - 1 = 9 V$.

Dla prądu bazy $I_B = 50\mu A$ otrzymamy następujące wartości:

- prąd kolektora: $I_C = \beta I_B = 100 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-3} A = 5 mA$,
- napięcie na rezystorze R : $U_R = I_C R = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 5 V$,
- napięcie kolektor-emiter: $U_{CE} = U - U_R = 10 - 5 = 5 V$.

Dla prądu bazy $I_B = 90\mu A$ otrzymamy następujące wartości:

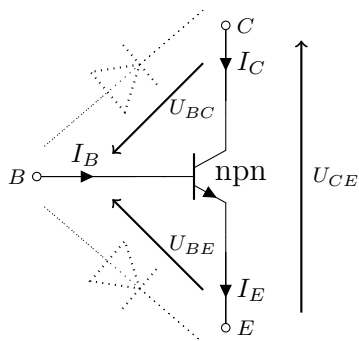
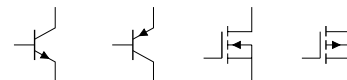
- prąd kolektora: $I_C = \beta I_B = 100 \cdot 90 \cdot 10^{-6} = 9 \cdot 10^{-3} A = 9 mA$,
- napięcie na rezystorze R : $U_R = I_C R = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 9 V$,
- napięcie kolektor-emiter: $U_{CE} = U - U_R = 10 - 9 = 1 V$.

Przyjmując prąd $I_B = 100\mu A$ teoretycznie otrzymamy następujące wartości: $I_C = 10 mA$, $U_R = 10 V$ i $U_{CE} = 0 V$. Tranzystor będzie w pełni otwarty. Praktycznie gdy tranzystor przewodzi napięcie kolektor-emiter nie może osiągnąć wartości zerowej. Minimalna wartość napięcia kolektor-emiter wynosi $U_{CE sat} \approx 0,2 V$. Zatem dla układu z rysunku 3 gdy prąd $I_B \geq 10\mu A$ to $U_{CE} = U_{CE sat} \approx 0,2 V$, $U_R = U - U_{CE} = 10 - 0,2 = 9,8 V$ i $I_C = I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{9,8}{10^3} = 9,8 mA$. Dalszy wzrost prądu bazy nie spowoduje wzrostu prądu kolektora, ponieważ maksymalny prąd kolektora ograniczony jest przez rezystor R .

Stan w którym prąd kolektora jest proporcjonalny do prądu bazy nazywamy **stanem aktywnym** (prąd kolektora jest β razy większy od prądu bazy). **W stanie aktywnym mały prąd bazy steruje znacznie większym prądem kolektora.**

Stan w którym prąd bazy jest na tyle duży, że obwód kolektora nie jest w stanie dostarczyć prądu β razy większego od prądu bazy nazywamy **stanem nasycenia**. Wartość napięcia nasycenia ($U_{CE sat}$) wynosi około $0,2 V$, prąd kolektora ograniczony jest przez rezystor R .

Ponadto możemy wyróżnić również **stan aktywny inwersyjny**, w którym złącze baza-emiter spolaryzowane jest w kierunku zaporowym a złącze baza-kolektor w kierunku przewodzenia.



Rysunek 4: Oznaczenie kierunków prądów i napięć tranzystora npn

Podsumowując tranzystor bipolarny może znajdować się w jednym z czterech stanów:

- **stan zatkania** (odcięcia) - złącze BE i BC spolaryzowane są w kierunku zaporowym, tzn. $U_{BE} \leq 0, U_{BC} < 0, I_B = 0, I_C = 0,$
- **stan nasycenia** - złącze BE i CB spolaryzowane są w kierunku przewodzenia, tzn. $U_{BE} > 0, U_{BC} > 0, I_B \neq 0, I_C \neq 0,$
- **stan aktywny** - złącze BE spolaryzowane w kierunku przewodzenia, złącze BC spolaryzowane zaporowo, tzn. $U_{BE} > 0, U_{BC} < 0, I_C = \beta I_B,$
- **stan aktywny inwersyjny** - złącze BE spolaryzowane zaporowo, złącze BC spolaryzowane w kierunku przewodzenia, tzn. $U_{BE} < 0, U_{BC} > 0.$

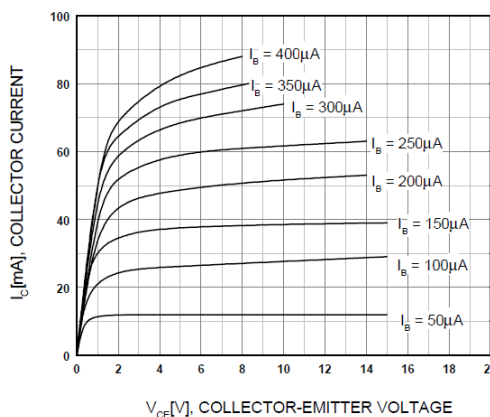
Wykorzystanie tranzystora bipolarnego w układach elektronicznych:

- **stan aktywny** - jest podstawowym stanem pracy tranzystora wykorzystywanym we wzmacniaczach,
- **stan nasycenia i odcięcia** - stosowane są w technice impulsowej oraz układach cyfrowych,
- **stan aktywny inwersyjny** jest rzadko stosowany, ponieważ tranzystor charakteryzuje się gorszymi parametrami niż w stanie aktywnym.

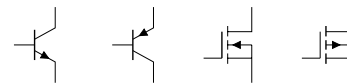
2.1.1 Charakterystyki statyczne tranzystora npn

Wyróżniamy następujące charakterystyki statyczne tranzystora bipolarnego:

- **charakterystyka wejściowa** - $I_B = f(U_{BE})$ przy $U_{CE} = const,$
- **charakterystyka przejściowa** - $I_C = f(I_B)$ przy $U_{CE} = const,$
- **charakterystyka wyjściowa** - $I_C = f(U_{CE})$ przy $I_B = const.$

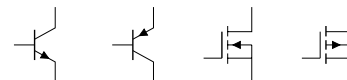


Rysunek 5: Charakterystyki wyjściowe tranzystora BC546



2.2 Tranzystor polowy

Patrz materiały z wykładu oraz literatura.



3 Przebieg ćwiczenia

3.1 Wyznaczenie charakterystyk statycznych tranzystora bipolarnego

W celu wykonania pomiarów wykorzystać płytkę E3 z tranzystorem BC546.

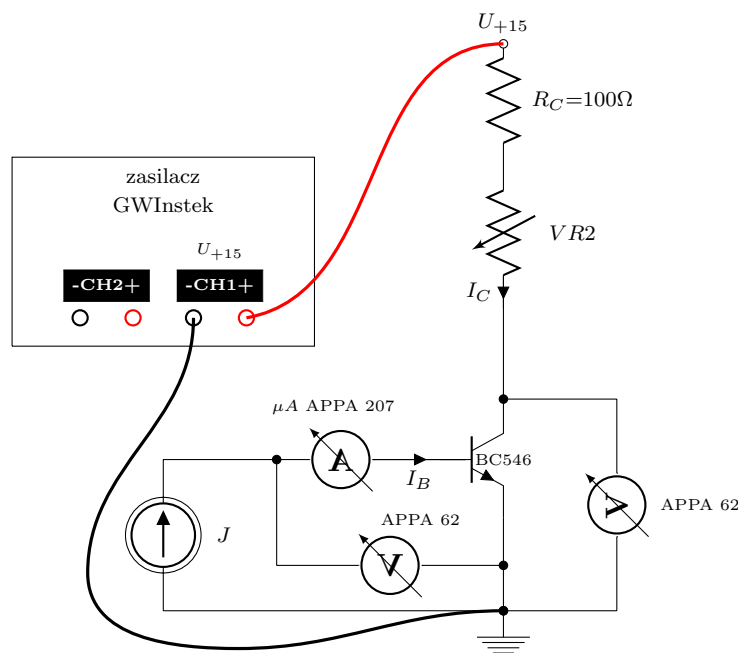
3.1.1 Charakterystyka wejściowa

Połączyć układ jak na rysunku 6. Na kanale pierwszym zasilacza (CH1) ustawić ograniczenie prądu na $I_{CH1max} = 150mA$ oraz napięcie zasilania $U_{CH1} = 12V$.

UWAGA! - przed załączeniem układu: ustawić maksymalną rezystancję w obwodzie kolektora - potencjometr VR2 (zaciski górne) skrócić w prawo oraz ustawić minimalny prąd bazy - potencjometry źródła **J** skrócić w lewo.

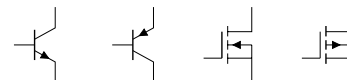
Zmieniając prąd bazy $I_B \in (15\mu A; 300\mu A)$ wyznaczyć charakterystykę wejściową $U_{BE} = f(I_B)$ przy $U_{CE} = 3.5V = const$.

W celu wykonania pojedynczego punktu pomiarowego ustawić prąd I_B , następnie zmieniając rezystancję potencjometrem VR1 ustawić napięcie $U_{CE} = 3.5V$ i zapisać pomiary I_B oraz U_{BE} .



Rysunek 6

Wyniki zapisać w tabeli 1 oraz zaznaczyć na rysunku 10a.



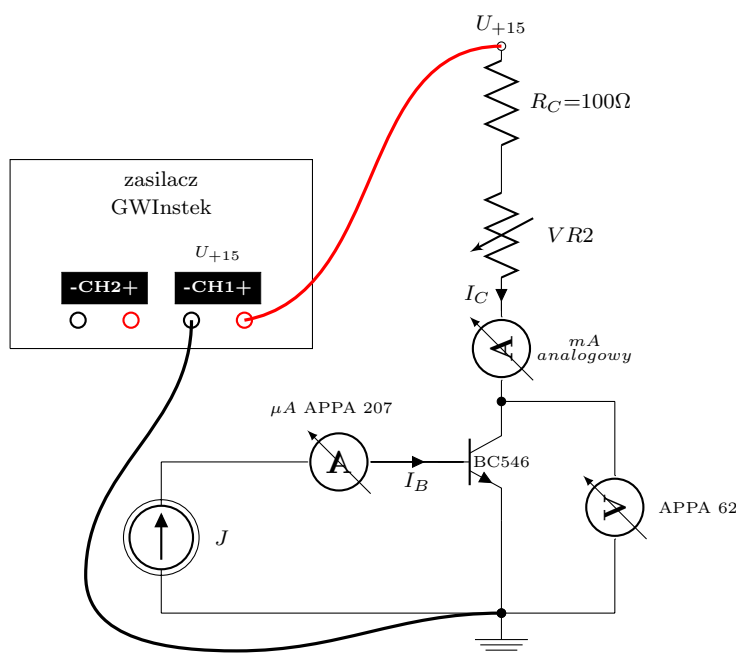
3.1.2 Charakterystyka przejściowa

Połączyć układ jak na rysunku 7. Na kanale pierwszym zasilacza (CH1) ustawić ograniczenie prądu na $I_{CH1max} = 150mA$ oraz napięcie zasilania $U_{CH1} = 12V$.

UWAGA! - przed załączeniem układu: ustawić maksymalną rezystancję w obwodzie kolektora - potencjometr VR2 (zaciski górne) skrócić w prawo oraz ustawić minimalny prąd bazy - potencjometry źródła J skrócić w lewo.

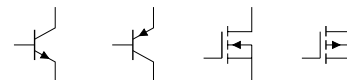
Zmieniając prąd bazy $I_B \in (15\mu A; 300\mu A)$ wyznaczyć charakterystykę przejściową $I_C = f(I_B)$ przy $U_{CE} = 3.5V = const$.

W celu wykonania pojedynczego punktu pomiarowego ustawić prąd I_B , następnie zmieniając rezystancję potencjometrem VR1 ustawić napięcie $U_{CE} = 3.5V$ i zapisać pomiary I_B oraz I_C .



Rysunek 7

Wyniki zapisać w tabeli 1 oraz zaznaczyć na rysunku 10b.



3.1.3 Charakterystyka wyjściowa

Połączyć układ jak na rysunku 8. Na kanale pierwszym zasilacza (CH1) ustawić napięcie zasilania $U_{+15} = 15V$ oraz ograniczenie prądu na $I_{CH1max} = 100mA$.

UWAGA! - przed załączeniem układu: ustawić maksymalną rezystancję w obwodzie kolektora - potencjometr VR2 (zaciski górne) skrócić w prawo oraz ustawić minimalny prąd bazy - potencjometry źródła J skrócić w lewo.

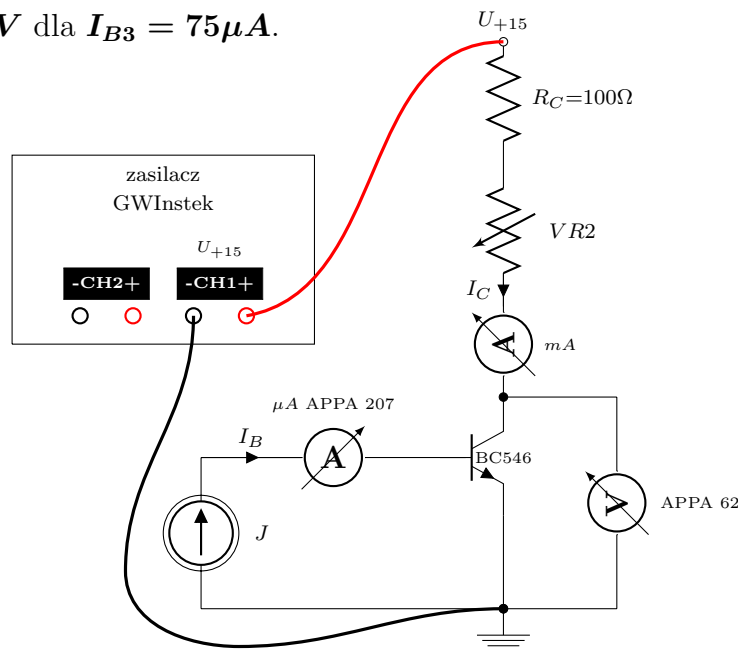
Dla stałego prądu bazy, zmniejszając potencjometrem rezystancję w obwodzie kolektora dokonać pomiaru prąd kolektora I_C oraz napięcia U_{CE} . Wykonać 3 charakterystyki dla następujących prądów bazy:

- $I_{B1} = 25\mu A$,
- $I_{B2} = 50\mu A$,
- $I_{B3} = 75\mu A$.

UWAGA! - przed zwiększeniem prądu bazy: ustawić maksymalną rezystancję w obwodzie kolektora - VR2 (zaciski górne) skrócić w prawo.

UWAGA! - nie przekraczać: na kolektorze nie przekraczać napięcia ⁱ:

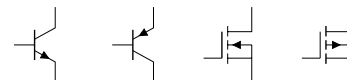
- $U_{CEmax} = 15V$ dla $I_{B1} = 25\mu A$,
- $U_{CEmax} = 10V$ dla $I_{B2} = 50\mu A$,
- $U_{CEmax} = 5V$ dla $I_{B3} = 75\mu A$.



Rysunek 8

Wyniki zapisać w tabeli 2 oraz zaznaczyć na rysunku 11.

ⁱOgraniczenia wynikają z maksymalnej dopuszczalnej mocy strat na tranzystorze, **przekroczenie tej wartości powoduje uszkodzenie tranzystora.**



3.2 Wyznaczanie charakterystyk statycznych tranzystora polowego

W celu wykonania pomiarów wykorzystać płytkę E3 z tranzystorem BS170.

3.2.1 Charakterystyka przejściowa

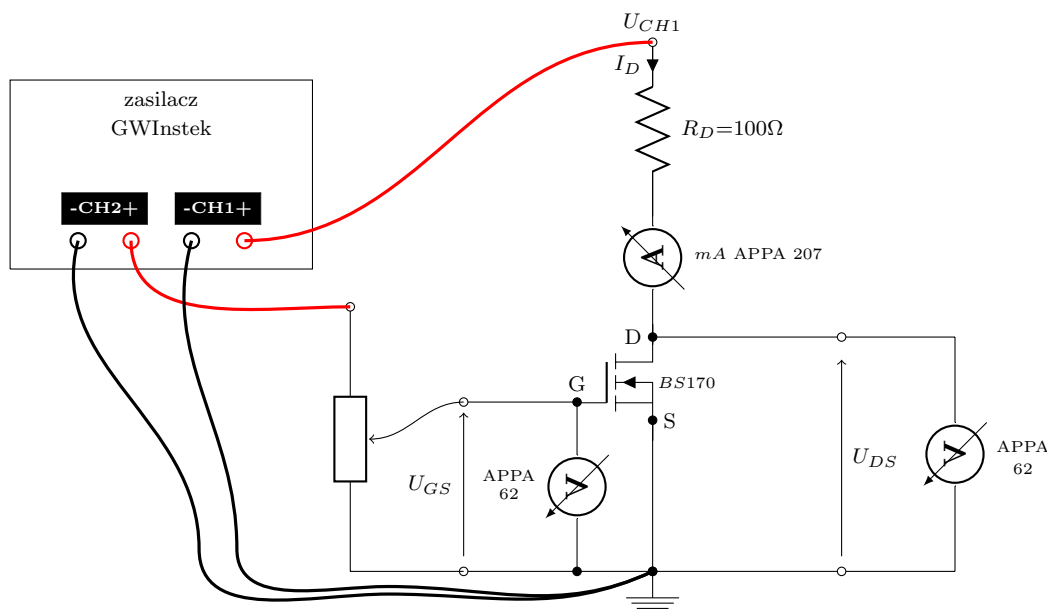
Połączyć układ jak na rysunku 9. Na kanale pierwszym ustawić ograniczenie prądu na $I_{CH1max} = 200mA$ a na kanale drugim $I_{CH2max} = 100mA$. Na kanale pierwszym zasilacza ustawić napięcie $U_{CH1} = 0V$ a na kanale drugim napięcie $U_{CH2} = 3,5V$.

Zmieniając napięcie $U_{GS} \in (2V; 3V)$ wyznaczyć dwie charakterystyki przejściowe $I_D = f(U_{GS})$ przy

- $U_{DS1} = 2V = const$,
- $U_{DS2} = 3V = const$,

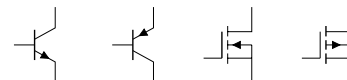
W celu wykonania pojedynczego punktu pomiarowego ustawić napięcie U_{GS} a następnie zmieniając napięcie na kanale pierwszym zasilacza ustawić napięcie U_{DS} na wybranej stałej wartości.

UWAGA! - nie przekraczać: w trakcie wykonywania pomiarów nie przekraczać prądu $I_{Dmax} = 75mA$.



Rysunek 9: Układ pomiarowy

Wyniki zapisać w tabeli 3 oraz zaznaczyć na rysunku 12.



3.2.2 Charakterystyka wyjściowa

W układzie z poprzedniego punktu (rysunek 9) wyznaczyć charakterystykę wyjściową. Na kanale pierwszym ustawić ograniczenie prądu na $I_{CH1max} = 200mA$ a na kanale drugim $I_{CH2max} = 100mA$. Na kanale pierwszym zasilacza ustawić napięcie $U_{CH1} = 0V$ a na kanale drugim napięcie $U_{CH2} = 4V$. Dla stałego napięcia U_{GS} , zmieniając napięcie na kanale pierwszym zmierzyć prąd drenu I_D i napięcie dren-źródło U_{DS} . Wykonać 3 charakterystyki dla następujących napięć U_{GS} :

- $U_{GS1} = 2,5V$,
- $U_{GS2} = 2,75V$,
- $U_{GS3} = 3V$,

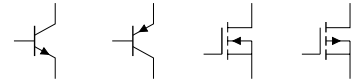
UWAGA! - przed zwiększeniem napięcia U_{GS} ustawić na kanale pierwszym napięcie $U_{CH1} = 0V$.

UWAGA! - nie przekraczać: na drenie nie przekraczać napięcia ⁱⁱ:

- $U_{DSmax} = 15V$ dla $U_{GS1} = 2,5V$,
- $U_{DSmax} = 6V$ dla $U_{GS2} = 2,75V$,
- $U_{DSmax} = 3,5V$ dla $U_{GS3} = 3V$.

Wyniki zapisać w tabeli 4 oraz zaznaczyć na rysunku 13.

ⁱⁱOgraniczenia wynikają z maksymalnej dopuszczalnej mocy strat na tranzystorze, **przekroczenie tej wartości powoduje uszkodzenie tranzystora.**



4 Sprawozdanie

4.1 Charakterystyki statyczne tranzystora bipolarnego

Wykreślić i zinterpretować charakterystyki statyczne tranzystora bipolarnego.

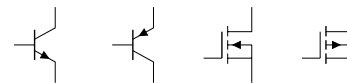
4.2 Charakterystyki statyczne tranzystora polowego

Wykreślić i zinterpretować charakterystyki statyczne tranzystora polowego.

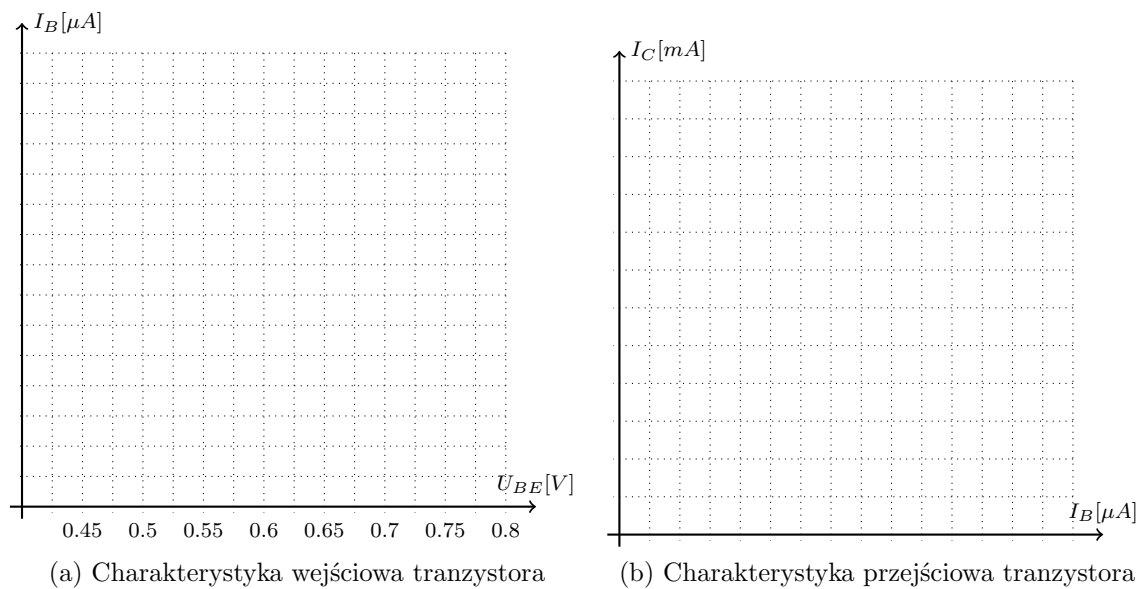
4.3 Porównanie tranzystora bipolarnego i polowego

5 Niezbędne wyposażenie

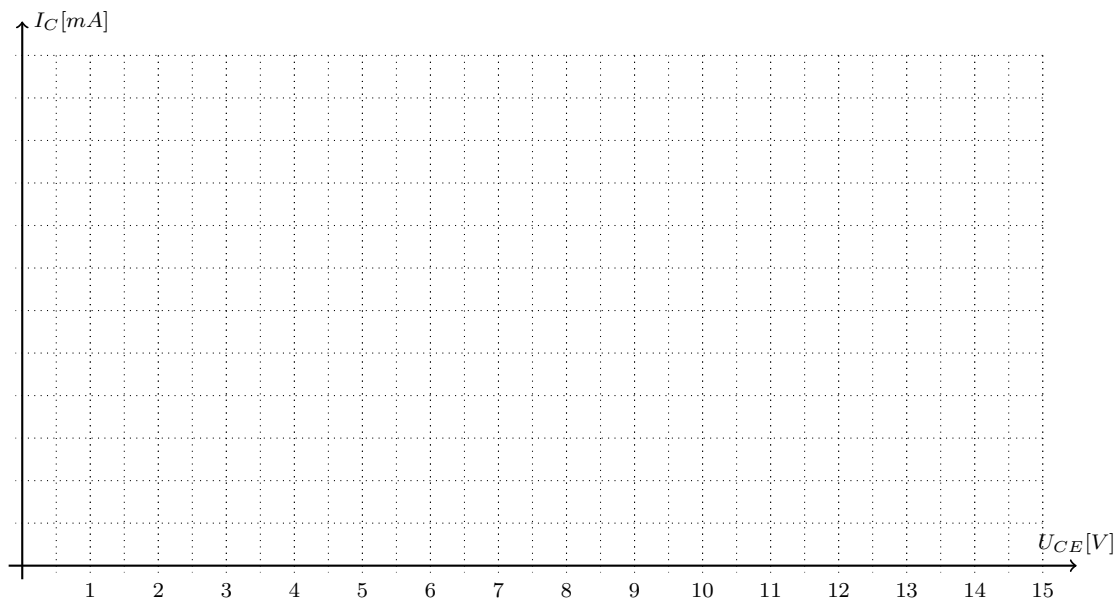
- kalkulator naukowy
- protokół



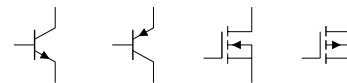
Charakterystyki tranzystora bipolarnego



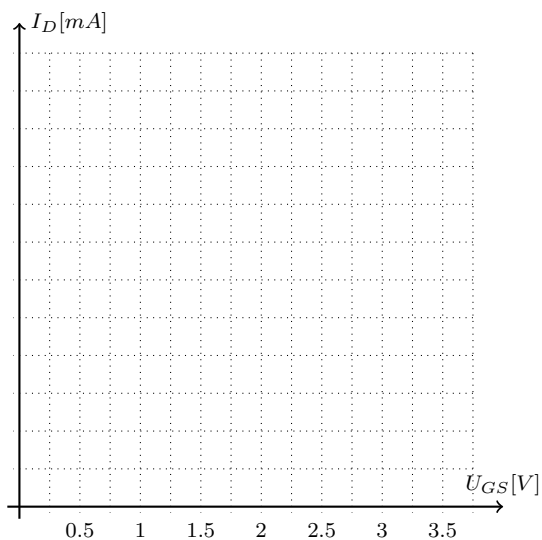
Rysunek 10



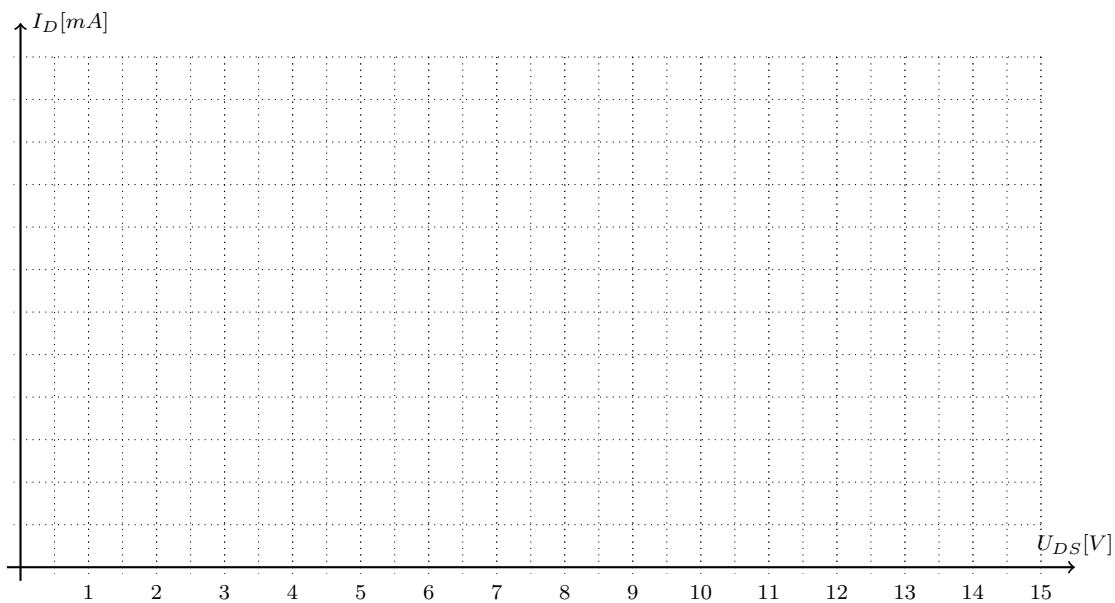
Rysunek 11: Charakterystyki wyjściowe



Charakterystyki tranzystora polowego



Rysunek 12: Charakterystyka przejściowa tranzystora



Rysunek 13: Charakterystyki wyjściowe