

## Ćwiczenie 2

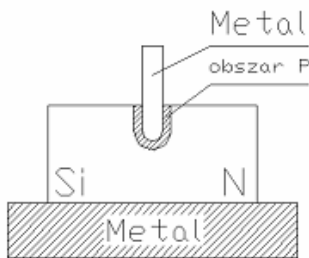
### Badanie charakterystyk elementów półprzewodnikowych

#### 1. WSTĘP TEORETYCZNY

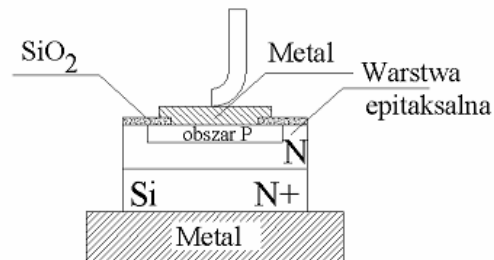
##### 1.1. Diody

Podstawę większości diod półprzewodnikowych stanowi złącze p-n. Ze względu na powszechność zastosowania dzieli się je na wiele grup. Dwa podstawowe rodzaje, to diody ostrzowe i warstwowe.

Złącze p-n diody ostrzowej (rys.1) wykonuje się przez wtopienie elektryczne ostrza metalowego do półprzewodnika typu n. W procesie zgrzewania pod ostrzem tworzy się mikroobszar typu p.



Rys. 1. Dioda ostrzowa

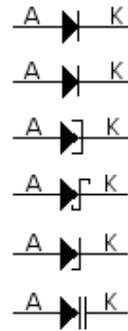


Rys. 2. Dioda warstwowa (epitaksjalno – planarna)

Diody warstwowe (rys.2) otrzymuje się technologią stopową i dyfuzyjną, przy czym wykorzystuje się wiele odmian technologii dyfuzyjnej, a zwłaszcza epitaksjalno-planarną.

Z punktu widzenia użytkownika, najważniejszy jest podział diod związany z ich zastosowaniem. Według tego kryterium wyróżnia się diody:

- Prostownicze
- Uniwersalne
- Tunelowe
- Schottky'ego (krótkie czasy przełączeń)
- Stabilizacyjne (Zenera, stabilistory)
- Pojemnościowe (warikap, waraktor)



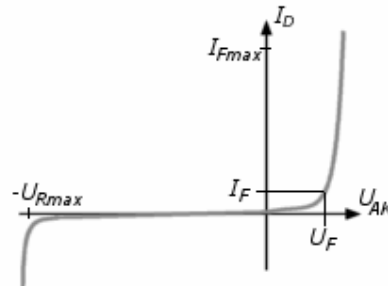
Symbol graficzny diody prostowniczej przedstawiony jest na rysunku 3. Jak widać, jest on podobny do strzałki, która w tym przypadku wyznacza kierunek przepływu prądu przez diodę.



Rys.3. Symbol diody prostowniczej

Wprowadzenie diody A nazywane jest anodą, a wprowadzenie K - katodą.

Jeżeli do anody diody doprowadzi się napięcie dodatnie względem katody, czyli  $U_{AK} > 0$ , to będzie ona spolaryzowana w kierunku przewodzenia i prąd popłynie od anody do katody. Przy ujemnych wartościach  $U_{AK}$ , dioda jest spolaryzowana zaporowo i płynie przez nią tak zwany prąd wsteczny, który jest zwykle o kilka rzędów mniejszy niż prąd przewodzenia (często przyjmuje się dla uproszczenia, że prąd wsteczny jest równy zero). Wartość napięcia zaporowego nie może przekroczyć pewnej granicy - tak zwanego napięcia przebicia, gdyż wówczas popłynie prąd porównywalny z prądem w kierunku przewodzenia. Najczęściej powoduje to uszkodzenie diody, z wyłączeniem przypadku, gdy mamy do czynienia z diodą Zenera (stabilistorem), w której napięcie przebicia wykorzystywane jest do stabilizacji.



Rys.4. Charakterystyka diody półprzewodnikowej

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystykę diody  $I_D = I_D(U_{AK})$ . Jak widać, już przy bardzo małych, dodatnich napięciach  $U_{AK}$  prąd  $I_D$  płynący przez diodę bardzo mocno wzrasta, osiągając duże wartości. Tak jak każdy element, dioda ma parametry graniczne, których nie można przekroczyć bez jej uszkodzenia. Dlatego prąd przewodzenia diody nie może przekroczyć wartości  $I_{Fmax}$  (maksymalnego prądu diody w kierunku przewodzenia). Napięcie przewodzenia diody  $U_F$  określa się przy prądzie przewodzenia  $I_F = 0,1 \cdot I_{Fmax}$ . Dla diody germanowej napięcie to zawiera się w zakresie od 0,2V do 0,4V, a dla diody krzemowej - od 0,5V do 0,8V.

Teoretyczną charakterystykę diody w kierunku przewodzenia można opisać zależnością:

$$I_D = I_S(T) \left( e^{\frac{U_{AK}}{mU_T}} - 1 \right)$$

gdzie:

$I_S$  - teoretyczny prąd wsteczny,

$m$  - współczynnik korekcyjny (przyjmuje wartości od 1 do 2),

$U_T = kT/q$  - potencjał elektrokinetyczny.

Potencjał ten w temperaturze pokojowej wynosi:

$$U_T = \frac{kT}{q} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} [\text{J/K}] \cdot 296 [\text{K}]}{1,60 \cdot 10^{-19} [\text{C}]} = 25,5 [\text{mV}] \quad (\#)$$

Napięcie  $U_{Rmax}$ , przy którym następuje gwałtowny wzrost prądu  $I_R$ , nazywa się napięciem przebicia. Ze względu na charakter przebicia może ono być lawinowe lub Zenera. Charakterystyki złączy p-n zależą w znacznym stopniu od temperatury. Dotyczy to przede wszystkim prądu wstecznego, który wzrasta wykładniczo ze wzrostem temperatury. W zakresie przebicia zmiany napięcia w funkcji temperatury można zapisać w postaci zależności liniowej:

$$U_{Rmax} = U_{R0}[1 + \alpha_{UR0}(T - T_0)]$$

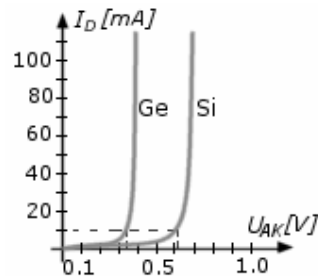
gdzie:  $U_{R0}$  – napięcie przebicia w temperaturze  $T_0$ ,  $\alpha_{UR0}$  – temperaturowy współczynnik napięcia przebicia.

Współczynnik  $\alpha_{UR0}$  przyjmuje wartości ujemne, gdy przebicie jest wywołane zjawiskiem Zenera, a dodatnie, gdy przebicie jest wywołane zjawiskiem lawinowym.

Charakterystyki diod krzemowej (Si) i germanowej (Ge), otrzymane na podstawie wzoru (#), przedstawiono na rysunku 6. W obliczeniach przyjęto typowe dane katalogowe diod:

- krzemowej:  $I_S=10 \text{ pA}$ ,  $mU_T=30 \text{ mV}$ ,  $I_{Fmax}=100 \text{ mA}$
- germanowej:  $I_S=100 \text{ nA}$ ,  $mU_T=30 \text{ mV}$ ,  $I_{Fmax}=100 \text{ mA}$ .

Z charakterystyk można odczytać wartości napięcia przewodzenia  $U_F$ : dla diody germanowej napięcie przewodzenia jest równe 0,35V, a dla diody krzemowej 0,62V.



Rys.6. Charakterystyki diod krzemowej i germanowej w kierunku przewodzenia

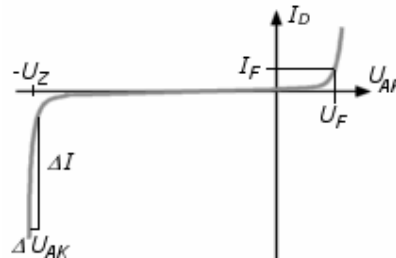
Dioda Zenera (rys.7) wykorzystuje tę właściwość złącz p-n, która w przypadku zwykłych diod jest zgubna, a mianowicie przekroczenie maksymalnego napięcia wstecznego, przy którym prąd bardzo szybko wzrasta. W przypadku diody Zenera, napięcie to jest ściśle określone i nazywane jest napięciem Zenera  $U_Z$ .



Rys.7. Symbol diody Zenera

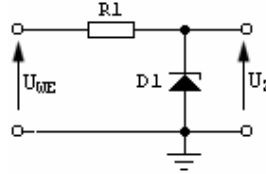
Charakterystykę diody Zenera przedstawiono na rysunku 8. Zjawisko stabilizacji napięcia na diodzie Zenera polega na wykorzystaniu przebicia przy polaryzacji wstecznej diody, charakteryzującego się tym, że dużym zmianom prądu diody  $\Delta I_D$  towarzyszą bardzo małe zmiany spadku napięcia  $\Delta U_{AK}$ . Przyjmuje się, że po przebiciu złącza napięcie na diodzie nie zmienia się i jest równe napięciu Zenera  $U_Z$ .

Diody takie stosuje się do stabilizacji napięć stałych. Dostępne są diody Zenera na napięcia od 3 do 200V, przy czym, im mniejsze jest to napięcie, tym gorsza stabilizacja.



Rys.8. Charakterystyka statyczna diody Zenera

Najprostszy układ stabilizacji napięcia stałego z wykorzystaniem diody Zenera przedstawiono na rysunku 9. Rezystor R1 ustala wartość prądu płynącego przez diodę i do obciążenia. Wartość jego rezystancji musi być tak dobrana, aby zapewnić właściwe warunki stabilizacji dla danego typu diody Zenera. Przedstawiony układ może służyć jako źródło napięcia odniesienia. Układ ten ma jednak kilka wad np. wpływ temperatury i zmian prądu płynącego przez diodę na napięcie stabilizacji.



Rys.9. Podstawowy układ stabilizacji napięcia

W poniższych tabelach zestawiono najważniejsze dane katalogowe typowych diod prostowniczych (tab.1) i Zenera (tab.2).

Tabela 1. Dane katalogowe diod prostowniczych.

Typ diody	$U_{RWM}$	$U_{RSM}$	$I_0$	$I_{FSMmax}$	$U_F$	$I_F$	$I_R$	$(U_R)$
	V	V	A	A	V	A	$\mu A$	V
BYP 401-50	50	100	1	50	1,1	1	5	50
BYP 401-100	100	200	1	50	1,1	1	5	100
BYP 401-200	200	400	1	50	1,1	1	5	200
BYP 401-400	400	600	1	50	1,1	1	5	400
BYP 401-600	600	800	1	50	1,1	1	5	600
BYP 401-800	800	1000	1	50	1,1	1	5	800
BYP 401-1000	1000	1300	1	50	1,1	1	5	1000

gdzie:

- $U_{RWM}$  – szczytowe napięcie wsteczne diody
- $U_{RSM}$  - niepowtarzalne napięcie wsteczne diody
- $U_F$  – napięcie przewodzenia diody
- $U_R$  – napięcie wsteczne diody
- $I_0$  – średni prąd przewodzenia diody przy prostowaniu
- $I_{FSMmax}$  – niepowtarzalny prąd przewodzenia diody
- $I_F$  – prąd przewodzenia diody
- $I_R$  – prąd wsteczny diody

Tabela 2. Dane katalogowe diod Zenera.

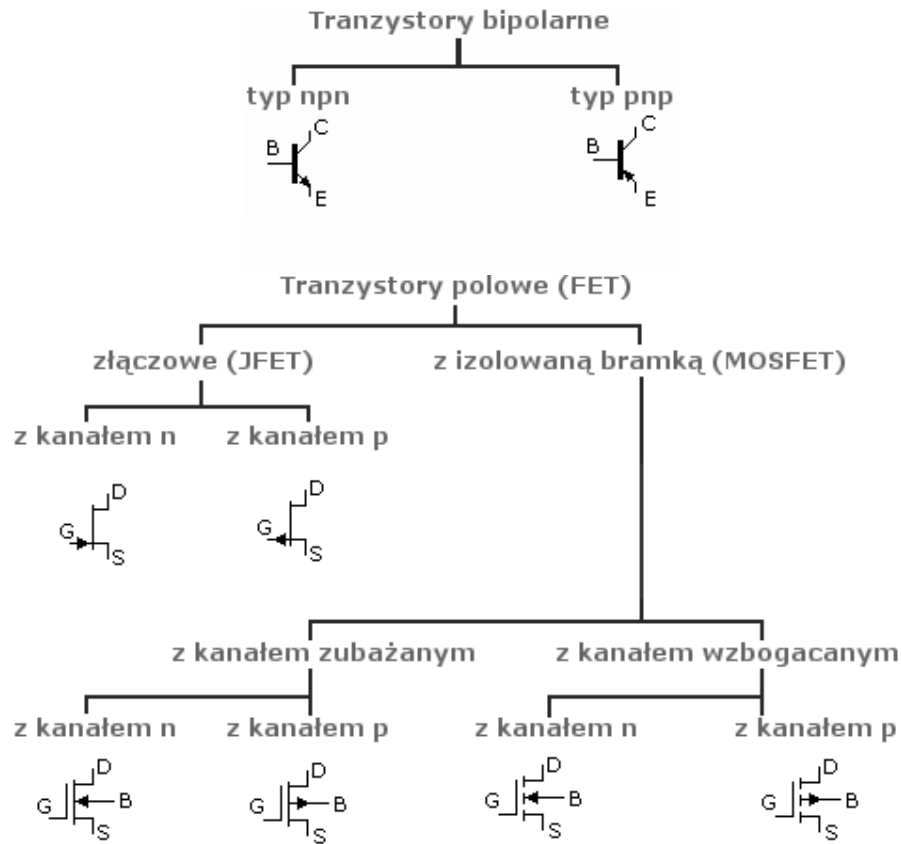
Typ diody	$U_Z$ przy $I_Z$		$r_z$	$TKU_Z$	$P_{max}$
	V	mA	$\Omega$	$10^{-4}/^{\circ}C$	mW
BZP 630-C6V8	6,5-7,1	5	10	+ 5,0	250
BZP 630-C33	31-35	5	90	+ 9,0	250
BZP 630-D6V8	6,1-7,5	5	10	+ 5,0	250
BZP 630-D33	29,7-36,4	5	90	+ 9,0	250
BZP 650-C6V8	6,4-7,2	100	2	< +7,0	1200
BZP 650-C33	31-35	25	20	< +11,0	1200
BZP 683-C3V3	3,1-3,5	5	90	- 6	400
BZP 683-C33	31-35	5	100	+9	400

gdzie:

- $U_Z$  – napięcie Zenera
- $r_Z$  – rezystancja dynamiczna
- $TKU_Z$  – współczynnik temperaturowy diody Zenera
- $P_{max}$  – moc maksymalna

## 1.2. Tranzystor

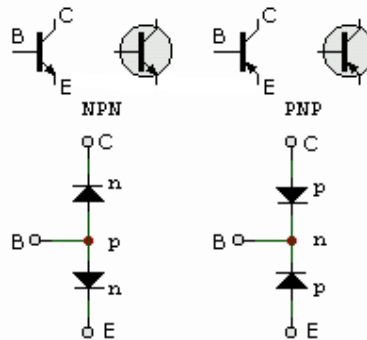
Na poniższym rysunku 10 zestawiono najważniejsze rodzaje tranzystorów.



Rys. 10. Podział tranzystorów

Opis tranzystorów w niniejszym opracowaniu będzie dotyczył wyłącznie tranzystorów bipolarnych.

Tranzystor jest elementem półprzewodnikowym o trzech końcówkach (elektrodach) i służy do wzmacniania lub przełączania sygnałów. Tranzystory bipolarne dzieli się na krzemowe i germanowe, z których każdy może być typu npn lub pnp. Zasada działania obu typów tranzystorów jest jednakowa, natomiast różnice występują wyłącznie w polaryzacji zewnętrznych źródeł napięcia i w kierunku przepływu prądów. Na rysunku 11 przedstawione zostały symbole graficzne tranzystorów npn i pnp oraz ich diodowe modele zastępcze.



Rys.11. Oznaczenia graficzne tranzystorów bipolarnych oraz ich modele zastępcze

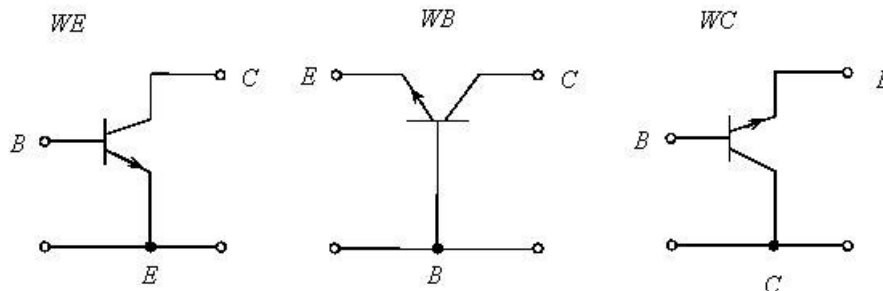
Zgodnie z przedstawionym modelem zastępczym tranzystora, element ten składa się z dwóch połączonych ze sobą diod o wspólnej warstwie n lub p. Dołączona do wspólnej warstwy elektroda nazywana jest bazą - B. Pozostałe elektrody tranzystora bipolarnego mają następujące nazwy: C - kolektor, E - emiter. Diodowy schemat zastępczy jest bardzo dużym uproszczeniem i nie wyjaśnia zasady działania tranzystora, lecz daje pewien pogląd na to, jakie napięcia występują między jego elektrodami.

Przyjęło się również w sposób określony oznaczać napięcia na tranzystorze. Napięcie na elektrodach tranzystora mierzone względem masy, oznaczane jest indeksem w postaci pojedynczej dużej litery C, B lub E i tak, na przykład,  $U_C$  oznacza napięcie na kolektorze. Napięcie między dwiema elektrodami oznacza się podwójnym indeksem, np. dla napięcia między bazą a emiterem oznaczenie będzie miało postać  $U_{BE}$ .

### 1.2.1. Układy pracy tranzystorów bipolarnych

Elektrody tranzystora bipolarnego można w różny sposób dołączać do obciążenia i źródła sygnału. Od sposobu połączenia w znacznym stopniu zależą właściwości powstałego układu (rys.12). Praktyczne zastosowanie znalazły trzy układy połączeń tranzystora:

- układ o wspólnym emiterze (WE lub OE), w którym sygnał jest doprowadzony między emiter i bazę, a obciążenie jest włączone między kolektor i emiter - emiter stanowi elektrodę wspólną dla obwodu wejściowego i wyjściowego,
- układ o wspólnej bazie (WB lub OB), w którym sygnał jest doprowadzony między emiter a bazę, a obciążenie jest włączone między kolektor i bazę - baza stanowi elektrodę wspólną dla obwodu wejściowego i wyjściowego,
- układ o wspólnym kolektorze (WC lub OC), w którym sygnał jest doprowadzony między bazę a kolektor, a obciążenie jest włączone między emiter i kolektor - kolektor stanowi elektrodę wspólną dla obwodu wejściowego i wyjściowego.



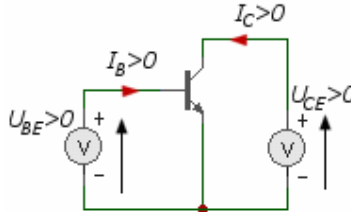
Rys. 12. Układy pracy tranzystorów bipolarnych npn

Dalsze rozważania będą prowadzone dla tranzystora typu npn w układzie WE.

Aby tranzystor npn znajdował się w stanie normalnej pracy, muszą być spełnione następujące warunki:

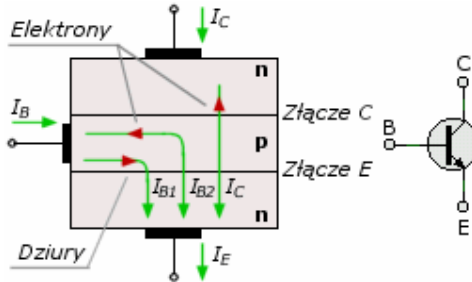
- potencjał kolektora musi być wyższy od potencjału emitera,
- „dioda” baza-emiter musi być spolaryzowana w kierunku przewodzenia, a „dioda” kolektor-baza w kierunku zaporowym,
- nie mogą zostać przekroczone maksymalne wartości  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $U_{CE}$ , moc wydzielana na kolektorze ( $I_C \cdot U_{CE}$ ), temperatura pracy, oraz napięcie  $U_{BE}$  (parametry podane przez producenta w karcie katalogowej).

Aby te warunki były spełnione, źródła napięć zasilających muszą być podłączone jak na rysunku 13.



Rys.13. Polaryzacja złączy tranzystora npn

Patrząc na diodowy model zastępczy, nie należy mylić prądu kolektora z prądem przewodzenia „diody” kolektor-baza, gdyż jest ona spolaryzowana zaporowo a płynący prąd kolektora jest wynikiem działania tranzystora. Prąd kolektora  $I_C$  i prąd bazy  $I_B$  wpływające do tranzystora „łączą się” w jego wnętrzu i „wypływają” w postaci prądu emitera  $I_E$  (Rys. 14).



Rys.14. Przepływ prądów w tranzystorze

Jeżeli tranzystor jest w stanie normalnej pracy, czyli spełnia powyższe warunki, to z dobrym przybliżeniem prawdziwa jest zależność:

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B$$

gdzie  $h_{FE}$  - współczynnik wzmocnienia prądowego (oznaczany również symbolem  $\beta$ ). Współczynnik ten może przyjmować wartości od 50 do 300A/A dla tego samego typu tranzystora, a więc nie jest parametrem, którym można posłużyć się przy projektowaniu układów. Z zależności przedstawionej wyżej wynika ważna cecha tranzystorów, jaką jest sterowanie przez mały prąd wpływający do bazy, dużym prądem w obwodzie kolektora.

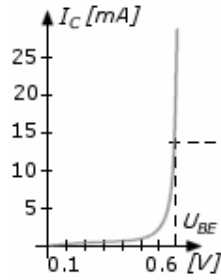
Stosując model diodowy można zauważyć, że w czasie pracy tranzystora napięcie na bazie można wyrazić wzorem:

$$U_B = U_E + U_{BE}$$

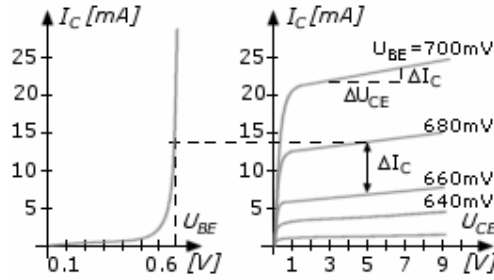
Należy przy tym zwrócić uwagę, że przekroczenie napięcia przewodzenia złącza baza-emiter (0,6 do 0,8V) spowoduje, że przez bazę przepłynie bardzo duży prąd, który może doprowadzić do uszkodzenia tranzystora.

Do opisu i analizy działania tranzystora, pomocne są jego charakterystyki statyczne, które przedstawiono na poniższych rysunkach (rys.15, 16, 17, 18 i 19).

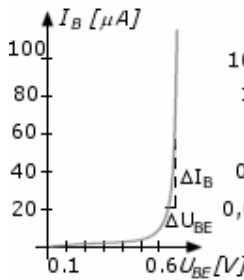
Rys.15.  
Charakterystyka  
przejściowa



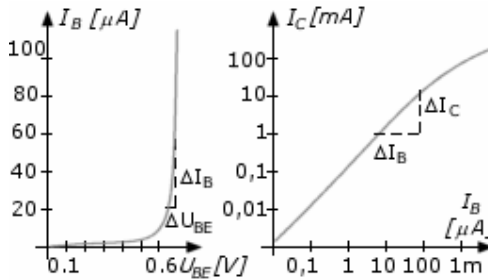
Rys.16.  
Charakterystyka  
wyjściowa



Rys.17.  
Charakterystyka  
wejściowa



Rys.18.  
Zależność prądu  
kolektora I\_C od prądu  
bazy I\_B



Na rysunku 16 pokazano charakterystykę wyjściową tranzystora, która przedstawia zależność prądu kolektora  $I_C$  od napięcia kolektor-emiter  $U_{CE}$ , przy ustalonym napięciu wejściowym baza-emiter  $U_{BE}$ . Z charakterystyki tej można wnioskować, że:

- powyżej pewnego napięcia  $U_{CE}$  prąd kolektora prawie nie zależy od tego napięcia,
- do wywołania dużej zmiany prądu kolektora  $\Delta I_C$  wystarczy mała zmiana napięcia baza-emiter  $\Delta U_{BE}$ .

Punkt, w którym następuje zagięcie charakterystyki wyjściowej nazywany jest napięciem nasycenia kolektor-emiter  $U_{CEsat}$ .

Zależność prądu kolektora od napięcia wejściowego pokazano na charakterystyce przejściowej (rys.15). Prąd kolektora  $I_C$  jest tu funkcją napięcia baza-emiter  $U_{BE}$  a napięcie  $U_{CE}$  jest zmiennym parametrem. Charakterystyka ta, podobnie jak charakterystyka diody, ma charakter wykładniczy. Jednak w odróżnieniu od równania diody, dla tranzystora współczynnik korekcyjny  $m$  jest bliski jedności, skąd wzór opisujący charakterystykę przejściową można przedstawić jako:

$$I_C \cong I_{CS}(T, U_{CE}) \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

gdzie:

$I_{CS}$  - prąd zerowy kolektora (przy  $I_B = 0$ ), funkcja temperatury  $T$  i napięcia  $U_{CE}$ ,

$U_T$  - napięcie progowe (termiczne).

Równanie to jest prawdziwe przy założeniu, że prąd  $I_C$  jest znacznie większy od prądu zerowego  $I_{CS}$ .

Zmianę prądu kolektora  $I_C$  wynikającą ze zmiany napięcia baza-emiter  $U_{BE}$  charakteryzuje parametr nazywany „konduktancją przenoszenia w przód” lub inaczej „transkonduktancją”, oznaczany  $g_m$

$$g_m = \left. \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} \right|_{U_{CE}=\text{const}}$$



Aby obliczyć wartość  $g_m$ , należy zróżniczkować równanie opisujące charakterystykę przejściową, w wyniku czego:

$$g_m = \frac{I_{CS}}{U_T} \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} = \frac{I_C}{U_T}$$

Zgodnie z otrzymanym wzorem, transkonduktancja jest proporcjonalna do prądu kolektora i nie zależy od indywidualnych właściwości tranzystora.

Zależność prądu kolektora  $I_C$  od napięcia kolektor-emiter  $U_{CE}$  jest opisywana przez parametr nazywany impedancją wyjściową oznaczaną  $r_{ce}$

$$r_{ce} = \left. \frac{\partial U_{CE}}{\partial I_C} \right|_{U_{BE}=\text{const}}$$

Patrząc na charakterystyki wyjściowe tranzystora (rys.16) można zauważyć, że ich nachylenie wzrasta przy większych prądach kolektora, z czego wynika, że impedancja wyjściowa  $r_{ce}$  maleje. Jest ona, w przybliżeniu, odwrotnie proporcjonalna do prądu kolektora  $I_C$ , skąd

$$r_{ce} = \frac{U_Y}{I_C}$$

Współczynnik proporcjonalności  $U_Y$  nazywany jest współczynnikiem „Early'ego”. Jego wartość można wyznaczyć na drodze pomiarów  $r_{ce}$ , co pozwala na wyliczenie rezystancji wyjściowej dla różnych prądów  $I_C$ . Typowe wartości  $U_Y$  wynoszą od 80 do 200V dla tranzystorów npn i od 40 do 150V dla tranzystorów pnp.

Charakterystyka wejściowa (rys.17), pokazująca zależność prądu bazy  $I_B$  od napięcia baza-emiter  $U_{BE}$ , ma podobnie jak charakterystyka przejściowa (rys.15) przebieg wykładniczy przy czym, w tym przypadku nie można pominąć współczynnika  $m$ , gdyż nie jest on równy jedności. Charakterystykę wejściową można więc opisać równaniem:

$$I_B \cong I_{BS} \cdot e^{\frac{U_{BE}}{mU_T}}$$

Parametrem ściśle związanym z charakterystyką wejściową jest impedancja wejściowa  $r_{be}$ , definiowana jako:

$$r_{be} = \left. \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} \right|_{U_{CE}=\text{const}}$$

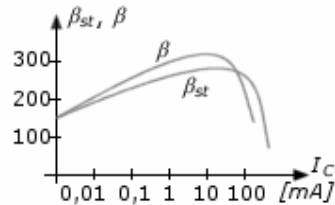
Aby wyliczyć wartość  $r_{be}$ , należy zróżniczkować równanie opisujące charakterystykę wejściową i w efekcie otrzyma się następujący wzór

$$r_{be} = \frac{mU_T}{I_B}$$

Ze względu na to, że współczynnik korekcyjny  $m$  ma różne wartości dla różnych przypadków, na podstawie tego wzoru nie można określić wartości  $r_{be}$ . Należy więc znaleźć inną jego postać. Na rysunku 18 przedstawiono zależność prądu kolektora  $I_C$  od prądu bazy  $I_B$ , z której wynika, że prąd kolektora jest w przybliżeniu proporcjonalny do prądu bazy  $I_C = h_{FE}I_B$ . Równanie opisujące charakterystykę wejściową zawiera współczynnik  $m$ , który nie jest równy 1, stąd wzmocnienie prądowe nie jest stałe i zależy od prądu kolektora, co pokazano na rysunku 19.

Można więc zdefiniować „małosygnałowy współczynnik wzmocnienia prądowego”, jako:

$$\beta = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{U_{CE}=\text{const}}$$

Rys.19. Zależność współczynnika  $\beta$  od  $I_C$ 

Korzystając z tej definicji oraz ze wzoru na transkonduktancję  $g_m$  można wyznaczyć zależność umożliwiającą obliczanie impedancji wejściowej  $r_{be}$ :

$$r_{be} = \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} = \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_C / \beta} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta U_T}{I_C}$$

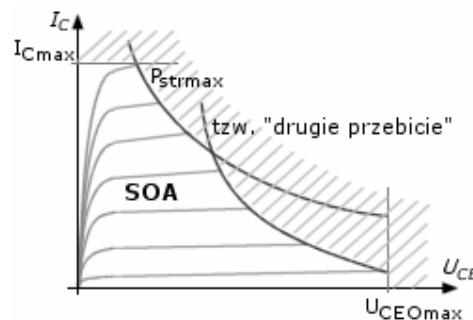
### 1.2.2. Parametry graniczne tranzystora

Tranzystory, podobnie jak inne elementy elektroniczne, mają charakterystyczne dla siebie parametry graniczne, tzn. takie, których przekroczenie grozi jego uszkodzeniem.

Do takich parametrów należą:

- $U_{EB0max}$  - dopuszczalne napięcie wsteczne baza-emiter,
- $U_{CB0max}$  - dopuszczalne napięcie wsteczne kolektor-baza,
- $U_{CE0max}$  - maksymalne dopuszczalne napięcie kolektor-emiter,
- $I_{Cmax}$  - maksymalny prąd kolektora,
- $I_{Bmax}$  - maksymalny prąd bazy,
- $P_{strmax}$  - maksymalna dopuszczalna moc strat,

Parametry takie jak  $I_{Cmax}$ ,  $U_{CE0max}$ ,  $P_{strmax}$  wyznaczają dopuszczalny obszar pracy, który nosi nazwę "dozwolonego obszaru pracy aktywnej" w skrócie SOA (ang. "Safe Operating Area"). Na rysunku 20 przedstawiono charakterystyki wyjściowe tranzystora z zaznaczeniem dozwolonego obszaru pracy.



Rys.20. Dozwolony obszar pracy tranzystora

### 1.2.3. Typowe parametry tranzystorów

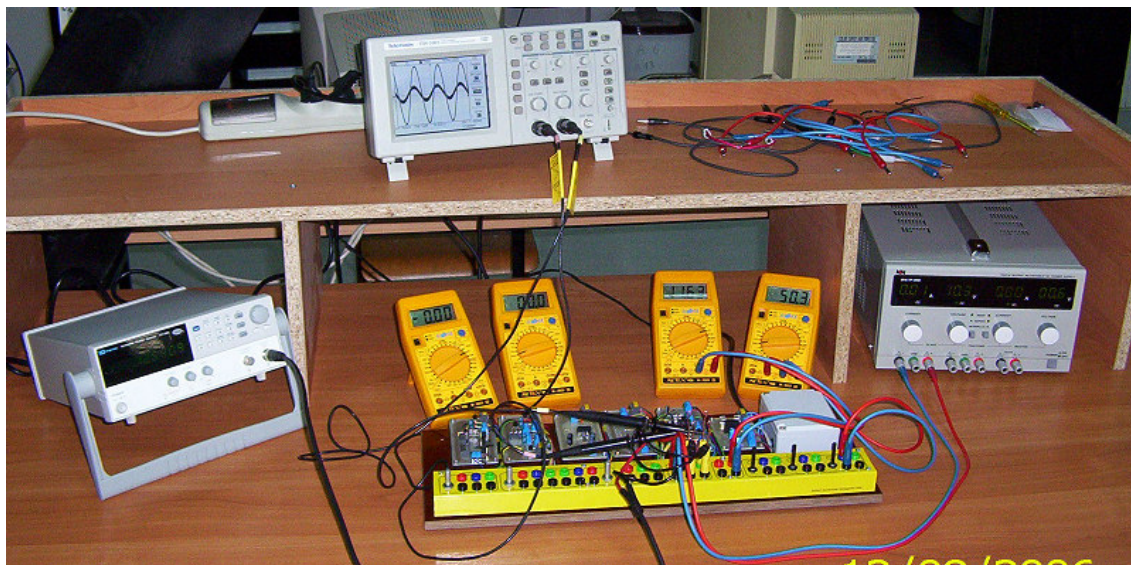
Tranzystory, oprócz parametrów granicznych, posiadają również kilka innych parametrów, które są podawane przez producentów w kartach katalogowych.

W poniższej tabeli (tab.3) podano parametry typowych tranzystorów małej i dużej mocy.

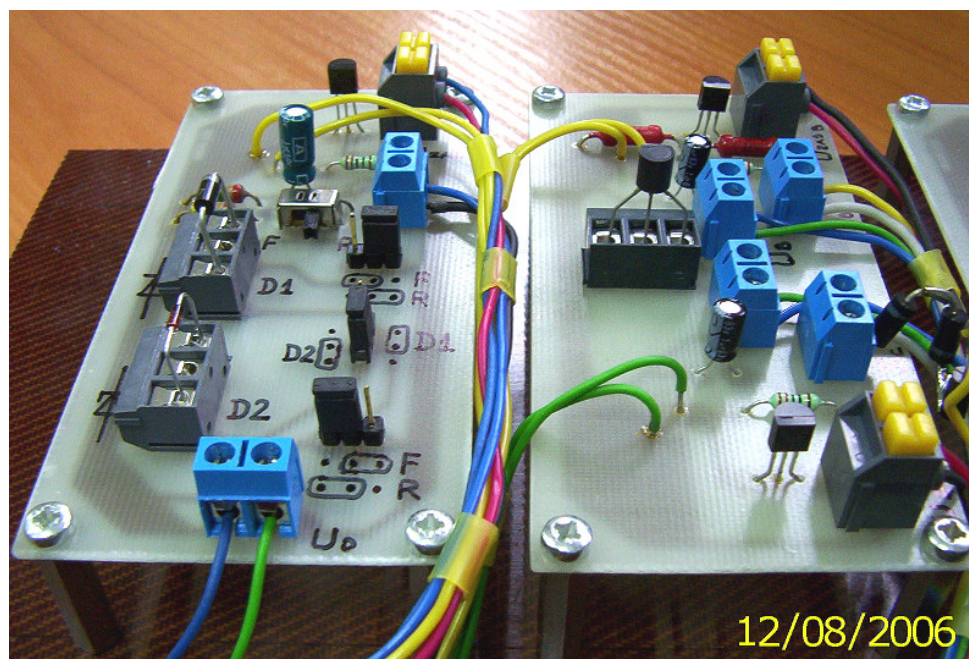
Tabela 3. Dane katalogowe typowych tranzystorów małej mocy (BC237B) i dużej mocy (BD249A).

Typ		BC237B	BD249A
Typ przewodnictwa		npn	npn
<b>Parametry graniczne</b>			
Napięcie kolektor-emiter	$U_{CE0max}$	45V	60V
Prąd kolektora	$I_{Cmax}$	100mA	25A
Napięcie baza-emiter	$U_{EB0max}$	6V	5V
Prąd bazy	$I_{Bmax}$	50mA	5A
Moc strat	$P_{strmax}$	300mW	125W
<b>Parametry</b>			
Prąd zerowy kolektora	$I_{CE0}$	0,2nA	0,5mA
Pojemność kolektor-baza	$C_{jc}$	3pF	500pF
Pojemność emiter-baza	$C_{je}$	8pF	
<b>Parametry przy <math>I_C</math></b>		1mA	1A
Napięcie baza-emiter	$U_{BE}$	0,6V	0,8V
Napięcie nasycenia	$U_{CEsat}$	60mV	200mV
Wsp. wzmacnienia prądowego	$\beta$	ok. 150	ok. 100

## 2. INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA



Rys. 21. Widok stanowiska dydaktycznego.



Rys. 22. Widok płytek do badania charakterystyk diod półprzewodnikowych i tranzystorów.

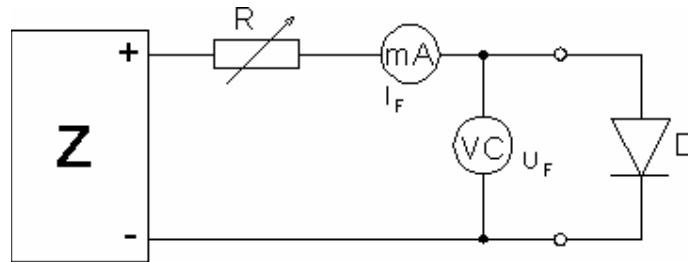
### 2.1. Diody

#### 2.1.1. Zadania do wykonania

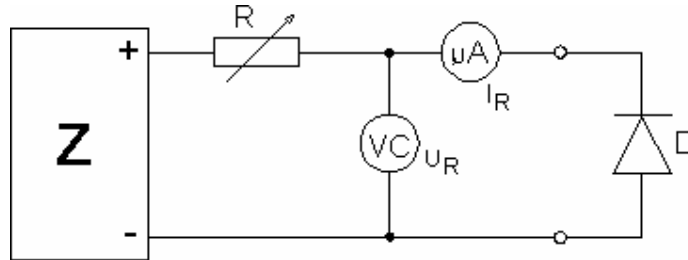
- sporządzenie charakterystyki  $I_F(U_F)$
- sporządzenie charakterystyki  $I_R(U_R)$
- wyznaczenie napięcia  $U_F$

2.1.2. Układy pomiarowe

a).



b).

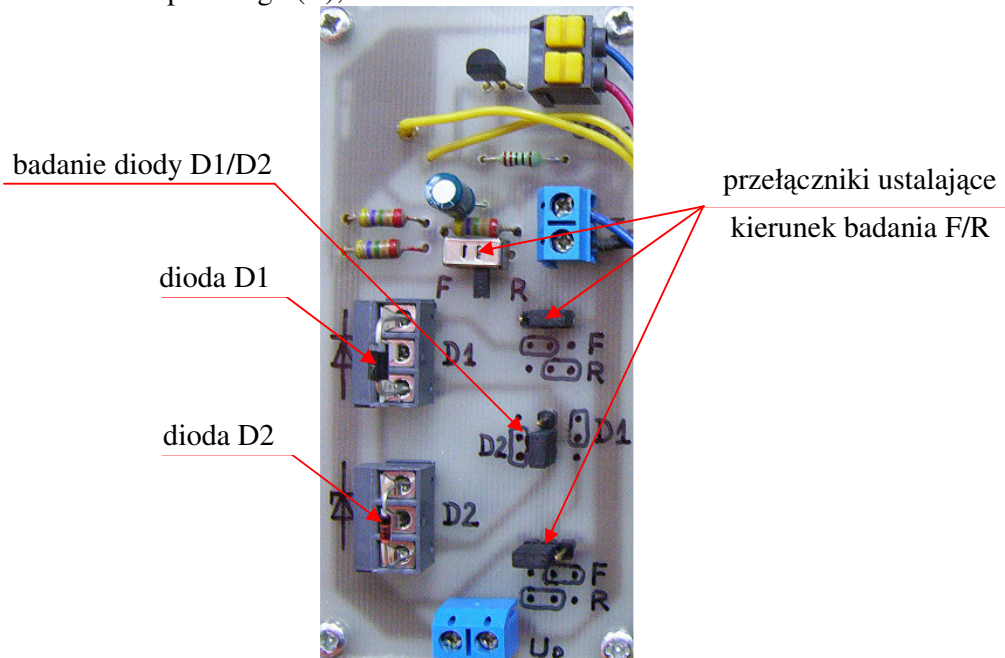


Rys. 23. Schematy układów do badania charakterystyk diod półprzewodnikowych  
a – dla kierunku przewodzenia, b – dla kierunku zaporowego.

Uwaga: w przypadku badania diody Zenera w kierunku zaporowym, w miejsce mikroamperomierza włączyć miliamperomierz.

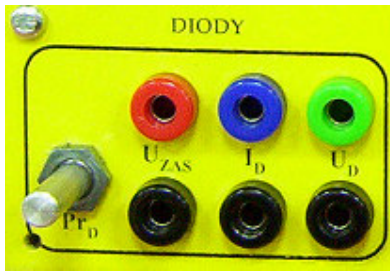
2.1.3. Opis pomiarów

- za pomocą przełącznika i zworek umieszczonych na płytce dydaktycznej (rys.24) zestawzić układ pomiarowy dla kierunku przewodzenia (F) lub zaporowego (R);



Rys. 24. Płytko do badania charakterystyk diod (widoczne ustawienia przełączników do badania diody D2 w kierunku zaporowym)

- **ustawić pokrętkę regulacji napięcia zasilacza na wartość 9V** (nie przekraczać tej wartości!);
- na zasilaczu ustawić ograniczenie prądowe dla prądu maksymalnego diody (około  $0,8 I_{Fmax}$ ) lub, w przypadku badania diody Zenera, na wartość ok. 50mA;
- dołączyć do odpowiednich zacisków makiety (rys.25) zasilacz (masa zasilania do zacisku czarnego, + do czerwonego), miliamperomierz ustawiony wstępnie na zakres 200mA (zaciski czarny i niebieski) oraz woltomierz na zakresie pomiarowym 20V (zaciski czarny i zielony);



Rys. 25. Widok fragmentu szyny przyłączeniowej makiety dydaktycznej

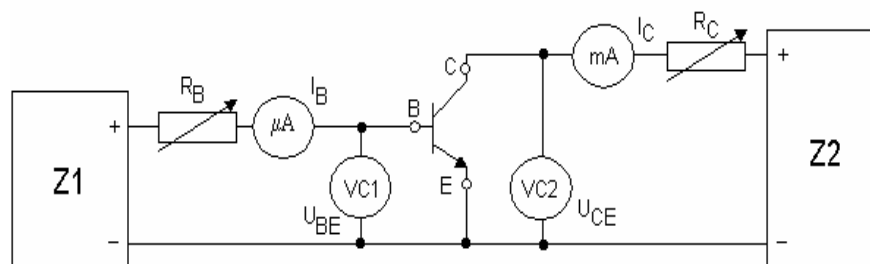
- za pomocą potencjometru  $Pr_D$  (rys.25) zmieniać napięcie na elektrodach diody obserwując jednocześnie zmiany prądu diody;
- zmiany napięcia prowadzić tak, aby otrzymać 8-10 punktów pomiarowych, umożliwiających wykreślenie ciągłej charakterystyki statycznej diody;
- mierzyć prądy, w zależności od konfiguracji układu,  $I_F$  lub  $I_R$  ( $I_Z$  w przypadku badania diody Zenera w kierunku zaporowym) odpowiadające ustawionym wartościom napięcia.

## 2.2. Tranzystor

### 2.2.1. Zadania do wykonania

- sporządzenie charakterystyki wejściowej  $I_B(U_{BE})$
- sporządzenie charakterystyki wyjściowej  $I_C(U_{CE})$
- sporządzenie charakterystyki przejściowej  $I_C(I_B)$
- sporządzenie charakterystyki  $I_C(U_{BE})$
- wyznaczenie współczynnika  $\beta$
- sporządzenie charakterystyki  $\beta(I_C)$

### 2.2.2. Układ pomiarowy

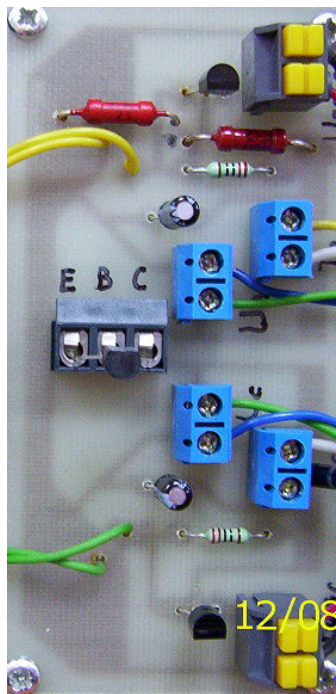


Rys. 26. Schemat układu do badania charakterystyk statycznych tranzystora

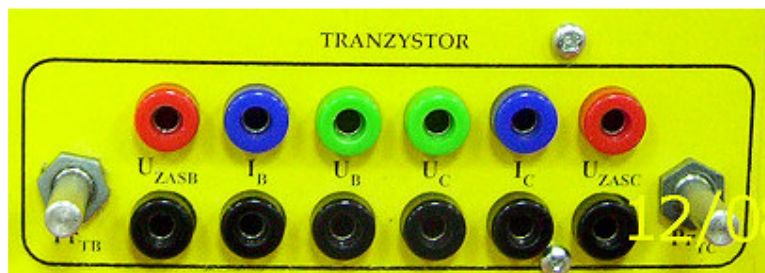


### 2.2.3. Opis pomiarów

- **ustawić pokręta regulacji napięcia na zasilaczach Z1 i Z2 na wartość 10V** (nie przekraczać tej wartości!);
- obliczyć maksymalne prądy kolektora  $I_{Cmax} = P_{tot}/U_{CE}$  dla określonych napięć  $U_{CE}$  (hiperbola mocy maksymalnej);
- na zasilaczu Z1 ustawić ograniczenie prądowe ok. 10mA, na Z2 ok. 100mA;
- dołączyć do odpowiednich zacisków makiety (rys.28) zasilacze (masa zasilania do zacisku czarnego, + do czerwonego), miliamperomierze ustawione wstępnie na zakres 200mA (zaciski czarny i niebieski) oraz woltomierze na zakresie pomiarowym 20V (zaciski czarny i zielony);
- posługując się potencjometrami  $Pr_{TB}$  i  $Pr_{TC}$  zmieniać wartości napięć, odpowiednio,  $U_{BE}$  oraz  $U_{CE}$ , obserwując jednocześnie ich wpływ na zmiany prądów  $I_B$  oraz  $I_C$ ;



Rys. 27. Płytko do badania charakterystyk tranzystora



Rys. 28. Widok fragmentu szyny przyłączeniowej makiety dydaktycznej

- wyznaczając charakterystykę wejściową  $I_B(U_{BE})$ , ustawić napięcie  $U_{CE}$  jako parametr (np. 0,10V...,  $U_{CEmax}$ ) i zmieniając wartości napięcia  $U_{BE}$  potencjometrem  $Pr_{TB}$  obserwować zmiany prądu  $I_B$  (kontrolować jednocześnie prąd kolektora  $I_C$ , aby nie przekroczyć jego dopuszczalnej wartości);
- zdejmując charakterystykę wyjściową, ustawić prąd  $I_B$  jako parametr i zmieniać napięcie  $U_{CE}$  potencjometrem  $Pr_{TC}$  odczytując wartości prądu kolektora  $I_C$  (nie przekraczać hiperboli mocy maksymalnej!).

### 3. Pytania kontrolne

- Rodzaje diod oraz ich symbole graficzne;
- Zasada działania diody półprzewodnikowej oraz diody Zenera;
- Charakterystyki diody półprzewodnikowej i diody Zenera;
- Parametry diody półprzewodnikowej;
- Parametry diody Zenera;
- Zastosowanie diody Zenera;
- Ogólny podział tranzystorów oraz ich symbole graficzne;
- Podział tranzystorów bipolarnych oraz ich symbole graficzne;
- Oznaczenie elektrod tranzystora bipolarnego oraz napięć i prądów;
- Układy pracy tranzystora bipolarnego;
- Polaryzacja złącza tranzystora w układzie wspólnego emitera;
- Charakterystyki tranzystora bipolarnego typu npn;
- Co to jest współczynnik  $\beta$ , podać wzór;
- Parametry graniczne tranzystora;

### Literatura:

1. „Diody i tranzystory”, projekt indywidualny, D. Spychaj,
2. „Układy półprzewodnikowe”- U.Tietze, Ch.Schenk,
3. „Elektronika” – A. Chwaleba, B. Moeschenke, G. Płoszajski, WSiP, Warszawa 1998,
4. „Diody i tranzystory dane techniczne i charakterystyki” – A. Siekierski, WKŁ, Warszawa 1976,
5. „Katalog tranzystorów – tranzystory bipolarne”, AVT, Warszawa 1992
6. Katalog ELFA nr 45,
7. <http://www.edw.com.pl>,
8. <http://elportal.pl>,

Autor instrukcji: dr inż. Krzysztof Tomczuk