

## E104. Badanie charakterystyk diod i tranzystorów

**Cele:** Wyznaczenie charakterystyk dla diod i tranzystorów. Dla diod określa się zależność  $I_d=f(U_d)$  prądu od napięcia i napięcie progowe  $U_p$ . Dla tranzystorów wyznacza się zależność  $I_C=f(I_B)$  prądu kolektora od prądu bazy, współczynnik wzmocnienia  $\beta$ , zależność  $I_C=f(U_{CE})$  prądu kolektora od napięcia kolektor-emiter dla określonych wartości  $I_B$  prądu bazy oraz oporność  $r_{wyj}$ .

**Przyrządy:** Komputer PC, program LabVIEW 7.0, program do opracowywania danych Stat, wzmacniacz sygnału, interfejs - konsola pomiarowa z kartą UIB, amperomierz, tranzystory, diody, oporniki.

**Zagadnienia:** Budowa i zasada działania elementów półprzewodnikowych - złącza p-n, diody świecącej (LED), tranzystora n-p-n i p-n-p.

### Literatura:

- [1] H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana eksperymentem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
- [2] H. Szydłowski, *Pomiary fizyczne za pomocą komputera*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1999.
- [3] T. Staciewicz, A. Kotlicki, *Elektronika w laboratorium naukowym*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
- [4] J. Watson, *Elektronika*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999.
- [5] P. Horowitz, W. Hill, *Sztuka elektroniki*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999.
- [6] G. W. van Apeldoorn, *How to connect an experiment to a computer*, Amstel Institut Amsterdam, 2003.

## 1. Wprowadzenie

Dioda jest elementem półprzewodnikowym stosowanym w obwodach elektrycznych np. ze względu na jej własności prostownicze. Gdy jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia zaczyna przewodzić prąd powyżej pewnego napięcia progowego  $U_p$  np. dla diody germanowej ok. 0.3 V, dla krzemowej ok. 0.65 V, a dla świecącej ok. 2 V (patrz rysunek 2). Opór diody w kierunku przewodzenia może wynosić 10  $\Omega$ , a w kierunku zaporowym aż 100 M $\Omega$ . Zależność prądu  $I_d$  płynącego przez diodę od napięcia  $U_d$  przyłożonego do diody stanowi charakterystykę  $I_d=f(U_d)$  (patrz rysunek 2). Na diodzie w wyniku przepływu prądu wydziela się ciepło (moc rozpraszana  $P=U_d \cdot I_d$ ), w przypadku diody świecącej część energii przypada w obszarze widzialnym np. dla diody z fosfoarsenku galu

obserwuje się światło czerwone lub żółte, a fosforu galu światło zielone.

Tranzystor stał się podstawowym elementem układu elektronicznego, od prostego wzmacniacza lub generatora, do komputera. Tranzystor jest elementem półprzewodnikowym i służy do wzmacniania prądów. Możemy podzielić tranzystory na dwie główne kategorie: bipolarne i polowe. Dalsze rozważania dotyczą tranzystorów bipolarnych. Tranzystor bipolarny typu n-p-n lub p-n-p zbudowany jest z dwóch złącz p-n położonych blisko siebie. Tranzystor ma trzy końcówki: emiter (E), kolektor (C) i baza (B). Określenie bipolarny wynika z faktu, że w działaniu tranzystora uczestniczą zarówno elektrony jak i dziury. W przypadku normalnej pracy tranzystora złącze emiter-baza polaryzujemy w kierunku przewodzenia, a złącze baza-kolektor w kierunku zaporowym. Działanie tranzystora polega na tym, że prąd płynący z emitera do kolektora sterowany jest przez prąd bazy. Określenie zależności  $I_C = f(I_B)$  prądu kolektora od prądu bazy (patrz rysunek 4), pozwala wyznaczyć współczynnik wzmocnienia  $\beta$  (nazywany również  $h_{FE}$ ) zdefiniowany przy stałym napięciu  $U_{CE}$  kolektor-emiter:

$$\beta = \left( \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right)_{U_{CE} = \text{const.}} \quad (1)$$

Natomiast zależność  $I_C = f(U_{CE})_{I_B = \text{const.}}$  prądu kolektora od napięcia kolektor-emiter należy wyznaczać dla określonych wartości  $I_B$  prądu bazy (patrz rysunek 6). Z tej zależności można określić oporność wyjściową  $r_{wyj}$  tranzystora:

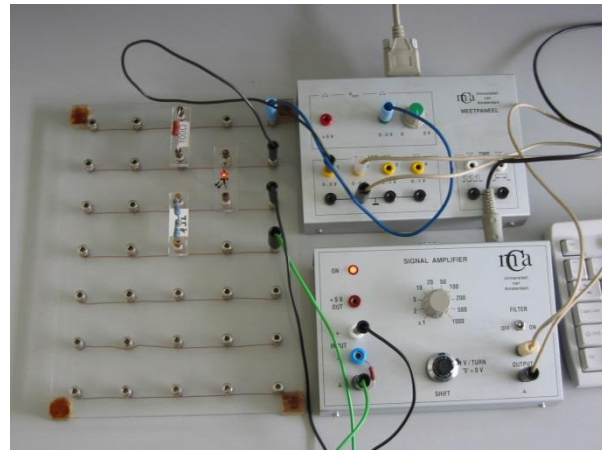
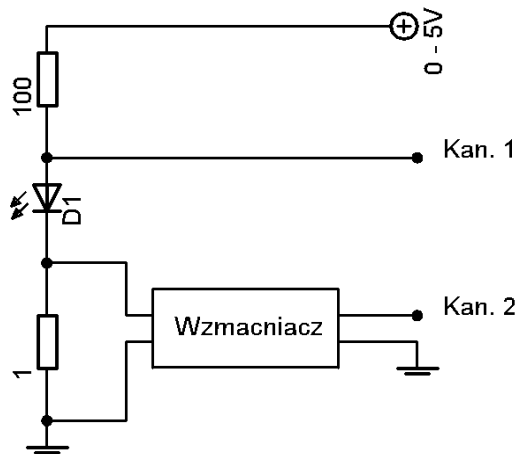
$$r_{wyj} = \left( \frac{\partial U_{CE}}{\partial I_C} \right)_{I_B = \text{const.}} \quad (2)$$

## 2. Pomiary

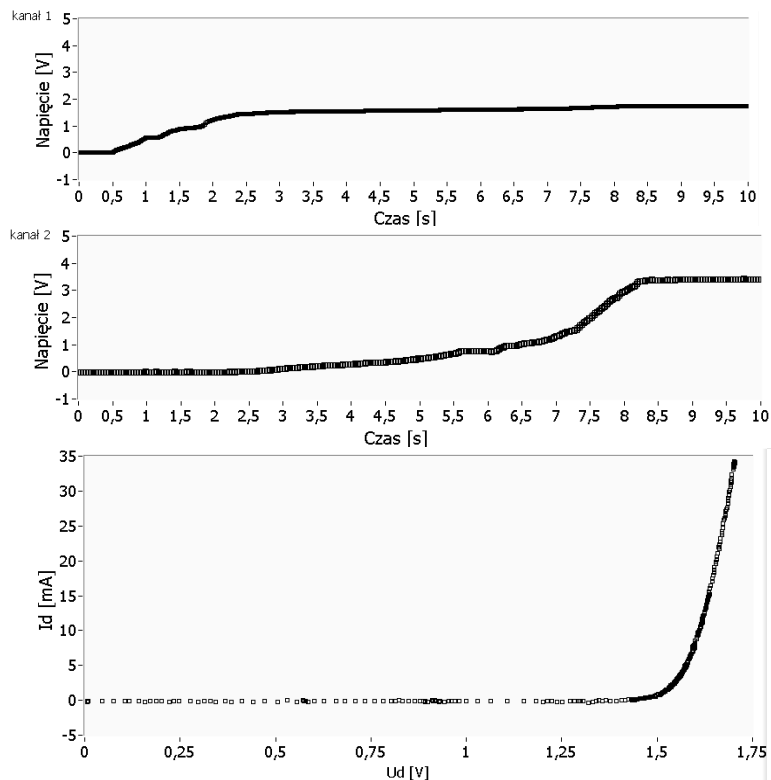
Obwody łączy się na tablicy z pleksiglasu, która jest wyposażona w równoległe połączone rzędy gniazdek radiowych. Zasilanie podłącza się z konsoli pomiarowej, źródło 5V lub regulowane w zakresie 0 - 5 V. Konsola pomiarowa wyposażona jest w cztery kanały pomiarowe, wykorzystujemy kanały 1 i 2 o zakresie pomiarowym od -5 do 5 V. Pomiary można wykonać dla diod świecących (czerwona, żółta, zielona i biała) jak i krzemowej (1N4448), ponadto dla tranzystorów typu p-n-p (TG52SII, BC177B) i n-p-n (BC109C, AC181). W programie kontrolującym eksperymentem (dioda i tranzystor.exe) należy zadać czas pomiaru (około 10 s), ilość punktów pomiarowych (np. 500) i nazwę pliku do którego zostaną zapisane dane pomiarowe. Po uruchomieniu pomiarów przyciskiem start, na ekranie

komputera obserwujemy przebiegi czasowe mierzonych sygnałów. Należy uważać, aby maksymalny sygnał na kanale 2 nie przekraczał 5 V (ustaw optymalną wartość współczynnika wzmocnienia we wzmacniaczu sygnału). Program **Stat** służy do opracowania uzyskanych wyników.

W celu wyznaczenia charakterystyki diody należy zbudować układ wg rysunku 1.



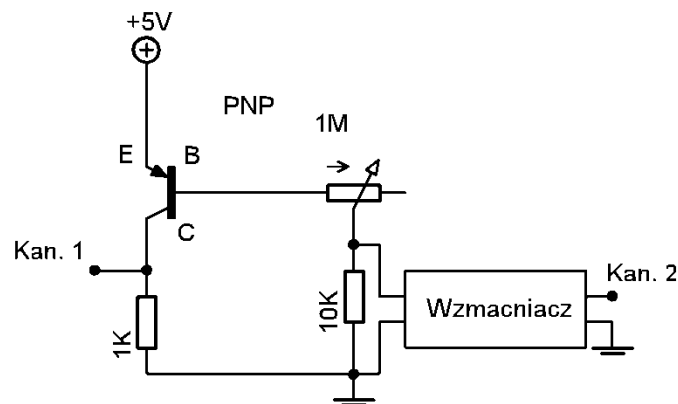
**Rysunek 1.** Schemat układu elektronicznego do badania diody i zdjęcie układu pomiarowego.



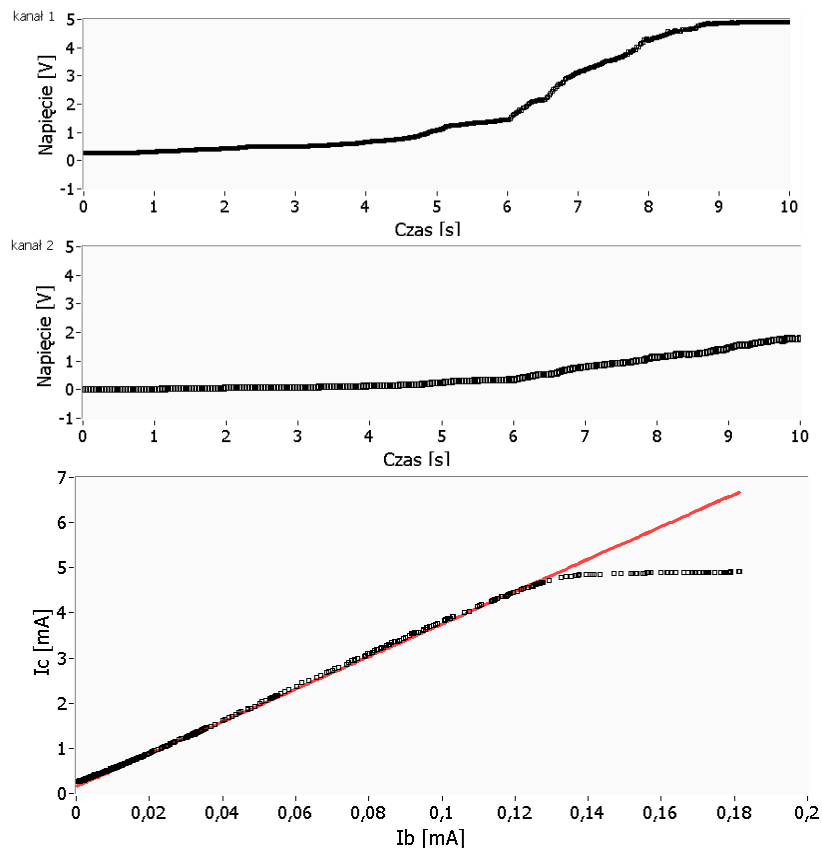
**Rysunek 2.** Wyniki pomiarowe dla czerwonej diody świecącej ( $k=100$ ) i wyznaczona charakterystyka  $I_d=f(U_d)$ .

Umieszczenie rezystorów jest konieczne do ograniczenia prądu diody, co zabezpiecza ją przed uszkodzeniem. Dioda, zgodnie ze schematem, musi być spolaryzowana w kierunku przewodzenia. W czasie pomiaru należy zmieniać napięcie zasilające od 0 do 5 V, typowe dane pomiarowe dla diody czerwonej LED przedstawia rysunek 2. W celu wyznaczenia charakterystyki  $I_d=f(U_d)$  należy obliczyć napięcie  $U_d=U_1-U_2/k$  i prąd diody  $I_d=U_2/k$ , gdzie  $U_1$  to napięcie zmierzone na kanale 1,  $U_2$  to napięcie zmierzone na kanale 2,  $k$  to współczynnik wzmocnienia. Rysunek 2 przedstawia również charakterystykę  $I_d=f(U_d)$  dla czerwonej diody świecącej.

Układ elektroniczny do badania tranzystorów typu p-n-p przedstawia rysunek 3.



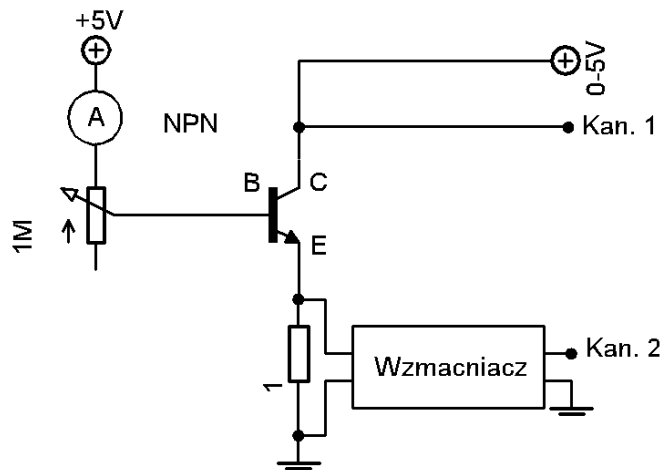
**Rysunek 3.** Układ elektroniczny do badania tranzystora p-n-p.



**Rysunek 4.** Wyniki pomiarowe dla tranzystora TG52SII ( $k=1$ ) i wyznaczona charakterystyka  $I_C=f(I_B)$ , linia czerwona przedstawia dopasowaną funkcję liniową o współczynniku nachylenia  $\beta=36$ .

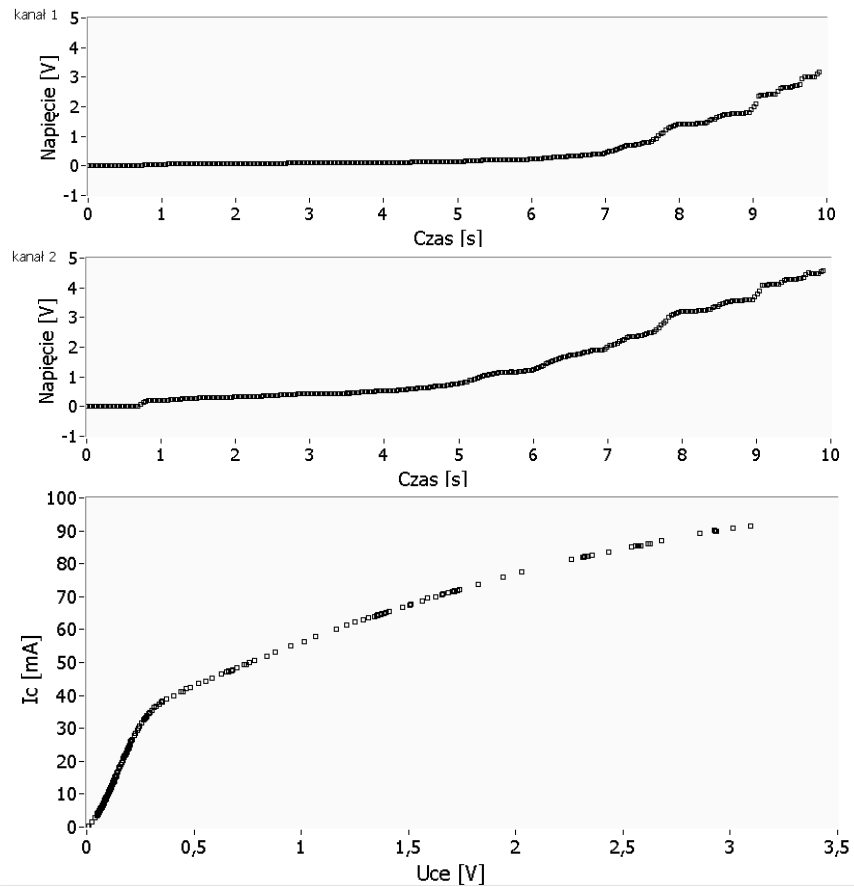
Potencjometr  $1\text{ M}\Omega$  zapewnia regulację oporu, co wpływa na wartość prądu  $I_B$  płynącego przez bazę. Prąd bazy można wyznaczyć za pomocą wzoru  $I_B=U_2/(k \cdot 10)$  [mA], natomiast prąd kolektora  $I_C=U_1$  [mA]. Typowe wyniki pomiarowe i charakterystykę  $I_C=f(I_B)$  przedstawia rysunek 4. Należy wyznaczyć z regresji liniowej współczynnik wzmacnienia  $\beta$  w obszarze liniowym zależności  $I_C(I_B)$ .

Do badania tranzystorów typu n-p-n można zastosować układ elektroniczny przedstawiony na rysunku 5.



**Rysunek 5.** Układ elektroniczny do badania tranzystora n-p-n.

W celu wyznaczenia zależności  $I_C=f(U_{CE})$ , należy zmieniać napięcie zasilające w zakresie od  $0\text{ V}$  do  $U_b$ , tzn. do wartości takiej, aby nie przekroczyć dopuszczalnej mocy rozpraszanej  $P_{tot}$  (np.  $300\text{ mW}$  dla BC109C oznacza, że przy napięciu  $U_{CE}$  bliskim  $5\text{ V}$  prąd kolektora  $I_C$  powinien być mniejszy niż  $60\text{ mA}$ , zgodnie ze wzorem  $P_{tot}=U_{CE} \cdot I_C$ ). Pomiary te wykonuje się przy ustalonej wartości prądu bazy  $I_B$ , która jest wskazywana przez amperomierz. Regulując opór potencjometrem, można wybrać wartość prądu bazy  $I_B$ . Prąd kolektora wyznaczamy ze wzoru  $I_C=1000 \cdot U_2/k$  [mA], a napięcie kolektor-emiter  $U_{CE}$  określa wzór  $U_{CE}=U_1-U_2/k$ . Typowe wyniki pomiarowe i charakterystykę  $I_C=f(U_{CE})$  przedstawia rysunek 6. Znajomość zależności  $I_C=f(U_{CE})$  pozwala określić oporność wyjściową  $r_{wyj}$ . Następnie można wyznaczyć kolejne charakterystyki  $I_C=f(U_{CE})$  dla różnych wartości prądu bazy  $I_B$ .



**Rysunek 6.** Wyniki pomiarowe dla tranzystora BC109C ( $k=50$ ,  $I_B=0.20$  mA) i wyznaczona charakterystyka  $I_c=f(U_{CE})$ .