



## Ćw. 3. Dioda Zenera

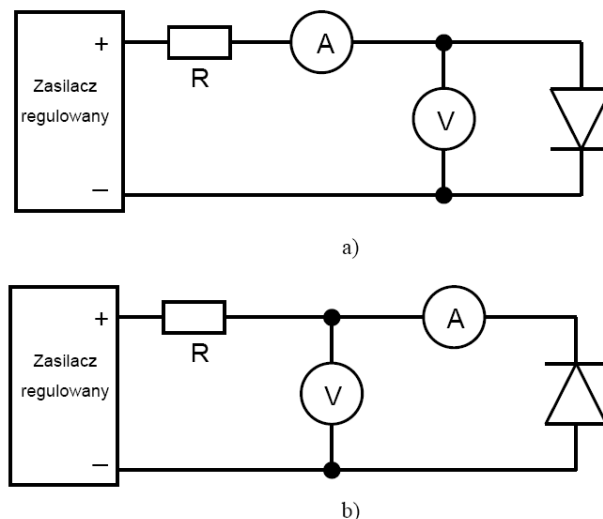
### Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z zasadą działania diody Zenera. Pomiary charakterystyk statycznych diod Zenera. Wyznaczenie charakterystycznych parametrów elektrycznych diod Zenera, np.: napięcia wbudowanego, napięcia Zenera, rezystancji dynamicznej, etc.

### Zasada pomiaru

#### 1. Metoda „punkt po punkcie”

Najprostszą metodą wyznaczania charakterystyk statycznych diod półprzewodnikowych jest metoda „punkt po punkcie”. Metoda ta jest czasochłonna i nie pozwala na wyznaczanie charakterystyk statycznych w dużym zakresie prądów i napięć, ponieważ dioda nagrzewa się i otrzymywane charakterystyki są nie tylko funkcją jej właściwości elektrycznych, ale również temperatury. Pomiar powinien być więc wykonany możliwie szybko i przy wartościach prądów i napięć znacznie niższych od dopuszczalnych. Zaletą metody jest stosunkowo duża dokładność. Podstawowe układy do wyznaczania charakterystyk statycznych diod metodą „punkt po punkcie” przedstawiono na Rys. 1.



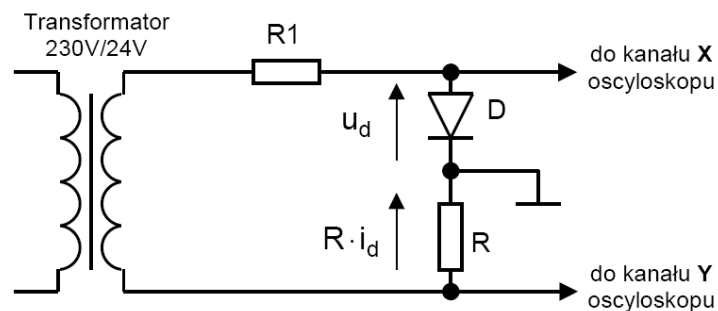
Rysunek 1. Schematy układów pomiarowych do wyznaczania charakterystyk statycznych złącza p-n metodą „punkt po punkcie”: a) w zakresie małych oporności diody, b) w zakresie dużych oporności diody.

Dla diod Zenera należy zastosować układ do wyznaczania charakterystyk statycznych dla obydwu kierunków polaryzacji tak jak to przedstawia schemat na Rys. 1a.



## 2. Metoda oscyloskopowa

Zaletą metody oscyloskopowej jest możliwość obserwacji charakterystyki prądowo-napięciowej dla obydwu kierunków polaryzacji złącza jednocześnie. Wadą tej metody jest stosunkowo mała dokładność. Na Rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych diod półprzewodnikowych metodą oscyloskopową. Wyznaczając charakterystyki prądowo-napięciowe metodą oscyloskopową diodę zasila się ze źródła napięcia zmiennego o niskiej częstotliwości. W najprostszym przypadku może ono być obniżone, za pomocą transformatora, napięcie sieci (Rys. 2). Spadek napięcia na diodzie **D** jest doprowadzony do wejścia **X** (CH1) oscyloskopu, natomiast spadek napięcia na rezystorze pomiarowym **R** - proporcjonalny do prądu płynącego przez diodę - do wejścia **Y** (CH2). W niektórych oscyloskopach, ze względu na umiejscowienie masy w układzie pomiarowym, można włączyć inwersję kanału **Y**.



Rysunek 2. Schemat układu do pomiaru charakterystyk  $I$ - $V$  diody Zenera metodą oscyloskopową.

Sumaryczną wartość rezystancji **R** i **R1** dobieramy w taki sposób, aby prąd płynący w obwodzie był mniejszy od dopuszczalnego prądu badanej diody, zaś wartość rezystora **R** powinna zapewnić łatwe przeliczenie czułości kanału drugiego (CH2) z napięciowej (V/div) na prądową (I/div). Najczęściej  $R=1\text{k}\Omega$ . Wówczas odczytana wartość napięcia w [V] jest równoważna wartości natężenia prądu wyrażonej w [mA].

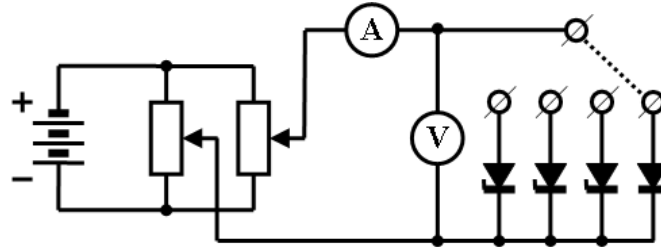
### Zadania do wykonania

#### 1. Metoda „punkt po punkcie”

- Połączyć układ według schematu przedstawionego na Rys. 3 (**gniazdo czerwone połączyć z wybraną diodą**). Jako amperomierz i woltmierz użyć multimetrów BRYMEN BM 811.
- Wykonać pomiary charakterystyk  $I$ - $V$  dla wszystkich diod Zenera (nr 2, 3 i 4), spolaryzowanych zarówno w kierunku przewodzenia jak i zaporowym.



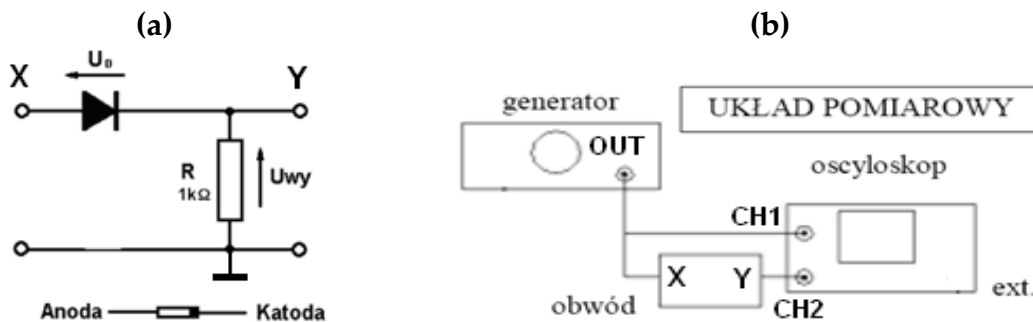
- Porównać otrzymane krzywe  $I-V$  z charakterystyką prądowo-napięciową krzemowej diody prostowniczej, którą umiejscowiono w mackiecie pomiarowej pod nr 1.



Rysunek 3. Schemat układu do pomiarów charakterystyk statycznych diod półprzewodnikowych.

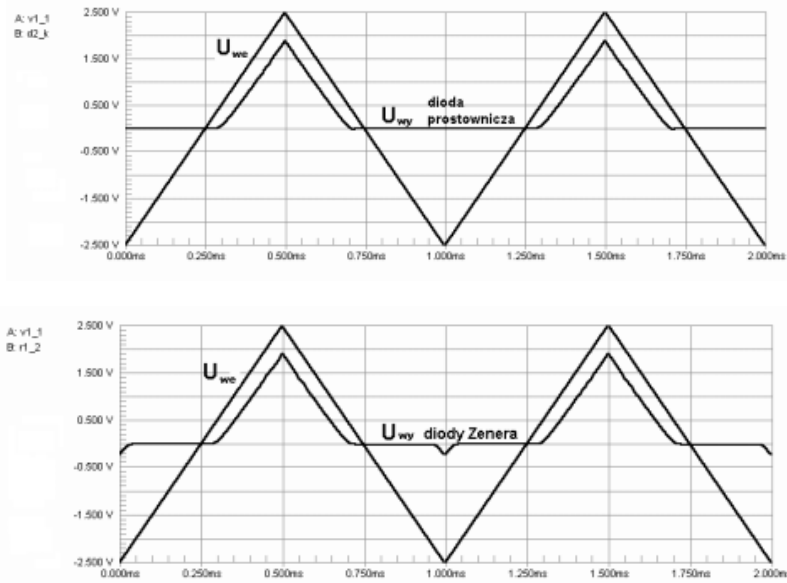
## 2. Metoda oscyloskopowa

Połączyć układ według schematu przedstawionego na Rys. 4b (gniazdo zielone połączyć z wybraną diodą).



Rysunek 4. (a) Mackieta z badanymi diodami; (b) schemat połączeń układu pomiarowego wykorzystującego mackietę z diodami, generator i oscyloskop.

- Zbudować układ pomiarowy według schematu przedstawionego na Rys. 4b. Gniazda BNC znajdujące się na bocznych ściankach mackiety z badanymi diodami, to wejście **X** (prawa strona mackiety) i wyjście **Y** (lewa strona mackiety).
- Na wejście **X** podawany jest z generatora przebieg trójkątny o częstotliwości 1000 Hz i napięciach szczytowych, np.:  $\pm 2.5V$  ( $U_{we}$ ). Należy zaobserwować kształt przebiegu wyjściowego ( $U_{wy}$ ) dla diody Zenera i porównać go z kształtem przebiegu wyjściowego dla diody prostowniczej.
- Na ekranie oscyloskopu powinny być widoczne przebiegi podobne do tych, przedstawionych na Rys. 5. Zarejestrować obserwowane oscylogramy.



Rysunek 5. Przykładowe oscylogramy przebiegów napięć dla diody prostowniczej i diody Zenera.

### Opracowanie wyników pomiarów

1) Wykorzystując wyniki pomiarów narysować charakterystyki I-V zmierzone metodą „punkt po punkcie” dla badanych diod, spolaryzowanych w kierunku przewodzenia i zaporowym. Następnie obliczyć i zaznaczyć na wykresach niepewności pomiaru prądu  $u(I) = \frac{\text{dokładność pomiaru prądu}}{\sqrt{3}}$  i napięcia  $u(U) = \frac{\text{dokładność pomiaru napięcia}}{\sqrt{3}}$ , korzystając z formuł podanych w instrukcjach do multimetrów.

2) Na podstawie wykresów I-V wyznaczyć wysokości potencjału wbudowanego  $V_{bi}$  diody prostowniczej i diod Zenera z przecięcia osi napięcia z przedłużeniem prostej najlepiej dopasowanej do charakterystyki w zakresie dużych napięć:

$$V_{bi} = -\frac{b}{a},$$

gdzie  $a$  i  $b$  – współczynniki regresji w równaniu  $y = ax + b$ . Obliczyć niepewność pomiaru potencjału wbudowanego, korzystając z niepewności wynikających z regresji liniowej  $\Delta a$  i  $\Delta b$ :

$$u(V_{bi}) = \sqrt{\left[\frac{b}{a^2} \Delta a\right]^2 + \left[\frac{1}{a} \Delta b\right]^2}.$$

3) Zaznaczyć na wykresach I-V minimalny prąd wsteczny ( $I_{min}$ ), przy którym efekt stabilizacji napięcia jest widoczny. Oszacować jego wartość oraz obliczyć  $u(I_{min})$  analogicznie jak przy obliczeniach  $u(I)$ .



4) Zaznaczyć na wykresach I-V napięcie progowe ( $U_{ZK}$ ) i napięcie Zenera ( $U_Z$ ) badanej diody. Obliczyć niepewność  $u(U_{ZK})$  oraz  $u(U_Z)$  analogicznie jak przy obliczeniach  $u(U)$ .

5) Wyznaczyć rezystancję statyczną ( $R_S$ ) i dynamiczną ( $R_Z$ ) dla wybranych przez prowadzącego punktów pracy badanej diody, w zakresie od -5 mA do -50 mA, korzystając ze poniższych wzorów (por. z Rys. 6):

$$R_S = \frac{U_Z}{I_Z}$$

Obliczyć niepewność rezystancji statycznej:

$$u(R_S) = \sqrt{\left(\frac{u(U_Z)}{I_Z}\right)^2 + \left(\frac{U_Z \cdot u(I_Z)}{I_Z^2}\right)^2},$$

gdzie:  $u(U_Z)$  i  $u(I_Z)$  liczymy analogicznie do  $u(I)$  i  $u(U)$ .

6) Wyznaczyć rezystancję dynamiczną ( $R_Z$ ) korzystając z równania prostej  $y = ax + b$ , dopasowanej do liniowej części charakterystyki I-V diody spolaryzowanej w kierunku zaporowym:

$$R_Z = \frac{1}{a}.$$

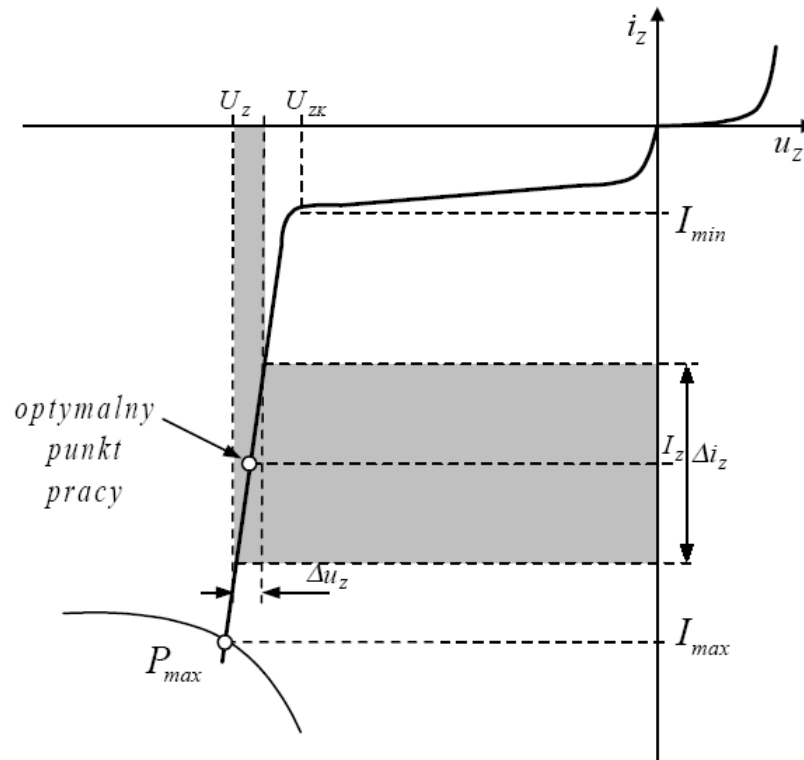
Obliczyć niepewność rezystancji dynamicznej ze wzoru:  $R_Z = \frac{\Delta a}{a^2}$ .

7) Umieścić w sprawozdaniu zarejestrowane oscylogramy zarejestrowane dla wszystkich badanych diod. Zaznaczyć na oscylogramach odpowiednie jednostki dla napięcia i czasu, biorąc pod uwagę czułość napięciową kanału CH2 i stałą czasową generatora podstawy czasu oscyloskopu.

8) Korzystając z oscylogramów przebiegów napięć dla diody Zenera policzyć wartość natężenia prądu płynącego przez diodę  $I_D$  w kierunku przewodzenia i zaporowym oraz spadek napięcia na diodzie  $U_D$ , pamiętając, że:

$$I_D = \frac{U_{wy}}{R}, \quad U_D = U_{we} - U_{wy},$$

gdzie  $R = 1 \text{ k}\Omega$  (por. Rys. 4a).



Rysunek 6. Charakterystyka I-V i zakres użytecznej pracy diody stabilizacyjnej.

## Materiały pomocnicze

1. Opis teoretyczny do ćwiczenia.

Opracowanie: Z. Gumienny, E. Popko, E. Zielony