



Ćwiczenie Nr C11

Temat: Wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowych diod

I. Literatura:

- a) Praca zbiorowa, Fizyka dla szkół wyższych, tom 2, openstax, (<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-1/pages/1-wstep>)
- b) D. Halliday, R. Resnick, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1-2, Wydawnictwo Naukowe PWN 1994
- c) Praca zbiorowa, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej 2007
- d) Horowitz, Hill, „Sztuka elektroniki”, WKŁ, Warszawa 2010
- e) Duda A., „Laboratorium podstaw elektroniki”, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1998
- f) Tumański S.: „Technika pomiarowa”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007

II. Znajomość zagadnień z zakresu:

- Odczytywanie i rysowanie schematów obwodów elektrycznych (symbole używane na schematach),
- Prawa Kirchhoffa, Prawo Ohma,
- **Budowa, rodzaje i zasada działania diod.**

III. Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie charakterystyki oraz podstawowych parametrów trzech, wybranych diod: LED, prostowniczej, Zenera, w kierunku przewodzenia oraz w kierunku zaporowym.

IV. Kolejność wykonywanych czynności:

1. Wybieramy trzy różne diody: LED, prostowniczą oraz Zenera,
2. Wybieramy źródło zasilania $U_z = +3, 6, 9 \text{ V}$ i wybieramy rezystor nastawny,
3. Wyznaczamy ze wzoru odpowiednie wartości rezystancji dla diody LED i prostowniczej w kierunku przewodzenia:

$$R = \frac{U_z - U_D}{I}, I = 20 \text{ mA}$$

Dla diody Zenera ustawiamy wartość oporu $R \approx 10 \text{ k}\Omega$, zakres pomiarów w kierunku przewodzenia do $U < 0,8$, zaś $R \approx 200 \Omega$, w kierunku zaporowym - $0 > U > -5 \text{ V}$,



4. Narysować schemat pomiarowy układu (zawierający zestaw pomiarowy) do wyznaczenia charakterystyki prądowo napięciowej diody,
5. Po zatwierdzeniu przez prowadzącego podłączyć układ,
6. Wykonać pomiary i uzupełnić poniższą tabelę dla układu. Pełną tabelę przygotować na zajęcia (4 tabelę).

L.p.	U (V)	I (mA / A)
1		
2		
3		
4		
...		
14		
15		

Wykonać serię co najmniej 15 pomiarów dla polaryzacji w kierunku przewodzenia (dla wszystkich diod) oraz około 10 dla polaryzacji w kierunku zaporowym (TYLKO dla diody Zenera). Proszę wykonać kilka pomiarów nawet gdy przepływ prądu jest minimalny. Spisujemy nawet najmniejsze wyniki. Wartości te są ważne, aby wyznaczyć prąd wstecznego nasycenia diody (I_s).

7. Rozłączyć układ.
8. Wykonać pomiary dla pozostałych diod.
9. Podpis prowadzącego pod tabelkami roboczą

V. Sprawozdanie

Format A4

- 1) Tabelka informacyjna (wykonana ołówkiem lub wydrukowana)
- 2) Opis teoretyczny zagadnienia
Budowa, rodzaje i zasada działania diod
- 3) Schemat pomiarowy układu, z podstawowymi wielkościami elektrycznymi (wykonany ołówkiem lub wydrukowany),
- 4) Uzupełniona tabela pomiarowa (narysowana ołówkiem lub wydrukowana) dla poszczególnych układów,

POMIARY		OBLICZENIA	
U (V)	I (mA / A)	R_S (Ω)	R_D (Ω)



Tabelkę roboczą z podpisem prowadzącego dołączyć na koniec sprawozdania.

- 5) Wypisać wzory użyte do wyznaczenia pozostałych kolumn R_S i R_D ,

$$R_S = \frac{U}{I},$$
$$R_D = \frac{dU}{dI} = \frac{kT}{I_S q} \cdot e^{-\frac{qU}{kT}},$$

gdzie $q = 1,602 \cdot 10^{-19} C$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$, T – temperatura, I_S – prąd nasycenia złącza. Wykonując charakterystykę prądowo napięciową dopasowujemy funkcję $I(U) = A(e^U)$ do danych eksperymentalnych w programie np. SciDAVis (analiza >> funkcje nieliniowe>>>Built-in function>>>ExpGrowth>>>y=Aexp(x/t)). Z dopasowania otrzymamy wartość A , wartość ta jest zazwyczaj w zakresie od 10^{-9} do 10^{-12} , **wartość $A = I_S$ może posłużyć do wyznaczenia wartości rezystancji dynamicznej otrzymanej charakterystyki prądowo-napięciowej diody.**

- 6) Wykonać charakterystyki prądowo napięciowe dla trzech diod.
- a) Wykresy wykonujemy ołówkiem na papierze milimetrowy, zaznaczając punkty pomiarowe na wyskalowanych i opisanych osiach x, y . Rysujemy krzywą aproksymującą (używamy krzywików lub linijki dla linii prostej). Większość zjawisk fizycznych opisanych jest jedną funkcją różniczkowalną. **NIEDPOPUZCZALNE JEST ŁĄCZENIE PUNKTÓW KRZYWĄ ŁAMANĄ.**
- b) Wykresy można wykonać za pomocą programu komputerowego (np. SciDAVis- darmowy lub w sieci uczelnianej OriginPro). Dopasowanie krzywej aproksymującej wykonujemy wybierając odpowiednią funkcję (taką która odzwierciedla wyniki pomiarowe!).

Wykresy:

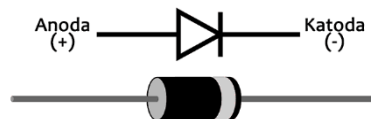
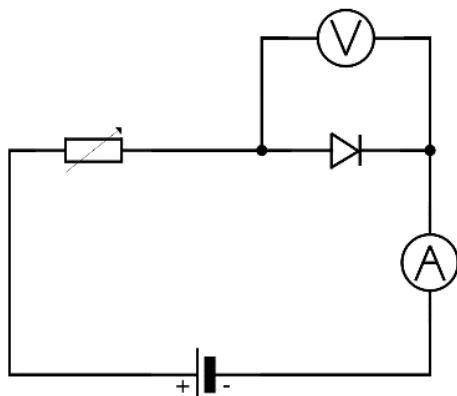
- 7) Na osobnych wykresach przedstawić charakterystykę prądowo-napięciową diody LED, prostowniczej, Zenera wraz z dopasowaniem do równania $I(U)$. Jeżeli są badane dwie diody LED mogą być na jednym wykresie. Charakterystyka diody Zenera w kierunku przewodzenia i zaporowym (w kierunku zaporowym wartości napięcia U są ujemne) powinna być na jednym wykresie.

VI. OPRACOWANIE WZORÓW:

Dobieranie wartości rezystora dla diody:



Jeżeli mamy przygotowany układ do pomiaru charakterystyki diody, np.



Rys. Określenie kierunku przewodzenia
<https://forbot.pl/blog/kurs-elektroniki-diody-krzemowe-oraz-diody-swiece-led-id4251>

Typowo, dla diod LED wartość maksymalnego prądu przewodzenia znajduje się w przedziale 20-30 mA. Większość tradycyjnych diod LED świeci przy prądzie wynoszącym mniej niż 20mA, także dobieramy rezystor dla maksymalnego prądu 20 mA. Napięcia podane na rysunku obok. Dla diody prostowniczej (Si) dobieramy $U \sim 0,7$ V. Są to typowe wartości, jednak powinno się korzystać z kart katalogowych, w których znajdują się m.in. napięcie (U_F) i prąd (I_F) przewodzenia diody. Napięcie przewodzenia diody U_F określa się przy prądzie przewodzenia $I_F = 0,1 \cdot I_{Fmax}$.

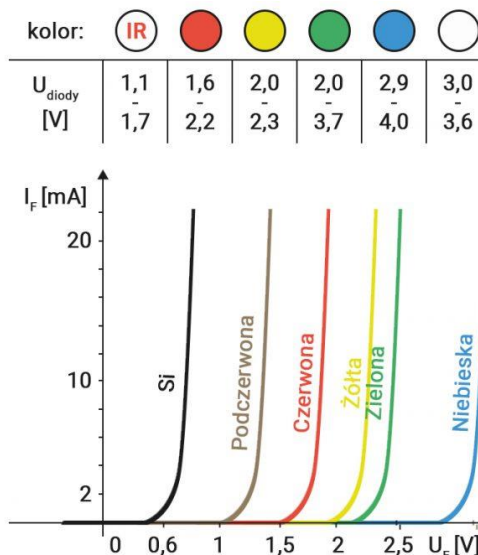
Aby wyznaczyć odpowiedni opór trzeba zastosować podstawowe prawa dotyczące obwodów elektrycznych. II prawo Kirchhoffa mówi, że suma spadków napięć na poszczególnych elementach układu jest równa napięciu zasilania tego układu:

$$U_{zasilania} = U_R + U_D$$

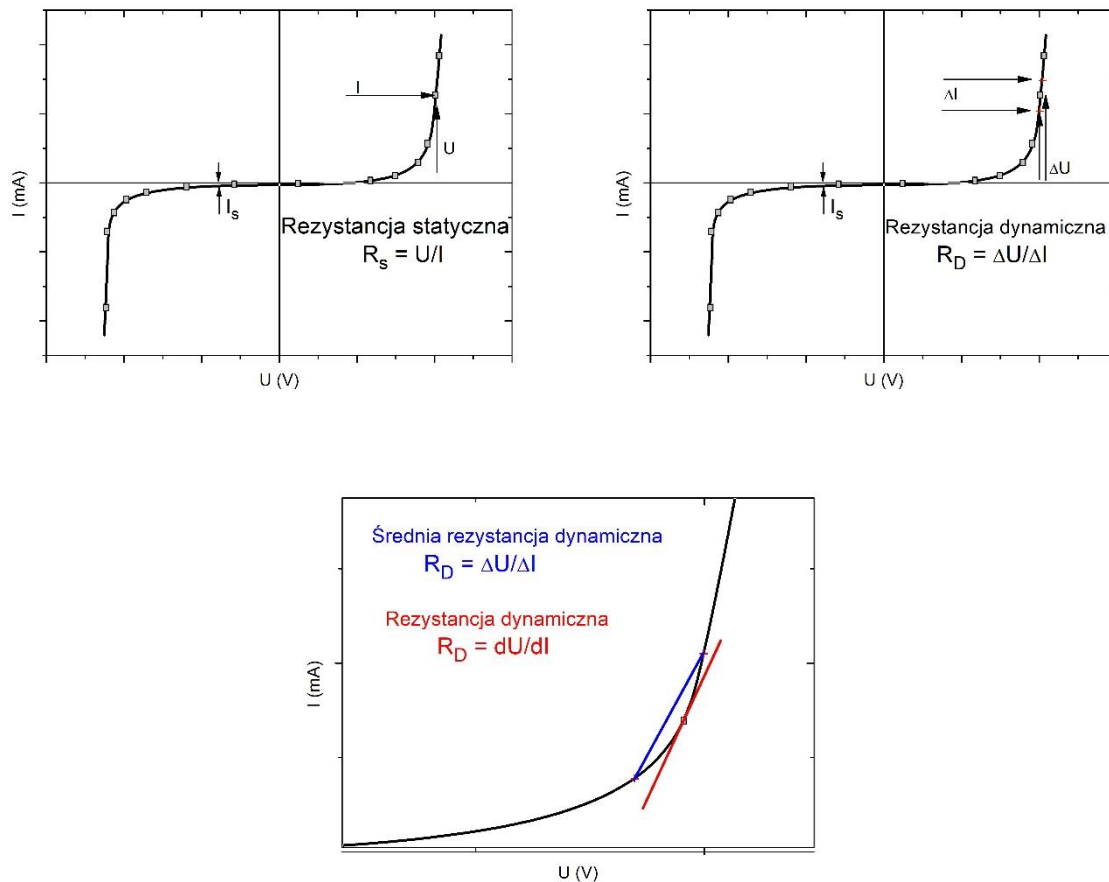
$$U_z = IR + U_D$$

$$R = \frac{U_z - U_D}{I}$$

Wyznaczenie wzorów R_s i R_D :



Rys. Ze strony <https://intelcom.com/baza-wiedzy/dobieranie-rezystora-do-diody/>



Rys. Graficzne przedstawienie wyznaczenia rezystancji statycznej, rezystancji dynamicznej oraz średniej rezystancji dynamicznej.

Aby analitycznie wyznaczyć rezystancję dynamiczną diody korzystamy z modelu Shockley'a:

$$I(U) = I_s \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right),$$

gdzie $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, T – temperatura, I_s – prąd nasycenia złącza. Na początek z równania Shockley'a wyznaczmy przewodność dynamiczną:

$$\frac{dI}{dU} = \frac{I_s q}{kT} \cdot e^{\frac{qU}{kT}},$$

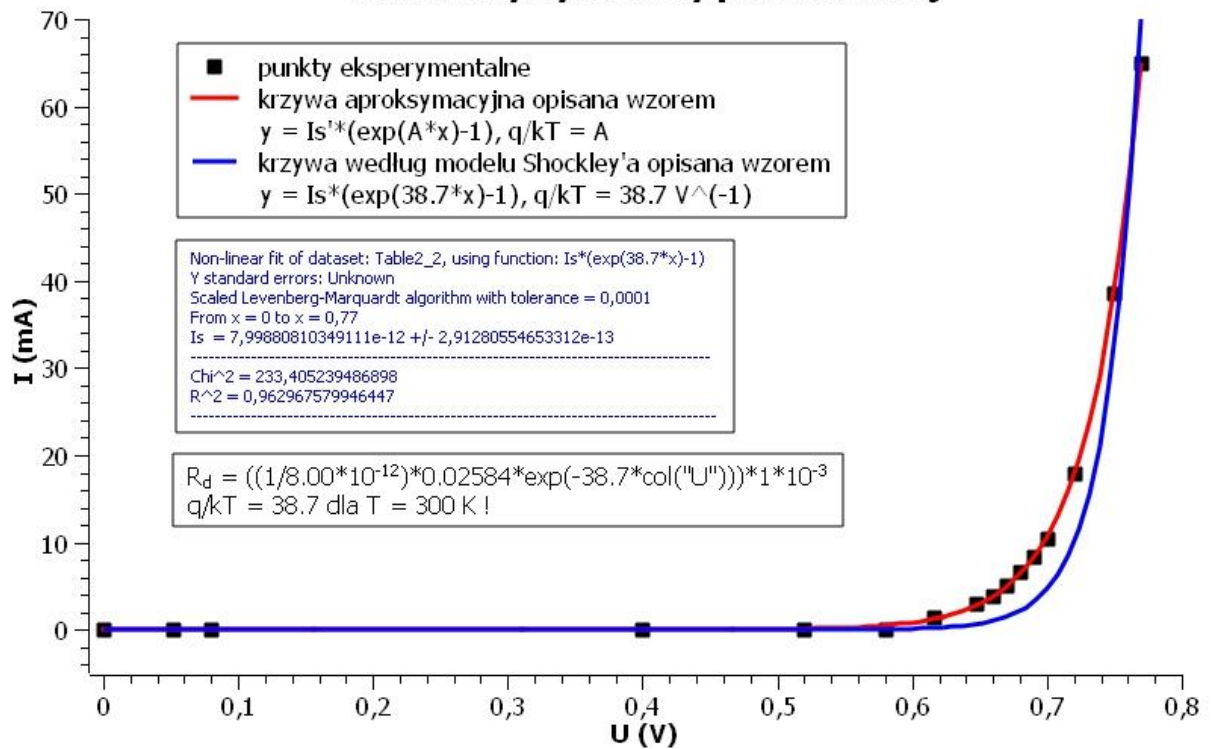
Odwrotność przewodnictwa dynamicznego to rezystancja dynamiczna:

$$R_D = \frac{dU}{dI} = \frac{kT}{I_s q} \cdot \frac{1}{e^{\frac{qU}{kT}}} = \frac{kT}{I_s q} \cdot e^{-\frac{qU}{kT}},$$

gdzie T – temperatura w czasie eksperymentu, I_s – uzyskujemy z dopasowania $I(U)$ do danych eksperymentalnych, $kT/q = 258,4 \cdot 10^{-4} \text{ J/C} = 25,84 \text{ mV}$ ($q/kT = 38,7 \text{ V}^{-1}$) dla $T=300 \text{ K}$ i jest zwany potencjałem elektrokinetycznym.



Charakterystyka diody prostowniczej



$$I(U) = I_s \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$$

Pierwsze opracowanie: Grzegorz Leniec (KFN, WTiCh, ZUT)