



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”
współfinansowany ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU SPOŁECZNEGO
Numer Projektu: POKL.04.01.01-00-59/08

INSTYTUT FIZYKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII PROCESOWEJ, MATERIAŁOWEJ
I FIZYKI STOSOWANEJ
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



LABORATORIUM Z FIZYKI

ĆWICZENIE NR W-7

WYZNACZANIE OPORNOŚCI STATYCZNEJ I DYNAMICZNEJ METALI I PÓLPRZEWODNIKÓW



Politechnika Częstochowska, Centrum Promocji i Zastosowań Nauk Ścisłych
ul. Dąbrowskiego 73 pok. 178, 42-200 Częstochowa
tel./ fax. +343250324, e-mail: imi@imi.pcz.pl, <http://www.cns.pcz.pl>

I. Zagadnienia do przystudiowania

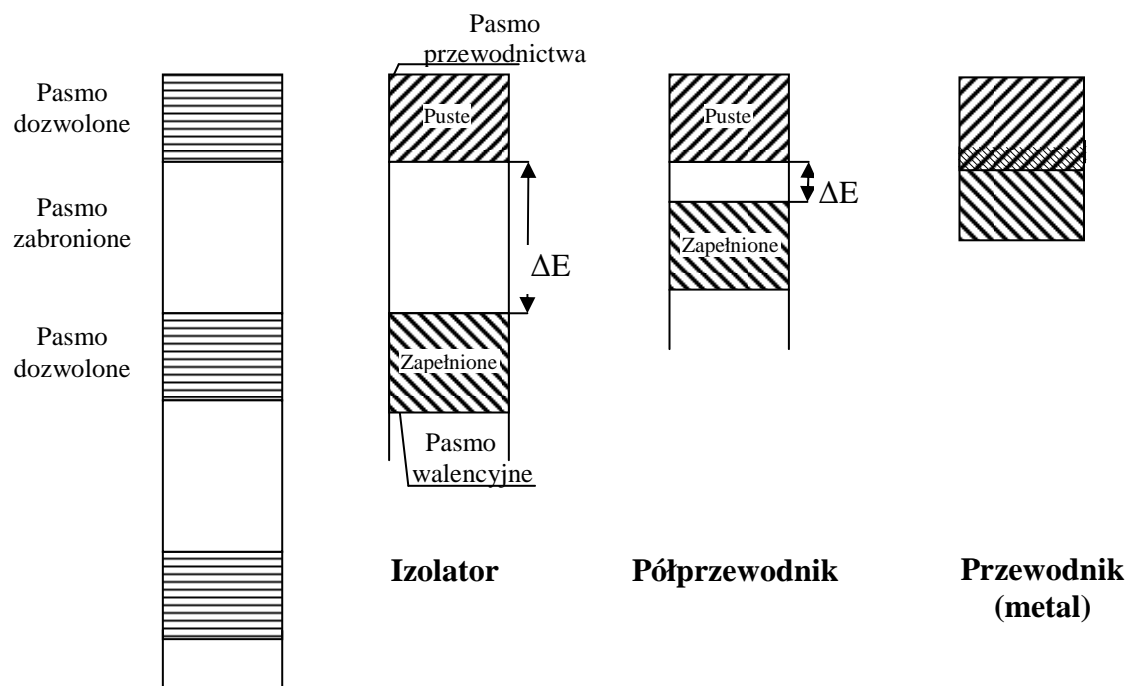
1. Podział substancji na przewodniki, półprzewodniki i izolatory
2. Opór elektryczny dla prostoliniowego odcinka obwodu (prawo Ohma)
3. Charakterystyki prądowo – napięciowe elementów liniowych i nieliniowych
4. Opór statyczny i dynamiczny

II. Wprowadzenie teoretyczne

1. Ze względu na właściwości elektryczne ciała stałe możemy podzielić na przewodniki, półprzewodniki i izolatory, zwane inaczej dielektrykami. Istotnym czynnikiem, który odróżnia poszczególne grupy ciał jest ich struktura elektronowa.

Zgodnie z kwantowym modelem budowy atomu, stany elektronów w atomie nie są dowolne lecz ściśle określone, przez tzw. kwantowe reguły wyboru. Elektrony mogą przyjmować tylko pewne wartości energii, mówi się, że poziomy energetyczne elektronów są dyskretne.

W ciałach stałych, dyskretne poziomy energetyczne elektronów ulegają „rozmyciu” na pasma energetyczne, na skutek oddziaływania z jonami i elektronami innych atomów tworzących dane ciało. W obrębie takiego pasma elektrony mogą przyjmować praktycznie dowolne wartości energii, pod warunkiem spełnienia zasady Pauliego. Takich pasm energetycznych może być wiele i są one oddzielone od siebie pasmami wzbronionymi, które inaczej nazywa się przerwami energetycznymi. Są to wartości energii, których elektrony przyjąć nie mogą. Pasma energetyczne elektronów w ciele stałym można przedstawić tak jak na Rys. 1.



Rys. 1. Pasmowa budowa ciał stałych

Szerokość pasma wzbronionego (wielkość przerwy energetycznej pozwala podzielić substancje na:

- **Izolatory** mające wypełnione pasmo walencyjne i puste pasmo przewodnictwa, rozdzielone szeroką przerwą energetyczną ($>4\text{eV}$, np. dla diamentu szerokość pasma wzbronionego wynosi 6 eV).
- **Półprzewodniki**, które mają strukturę pasmową taką jak izolatory, ale węższą przerwę energetyczną (rzędu 1 eV , a poniżej 2 eV , np. dla krzemu szerokość pasma wzbronionego wynosi $1,1\text{ eV}$, a dla germanu $0,7\text{ eV}$).
- **Przewodniki**, w których pasmo przewodnictwa nie jest całkowicie wypełnione, a przerwa energetyczna jest niewielka.

Należy jeszcze wspomnieć o **półmetalach**, w których najwyższy obsadzony poziom jest „prawie wypełniony” i styka się z „prawie pustym” pasmem o wyższej energii (np. arsen, bizmut, antymon).

2. Prąd elektryczny jest to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych (elektronów i dziur w ciałach stałych oraz jonów w cieczach) pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego.

Oporność (opór, rezystancja), R , jest cechą substancji, charakteryzującą straty energii zachodzące podczas przepływu prądu. Straty te są wynikiem zderzeń elektronów swobodnych z jonami sieci krystalicznej lub defektami tej sieci.

Zgodnie z prawem Ohma dla prostoliniowego odcinka obwodu, przez który przepływa prąd stały o natężeniu I , oporność elektryczna, R , jest równa stosunkowi napięcia, U , powstającego na elemencie obwodu do natężenia prądu, I , przepływającego przez ten element. Można ją zapisać wzorem:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

z którego wynika jednostka oporności elektrycznej - Om: $\left[1\Omega = \frac{1V}{1A} \right]$.

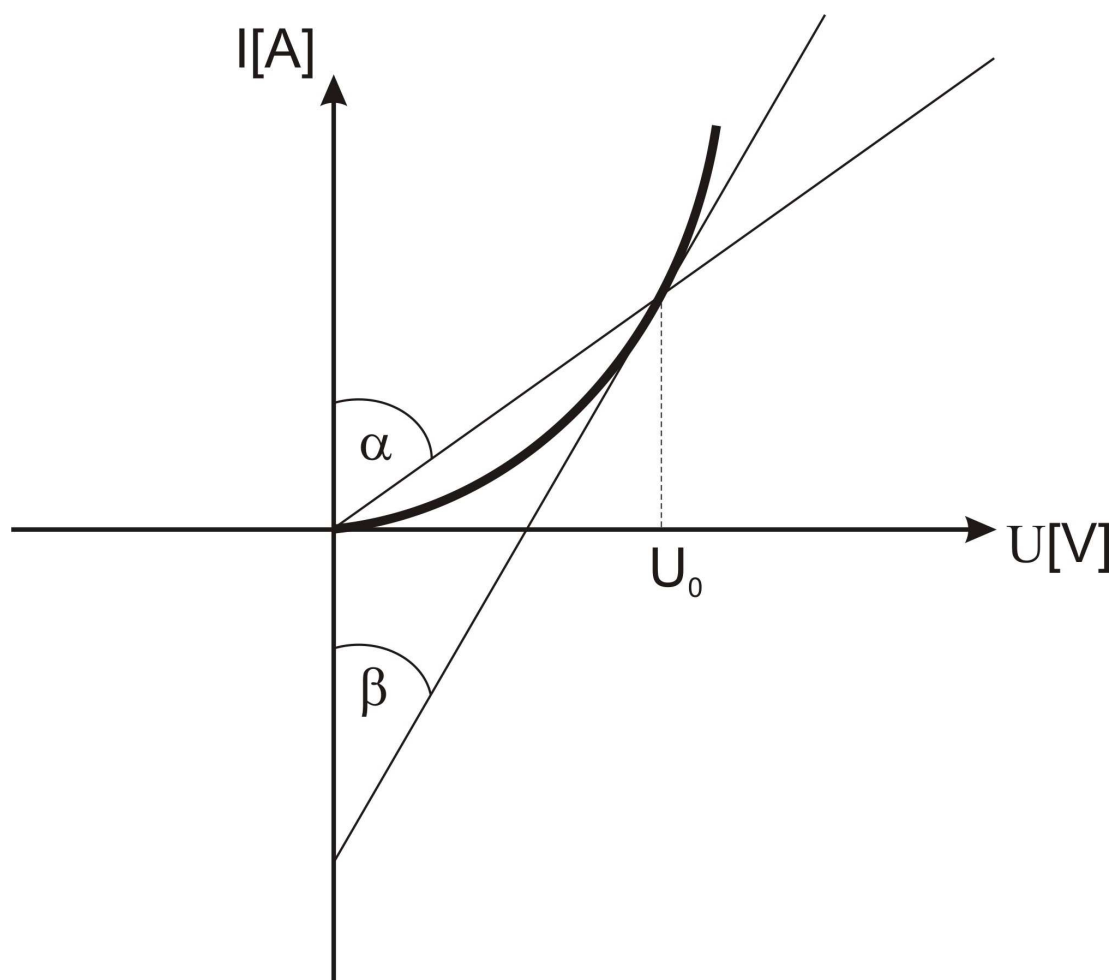
3. Oporność jest podstawowym parametrem elementów elektronicznych zwanych opornikami lub rezystorami. W przypadku, gdy spadek napięcia na oporniku jest wprost proporcjonalny do natężenia prądu płynącego przez opornik ($U=RI$), czyli charakterystyka prądowo-napięciowa jest linią prostą, opornik zalicza się do tzw. liniowych elementów obwodu. Dla elementów nieliniowych charakterystyki prądowo – napięciowe nie są liniami prostymi. W obwodach elektrycznych oporniki służą do ograniczania prądu przez nie płynącego, a na schematach oznacza się je za pomocą prostokąta.

Warystor jest elementem półprzewodnikowym o nieliniowej charakterystyce prądowo – napięciowej. W urządzeniach elektronicznych pracuje zazwyczaj jako ochronnik przepięciowy (w telewizorach), w liniach telefonicznych do zabezpieczania telefonów, modemów i innych urządzeń podłączonych do

linii telefonicznej. Warystory stosowane są również do ochrony linii wysokiego napięcia lub jako odgromniki.

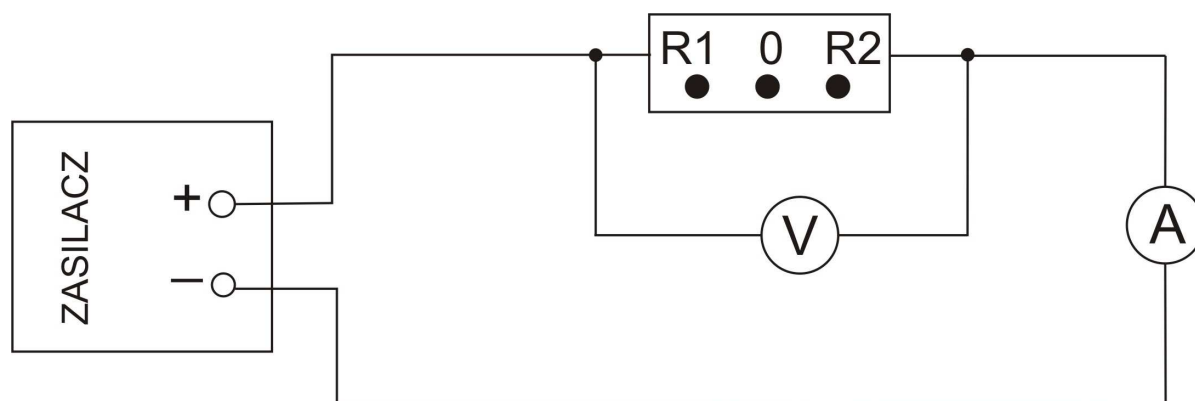
4. Stosunek U/I w określonym punkcie charakterystyki prądowo – napięciowej $I = f(U)$ określa tzw. rezystancję statyczną, natomiast stosunek małego przyrostu napięcia do odpowiadającego mu przyrostu natężenia prądu $\Delta U/\Delta I$ określa rezystancję dynamiczną elementu obwodu. Rezystancja statyczna elementów liniowych jest równa ich rezystancji dynamicznej. W przypadku elementów nieliniowych rezystancja statyczna ma inną wartość niż rezystancja dynamiczna.

Rezystancję statyczną można wyrazić tangensem kąta (α) nachylenia siecznej charakterystyki przechodzącej przez początek układu współrzędnych i punkt, w którym liczymy oporność statyczną, do osi I. Natomiast oporność dynamiczną wyrażamy tangensem kąta (β) nachylenia stycznej do charakterystyki w punkcie pracy do osi I (Rys. 2).



Rys. 2 Interpretacja graficzna oporności statycznej i dynamicznej

III. Schemat układu pomiarowego



R1 element półprzewodnikowy (warystor)
R2 metal

IV. Przebieg ćwiczenia

1. Połączyć obwód według schematu. W celu wyznaczenia charakterystyki prądowo-napięciowej metalu wykorzystujemy tylko zaciski R2 i 0 (woltomierz włączamy następująco: końcówkę **com** łączymy z zaciskiem 0 a końcówkę V z R2).
2. Wybieramy zakres woltomierza - **20V** dla **napięcia stałego**, zakres amperomierza **prąd stały 200mA**
3. Dla wybranych wartości napięcia, U, odczytujemy wartości natężenia prądu, I i wpisujemy je do tabeli pomiarowej.
4. W celu wyznaczenia charakterystyki prądowo-napięciowej elementu półprzewodnikowego przepinamy przewody z R2 do R1 , 0 pozostawiamy bez zmian.
5. Wybieramy zakres woltomierza - **200V** dla **napięcia stałego**, zakres amperomierza **prąd stały 2mA**
6. Dla wybranych wartości napięcia, U, odczytujemy wartości natężenia prądu, I i wpisujemy je do tabeli pomiarowej.

V. Tabela pomiarowa

UWAGA!!! Dla R2 nie przekraczać napięcia 10V

Metal R2				Półprzewodnik R1			
U [V]	ΔU [V]	I [A]	ΔI [A]	U [V]	ΔU [V]	I [A]	ΔI [A]
0				0			
1				4			
2				8			
3				12			
4				16			
5				20			
6				24			
7				28			
8				32			
9				36			
10				40			
				42			
				44			
				46			

VI. Opracowanie ćwiczenia

1. Na podstawie wyników pomiarów sporządzić, na papierze milimetrowym, na oddzielnych kartkach, charakterystyki prądowo – napięciowe ($I=f(U)$) dla metalu i półprzewodnika.
2. Dla dowolnie wybranego punktu charakterystyki (punkt pracy) (np. dla R2 $U_0=6V$, dla R1 $U_0=30V$) wyznaczyć wartość oporności statycznej (R_s) i dynamicznej (R_d) metalu i półprzewodnika, według wzorów:

$$R_s = \frac{U_0}{I_0}$$

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$$

3. W wybranych punktach pracy (np. dla R2 $U_0=6V$, dla R1 $U_0=30V$) wykreślić styczne i sieczne charakterystyk, znaleźć tangensy kątów jakie styczne i sieczne w tych punktach tworzą z osią I. Porównać je z otrzymanymi wartościami R_s i R_d .

VII. Rachunek błędów

1. Na wykresach zaznaczyć $|\Delta U|$ oraz $|\Delta I|$ obliczone na podstawie danych z tabeli TM
2. Metodą różniczki zupełnej wyznaczyć błąd bezwzględny oporności statycznej ΔR_s i dynamicznej ΔR_d ze wzorów

$$|\Delta R_s| = \left| \frac{\partial R_s}{\partial U_0} \right| |\Delta U_0| + \left| \frac{\partial R_s}{\partial I_0} \right| |\Delta I_0|$$

$$\frac{1}{(I_2 - I_1)^2} [(I_2 - I_1)(\Delta U_2 + \Delta U_1) + (U_2 - U_1)(\Delta I_1 + \Delta I_2)]$$

$$|\Delta R_d| = \left| \frac{\partial R_d}{\partial U_1} \right| |\Delta U_1| + \left| \frac{\partial R_d}{\partial I_1} \right| |\Delta I_1| + \left| \frac{\partial R_d}{\partial U_2} \right| |\Delta U_2| + \left| \frac{\partial R_d}{\partial I_2} \right| |\Delta I_2|$$

po zróżniczkowaniu otrzymujemy:

$$|\Delta R_s| = \frac{1}{I_0} [\Delta U_0 + R_s \Delta I_0]$$

oraz

$$|\Delta R_d| = \left| \frac{1}{(I_2 - I_1)^2} [(I_2 - I_1)(\Delta U_2 + \Delta U_1) + (U_2 - U_1)(\Delta I_1 + \Delta I_2)] \right|$$

3. Oszacować błędy procentowe:

$$\frac{\Delta R_s}{R_s} \cdot 100\% \quad \text{i} \quad \frac{\Delta R_d}{R_d} \cdot 100\%$$

4. Zestawić wyniki i przeprowadzić ich dyskusję.

VIII. Literatura

1. T. Dryński - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki
2. Ch. Kittel – Wstęp do fizyki ciała stałego
3. J. Szatkowski – Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, cz.III, Politechnika Wroclawska
4. A. Lebiezki – Materiałoznawstwo elektryczne, Politechnika Śląska

IX. Dodatek. Parametry mierników cyfrowych

A. Pomiar napięcia stałego

ZAKRES	DOKŁADNOŚĆ
20V	±(0,5% wskazań+1 cyfra)
200V	±(0,5% wskazań+1 cyfra)

B. Pomiar natężenia prądu stałego

ZAKRES	DOKŁADNOŚĆ
2mA	±(0,8% wskazań+1 cyfra)
200mA	±(1,5% wskazań+1 cyfra)

cyfra-tu: jednostka ostatniego miejsca odczytu

Przykładowe obliczenia:

P1. Zmierzono, wykorzystując zakres 200V ,napięcie stałe .Odczyt wyniósł $U=20\text{ V}$
 $|\Delta U|=(0,5/100) \cdot 20\text{V} + 1 \cdot 0,1\text{V} = 0,2\text{V}$