

WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA

INNOWACYJNY PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI
W SZKOŁACH PONADGIMNAZJALNYCH

Moduł dydaktyczny: fizyka - informatyka

Prąd stały

Elżbieta Kawecka



Człowiek - najlepsza inwestycja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Tytuł: *Prąd stały*

Autor: *mgr inż. Elżbieta Kawecka*

Redaktor merytoryczny: *dr hab. inż. prof. WWSI Zenon Gniazdowski*

Materiał dydaktyczny opracowany w ramach projektu edukacyjnego
WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.
PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI
Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

www.wlf.wysi.edu.pl

wlf@wysi.edu.pl

Wydawca: Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki
ul. Lewartowskiego 17, 00-169 Warszawa
www.wysi.edu.pl
rektorat@wysi.edu.pl

Projekt graficzny: *Maciej Koczanowicz*

Warszawa 2013

Copyright © Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki 2013
Publikacja nie jest przeznaczona do sprzedaży

Człowiek - najlepsza inwestycja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

MODUŁ 10

PRĄD STAŁY

→ FIZYKA – ZAKRES ROZSZERZONY

OPRACOWANE W RAMACH PROJEKTU:
WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.
PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI
Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

Komentarz metodyczny

Realizacja omawianych zagadnień wymaga powtórzenia podstawowych pojęć i praw prądu stałego, które uczniowie poznali podczas nauki w gimnazjum. Przy realizacji omawianych zagadnień, proponujemy wykonywanie doświadczeń wspomaganych komputerowo z wykorzystaniem czujników napięcia i natężenia prądu (w miarę możliwości) oraz analizę danych pomiarowych z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego.

Wstęp do modułu

Po przypomnieniu podstawowych wielkości opisujących przepływ prądu stałego badamy zależność natężenia prądu od napięcia dla różnych elementów (opornika, żarówki i diody). Pokazujemy, że napięcie na biegunach źródła spada przy czerpaniu z niego prądu. Wynik doświadczenia wyjaśniamy wprowadzając pojęcie siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego źródła prądu stałego i analizując przemiany energii w obwodzie. Wprowadzamy pojęcie oporu właściwego i wyjaśniamy zachowanie metali i półprzewodników pod wpływem ogrzewania.

Temat 1

Ogniwa jako źródła prądu stałego

W XVIII w. zanim skonstruowano pierwsze ogniwa galwaniczne źródłem „płynącej elektryczności” były butelki lejdejskie (rys.1.1). Były to pierwsze kondensatory, elementy wielu układów elektrycznych. Wiesz, że prąd płynący podczas rozładowania kondensatora nie jest prądem stałym, gdyż natężenie prądu zmienia się w czasie.

Źródła prądu stałego to różnego typu ogniwa, baterie i akumulatory (rys. 1.2).

Wartość napięcia podana na obudowie to tak zwana **siła elektromotoryczna źródła**, równa napięciu na jego zaciskach, gdy nie czerpiemy z niego prądu. Źródło prądu posiada też własny opór zwany **oporem wewnętrznym**.

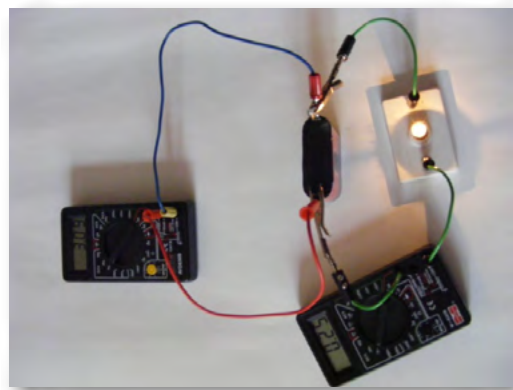
Jeśli zbudujemy prosty obwód elektryczny, złożony z baterijki płaskiej (4,5 V), żaróweczki, amperomierza i woltomierza (rys. 1.3), możemy zmierzyć natężenie prądu płynącego w tym obwodzie i napięcie na zaciskach baterii. Okazuje się, że napięcie mierzone przez woltomierz jest mniejsze od 4,5 V. Zbadamy to dokładniej w dalszej części modułu.



Rys. 1.1. Bateria butelek lejdejskich z 1789 r. - Muzeum w Harlemie k/Amsterdamu



Rys. 1.2. Różne źródła prądu stałego.



Rys.1.3. Obwód prądu stałego złożony z baterijki, żaróweczki, amperomierza i woltomierza.

Ćwiczenie 1

1. Wyszukaj informacje na temat ogniwa Volty i innych ogniów galwanicznych.
2. Zbuduj dwa ogniwa złożone z: a) cytryny, b) ogórka kiszzonego i dwóch blaszek z różnych metali. Zmierz napięcie na zaciskach tych ogniów.

Ćwiczenie 2

Obejrzy symulację (patrz Symulacja 10.1. Obwód bateria – opornik) i spróbuj opisać na czym polega przepływ prądu elektrycznego w obwodzie.

Temat 2

Opór elektryczny przewodnika

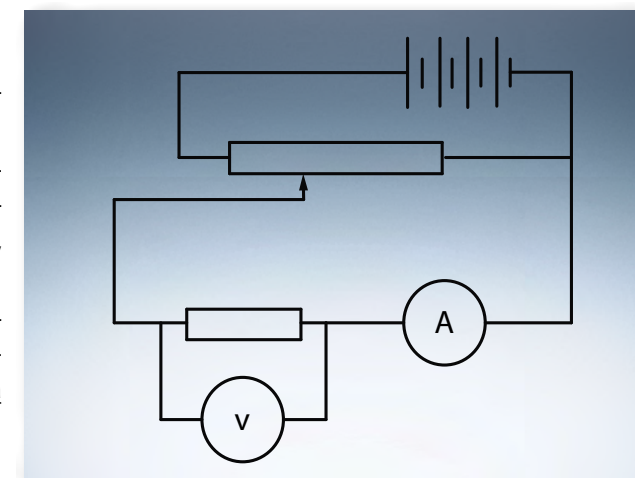
Opór elektryczny przewodnika (R) możemy wyznaczyć doświadczalnie na podstawie prawa Ohma:

$$I = \frac{U}{R}$$

mierząc napięcie U na końcach przewodnika i natężenie I płynącego przez niego prądu (rys. 2.1).

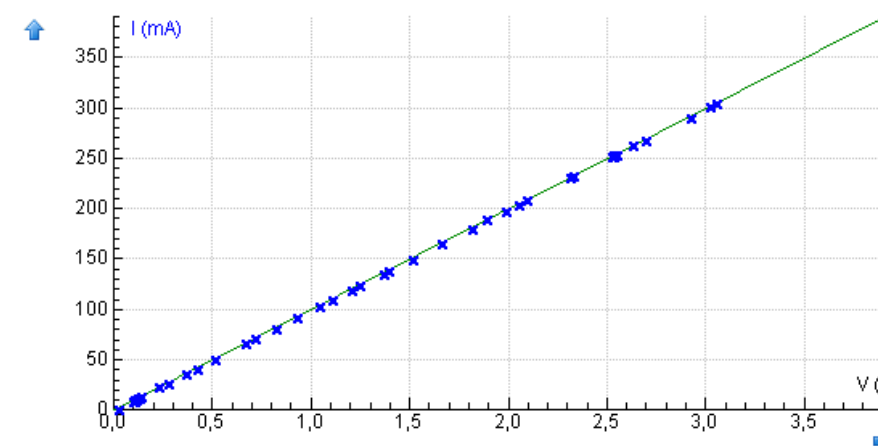
Prawo to poznaliście już w gimnazjum. Sprawdzimy doświadczalnie czy spełniają je różne elementy obwodów elektrycznych takie jak: opornik, żarówka i dioda.

Zależność natężenia płynącego prądu od napięcia na zaciskach danego elementu obwodu nazywamy charakterystyką prądowo-napięciową badanego elementu.



Rys. 2.1. Schemat układu do badania charakterystyki prądowo-napięciowej opornika.

Doświadczenie 10.1. Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej opornika – doświadczenie uczniowskie (patrz doświadczenie 1)



Rys. 2.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa opornika o oporze 10 Ω .

Wyniki pomiarów pokazują, że wykres zależności $I(U)$ dla opornika jest linią prostą (rys. 2.2) – opornik spełnia zatem prawo Ohma.

Opór elektryczny opornika nie zależy od przyłożonego napięcia i natężenia prądu, jest wielkością charakterystyczną danego przewodnika.

Opór elektryczny przewodnika (R) zależy od jego długości (l), pola przekroju poprzecznego (S) i rodzaju materiału:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gdzie ρ oznacza opór właściwy materiału, z którego wykonano przewodnik.

Jednostką oporu właściwego w układzie SI jest $\Omega \cdot m$. Opór właściwy zależy od temperatury, więc przy podawaniu wartości oporu właściwego należy określić temperaturę (tabela 1).

Tabela 1. Opór właściwy wybranych metali w temperaturze 25°C.

Metal	Opór właściwy metalu [$10^{-8} \Omega \cdot m$]
wolfram	5,4
srebro	1,6
miedź	1,7
glin	2,7
żelazo	9,7

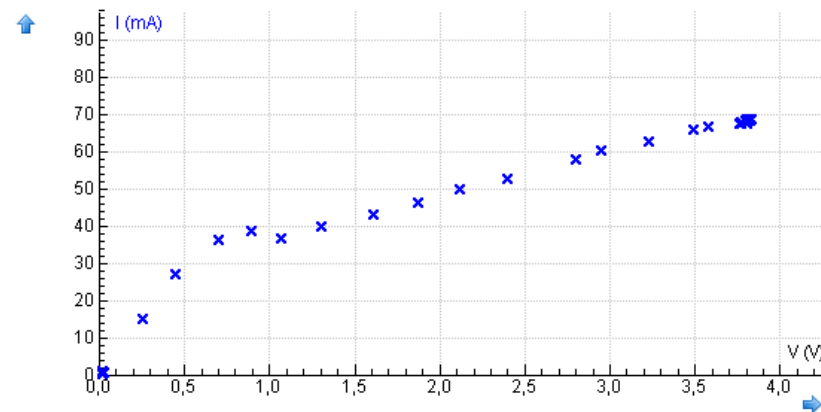
Materiały o mniejszym oporze właściwym są lepszymi przewodnikami prądu elektrycznego. Na podstawie wartości oporu właściwego można podzielić wszystkie materiały ze względu na łatwość przewodzenia prądu elektrycznego na:

- przewodniki (metale) $\rho < 10^{-6} \Omega \cdot m$
- półprzewodniki $10^{-6} \Omega m < \rho < 10^8 \Omega \cdot m$
- izolatory $> 10^8 \Omega \cdot m$

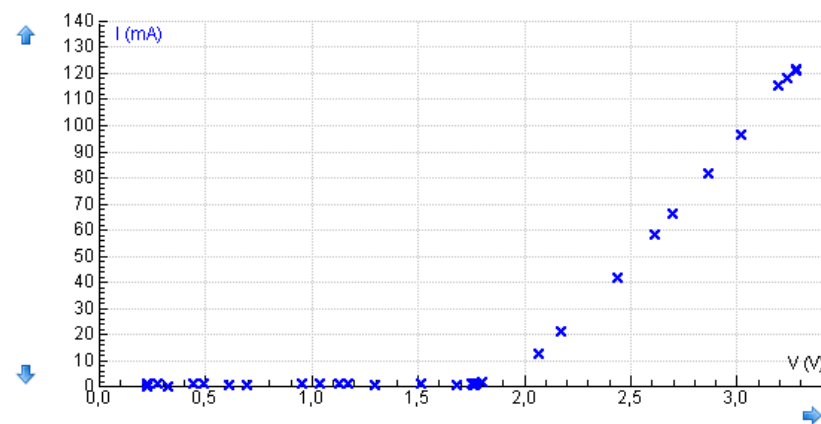
Można zbadać i porównać charakterystyki prądowo- napięciowe oporników z różnych metali oraz innych elementów obwodów elektrycznych.

(Patrz doświadczenie 2. Badanie charakterystyki prądowo-napięciowej diody)

Badając charakterystykę prądowo-napięciową żaróweczki (rys. 2.3) i diody (rys. 2.4) stwierdzimy, że te elementy nie spełniają prawa Ohma. Czy umiesz to wyjaśnić?



Rys. 2.3. Charakterystyka prądowo-napięciowa żaróweczki jest nieliniowa.



Rys. 2.4. Charakterystyka prądowo-napięciowa zielonej diody LED.

Diody przewodzą prąd tylko w jednym kierunku, a w tym przypadku (rys. 2.4) zaczyna przewodzić prąd dopiero, gdy napięcie wzrośnie powyżej 1,8 V.

Temat 3

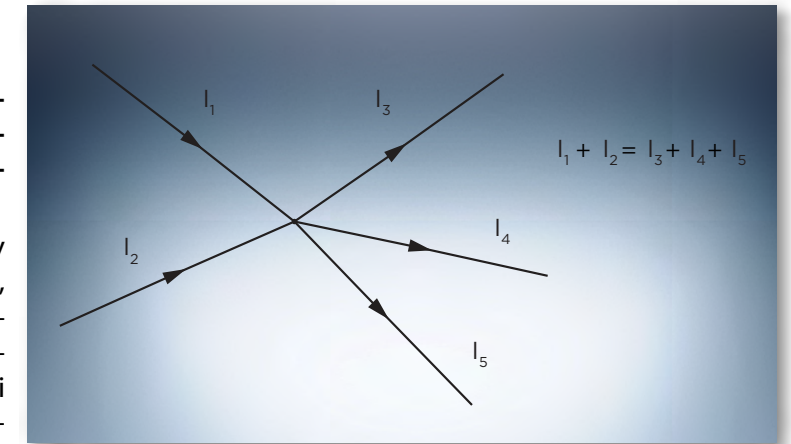
Obwody prądu stałego

W obwodach prądu stałego oporniki i inne elementy obwodu mogą być połączone **szeregowo** lub **równolegle**, mogą występować rozgałęzienia i węzły oraz oczka sieci. Przypomnijmy pierwsze prawo Kirchhoffa i zasady obliczania oporu zastępczego przy szeregowym i równoległym łączeniu oporników.

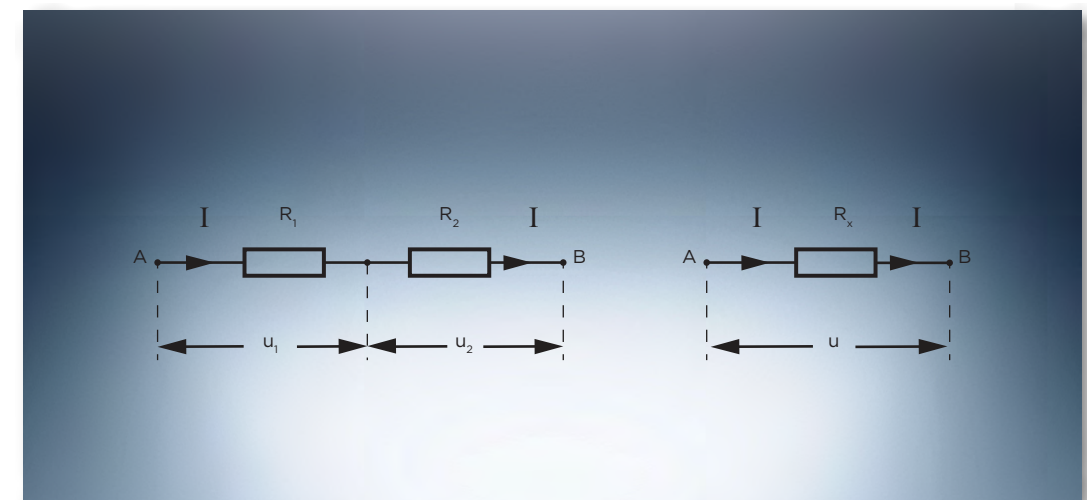
I prawo Kirchhoffa

Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów wypływających z węzła sieci (rys. 3.1).

I prawo Kirchhoffa wynika z zasady zachowania ładunku elektrycznego, gdyż nigdzie w sieci nie może wystąpić gromadzenie się ładunku. Ilość ładunku wpływającego do węzła musi być równa ilości ładunku wypływającego z węzła sieci.



Rys. 3.1. Fragment obwodu z węzłem sieci.



Rys. 3.2. Połączenie szeregowe oporników

Przy połączeniu szeregowym (rys. 3.2) przez każdy z oporników płynie prąd o tym samym natężeniu, a napięcie na układzie oporników (i na oporze zastępczym R_x) spełnia zależność:

$$U = U_1 + U_2$$

Zatem

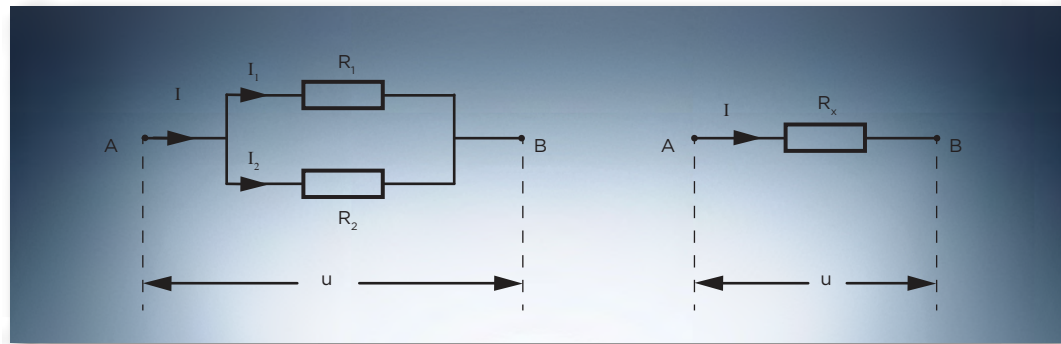
$$IR_x = IR_1 + IR_2$$

Czyli opór zastępczy połączonych szeregowo oporników:

$$R_x = R_1 + R_2$$

Dla n oporników połączonych szeregowo:

$$R_x = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



Rys. 3.3. Połączenie równoległe oporników

Przy połączeniu równoległym (rys. 3.3) natężenia prądów się sumują (zgodnie z prawem Kirchhoffa), a napięcie na każdym z oporników jest takie same.

Zatem:

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{U}{R_x} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

Przy połączeniu równoległym odwrotność oporu zastępczego jest równa sumie odwrotności oporów poszczególnych oporników:

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Dla n oporników połączonych równolegle

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Przykład 1.

Obliczmy opór zastępczy układu oporników z rysunku 3.4.

Oznaczmy przez R_4 opór zastępczy czterech oporników połączonych równolegle.

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{4}{R}$$

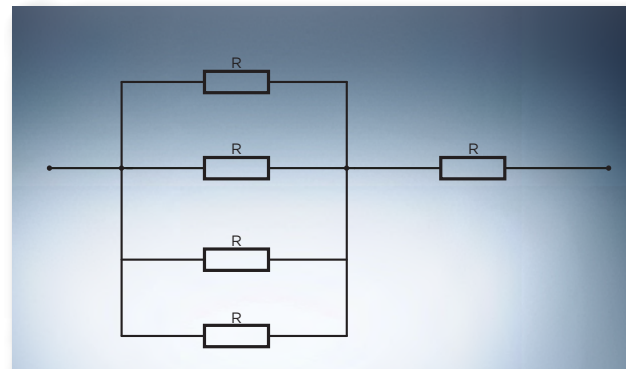
czyli

$$R_4 = \frac{R}{4} = \frac{100\Omega}{4} = 25\Omega$$

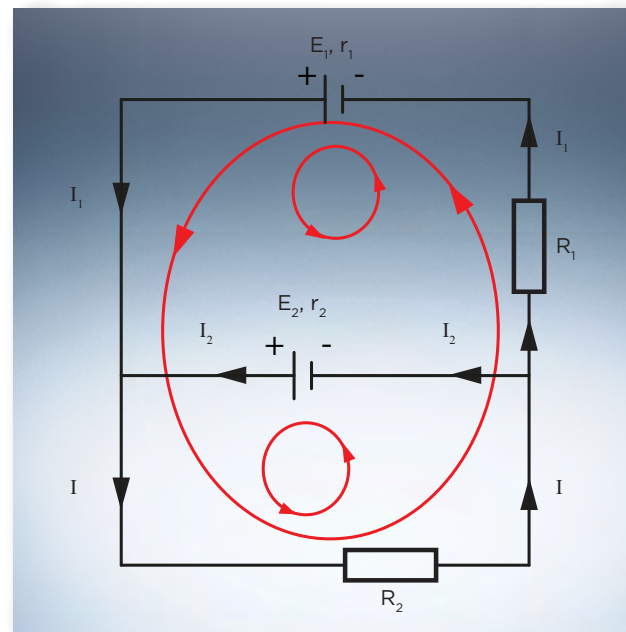
Opór zastępczy całego układu wynosi:

$$R_x = R + \frac{R}{4} = 125\Omega$$

Przy analizie złożonych obwodów, gdy chcemy wyznaczyć natężenia prądów i napięcia na różnych elementach, korzystamy z drugiego prawa Kirchhoffa dla oczka sieci. Aby je sformułować rozważmy przykładowy obwód przedstawiony na rys. 3.5.



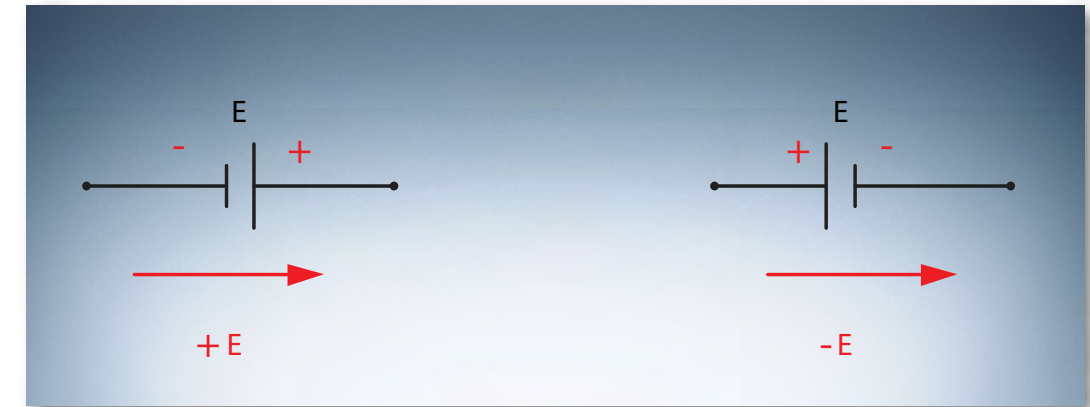
Rysunek 3.4. Układ jednakowych oporników o oporze $R = 100\Omega$ każdy.



Rys. 3.5. Obwód z oczkami sieci.

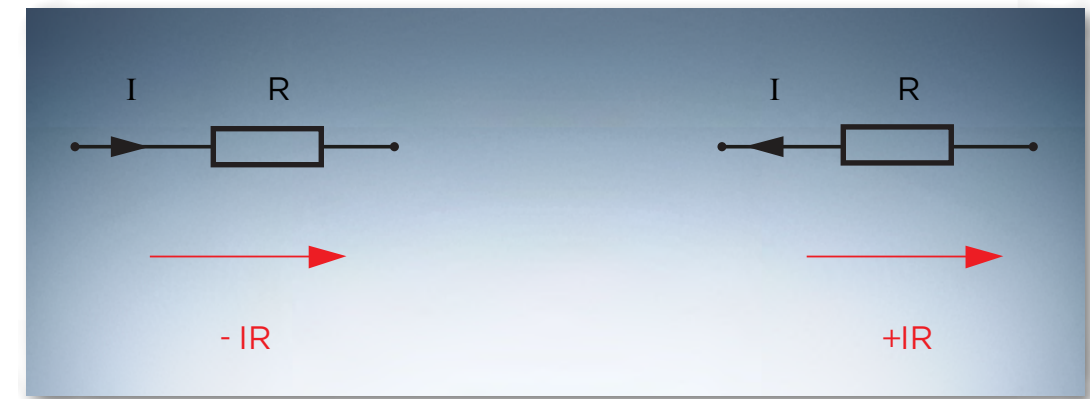
W obwodach występują źródła prądu, charakteryzowane przez siłę elektromotoryczną i opór wewnętrzny, oraz odbiorniki (oporniki). W celu zapisania związków między tymi wielkościami wybieramy kierunek „obiegu obwodu” (rys. 3.5) i dodajemy spadki napięć na kolejnych elementach, przy czym obowiązują następujące zasady:

- Przy „przejściu” przez źródło od bieguna ujemnego do dodatniego wartość napięcia przyjmujemy za dodatnią, przy „przejściu” źródła od bieguna dodatniego do ujemnego wartość napięcia przyjmujemy za ujemną (rys. 3.6);



Rys. 3.6. Zmiana potencjału przy „przejściu” źródła prądu.

- Przy „przejściu” opornika w kierunku zgodnym z kierunkiem prądu wartość napięcia przyjmujemy za ujemną, a przy „przejściu” w kierunku przeciwnym za dodatnią (rys. 3.7).



Rys. 3.7. Zmiana potencjału przy „przejściu” opornika.

II prawo Kirchhoffa

Suma napięć na wszystkich elementach oczka sieci musi być równa zero.

W obwodzie (rys. 3.5) wyróżniamy 3 oczka. Jeśli przyjmiemy kierunek obiegu oczek przeciwny do ruchu wskazówek zegara, to II prawo Kirchhoffa możemy zapisać w postaci trzech równań:

$$\epsilon_1 - I_1 r_1 - \epsilon_2 + I_2 r_2 - I_1 R_1 = 0$$

$$\epsilon_2 - I_2 r_2 - I R_2 = 0$$

$$\epsilon_1 - I_1 r_1 - I R_2 - I_1 R_1 = 0$$

A z I prawa Kirchhoffa:

$$I_1 + I_2 = I$$

Jeśli mamy podane wartości oporów oraz siły elektromotoryczne i opory wewnętrzne źródeł prądu to zapisanie układu równań (I i II prawa Kirchhoffa) pozwala na obliczenie natężeń prądów i napięć na wszystkich elementach obwodu.

Przykład 2.

Zastosujmy II prawo Kirchhoffa do narysowania wykresu zmian potencjału podczas „obiegu” obwodu, którego schemat przedstawia rysunek 3.8.

Z II prawa Kirchhoffa:

$$\epsilon - Ir - IR_1 - IR_2 = 0$$

Natężenie prądu

$$I = \frac{\epsilon}{r + R_1 + R_2} = \frac{4,5V}{45\Omega} = 0,1A$$

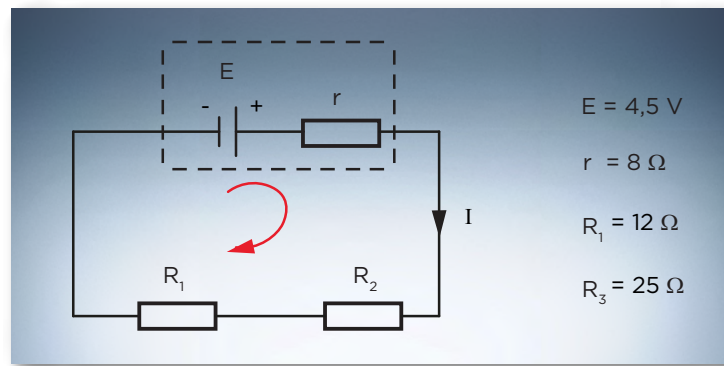
Zatem napięcia na kolejnych opornikach wynoszą:

$$U_r = Ir = 0,8V$$

$$U_1 = IR_1 = 1,2V$$

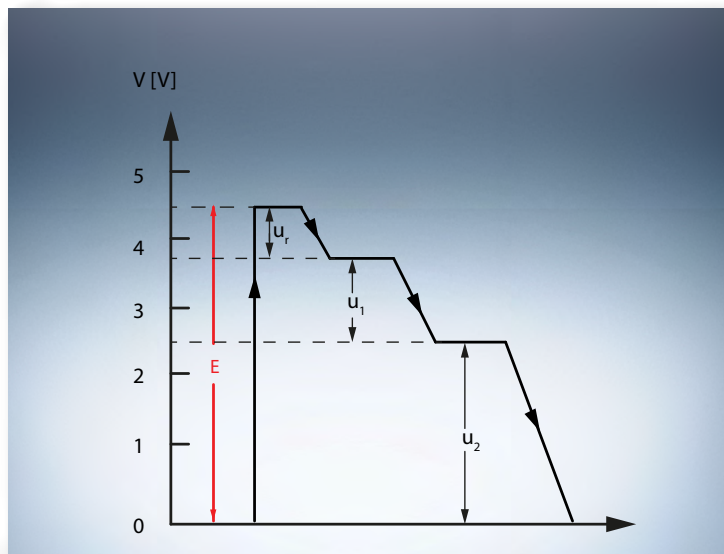
$$U_2 = IR_2 = 2,5V$$

Zbuduj podobny obwód jak na rys. 3.8 – uruchom symulację (Patrz symulacja 2. Napięcie na biegunach źródła w zamkniętym obwodzie)



$E = 4,5 V$
 $r = 8 \Omega$
 $R_1 = 12 \Omega$
 $R_2 = 25 \Omega$

Rys. 3.8. Schemat obwodu z zaznaczonym oporem wewnętrznym źródła prądu.



Rys. 3.9. Ilustracja graficzna zmian potencjału przy „obiegu” obwodu z rys. 3.8.

Temat 4

Przemiany energii podczas przepływu prądu elektrycznego

Energia elektryczna wytworzona w źródle prądu może być wykorzystana do wykonania pracy (na przykład silnik prądu stałego) lub zamieniona na energię cieplną, wydzielaną na opornikach. Tak działa wiele domowych urządzeń elektrycznych, na przykład: czajnik, grzałka elektryczna czy różnego rodzaju spirale grzejne. Na etykietach tych urządzeń podana jest ich moc znamionowa, czyli moc urządzenia przy podanym napięciu pracy.

Pracę W , wykonaną w czasie t przez prąd elektryczny o natężeniu I , przepływający przez odbiornik, na którym panuje napięcie U , możemy obliczyć z zależności:

$$W = UIt$$

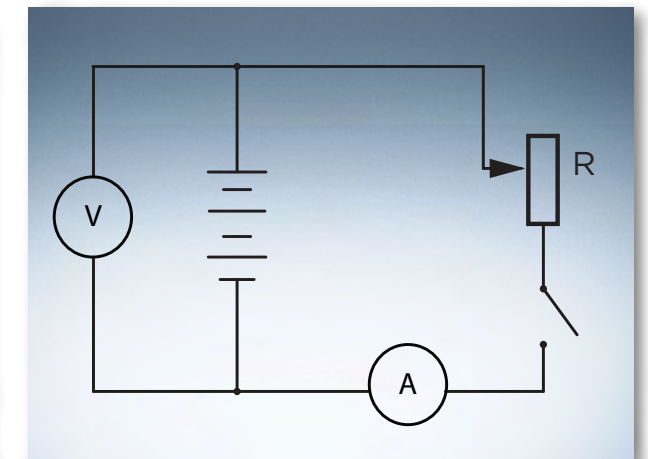
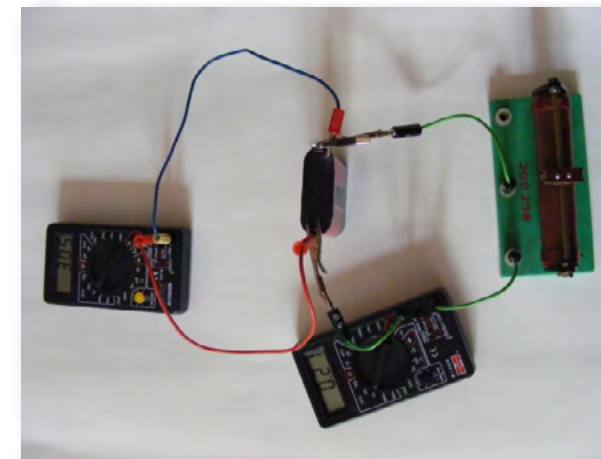
Moc prądu

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

Ilość energii cieplnej Q , wydzielanej podczas przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik, jest równa pracy wykonanej przez prąd elektryczny. Dla przewodników spełniających prawo Ohma jest ona proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu, oporu elektrycznego przewodnika i czasu przepływu prądu. Prawo to jest nazywane **prawem Joule’a-Lenza** i można je zapisać w postaci:

$$W = Q = I^2Rt$$

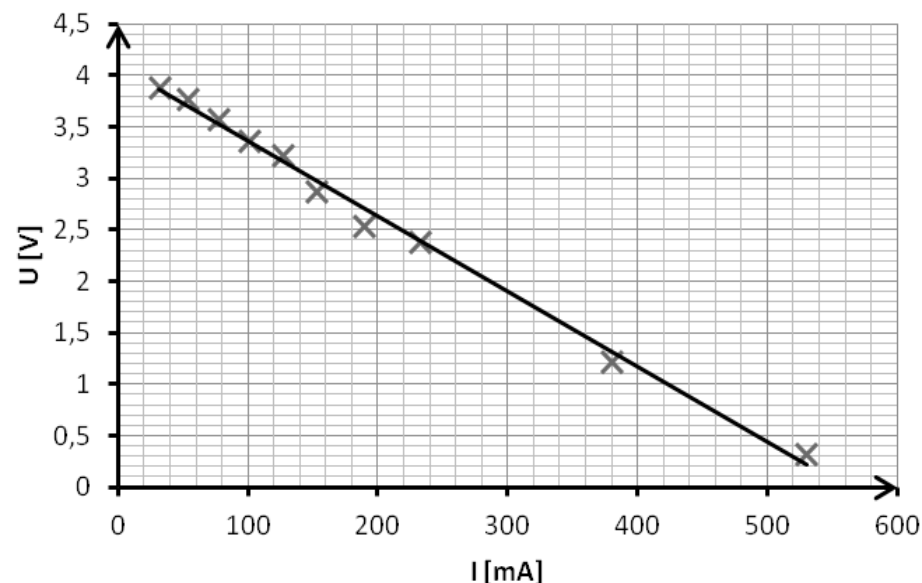
gdzie I – natężenie prądu, R – opór elektryczny przewodnika, t – czas przepływu prądu.



Rys. 4.1. Zdjęcie i schemat obwodu do badania zmian napięcia na zaciskach baterii.

Wróćmy teraz do pytania o zmiany napięcia na zaciskach źródła. Możemy zbadać to doświadczalnie budując obwód (rys. 4.1) złożony z baterijki, opornika suwakowego, woltomierza i amperomierza.

Zmieniając położenie suwaka na oporniku, zmieniamy wartość oporu zewnętrznego R i natężenie prądu płynącego w obwodzie. Obserwujemy zmiany napięcia na biegunach baterijki. Napięcie maleje liniowo w miarę wzrostu natężenia prądu płynącego w obwodzie (rys. 4.2)! Jak to wyjaśnić?



Rys. 4.2. Wykres zależności napięcia na zaciskach baterijki od natężenia prądu.

Wielkością charakteryzującą źródło jest **siła elektromotoryczna** ϵ , zdefiniowana jako stosunek dowolnej formy energii zamienionej na energię elektryczną E_{el} do ładunku q , który w tym czasie przepłynął przez obwód:

$$\epsilon = \frac{E_{el}}{q}$$

Siła elektromotoryczna jest mierzona w woltach, a jej wartość jest równa napięciu na biegunach źródła, gdy nie płynie przez nie prąd.

Każde źródło napięcia ma też własny opór, zwany **oporem wewnętrznym** r .

Energia elektryczna wytworzona przez źródło jest równa pracy wykonywanej przez prąd elektryczny płynący w obwodzie, czyli zgodnie z prawem Joule'a-Lenza:

$$q \epsilon = I^2(R + r)t$$

gdzie R oznacza opór zewnętrzny obwodu.

Dzieląc równanie przez czas t otrzymujemy:

$$\frac{q \epsilon}{t} = I^2(R + r)$$

Ponieważ natężenie prądu

$$I = \frac{q}{t}$$

możemy uprościć równanie dzieląc je przez I . Otrzymamy

$$\epsilon = I(R + r)$$

Czyli natężenie prądu płynącego w obwodzie

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$

Zależność ta jest nazywana **prawem Ohma dla obwodu zamkniętego**. Jest ono konsekwencją zasady zachowania energii.

Wróćmy do wyjaśnienia wykresu $U(I)$ z rys. 4.2.

Napięcie U na biegunach ogniwa jest równe napięciu na oporze zewnętrznym R , czyli:

$$U = IR$$

Zatem

$$\epsilon = U + Ir$$

Napięcie U na biegunach ogniwa jest równe różnicy siły elektromotorycznej źródła prądu i napięcia na oporze wewnętrznym:

$$U = \epsilon - Ir$$

Pokazaliśmy zatem, że wzrost natężenia prądu powoduje spadek napięcia na biegunach źródła. Znalezienie prostej najlepszego dopasowania (rys. 4.2) umożliwia wyznaczenie siły elektromotorycznej (punkt przecięcia prostej z osią napięcia) i oporu wewnętrznego źródła prądu (tangens kąta nachylenia prostej).

Przykład 3.

Zastosujmy poznane prawa, aby obliczyć wskazania mierników w obwodzie, którego schemat przedstawia rys. 4.3, mając dane:

$$\epsilon_1 = 9V, r_1 = 15\Omega$$

$$\epsilon_2 = 3V, r_2 = 5\Omega$$

$$R = 100\Omega$$

Pomijamy opór amperomierza i natężenie prądu płynącego przez woltomierz.

Zapiszmy II prawo Kirchhoffa przyjmując kierunek prądu i kierunek obiegu obwodu zaznaczony na rys. 4.3. Otrzymujemy równanie

$$-\epsilon_1 + Ir_1 + \epsilon_2 + Ir_2 + IR = 0$$

Po przekształceniu

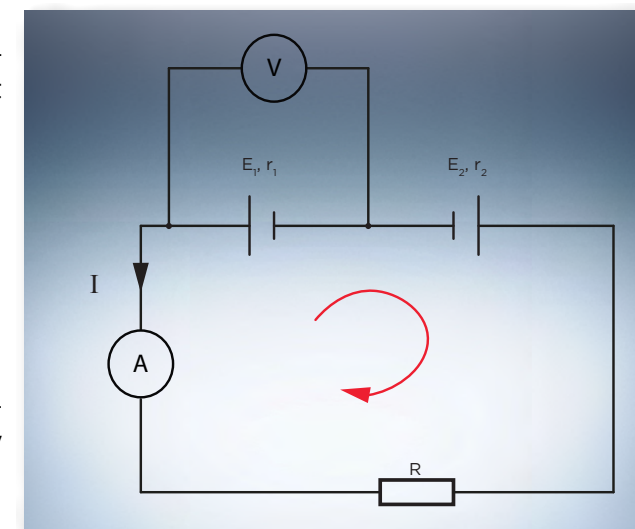
$$I(R + r_1 + r_2) = \epsilon_1 - \epsilon_2$$

Natężenie prądu wskazywane przez amperomierz wynosi

$$I = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{6V}{120\Omega} = 0,05A$$

Woltomierz wskazuje napięcie

$$U = \epsilon_1 - Ir_1 = 9V - 0,05A \cdot 15\Omega = 8,25V$$



Rys. 4.3. Schemat obwodu

Przykład 4

Baterię o sile elektromotorycznej $E = 4,5V$ i oporze wewnętrznym $r = 8\Omega$ połączono z opornikiem o zmiennym oporze R (rys. 4.4). Jak zależy moc użyteczna od wartości oporu zewnętrznego R ? Dla jakiej wartości oporu R moc użyteczna jest maksymalna?

Moc użyteczna to moc wydzielana na oporze R , czyli:

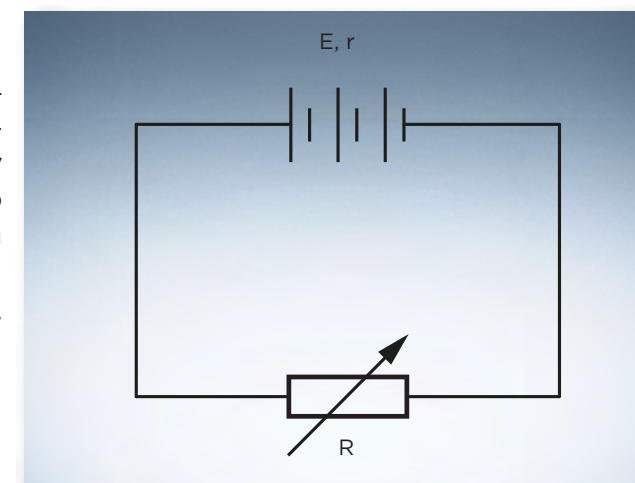
$$P = I^2R$$

Natężenie prądu

$$I = \frac{E}{R + r}$$

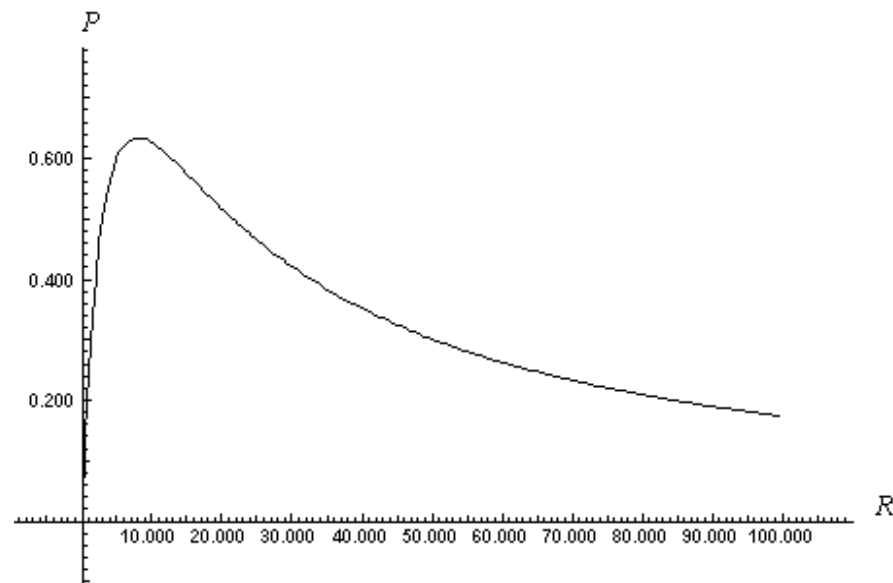
Zatem

$$P = \frac{E^2 R}{(R + r)^2}$$



Rys. 4.4. Schemat obwodu

Wstawiając wartości liczbowe możemy sporządzić wykres zależności mocy P od wartości oporu R (rys. 4.5). Moc użyteczna jest największa, gdy opór R jest równy oporowi wewnętrznemu baterii, czyli $R = r = 8 \Omega$.



Rys. 4.5. Wykres mocy wydzielanej na oporze R dla baterii o sile elektromotorycznej 4,5, V i oporze wewnętrznym 8 Ω (program Modellus).

Temat 5

Wpływ temperatury na opór elektryczny

W obwodach elektrycznych stosuje się elementy metalowe i półprzewodnikowe, które mają różne właściwości. W szczególności różnią się one zależnością oporu od temperatury.

Tabela 2 przedstawia wartości oporu właściwego wybranych metali w różnych temperaturach. Dane z tabeli 2 i sporządzone wykresy (rys. 5.1) pokazują, że **opór elektryczny metali rośnie ze wzrostem temperatury**.

Zależność oporu większości metali od temperatury można opisać równaniem:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

gdzie:

R(t) – opór w temperaturze t°C,

R₀ – opór w temperaturze 0°C,

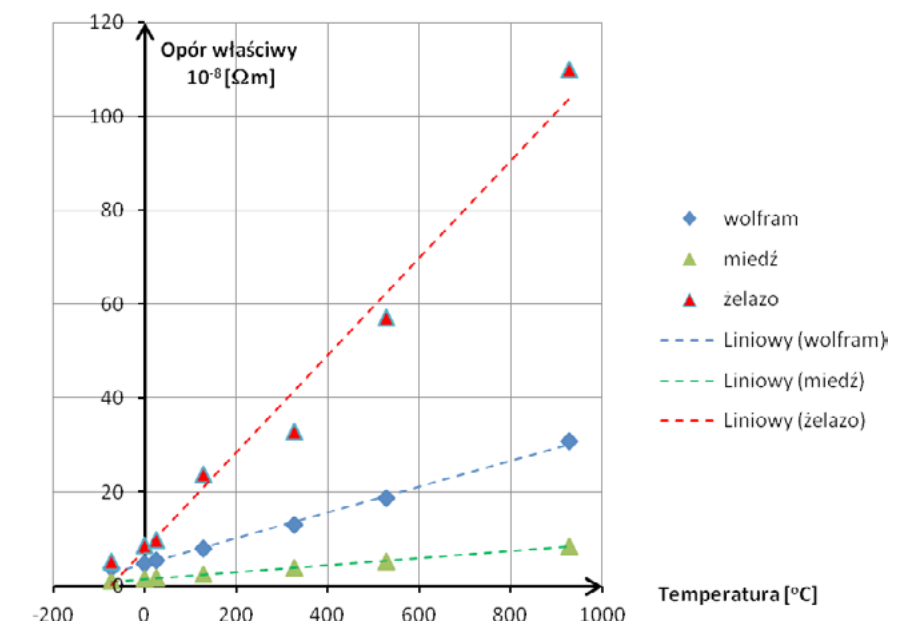
α – temperaturowy współczynnik oporu (w 1/K), wyznaczany doświadczalnie,

ΔT – przyrost temperatury (w K).

Tabela 2. Opór właściwy wybranych metali w różnych temperaturach

(Tablice fizyczno-astronomiczne, Wydawnictwo Adamantan, W-wa 1995, na czerwono zaznaczono metale w stanie stopionym)

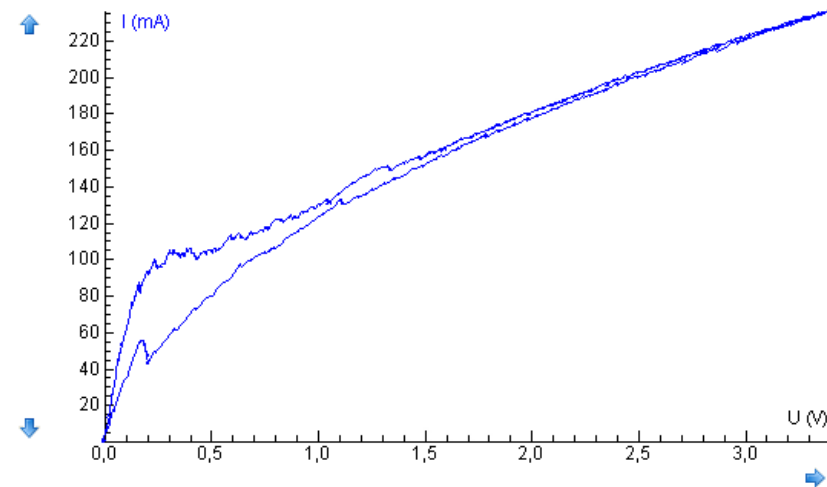
T [°C]	Opór właściwy metalu (10 ⁻⁸ Ωm)				
	wolfram	srebro	miedź	glin	żelazo
-73	3,8	1,0	1,0	1,6	5,2
0	4,8	1,5	1,5	2,4	8,6
25	5,4	1,6	1,7	2,7	9,7
127	7,9	2,2	2,4	3,9	23,7
327	13,1	3,5	3,8	6,1	32,9
527	18,8	4,9	5,3	8,7	57,1
927	30,9	21,0	8,5	28,0	110,0



Rys. 5.1 Zależność oporu właściwego metali od temperatury.

Wzrost oporu elektrycznego metali przy wzroście temperatury można wyjaśnić w oparciu o budowę wewnętrzną i mechanizm przewodnictwa elektrycznego. Metale są ciałami polikrystalicznymi. Dodatnie jony drgają w węzłach sieci krystalicznej, a elektrony walencyjne tworzą tak zwany „gaz elektronowy” i poruszają się chaotycznie zderzając się ze sobą i z jonami dodatnimi. Przepływ prądu elektrycznego w metalach polega na uporządkowanym ruchu elektronów. Wzrost temperatury metali powoduje wzrost intensywności drgań jonów dodatnich w węzłach sieci krystalicznej i częstsze zderzenia elektronów z jonami i między sobą. Przepływ elektronów jest utrudniony, zatem opór elektryczny rośnie.

Wzrost temperatury włókna świecącej żarówki powoduje, że rośnie jej opór elektryczny, czyli natężenie prądu rośnie wolniej ze wzrostem napięcia niż na początku, gdy temperatura włókna była niższa. Tak możemy wyjaśnić nieliniowość charakterystyki prądowo-napięciowej żaróweczki (rys. 2.3). Co więcej, jeśli najpierw zwiększamy, a potem powoli zmniejszamy napięcie na żaróweczce, to nie wracamy po tej samej krzywej (rys. 5.2).

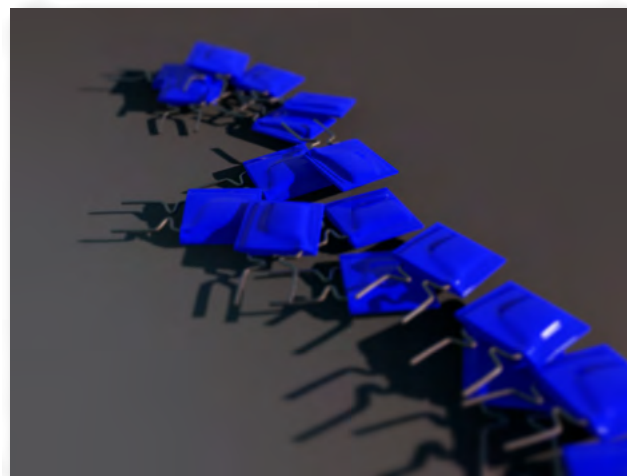


Rys. 5.2. Przebieg charakterystyki prądowo-napięciowej żarówki. Górna część wykresu powstała przy zwiększaniu, a dolna przy zmniejszaniu napięcia na żarówce.

Inaczej zachowują się **półprzewodniki**, w których nośnikami prądu są elektrony swobodne i „dziury”. Liczba elektronów swobodnych, odpowiedzialnych za przepływ prądu w metalach, nie zmienia się ze zmianą temperatury. **W półprzewodnikach ze wzrostem temperatury liczba nośników prądu wzrasta.** Wzrost temperatury powoduje też, podobnie jak u metali, wzrost intensywności drgań jonów, ale ma to mniejszy wpływ na przewodnictwo. Wzrost liczby nośników powoduje wzrost natężenia płynącego prądu, więc opór elektryczny maleje.

Ze wzrostem temperatury opór elektryczny półprzewodników maleje.

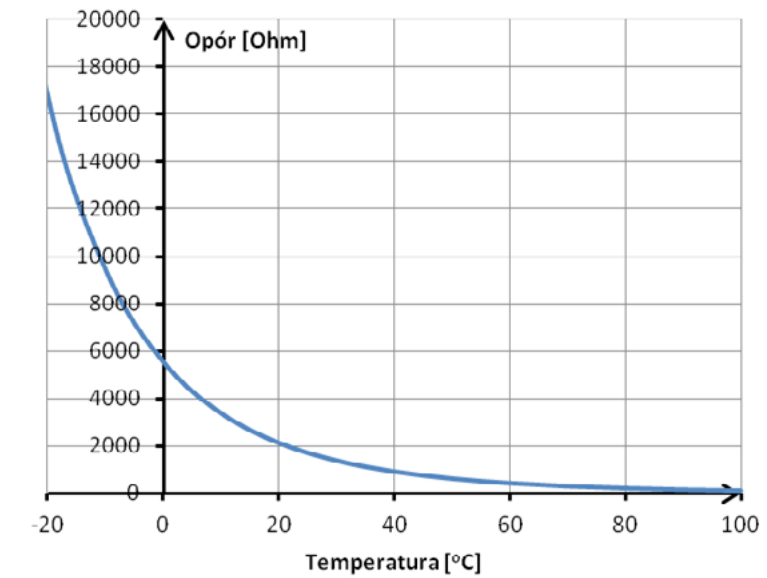
Elementy półprzewodnikowe, których opór zależy od temperatury, to tak zwane termistory (rys. 5.3). Występują one w wielu obwodach elektrycznych, stosuje się je jako elementy pomiarowe w czujnikach temperatury.



Rys. 5.3. Termistory

Przykładowy wykres zależności oporu termistora od temperatury przedstawia rys. 5.4.

Zależność oporu od temperatury



Rys. 5.4. Opór termistora maleje ze wzrostem temperatury.

Człowiek - najlepsza inwestycja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego