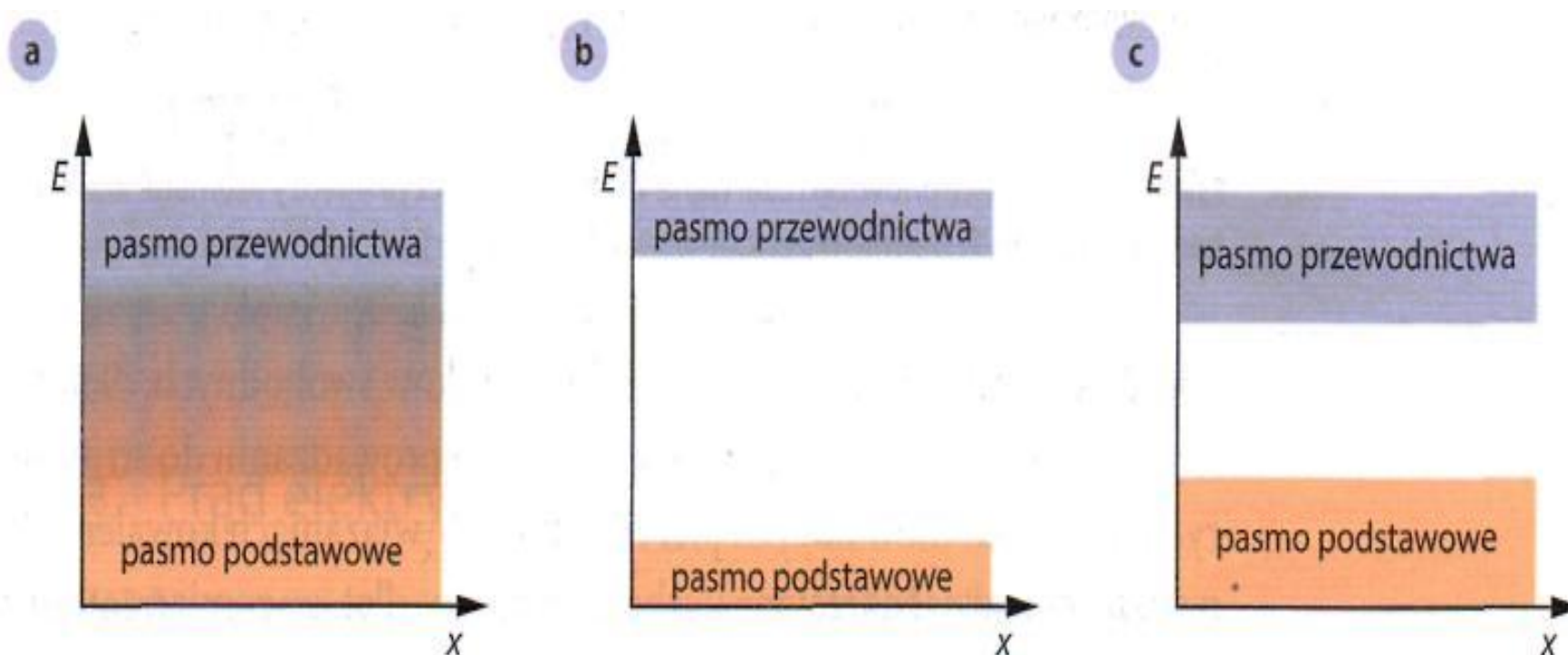


## Przewodnictwo ciał stałych .

Przewodnictwo ciał stałych wyjaśnia się, rozpatrując **pasmowy model atomu**. W ciele stałym elektrony oddziałują nie tylko z jądrem i elektronami własnego atomu, lecz także znajdują się w polu będącym wypadkową oddziaływań sąsiednich jąder i elektronów. Elektron, w zależności od poziomu swojej energii, może się znaleźć w jednym z dwóch dozwolonych pasm energetycznych: **walencyjnym (podstawowym)** lub **przewodnictwa**. Dolna granica pasma przewodnictwa ma na ogół wyższą energię niż górna granica pasma walencyjnego. Pasma energetyczne są rozdzielone **pasmami zabronionymi**, czyli tzw. przerwami energetycznymi. W materiale płynie prąd, gdy elektrony z pasma walencyjnego przejdą do pasma przewodnictwa. Aby elektron znajdujący się na powłoce walencyjnej mógł przeskoczyć do pasma przewodnictwa, musi uzyskać energię wyższą niż szerokość przerwy energetycznej. W przewodnikach pasmo zabronione jest wąskie lub (np. w przewodnikach metalicznych) nie istnieje, a najmniejszy poziom energii elektronów większy od poziomu pasma walencyjnego znajduje się w paśmie przewodnictwa. Elektrony mogą łatwo przechodzić do pasma przewodnictwa i dlatego prąd może płynąć.

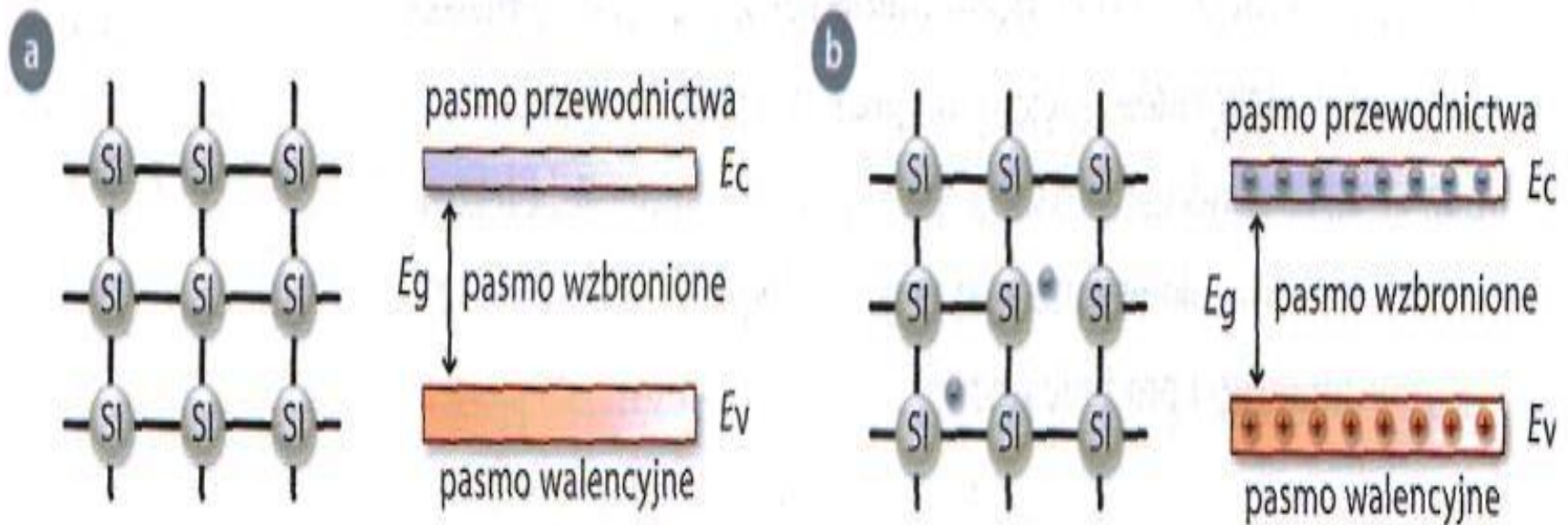
## Pasmowy model atomu.



**Rys 2.2.** Schemat poziomów energetycznych w: a-przewodniku, b- półprzewodniku, c- izolatorze

Elektronowolt jest to energia kinetyczna, jaką uzyskuje cząstka o ładunku elementarnym przyspieszona napięciem równym 1 V.  $1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{J}$

## Półprzewodniki samoistne.



**Ryc. 2.3.** Model pasmowy półprzewodnika samoistnego: a-sieć idealna, brak dziur i swobodnych elektronów, b-rozerwane wiązanie Si-Si (czyli między atomami krzemu), luki elektronowe w paśmie przewodnictwa

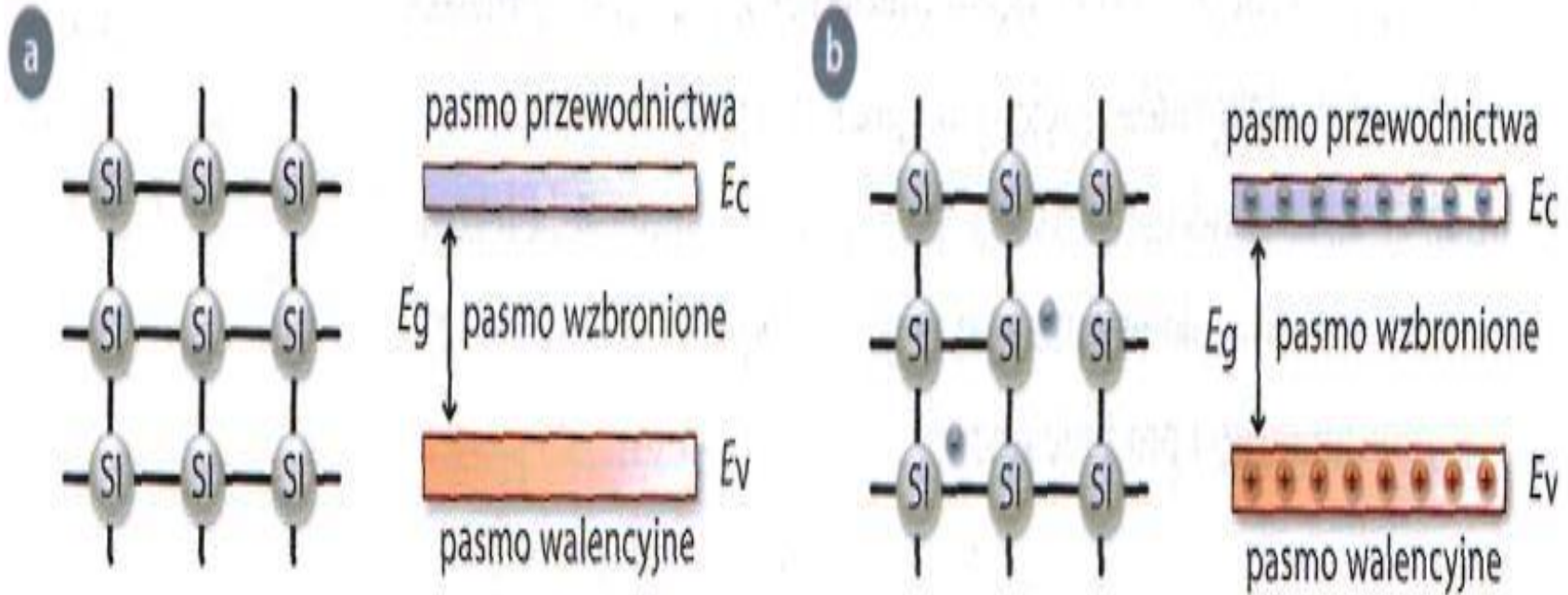
## Domieszkowanie

Półprzewodniki samoistne mają mało ładunków swobodnych, dlatego stosuje się domieszkowanie. Polega ono na wprowadzaniu do struktury kryształu atomów obcych pierwiastków. W wiązańach kowalencyjnych bierze udział określona liczba elektronów, dlatego zamiana atomu struktury na atom domieszki powoduje powstanie nadmiaru lub niedoboru elektronów. Po elektronach, które przeniosły się na poziom domieszkowy, w paśmie walencyjnym pozostają dziury.

Domieszki zabierające elektrony z pasma walencyjnego to akceptory. Poziomy energetyczne tych atomów nazywamy poziomami akceptorowymi. Natomiast domieszki dostarczające elektrony do pasma przewodnictwa to donory, a ich poziomy nazywamy poziomami donorowymi.

## Półprzewodniki typu n i typu p.

Jeżeli półprzewodnik zawiera nadwyżkę elektronów, to jest to **półprzewodnik typu n**. Natomiast gdy zawiera więcej dziur niż elektronów, jest to **półprzewodnik typu p** (rys. 2.3).



**Rys. 2.3.** Model pasmowy półprzewodnika samoistnego: a-sieć idealna, brak dziur i swobodnych elektronów, b- rozerwane wiązanie Si-Si (czyli między atomami krzemu), luki elektronowe w paśmie przewodnictwa

## 2.1.3. Prąd elektryczny

Prąd elektryczny jest uporządkowanym ruchem ładunków elektrycznych (jonów, elektronów), wywołanym np. oddziaływaniem na nie pola elektrycznego

### Natężenie prądu elektrycznego

**Natężenie prądu elektrycznego** (oznaczane symbolem  $I$ ) to stosunek ładunku elektrycznego  $q$  przepływającego przez przekrój poprzeczny przewodnika do czasu  $t$ , w jakim on przepłynął. Natężenie prądu elektrycznego opisuje zależność


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

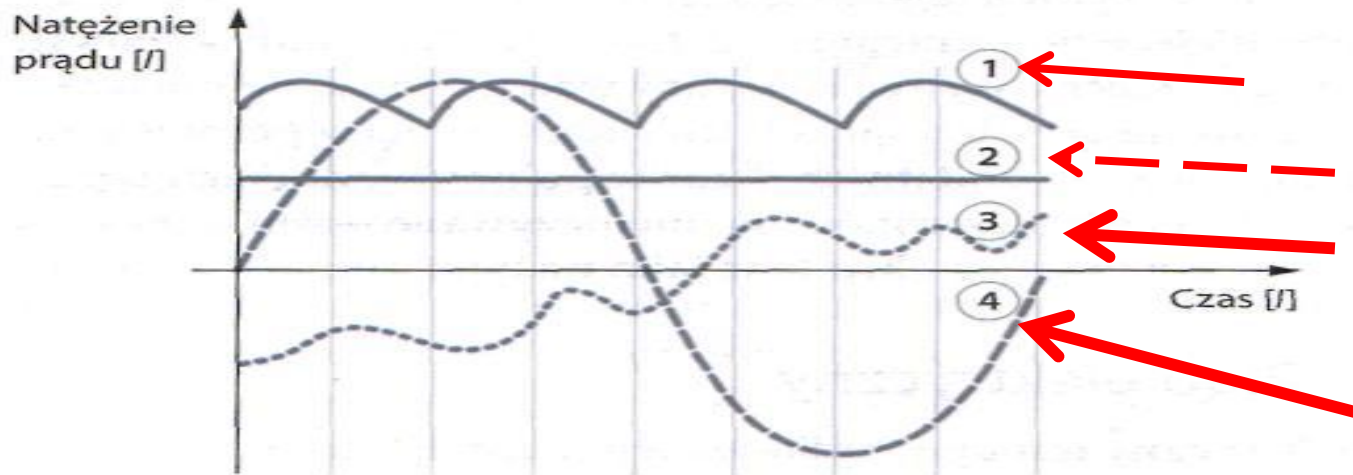
Jednostką natężenia prądu jest amper (A). **Prąd ma natężenie równe jednemu amperowi, jeśli w czasie jednej sekundy przemieszcza ładunek elektryczny o wartości jednego kulomba.**

Wartość prądu w przewodzie jest tożsama do napięcia na jego końcach

## Prąd stały, prąd zmienny, prąd okresowo zmienny (prąd tętniący, prąd przemienny) oraz prąd nieokresowy-prąd przemienny.

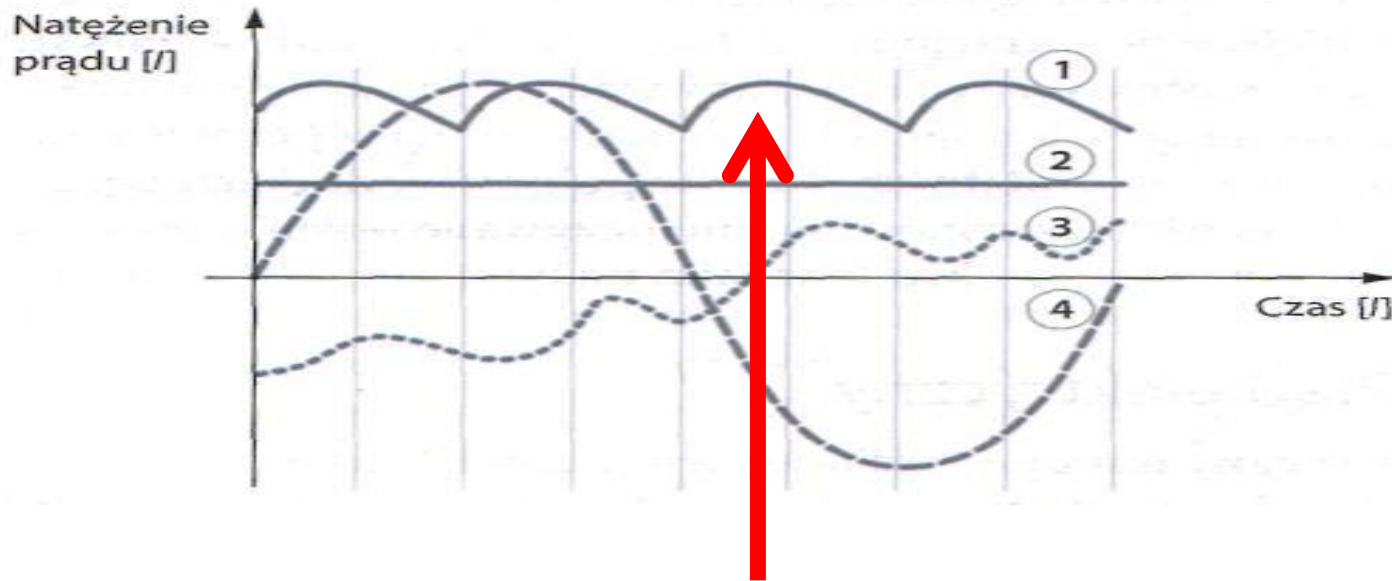
**Prąd stały** charakteryzuje się stałą wartością i kierunkiem przepływu. Na przyrządach mierniczych ten rodzaj prądu oznacza się symbolem graficznym „-” lub skrótem DC. Jest to podstawowy rodzaj prądu stosowany w instalacjach samochodowych.

Wartość natężenia **prądu zmiennego** zmienia się w dowolny sposób w czasie. W zależności od charakteru zmian wyróżniamy: **prąd okresowo zmienny** (prąd tętniący, prąd przemienny) oraz **prąd nieokresowy**. Prąd o takim przebiegu występuje w samochodzie w elektrycznych obwodach sygnalizacyjnych i elektronicznych układach sterowania, jeśli nie są cyfrowe. **Prąd przemienny** może mieć kształt sinusoidalny lub prostokątny, jego kierunek i wartość w czasie ulega zmianie. Oznacza się go „~” lub skrótem AC. W instalacjach samochodowych i motocyklowych mamy z nim do czynienia w uzwojeniach prądnic i alternatorów - przed wyjściowymi układami prostowniczymi (rys. 2.4).



Rys .2.4. Różne postacie prądu:1- tętniący, 2- stały, 3- zmienny, 4-przemienny

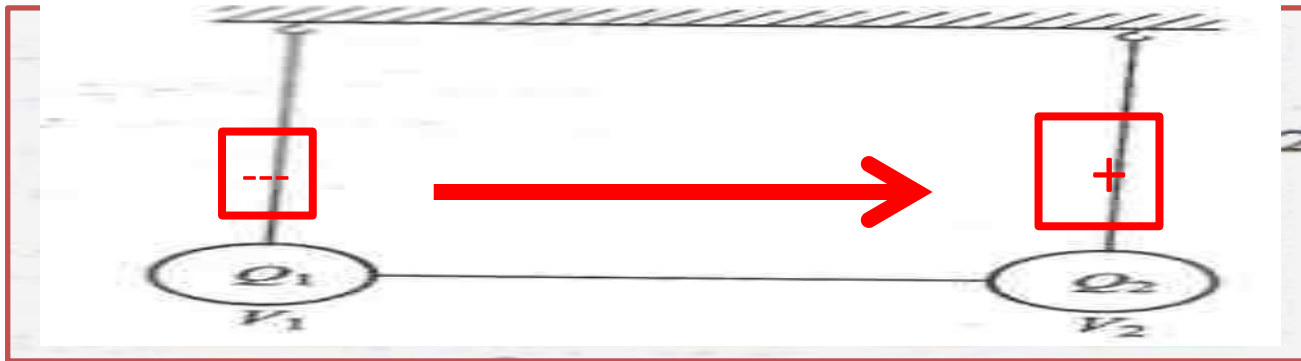
## Prąd tętniący .



**postać prądu tętniącego**

**Prąd tętniący** to prąd elektryczny okresowo zmienny. Najczęściej spotykanym przykładem takiego prądu jest prąd płynący z prostownika prądu przemiennego przed odfiltrowaniem.

## Napięcie elektryczne.



Rys. 2.3. Analogia hydromechaniczna do napięcia  
1 i 2 — naczynia połączone, 3 — rura łącząca, 4 — zawór

**Napięcie** (oznaczane symbolem  $U$ ) definiuje się jako różnicę potencjałów elektrycznych występującą pomiędzy dwoma punktami 1 i 2 obwodu elektrycznego lub pola elektrycznego, równą stosunkowi pracy  $A_{12}$  potrzebnej do przeniesienia ładunku  $q$  z punktu 1 do punktu 2, do wartości tego ładunku, co ilustruje równanie


$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q}$$

Jednostką napięcia elektrycznego jest wolt (V).

## Napięcie może być wytworzone w wyniku:

- działania zmiennego pola magnetycznego (prądnica, alternator),
- efektu termoelektrycznego (ogrzanie połączenia dwóch różnych metali),
- efektu fotoelektrycznego (oświetlenie płytki selenu),
- efektu piezoelektrycznego (ściskanie kryształu kwarcu).

Podstawowym przyrządem służącym do pomiaru napięcia jest **woltomierz**, przyłączany do punktów, pomiędzy którymi dokonuje się pomiaru.

## 2.1.4. Rezystancja elektryczna-opór elektryczny

Jeśli dwa różnoimiennie bieguny źródła zasilania połączy się ze sobą nie bezpośrednio, lecz za pomocą jakiegoś łącznika, możliwość przepływu prądu zależy od rodzaju materiału tego łącznika. Jeżeli jest on:

- **przewodnikiem prądu** - prąd elektryczny popłynie przez łącznik,
- **izolatorem elektrycznym** - prąd nie popłynie,
- **półprzewodnikiem** - prąd elektryczny popłynie przez łącznik, gdy będą spełnione pewne dodatkowe warunki. **Rezystancja (oporność)** stawiana prądowi elektrycznemu przez konkretne ciało fizyczne o kształcie regularnej bryły geometrycznej, np. walca (jest nim na ogół drut) podłączonego podstawami do różno-imiennych biegunów elektrycznych, zależy od:

**długości przepływu**, czyli geometrycznej wysokości bryły,  
**przekroju bryły**, czyli powierzchni jej podstawy,  
specyficznych właściwości materiału, czyli **zdolności przewodzenia prądu** mierzonej tzw. opornością właściwą.

## Oporność właściwa-rezystywność

**Oporność właściwa, rezystywność  $\rho$**  jest stałą (w danej temperaturze) cechą fizyczną każdego materiału.

Ogólnie można stwierdzić, że **niską oporność właściwą**, czyli dobrą przewodność elektryczną, mają metale, a także wodne roztwory kwasów i zasad.

**Dużą oporność właściwą**, czyli dobre właściwości izolacyjne, wykazuje większość pierwiastków niemetalicznych, tworzyw sztucznych i gazów.

**Jednostką oporności właściwej jest ( $\Omega \times m$ ).**

### Rezystancja.

W przypadku obwodu prądu stałego **rezystancję** wyznacza się ze wzoru


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

Jest ona wyrażana w **omach** ( $\Omega$ ). Opisuje opór, na jaki napotyka prąd płynący przez obwód.

Skutkiem przepływu prądu przez **rezystor** (opornik) jest jego ogrzanie. Oprócz strat ciepłych przepływ prądu  $I$  przez rezystor o rezystancji  $R$  powoduje powstanie na tym elemencie spadku napięcia  $U$  o wartości proporcjonalnej do wartości prądu  $I$ . Jak wynika ze wzoru, współczynnikiem proporcjonalności jest **rezystancja**  $R$  tego rezystora.

Zależność tę nazywa się **prawem Ohma**.

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

## Rezystywność

Na schematach instalacji elektrycznej przyjmuje się, że rezystancja przewodów jest równa zero. W rzeczywistości jest ona odwrotnie proporcjonalna do pola przekroju poprzecznego  $S$  i wprost proporcjonalna do długości przewodu  $L$  oraz zależy od materiału, z jakiego wykonano przewód (**rezystywności  $\rho$** )

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

W układzie SI jednostką rezystywności jest omometr ( $\Omega \cdot m$ ), długości L - metr (m), a pola przekroju S - metr kwadratowy ( $m^2$ ).

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

## Konduktywność

Niekiedy w elektrotechnice posługujemy się **konduktywnością**  $\gamma$ , która Konduktywność jest odwrotnością rezystywności

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

# Konduktancja

Analogicznie konduktancję **G** przewodnika nazywa się odwrotność rezystancji.

$$G = \frac{1}{R}$$

Jednostką konduktancji jest simens (S), a jednostką konduktywności - simens na metr (S/m).

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

## 2.1.5. Moc i energia prądu stałego

Założmy, że na końcówkach rezystora, przez który płynie prąd stały  $i$ , występuje różnica potencjałów (napięcie)  $U$ . Podczas przepływu prądu  $I$  przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie  $t$  przemieści się ładunek

$$q = I \cdot t$$

Energia zużytkowana na przemieszczenie tego ładunku wynosi

$$W = U \cdot q = U \cdot I \cdot t$$

Energia ta wydzielą się na rezystorze w postaci ciepła. Jednostką energii jest dżul (J).

Korzystając z prawa Ohma w postaci  $I = \frac{U}{R}$ , otrzymamy wzór na energię

$$W = I^2 R \cdot t$$

## Prawo Joule'a-Lenza

Równanie wyraża prawo Joule'a-Lenza, zgodnie z którym energia elektryczna przekształcana na oporniku w ciepło jest równa iloczynowi kwadratu prądu  $I$ , rezystancji przewodnika  $R$  i czasu  $t$ . Stosunek energii prądu elektrycznego do czasu jest nazywany mocą elektryczną  $P$ . Zatem

$$W = I^2 R \cdot t$$

2.11

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$$

2.12

Jednostką mocy jest wat ( $1 \text{ [W]} = 1 \text{ [J]/1 [s]}$ ).

Jeżeli do drugiej części wzoru (2.12) podstawmy zależność (2.11), to otrzymamy

$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

2.14