

Przewodnictwo metali i prędkość unoszenia elektronów



Aplikacja w html + css + js.

Wstęp

Metale od wieków znane są jako doskonałe przewodniki prądu elektrycznego. Dzięki specyficznej budowie wewnętrznej i obecności swobodnych elektronów przewodzących, metale odgrywają kluczową rolę w technice i elektronice. Zjawisko przewodnictwa elektrycznego oraz pojęcie prędkości unoszenia elektronów pozwalają lepiej zrozumieć mechanizmy rządzące przepływem prądu w przewodnikach.

Przewodnictwo elektryczne metali

W metalach atomy tworzą uporządkowaną strukturę krystaliczną, w której zewnętrzne elektrony (walencyjne) nie są ściśle związane z konkretnymi jądrami atomowymi. Tworzą one tzw. **gaz elektronowy** lub **chmurę elektronową**, w której mogą swobodnie się przemieszczać. To właśnie te elektrony odpowiadają za przewodnictwo elektryczne.

Gdy do metalu przyłożymy napięcie, w przewodniku powstaje **pole elektryczne**, które wymusza uporządkowany ruch swobodnych elektronów w przeciwnym kierunku do wektora pola. Choć w rzeczywistości elektrony zderzają się wielokrotnie z atomami sieci krystalicznej, ich ruch jako całości można opisać jako **unoszenie się** z określoną średnią prędkością.

Definicja. Prędkość unoszenia elektronów (inaczej dryfu lub dryfowa) to średnia prędkość, z jaką elektrony przemieszczają się w przewodniku pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego.

$$v_d = \frac{I}{n \cdot A \cdot e}$$

Gdzie:

- v_d – prędkość unoszenia (dryfowa),
- I – natężenie prądu,
- n – koncentracja elektronów przewodzących (liczba elektronów na jednostkę objętości),
- A – pole przekroju poprzecznego przewodnika,
- e – ładunek elementarny (dla elektronu: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

Wartości praktyczne

Mimo że w przewodnikach przepływ prądu wydaje się natychmiastowy (np. włączenie światła), prędkość unoszenia elektronów jest bardzo mała — rzędu **milimetrów na sekundę**.

Dla miedzianego przewodu o przekroju 1 mm^2 , przez który płynie prąd 1 A , prędkość ta wynosi około **$0,07 \text{ mm/s}$** .

Odpowiedź prądu na przyłożone napięcie jest natychmiastowa, ponieważ pole elektryczne rozchodzi się z bliską do prędkości światła prędkością, powodując jednocześnie rozpoczęcie ruchu elektronów w całym przewodniku.

Model Drude'a

Zjawisko przewodnictwa metali wyjaśnia [klasyczny model Drude'a](#), według którego elektrony swobodne zachowują się jak cząstki gazu poruszające się chaotycznie, lecz z nadłożoną składową uporządkowaną (tzw. prędkością unoszenia), wynikającą z działania pola elektrycznego. Choć model ten jest uproszczony, pozwala w przybliżeniu opisać zależności między natężeniem prądu, polem elektrycznym a prędkością unoszenia.

Znaczenie praktyczne

Zrozumienie mechanizmu przewodnictwa oraz znaczenia prędkości unoszenia ma duże znaczenie w:

- projektowaniu kabli i obwodów,
- obliczeniach strat energetycznych,
- analizie zjawisk opóźnienia sygnału,
- diagnostyce usterek w instalacjach elektrycznych.

Podsumowanie

Przewodnictwo metali opiera się na obecności swobodnych elektronów, które pod wpływem pola elektrycznego przemieszczają się z niewielką prędkością unoszenia. Choć wartość tej prędkości jest bardzo mała, jej suma w skali makroskopowej odpowiada za przepływ prądu elektrycznego. Zrozumienie tego zjawiska pozwala lepiej interpretować wiele procesów elektrycznych w życiu codziennym i technice.

Wyprowadzenie wzoru na prędkość unoszenia elektronów

Szukamy wyprowadzenia wzoru:

$$v_d = \frac{I}{n \cdot A \cdot e}$$

Gdzie:

- v_d – prędkość unoszenia (dryfowa),
- I – natężenie prądu,
- n – koncentracja elektronów przewodzących (liczba elektronów na jednostkę objętości),
- A – pole przekroju poprzecznego przewodnika,
- e – ładunek elementarny (dla elektronu: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C).

1. Natężenie prądu elektrycznego

Natężenie prądu elektrycznego to ładunek przepływający przez przekrój przewodnika w jednostce czasu:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

2. Ładunek przepływający przez przekrój w czasie Δt

Założmy, że elektrony poruszają się w przewodniku z prędkością unoszenia v_d .

W czasie Δt , każdy elektron przemieści się na odcinek:

$$\Delta x = v_d \cdot \Delta t$$

Zatem objętość materiału, przez który przeszły elektrony, to:

$$V = A \cdot v_d \cdot \Delta t$$

Gdzie:

- A – pole przekroju poprzecznego przewodnika,
- $v_d \cdot \Delta t$ – długość odcinka, który przebyły elektrony w czasie Δt .

W tej objętości znajduje się:

$$N = n \cdot V = n \cdot A \cdot v_d \cdot \Delta t$$

elektronów.

Każdy elektron niesie ładunek e , więc całkowity ładunek, który przepłynął, to:

$$\Delta Q = N \cdot e = n \cdot A \cdot v_d \cdot \Delta t \cdot e$$

3. Podstawiamy do wzoru na natężenie:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n \cdot A \cdot v_d \cdot \Delta t \cdot e}{\Delta t}$$

Redukujemy Δt :

$$I = n \cdot A \cdot v_d \cdot e$$

4. Przekształcamy względem prędkości unoszenia:

$$v_d = \frac{I}{n \cdot A \cdot e}$$

Prędkość dryfu elektronów

Wybierz metal:

Cu

Al

Au

Fe

Dane metalu:
Symbol: Cu
Gęstość ρ : 8960 kg/m³
Masa molowa M: 0.0635 kg/mol
Elektrony walencyjne: 1
Opór właściwy: 1.68e-8 $\Omega \cdot m$

Natężenie I (A):

Pole S (mm²):

Obliczenia:

- Koncentracja elektronów n:
8.497e+28 1/m³
- Prędkość unoszenia v_d :
7.355e-5 m/s = 0.074 mm/s

(C) A.B & W.K. 2025

q

🔍 Jak znaleźć koncentrację elektronów n ?

1. Znajdź dane metalu:

Potrzebujesz:

- gęstość metalu ρ [kg/m³],
- masa molowa M [kg/mol],
- liczba elektronów przewodzących na atom (zwykle równa liczbie elektronów walencyjnych),
- stała Avogadra $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ [atomów/mol].

2. Oblicz liczbę atomów w 1 m³ metalu

Liczba moli w 1 m³:

$$n_{\text{mol}} = \frac{\rho}{M}$$

Liczba atomów w 1 m³:

$$n_{\text{atomów}} = \frac{\rho}{M} \cdot N_A$$

3. Mnożysz przez liczbę elektronów przewodzących na atom:

$$n = \left(\frac{\rho}{M} \cdot N_A \right) \cdot z$$

gdzie:

- z – liczba elektronów przewodzących na atom (np. dla miedzi $z = 1$).

4. Wzór ogólny:

$$n = \frac{\rho \cdot N_A \cdot z}{M}$$



Przykład: miedź (Cu)

Dane:

- $\rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$,
- $M = 0,0635 \text{ kg/mol}$,
- $z = 1$ (miedź ma 1 elektron walencyjny).

Obliczamy:

$$n = \frac{8,96 \cdot 10^3 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1}{0,0635} \approx 8,5 \cdot 10^{28} \text{ elektronów/m}^3$$



Zastosowanie

Mając n , możesz teraz:

- obliczyć **prędkość unoszenia** $v_d = \frac{I}{nAe}$,
- analizować **przewodnictwo metalu**,
- oszacować **czas przelotu** elektronów przez przewodnik.



Obliczmy **prędkość unoszenia elektronów w miedzi (Cu)** przy założonych warunkach.



Dane do obliczeń

Zakładamy:

- Przewodnik o przekroju: $A = 1 \text{ mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,
- Prąd: $I = 1 \text{ A}$,
- Miedź:
 - Gęstość $\rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$,
 - Masa molowa $M = 0,0635 \text{ kg/mol}$,
 - Liczba elektronów przewodzących: $z = 1$,
- Stała Avogadra: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$,
- Ładunek elementarny: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.



Krok 1: Obliczenie koncentracji elektronów n

$$n = \frac{\rho \cdot N_A \cdot z}{M}$$

$$n = \frac{8,96 \cdot 10^3 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{0,0635} \approx 8,5 \cdot 10^{28} \text{ elektronów/m}^3$$

✓ Krok 2: Prędkość unoszenia

Wzór:

$$v_d = \frac{I}{n \cdot A \cdot e}$$

Podstawiamy:

$$v_d = \frac{1}{(8,5 \cdot 10^{28}) \cdot (1 \cdot 10^{-6}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})}$$
$$v_d = \frac{1}{1,36 \cdot 10^4} \approx 7,35 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

✓ Odpowiedź:

To bardzo **mała prędkość**, co oznacza, że **elektrony poruszają się bardzo wolno**, ale **prąd elektryczny rozchodzi się niemal natychmiastowo** dzięki fali pola elektrycznego.