



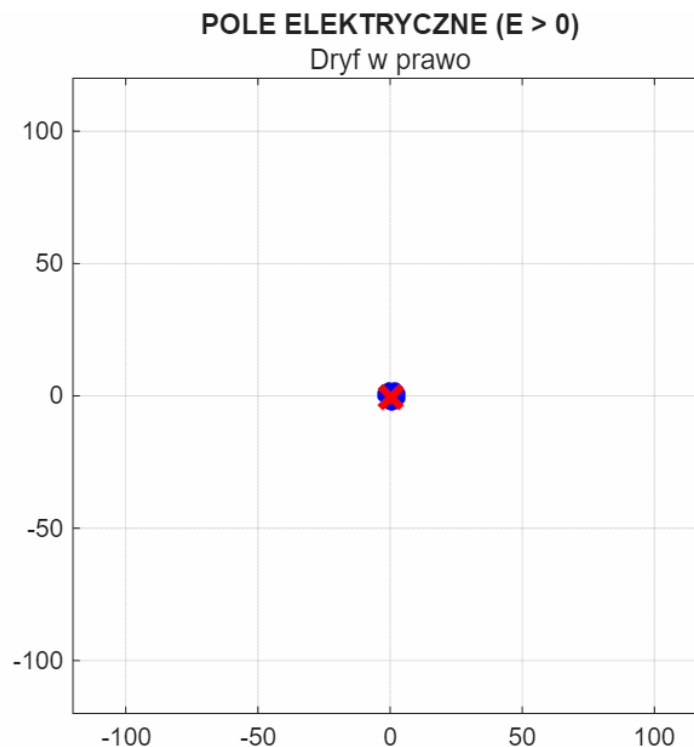
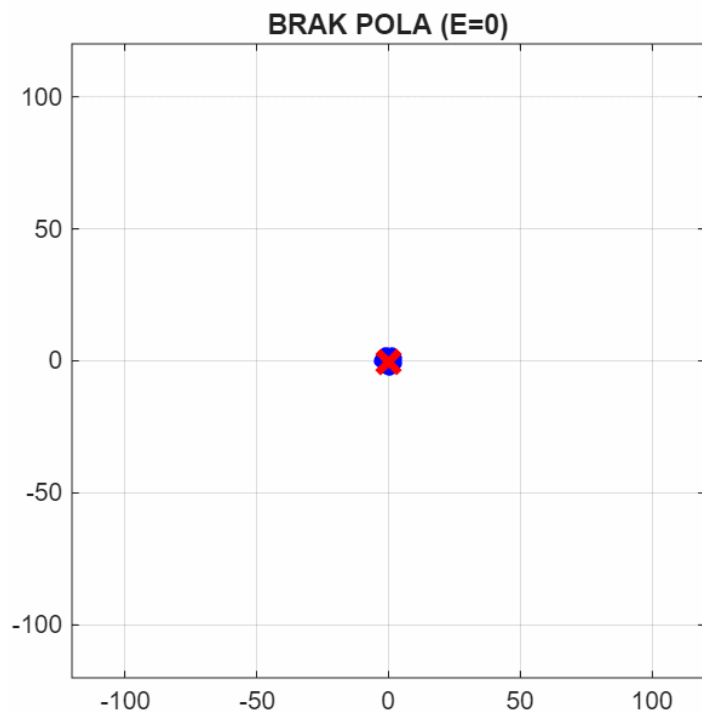
FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 13

Prąd elektryczny

dr inż. Katarzyna Gwóźdź

Prąd elektryczny

Uporządkowany ruch ładunków wywołany polem elektrycznym



Prąd elektryczny

Uporządkowany ruch ładunków wywołany polem elektrycznym

Ruch chaotyczny

- Elektrony swobodne
- Brak wypadkowego przepływu nośników ładunku
- $v = 10^6 \frac{m}{s}$

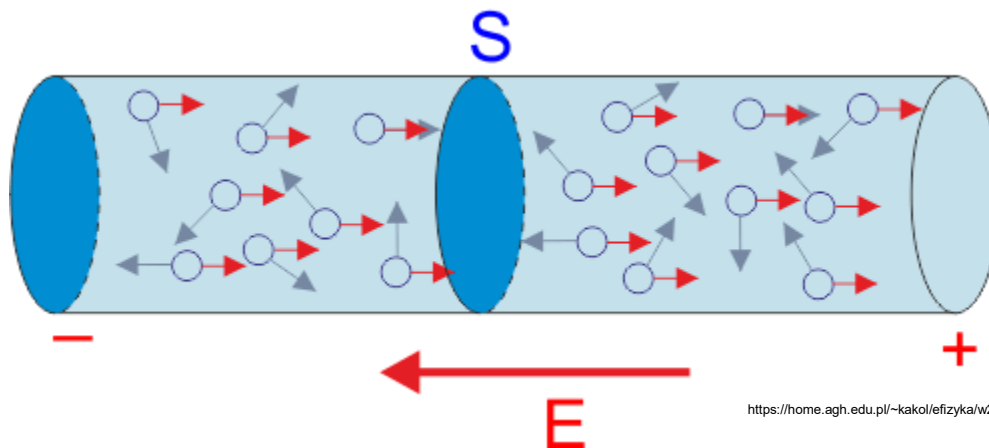
Ruch uporządkowany

- Elektrony swobodne
- Ukierunkowany przepływ nośników ładunku – prąd elektryczny
- $v_d = 10^{-3} \frac{m}{s}$ (Uwaga! Propagacja sygnału dużo szybsza)

Natężenie prądu elektrycznego

Ilość ładunku jaka przepływa przez przekrój poprzeczny przewodnika w jednostce czasu.

$$I = \frac{dq}{dt}$$



<https://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w21/main21a.html>

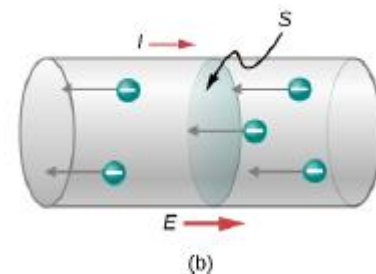
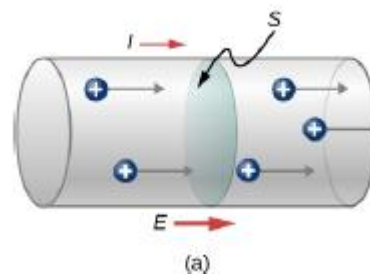
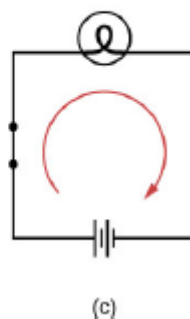
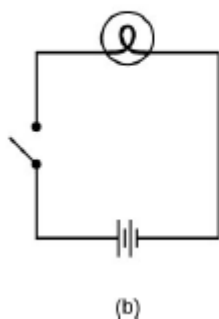
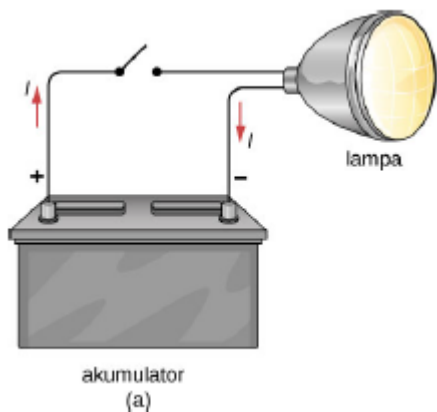
$I [A]$ - natężenie prądu elektrycznego

$q [C]$ - ładunek

t – czas

Prąd w obwodzie

Prąd płynie w kierunku przepływu ładunków dodatnich.



Prędkość dryfu

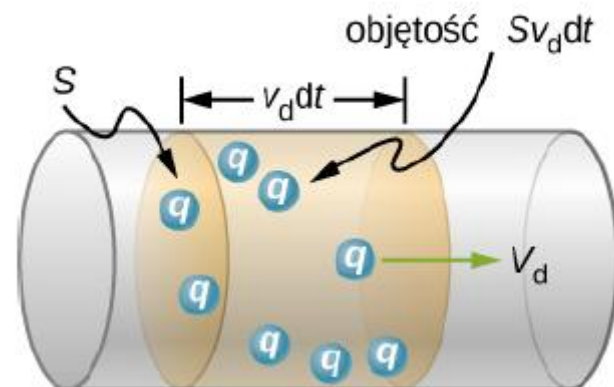
Prąd płynie w kierunku przepływu ładunków dodatnich.

$$v_d = \frac{I}{nqS}$$

$\vec{v}_d \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ – szybkość dryfu

n – gęstość swobodnych ładunków

S - przekrój poprzeczny przewodu



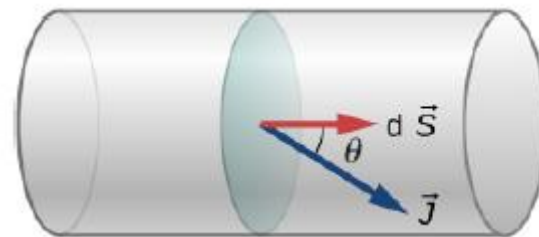
Gęstość prądu

Wielkość wektorowa, która pozwala opisać ruch ładunków.

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{S} = J dS \cos \theta$$

$$I = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

$$J = \frac{I}{S} = \frac{n|q|v_d S}{S} = n|q|v_d$$



Wektor gęstości prądu ma taki sam zwrot i kierunek jak wektor natężenia pola elektrycznego

Przewodność

Wiąże natężenie pola elektrycznego z gęstością prądu.

$$\vec{E} = \sigma \vec{J}$$

$\sigma \left[\frac{1}{\Omega m} \right]$ – przewodność elektryczna

Oporność (rezystywność)

Odwrotność przewodności. Jak bardzo materiał opiera się przepływowi prądu. Parametr materiałowy.

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

ρ [Ωm] – przewodność elektryczna

Oporność (rezystywność)

Material	Przewodność $\left[\frac{1}{\Omega m}\right]$	Oporność $[\Omega m]$
<i>Przewodniki</i>		
Miedź	$5,95 \times 10^7$	$1,68 \times 10^{-8}$
Złoto	$4,10 \times 10^7$	$2,44 \times 10^{-8}$
Żelazo	$1,03 \times 10^7$	$9,71 \times 10^{-8}$
Rtęć	$0,1 \times 10^7$	98×10^{-8}
<i>Półprzewodniki</i>		
German	1000 – 1,67	$(1 - 600) \times 10^{-3}$
Krzem	$10 - 4,35 \times 10^{-4}$	0,1 – 2300
<i>Izolatory</i>		
Bursztyn	2×10^{-15}	5×10^{14}
Szkło	$10^{-9} - 10^{-14}$	$10^9 - 10^{14}$
Drewno	$10^{-8} - 10^{-11}$	$10^8 - 10^{11}$

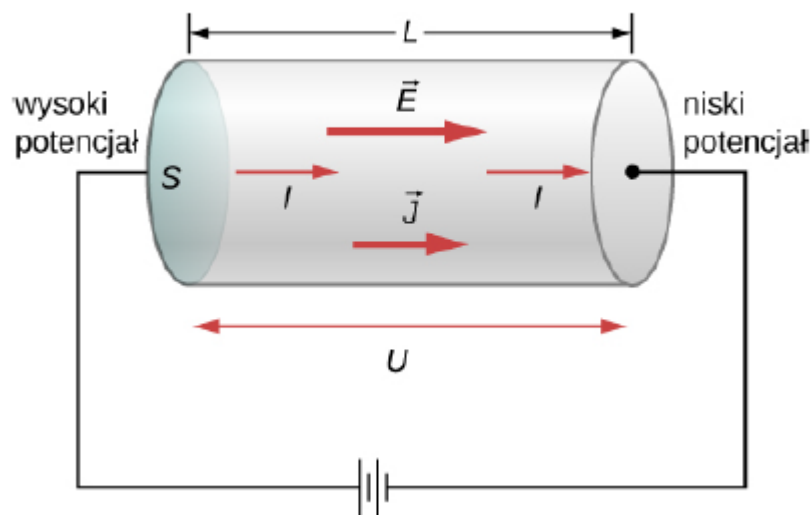
Oporność

Oporność zależy od temperatury.

Dla metali:

$$\rho \approx \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Opór (rezystancja)



$$E = \rho J$$

$$\frac{U}{L} = \rho \frac{I}{S}$$

$$U = \rho \frac{L}{S} I$$

$$U = RI$$

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

Opór (rezystancja)

Rezystancja to stosunek napięcia do natężenia.

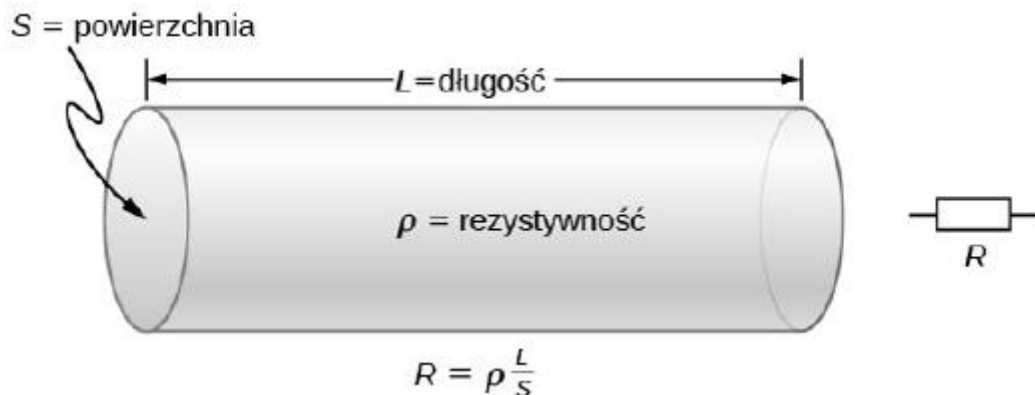
$$R = \frac{U}{I}$$

Rezystancja cylindrycznego kawałka przewodnika jest równa rezystywności materiału pomnożonej przez długość przewodnika i podzielonej przez powierzchnię przekroju poprzecznego.

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

Rezystor

Element obwodu elektrycznego. Wykazuje zależność U oraz I zgodną z prawem Ohma.



pierwsza cyfra

druga cyfra

mnożnik

dopuszczalne odchylenie

$$R = 20 \cdot 10^5 \Omega \pm 10\%$$

$$R = 2,0 \text{ M}\Omega \pm 0,2 \text{ M}\Omega$$

Kolor	Cyfra	Mnożnik
czarny	0	10^0
brązowy	1	10^1
czerwony	2	10^2
pomarańczowy	3	10^3
żółty	4	10^4
zielony	5	10^5
niebieski	6	10^6
fioletowy	7	10^7
szary	8	10^8
biały	9	10^9

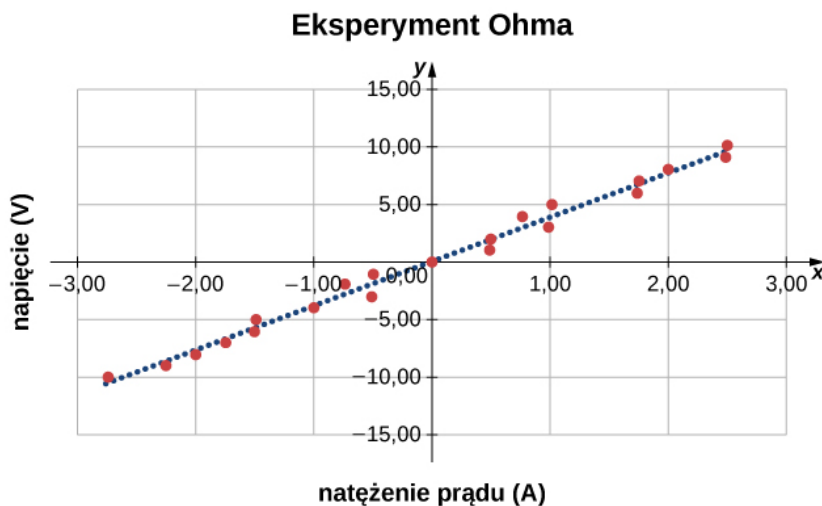
Dopuszczalne odchylenie

złoty	5%
srebrny	10%

Prawo Ohma

Natężenie płynące przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia.

I(A)	U(V)
-2,74	-10,00
-2,25	-9,00
-2,00	-8,00
-1,75	-7,00
-1,50	-6,00
-1,49	-5,00
-1,00	-4,00
-0,51	-3,00
-0,74	-2,00
-0,49	-1,00
+0,00	+0,00
+0,49	+1,00
+0,50	+2,00
+0,99	+3,00
+0,76	+4,00
+1,01	+5,00
+1,74	+6,00
+1,75	+7,00
+2,00	+8,00
+2,49	+9,00
+2,50	+10,00

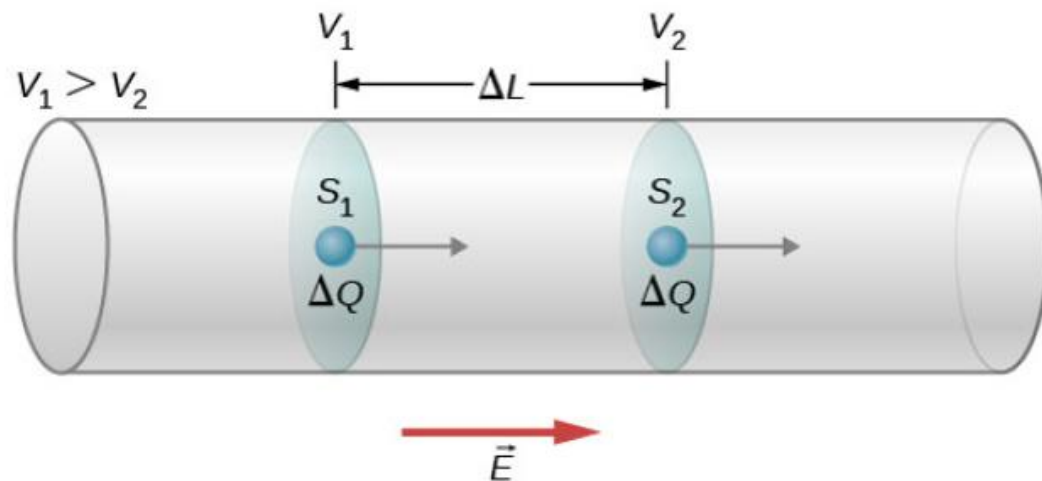


$$U = IR$$
$$R = 3,84$$

$$I \propto U$$

$$U = IR$$

Moc w obwodach elektrycznych



$$E = \frac{U}{\Delta L}$$

$$W = F\Delta L = \Delta Q F \Delta L = \Delta Q \frac{U}{\Delta L} \Delta L = \Delta Q U = \Delta E_p$$

$$P = \frac{\Delta E_p}{t} = \frac{\Delta Q U}{t} = IU$$

Moc w obwodach elektrycznych

Moc elektryczna oddawana lub pobierana przez urządzenie elektryczne:

$$P = IU$$

Moc wydzielana przez rezystor:

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

Moc w obwodach elektrycznych

By KMJ - de.wikipedia, original upload 26 Jun 2004 by de:Benutzer:KMJ, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=242907>

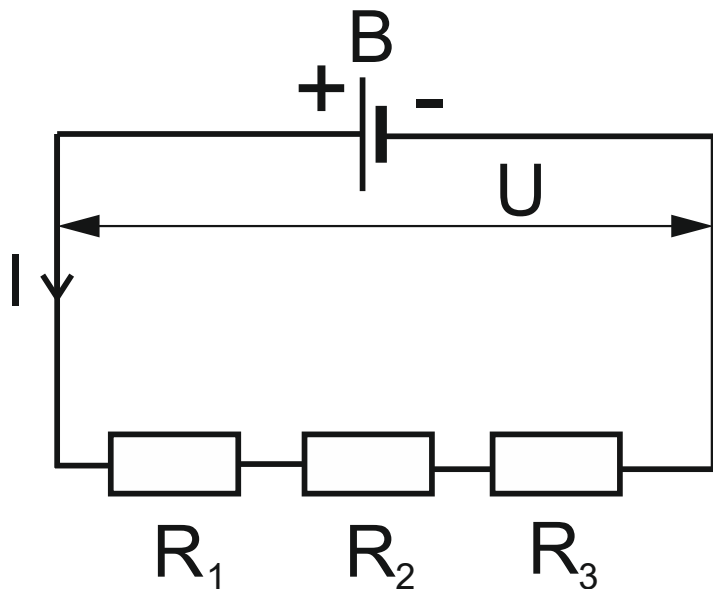


Strumień świetlny [lm]	Żarówka LED [W]	Żarówka wolframowa [W]	Świetlówka [W]
450	4-5	40	9-13
800	6-8	60	13-15

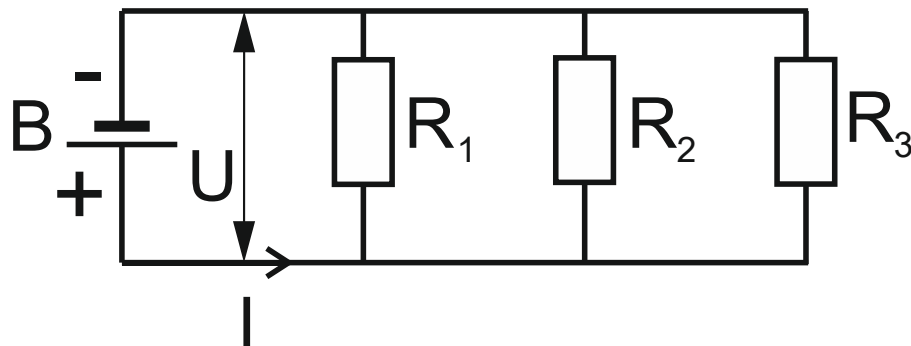
<https://ledovo.pl/thumbs/1000xauto/0000-00::cecce800a105f2b2c5534058b02ad2e1.jpg>

Łączenie oporników

Szeregowo



Równolegle

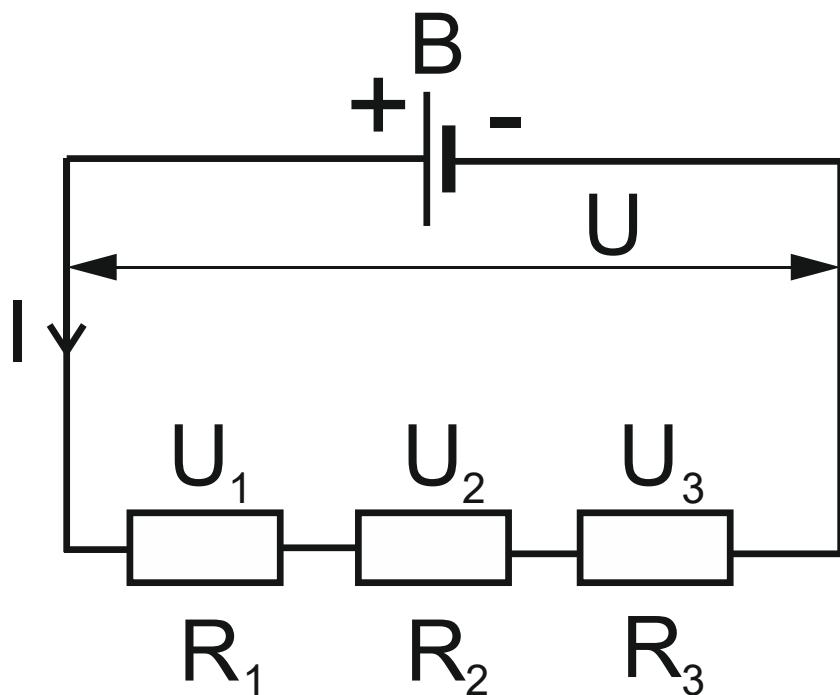


Łączenie szeregowe

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

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$



$$R_z = \frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

Łączenie równoległe

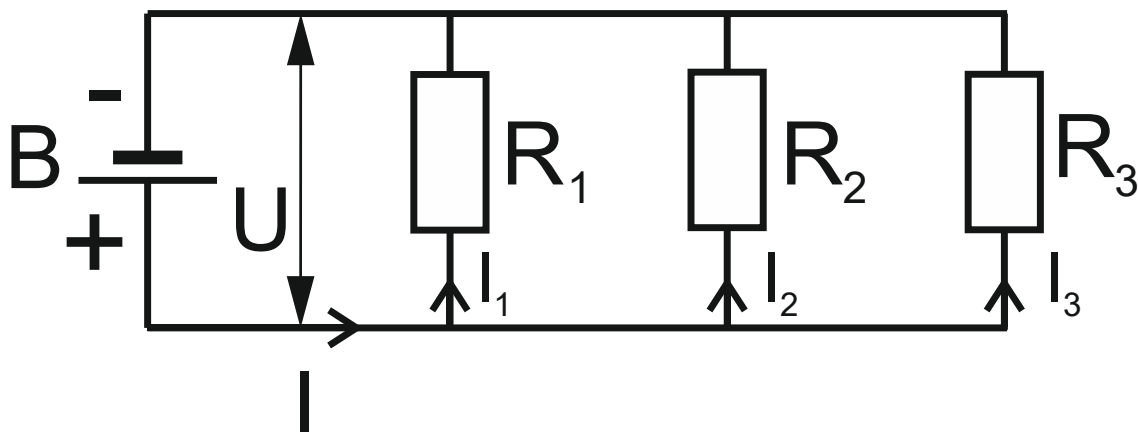
$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

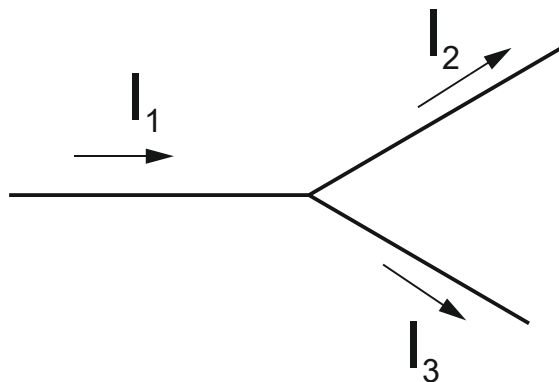
$$R_z = \frac{U}{I} = \frac{U}{U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)}$$

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



I prawo Kirchhoffa

Natężenie prądu wpływającego do węzła musi się równać natężeniu prądu wypływającego (ładunek jest zachowany).

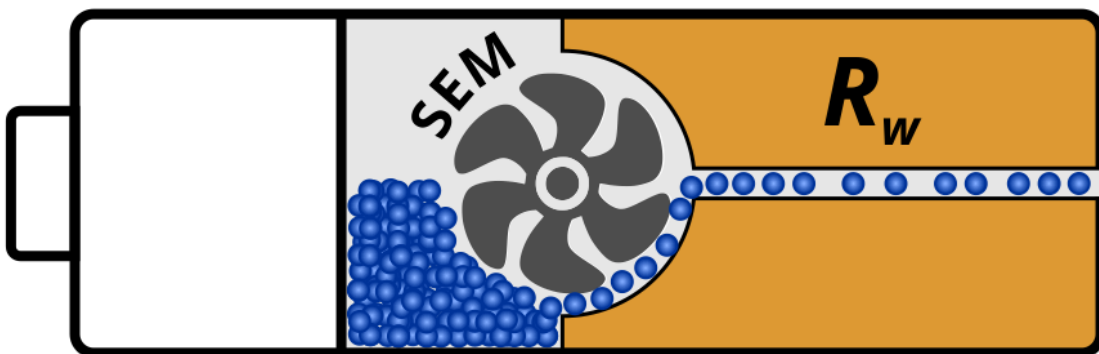


$$I_1 = I_2 + I_3$$

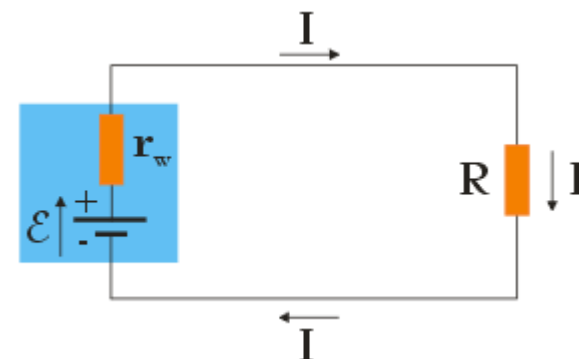
Siła elektromotoryczna (SEM)

Przyczyna przepływu prądu w obwodzie, utrzymuje stałe napięcie pomiędzy dwoma punktami obwodu.

$$\epsilon = \frac{dW}{dq}$$



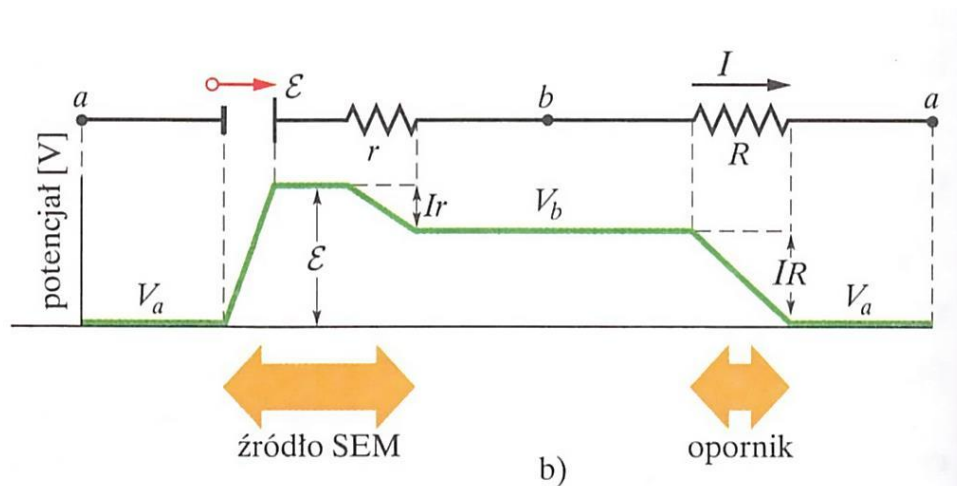
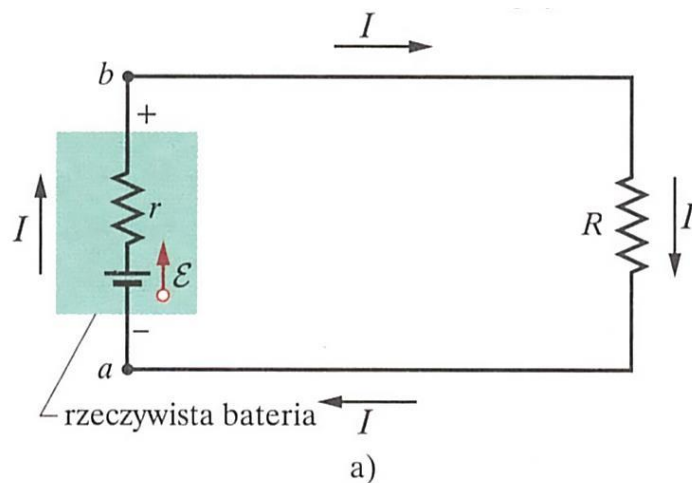
$$U = \epsilon - Ir_w$$



- Bateria
- Fotoogniwo
- Prądnica
- Termoogniwa

II prawo Kirchhoffa

Algebraiczna suma zmian potencjałów napotykanym przy pełnym obejściu dowolnego oczka musi być równa zero.

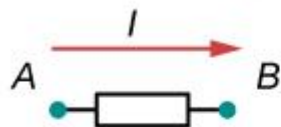


$$\mathcal{E} - Ir - IR = 0$$

Podstawy fizyki. Tom 3 Halliday David Resnick Robert Walker Jearl

II prawo Kirchhoffa

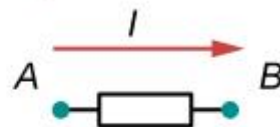
Kierunek obchodzenia



$$U = U_A - U_B = -IR$$

(a)

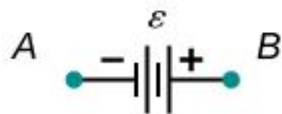
Kierunek obchodzenia



$$U = U_B - U_A = IR$$

(b)

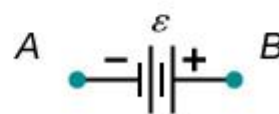
Kierunek obchodzenia



$$U = U_A - U_B = \varepsilon$$

(c)

Kierunek obchodzenia



$$U = U_B - U_A = -\varepsilon$$

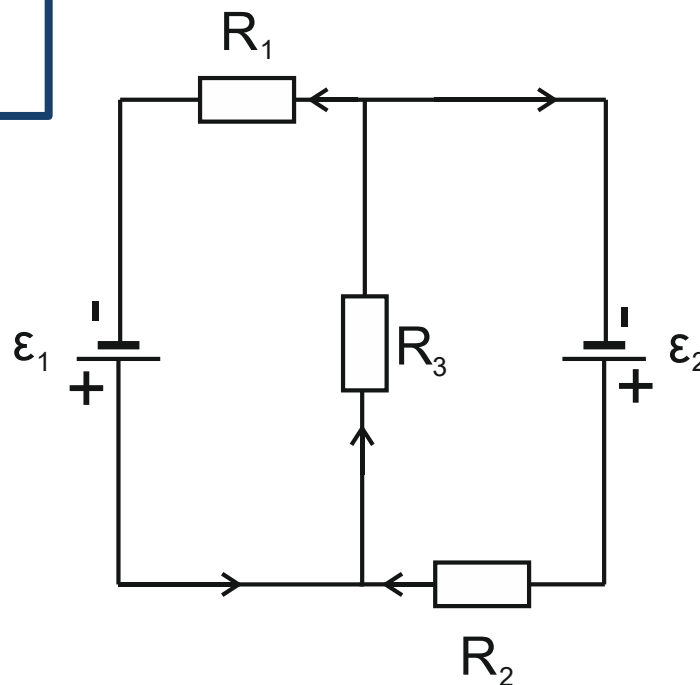
(d)

II prawo Kirchhoffa - przykład

Jakie są wartości napięcia i natężenia prądu na poszczególnych opornikach?

$$\epsilon_1 = 10 \text{ V} \quad \epsilon_2 = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 100 \, \Omega \quad R_2 = 200 \, \Omega \quad R_3 = 300 \, \Omega$$



II prawo Kirchhoffa - przykład

$$\epsilon_1 = 10 \text{ V} \quad \epsilon_2 = 12 \text{ V}$$

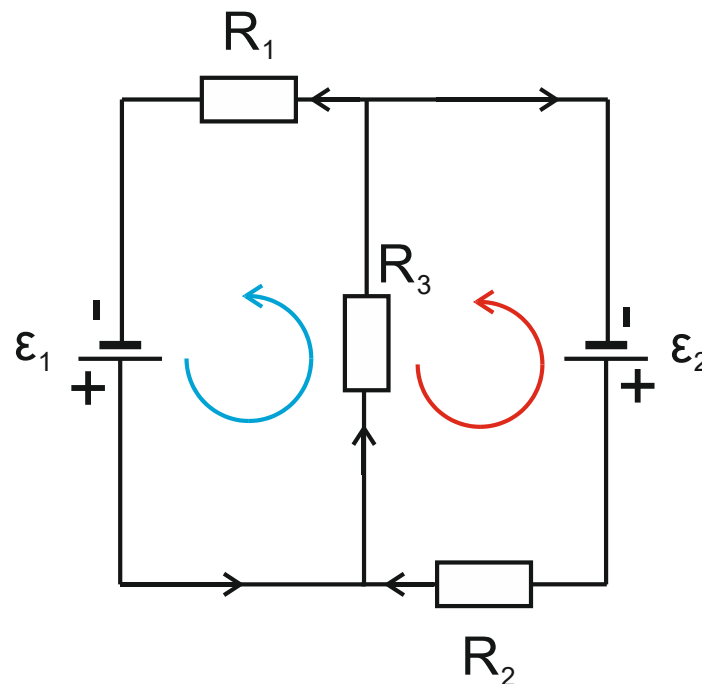
$$R_1 = 100 \, \Omega \quad R_2 = 200 \, \Omega \quad R_3 = 300 \, \Omega$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_1 - I_3 R_3 - I_1 R_1 = 0 \\ -\epsilon_2 + I_3 R_3 + I_2 R_2 = 0 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{array} \right.$$

$$R_1 * I_1 + 0 * I_2 + R_3 * I_3 = \epsilon_1$$

$$0 * I_1 + R_2 * I_2 + R_3 * I_3 = \epsilon_2$$

$$1 * I_1 + 1 * I_2 - 1 * I_3 = 0$$



II prawo Kirchhoffa - przykład

$$\epsilon_1 = 10 \text{ V} \quad \epsilon_2 = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 100 \, \Omega \quad R_2 = 200 \, \Omega \quad R_3 = 300 \, \Omega$$

$$R_1 * I_1 + 0 * I_2 + R_3 * I_3 = \epsilon_1$$

$$0 * I_1 + R_2 * I_2 + R_3 * I_3 = \epsilon_2$$

$$1 * I_1 + 1 * I_2 - 1 * I_3 = 0$$

$$\begin{bmatrix} R_1 & 0 & R_3 \\ 0 & R_2 & R_3 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = 0,0127 \text{ A}$$

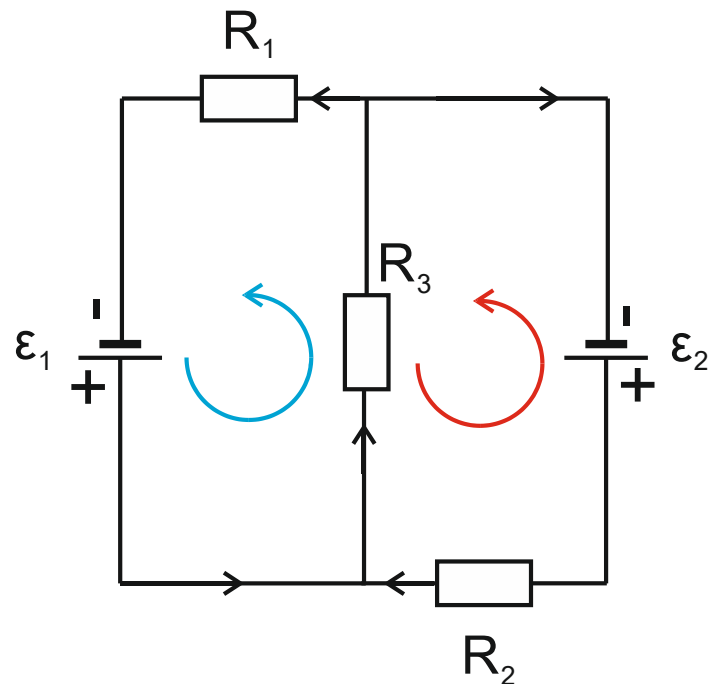
$$I_2 = 0,0164 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,0291 \text{ A}$$

$$U_1 = 1,27 \text{ V}$$

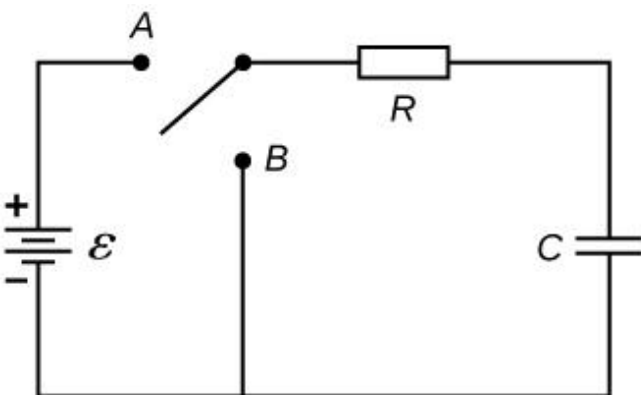
$$U_2 = 3,28 \text{ V}$$

$$U_3 = 8,73 \text{ V}$$

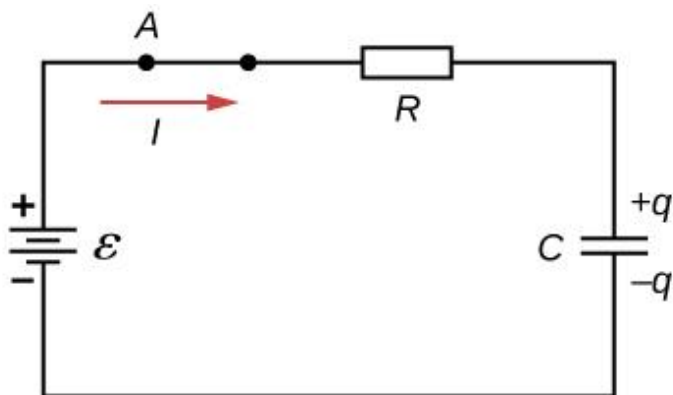


Obwody RC

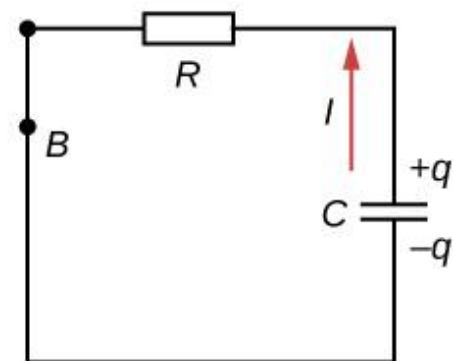
Obwód zawierający opornik i kondensator.



(a) Obwód wyjściowy



(b) Ładowanie kondensatora



(c) Rozładowywanie kondensatora

Obwody RC

$$\epsilon - U_R - U_C = 0$$

$$\epsilon - R \frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} = 0$$

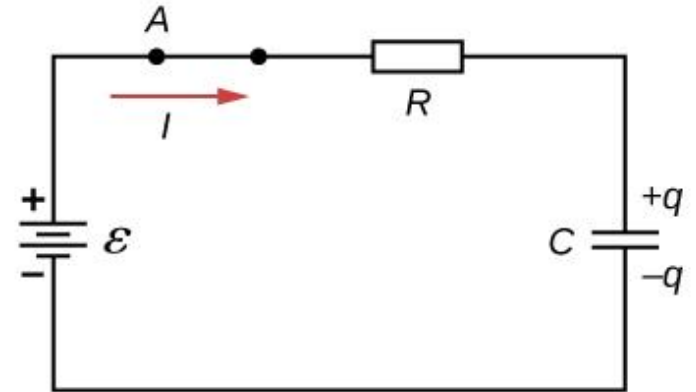
$$q(t) = C\epsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$RC = \tau$ – pojemnościowa stała czasowa [s]

$$Q_{\max} = C\epsilon$$

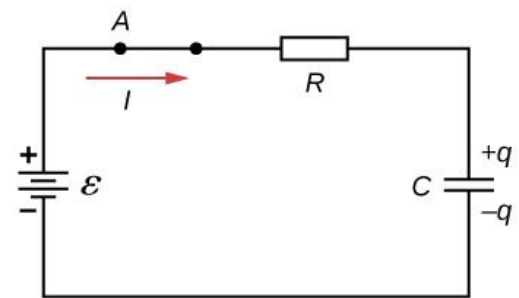
$$q(t) = Q_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$i(t) = I_0 \left(e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



(b) Ładowanie kondensatora (c) i

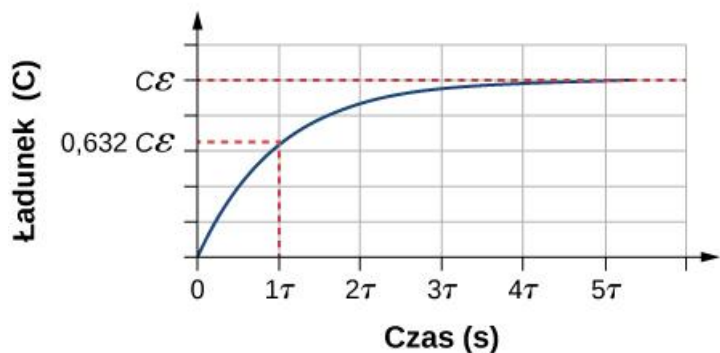
Obwody RC



(b) Ładowanie kondensatora

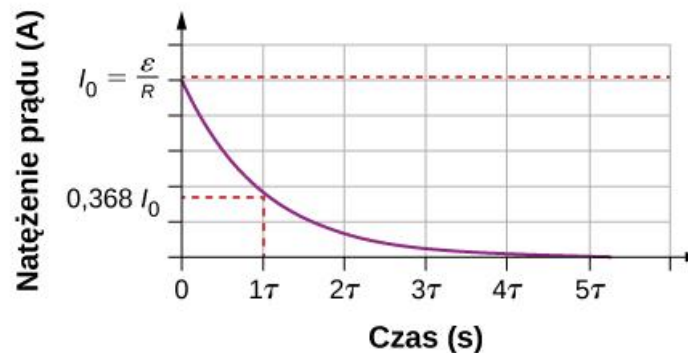
(c) I

Zależność $q(t)$ dla kondensatora



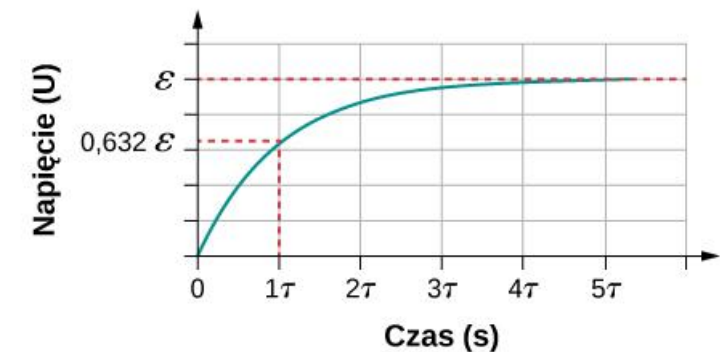
(a)

Zależność $I(t)$ dla opornika



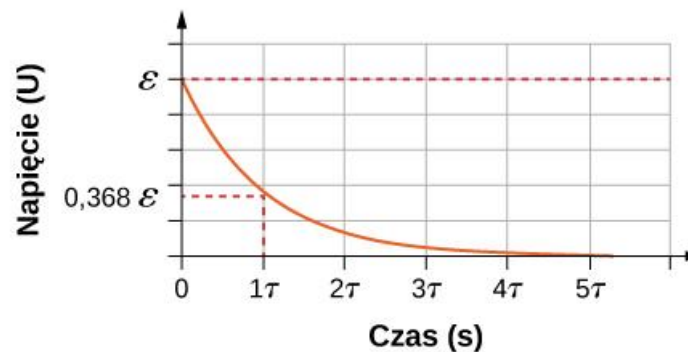
(b)

Zależność $U_c(t)$ na kondensatorze



(c)

Zależność $U_R(t)$ na oporniku

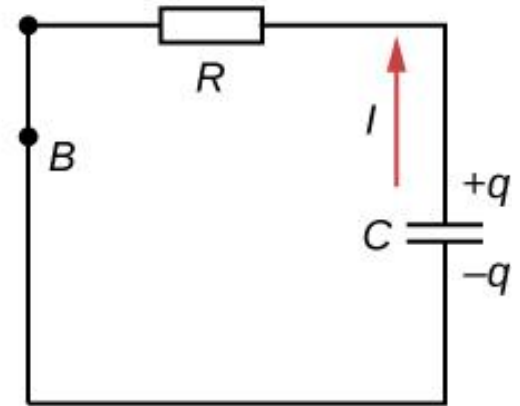


(d)

Obwody RC

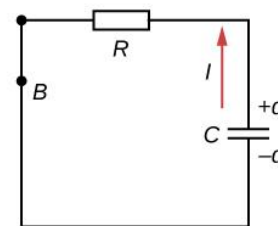
$$q(t) = C\epsilon(e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$i(t) = -I_0(e^{-\frac{t}{\tau}})$$



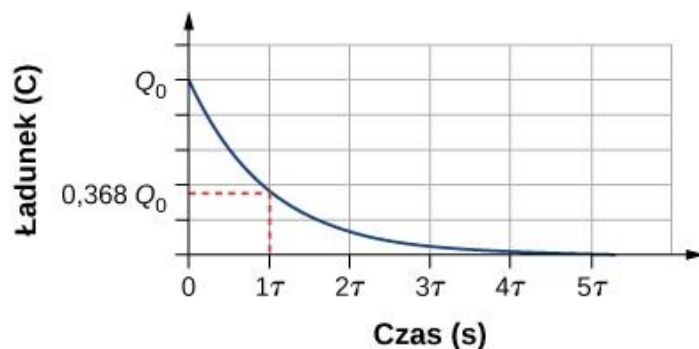
Rozładowywanie kondensatora

Obwody RC



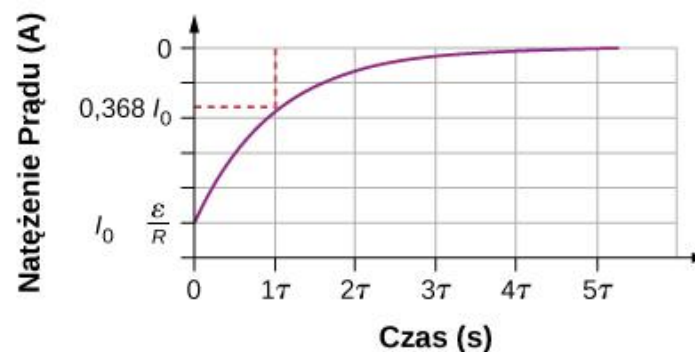
Rozładowywanie kondensatora

Zależność $q(t)$ dla kondensatora



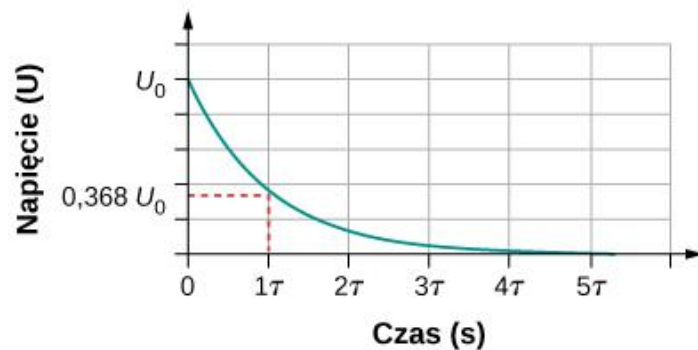
(a)

Zależność $I(t)$ dla opornika



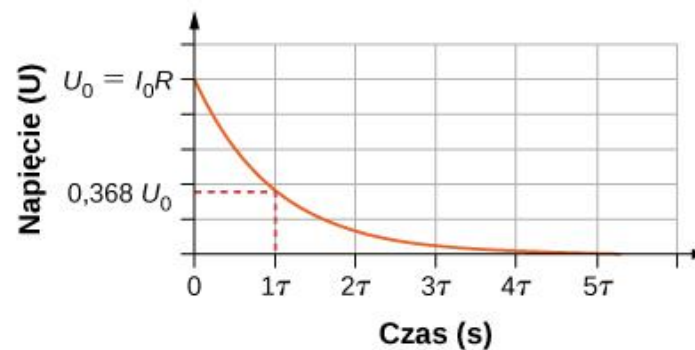
(b)

Zależność $U_c(t)$ na kondensatorze



(c)

Zależność $U_c(t)$ na oporniku



(d)



FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 13

Dziękuję za uwagę

dr inż. Katarzyna Gwóźdź