



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**

Wydział Telekomunikacji,
Informatyki i Elektrotechniki

Podstawy Elektroniki

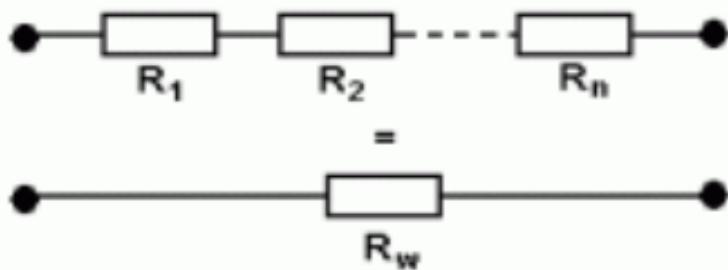
Wykład 2

dr inż. Monika Kosowska



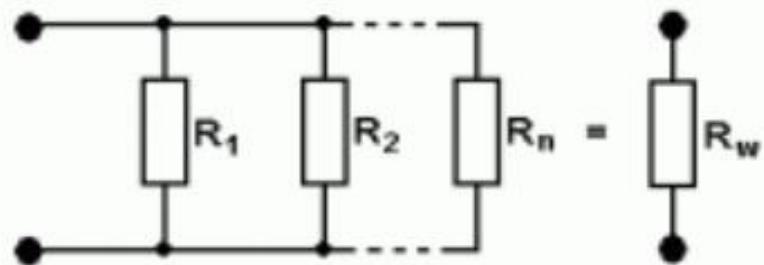
Przekształcenia obwodów

- Łączanie rezystorów: szeregowe i równoległe



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

Ten sam prąd



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

To samo napięcie

Rezystor

- Łączenie rezystorów: szeregowe

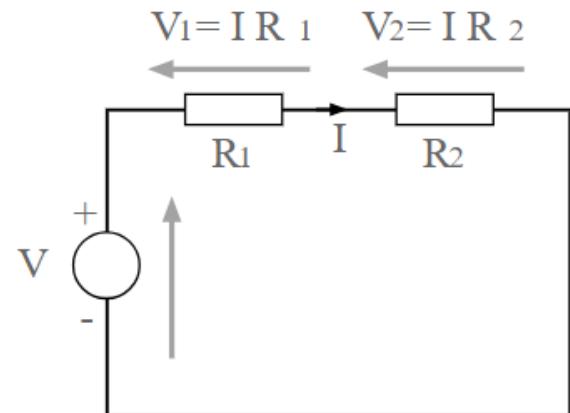
$$V_1 = IR_1 \quad \& \quad V_2 = IR_2$$

$$V - V_1 - V_2 = 0 \rightarrow V = V_1 + V_2$$

$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

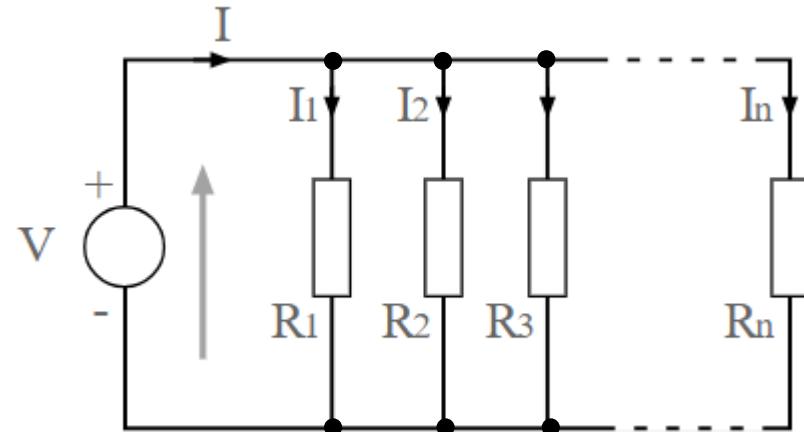
$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2$$

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2$$



Rezystor

- Łączenie rezystorów: równoległe



$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

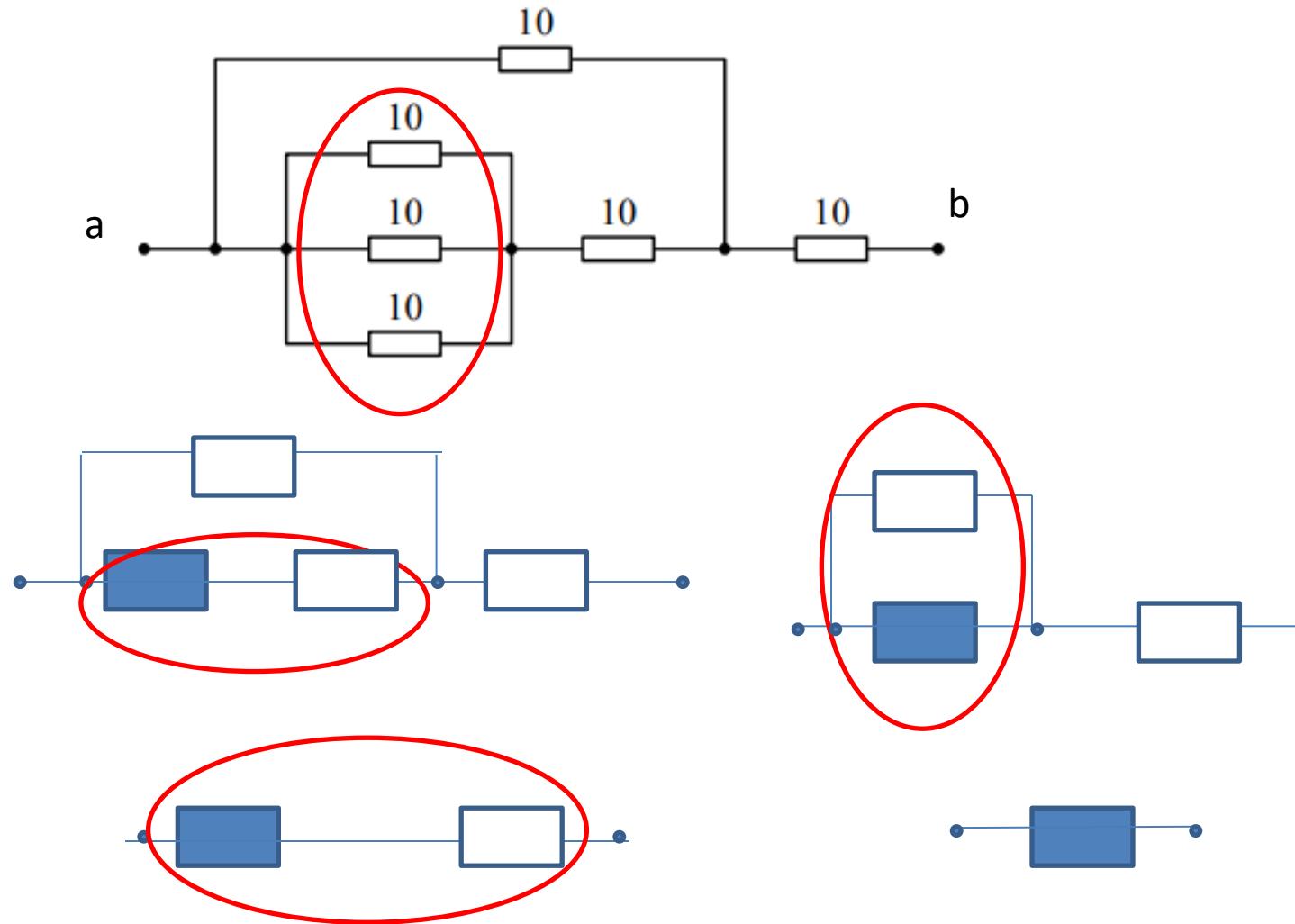
$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$1/R_{\text{total}} \Rightarrow R_{\text{total}}$$

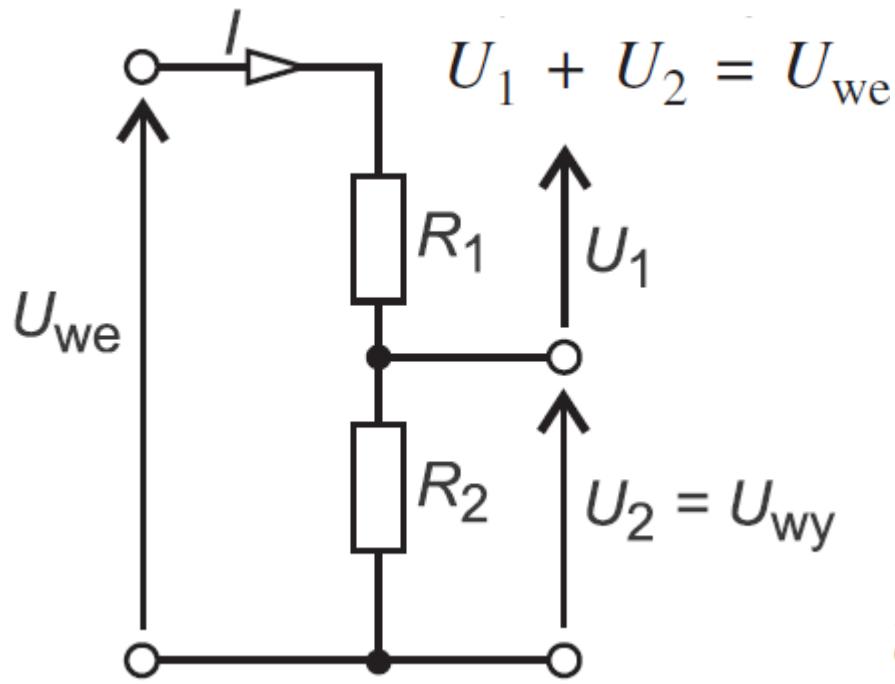
Przykład

Obliczyć rezystancję zastępczą między zaciskami a i b:



Dzielnik napięcia

- ☆ układ dzielący napięcie doprowadzone do jego wejścia na dwie części
- ☆ napięcie wyjściowe jest częścią napięcia wejściowego
- ☆ rezystory połączone szeregowo

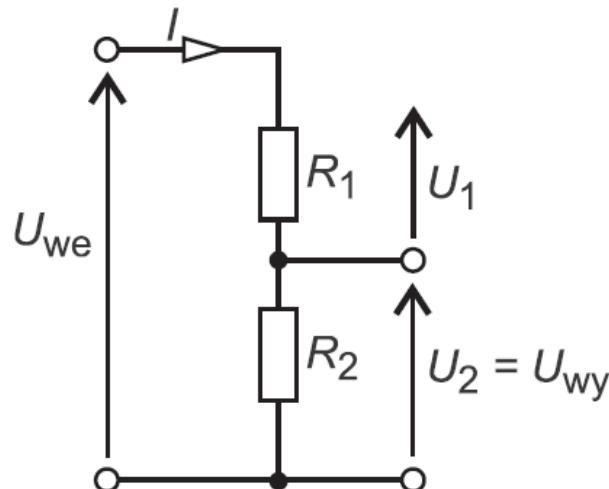


$$I = \frac{U_{\text{we}}}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = U_{\text{we}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = U_{\text{we}} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad U_2 = U_{\text{we}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Dzielnik napięcia



$$U_{\text{we}} = 24 \text{ V}, R_1 = 4 \Omega, R_2 = 2 \Omega$$

$$I = \frac{U_{\text{we}}}{R_1 + R_2} = \frac{24}{4 + 2} = 4 \text{ A}$$

$$U_1 = U_{\text{we}} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 24 \frac{4}{4 + 2} = \frac{96}{6} = 16 \text{ V}$$

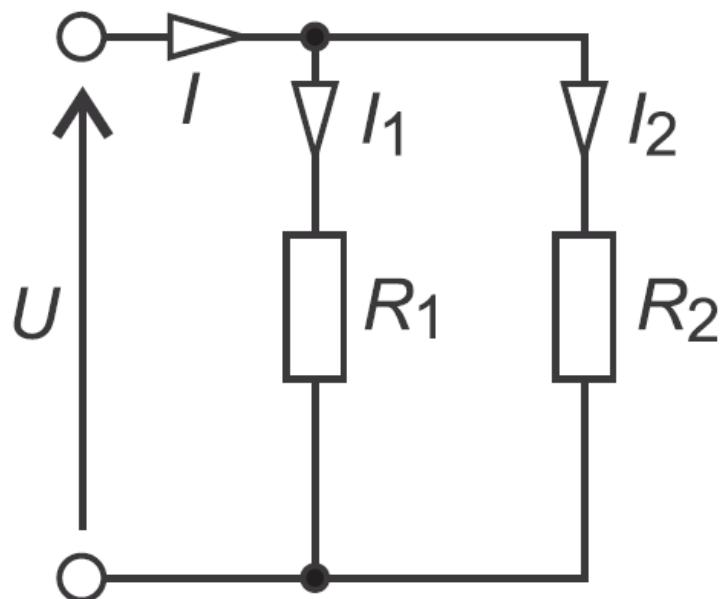
$$U_2 = U_{\text{we}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 24 \frac{2}{4 + 2} = \frac{48}{6} = 8 \text{ V}$$

$$G = 1/R \text{ [s]}$$

Konduktacja(przewodność)

Dzielnik prądu

- ★ prąd dopływający do układu jest dzielony na prądy gałęziowe o wartościach wprost proporcjonalnych do wartości konduktancji gałęziowych
- ★ rezystory łączone równolegle



$$I_1 = U \cdot G_1 \quad I_2 = U \cdot G_2$$

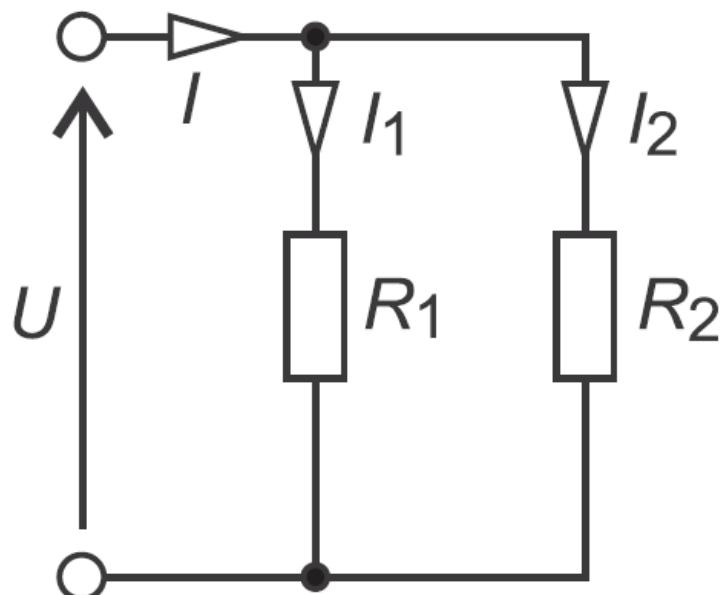
$$I = U(G_1 + G_2) \rightarrow U = \frac{I}{G_1 + G_2}$$

$$I_1 = I \cdot \frac{G_1}{G_1 + G_2} \quad I_2 = I \cdot \frac{G_2}{G_1 + G_2}$$

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Dzielnik prądu

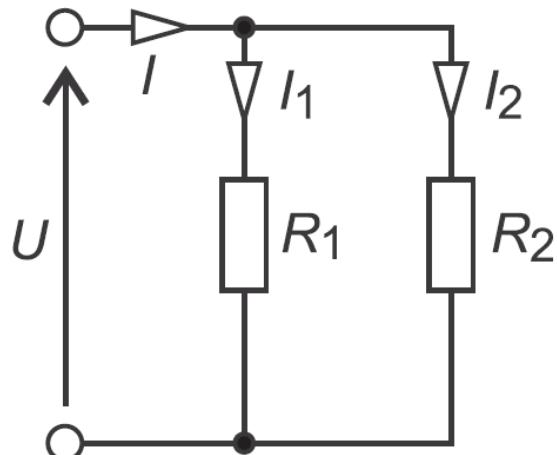
$$I = 12 \text{ A}, R_1 = 3 \Omega, R_2 = 6 \Omega$$



$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{6}{3+6} = 8 \text{ A}$$

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{3}{3+6} = 4 \text{ A}$$

Dzielnik prądu

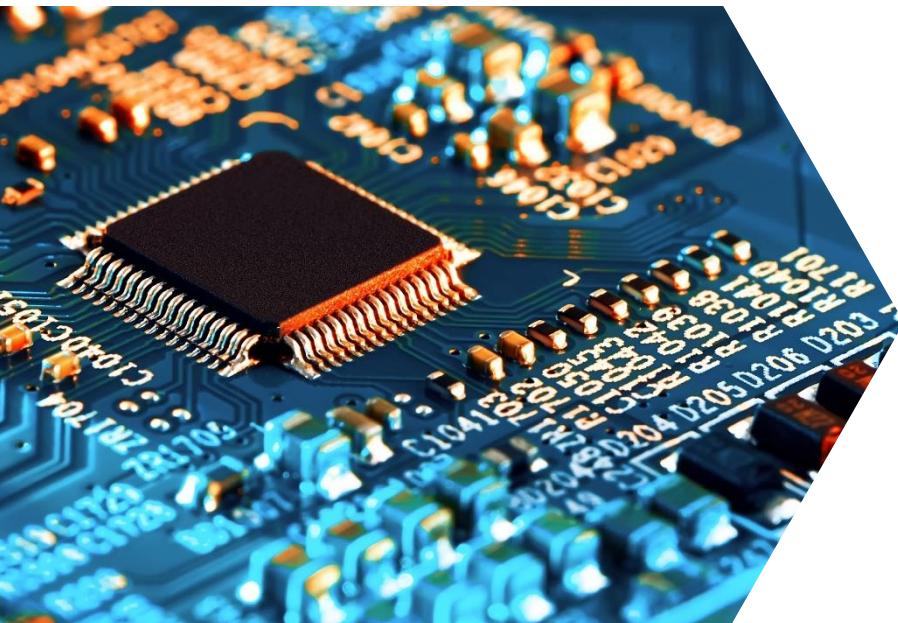


$$I = 12 \text{ A}, \quad R_1 = 3 \Omega, \quad R_2 = 6 \Omega$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{3} \text{ S} \quad G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6} \text{ S}$$

$$I_1 = \frac{I}{G_1 + G_2} \cdot G_1 = \frac{12}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{3} = \frac{12}{\frac{2}{6} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{3} = \frac{12}{\frac{3}{6}} \cdot \frac{1}{3} = 8 \text{ A}$$

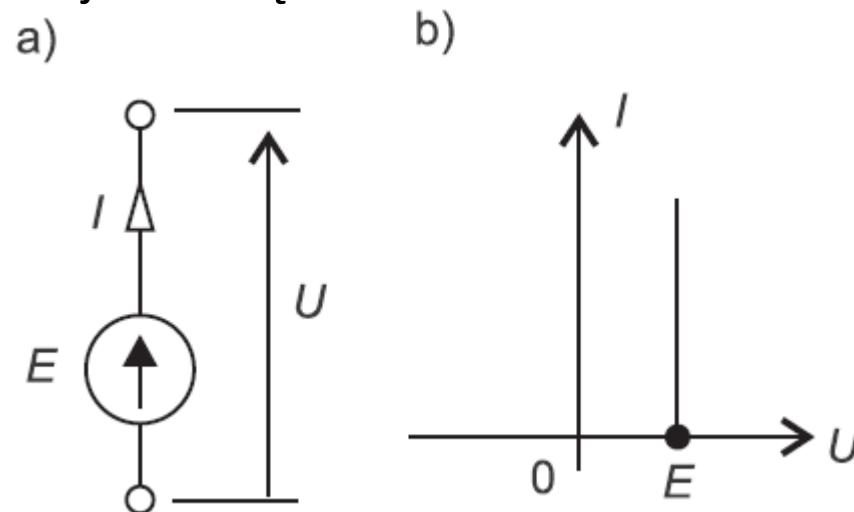
$$I_2 = \frac{I}{G_1 + G_2} \cdot G_2 = \frac{12}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{6} = \frac{12}{\frac{2}{6} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{6} = \frac{12}{\frac{3}{6}} \cdot \frac{1}{6} = 4 \text{ A}$$



Podstawowe elementy

Idealne źródło napięcia

- dwukońcowkowy element aktywny wytwarzający napięcie niezależne od prądu płynącego w tym źródle
- charakterystyczny parametr – napięcie źródłowe E
- zerowa rezystancja wewnętrzna

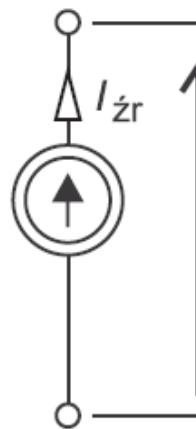


- a) symbol graficzny
- b) charakterystyka prądowo - napięciowa

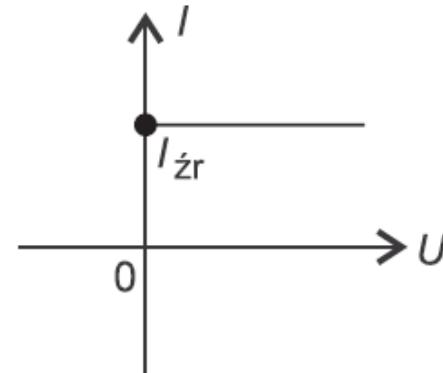
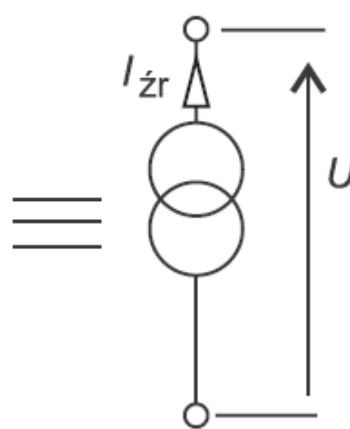
Idealne źródło prądu

- dwukońcowkowy element aktywny wytwarzający prąd niezależne od napięcia na jego zaciskach
- charakterystyczny parametr – prąd źródłowy I_{zr}
- nieskończoność wielka rezystancja wewnętrzna

a)



b)



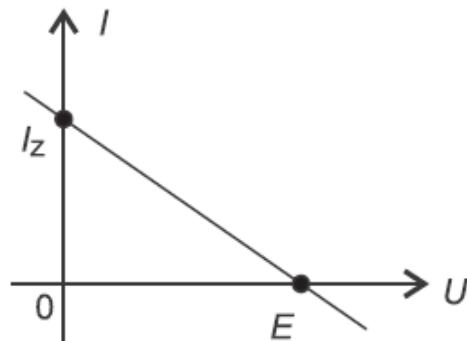
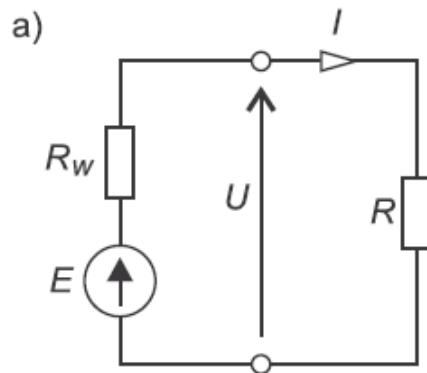
a) symbole graficzne

b) charakterystyka prądowo - napięciowa

Rzeczywiste źródła energii mają zawsze niezerową rezystancję wewnętrzną w przypadku źródeł napięciowych oraz skończoną rezystancję wewnętrzną w przypadku źródeł prądowych.

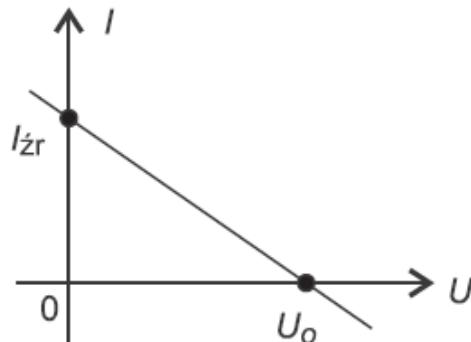
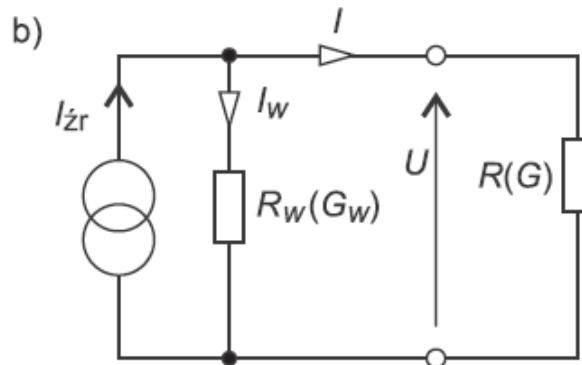
Elementy rzeczywiste

Schematy zastępcze rzeczywistych źródeł: a) napięciowego b) prądowego



$$U = E - IR_w$$

$$I_{\max} = I_z = \frac{E}{R_w}$$



$$I = I_{\text{Zr}} - I_w = I_{\text{Zr}} - \frac{U}{R_w}$$

$$U_{\max} = U_0 = I_{\text{Zr}} R_w$$

Rezystor

- dwukońcówkowy element oporowy
- jego podstawowym parametrem jest rezystancja [Ω]

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

- spadek napięcia jest wprost proporcjonalny do prądu płynącego przez opornik

$$U = R \cdot I$$

- oznaczenie na schematach:

a)



b)



Rezystor

- Kod paskowy

Kolor	Wartość		Mnożnik	Tolerancja ± %	Współczynnik temp. ± ppm/K
	1 pasek	2 pasek	3 pasek	4 pasek	ostatni pasek
brak	–	–	–	20	–
srebrny	–	–	10^{-2} (0,01 Ω)	10	–
złoty	–	–	10^{-1} (0,1 Ω)	5	–
czarny	–	0	10^0 (1 Ω)	–	250
brązowy	1	1	10^1 (10 Ω)	1	100
czerwony	2	2	10^2 (100 Ω)	2	50
pomarańczowy	3	3	10^3 (1 kΩ)	–	15
żółty	4	4	10^4 (10 kΩ)	–	25
zielony	5	5	10^5 (100 kΩ)	0,5	20
niebieski	6	6	10^6 (1 MΩ)	0,25	10
fioletowy	7	7	10^7 (10 MΩ)	0,1	5
szary	8	8	10^8 (100 MΩ)	0,05	2
biały	9	9	10^9 (1 GΩ)	–	–

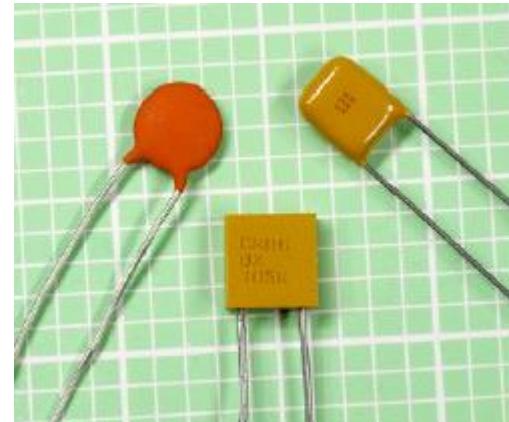
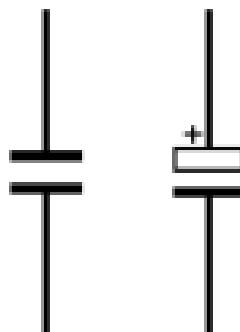


Rezystor - parametry

- rezystancja nominalna – rezystancja podawana przez producenta na obudowie opornika, wyrażona w omach
- tolerancja – klasa dokładności
- moc znamionowa – moc jaką opornik może przez dłuższy czas wydzielać w postaci ciepła bez wpływu na jego parametry
- napięcie graniczne – maksymalne napięcie jakie można przyłożyć do opornika bez obawy o jego zniszczenie
- temperaturowy współczynnik rezystancji – współczynnik określający zmiany rezystancji pod wpływem zmian temperatury opornika

Kondensator

- element elektroniczny, zbudowany z dwóch przewodników (okładek) rozdzielonych dielektrykiem
- doprowadzenie napięcia do okładek kondensatora powoduje zgromadzenie się na nich ładunku elektrycznego
- jego podstawowym parametrem jest pojemność C
- wyrażana w faradach [F]
- oznaczenie na schematach:



10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f

Kondensator

- Pojemność C kondensatora definiuje się jako iloraz ładunku Q zgromadzonego na kondensatorze do napięcia U panującego pomiędzy jego okładkami

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = \frac{\epsilon S}{d},$$

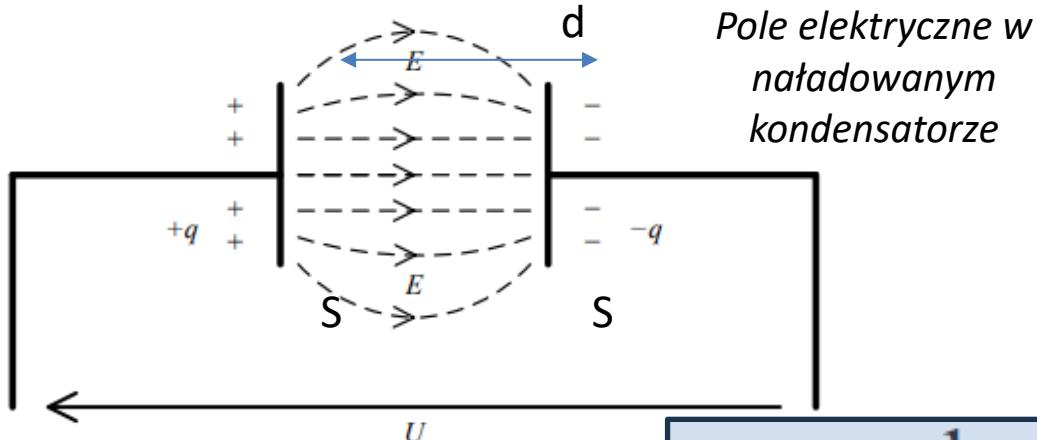
gdzie: ϵ_0 – bezwzględna przenikalność elektryczna próżni ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$),

ϵ_r – względna przenikalność dielektryka (np. dla powietrza $\epsilon_r = 1$, dla papieru $\epsilon_r = 3,5$),

ϵ – przenikalność dielektryczna,

S – pole powierzchni okładek,

d – odległość pomiędzy okładkami.



$$i = C \frac{du}{dt}$$

- Dla prądu stałego kondensator jest w stanie ustalonym rozwarciem (przerwą), choć napięcie na nim może być różne od zera.

Kondensator - parametry

- pojemność znamionowa
- tolerancja
- napięcie znamionowe
- Temperaturowy współczynnik pojemności

pF	nF	µF
1	0,001	0,000001
10	0,01	0,00001
100	0,1	0,0001
1000	1	0,001
10 000	10	0,01
100 000	100	0,1
1 000 000	1000	1

Kondensator

- odcinanie napięć stałych w obwodzie
- filtracja tętnień w układach zasilających
- pomiar czasu
- budowa obwodów oscylacyjnych z cewką (obwody rezonansowe)
- budowa filtrów dla określonych częstotliwości

Cewka

- dwukońcówkowy element bierny zdolny do gromadzenia energii w polu magnetycznym
- posiada uzwojenie utworzone z pewnej liczby zwojów przewodnika
- jej podstawowym parametrem jest indukcyność
- oznaczenie na schematach:



Cewka

- Ograniczając się do cewki liniowej, indukcyjność definiujemy jako stosunek strumienia magnetycznego Ψ skojarzonego z cewką do płynącego przez nią prądu I :

$$L = \frac{\Psi}{I} \quad \Psi = n \cdot \phi$$

- Napięcie samoindukcji

$$u = L \frac{di}{dt}$$

Napięcie jest proporcjonalne do szybkości zmian natężenia prądu

- Indukcyjność cewki

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r z^2 S}{l} = \frac{\mu z^2 S}{l}$$

gdzie: μ_0 – bezwzględna przenikalność magnetyczna próżni,
 μ_r – wzgólniona przenikalność magnetyczna,
 μ – przenikalność magnetyczna,
 z – liczba zwojów,
 S – przekrój poprzeczny cewki,
 l – długość korpusu cewki.

Cewka - parametry

- Indukcyjność
- Dobroć
- Temperaturowy współczynnik indukcyjności
- Dopuszczalna wartość prądu
- Dopuszczalna wartość napięcia

nH	µH	mH
1	0,001	0,000001
10	0,01	0,00001
100	0,1	0,0001
1000	1	0,001
10 000	10	0,01
100 000	100	0,1
1 000 000	1000	1

dla R prąd jest proporcjonalny do napięcia

$$I_R = U_R \frac{1}{R}$$

dla C prąd jest proporcjonalny do szybkości zmian napięcia

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt}$$

dla L napięcie jest proporcjonalne do szybkości zmian prądu

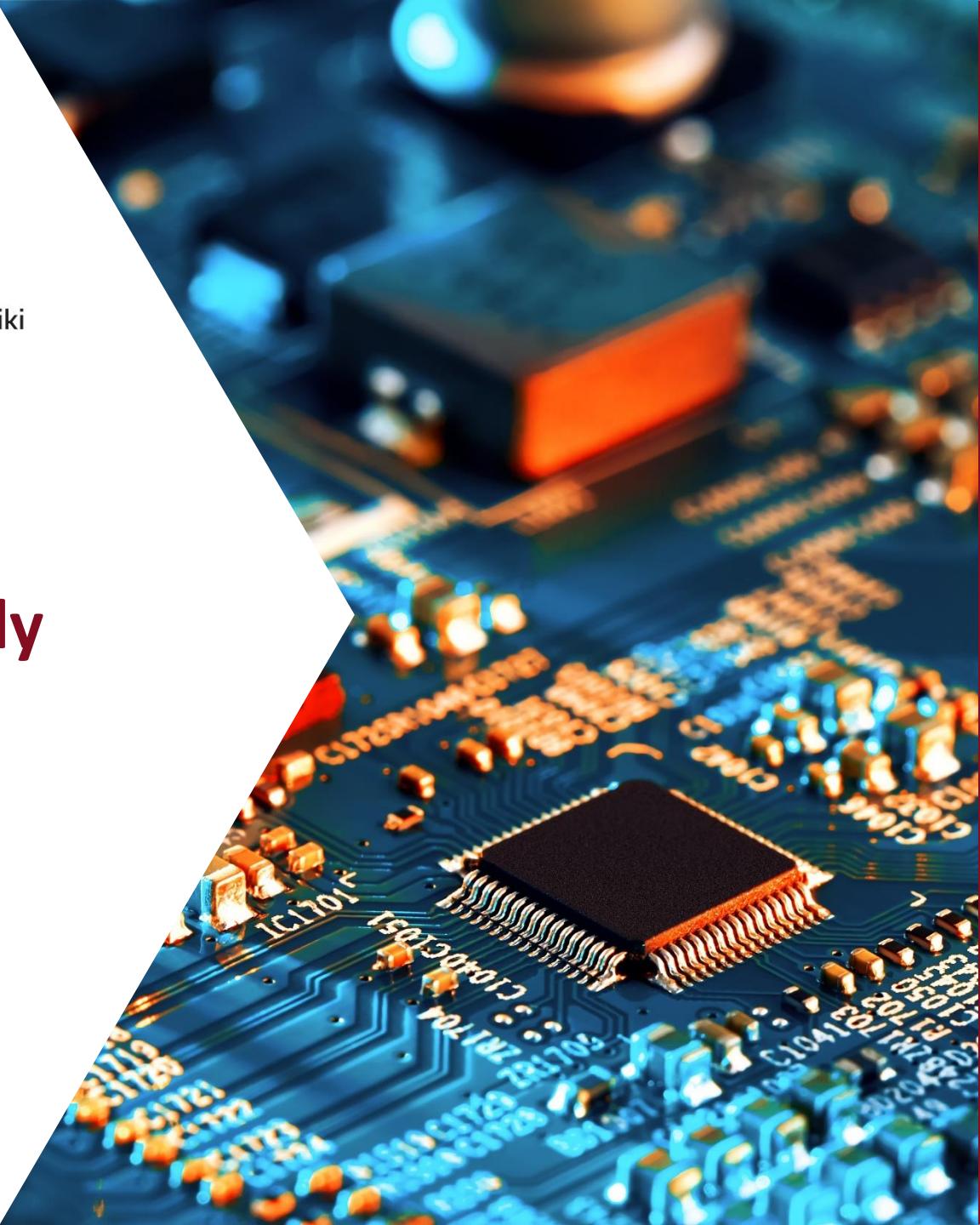
$$U_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

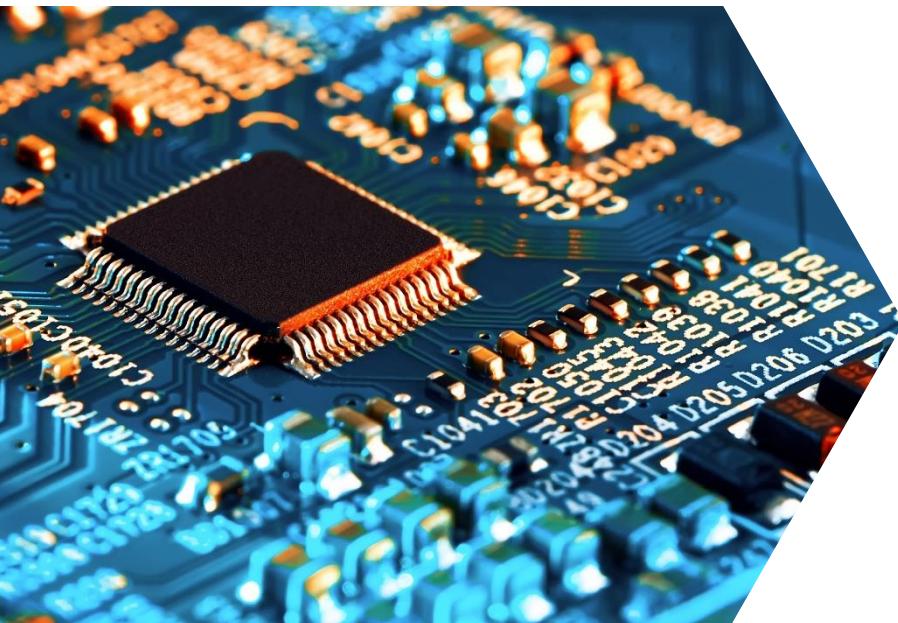


**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**

Wydział Telekomunikacji,
Informatyki i Elektrotechniki

Elementy i układy analogowe

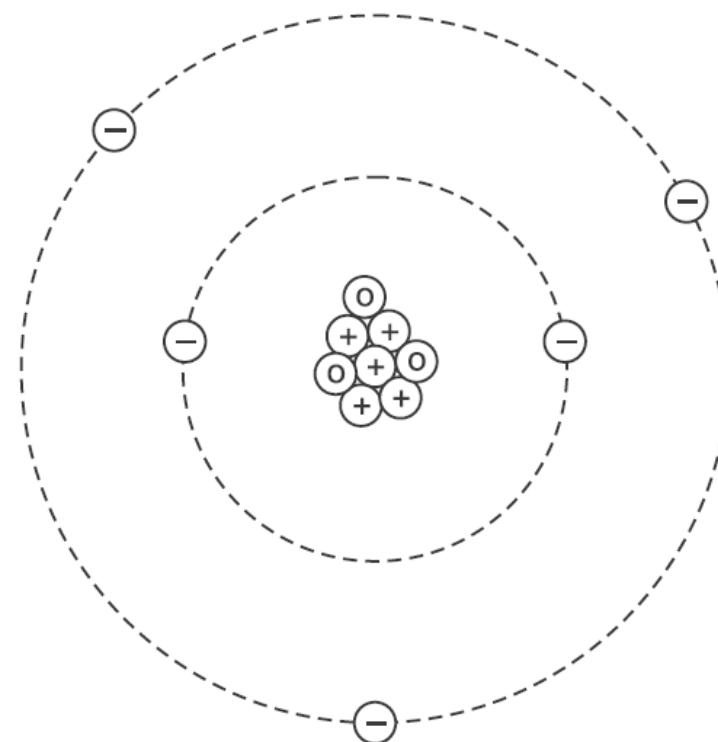




Półprzewodniki,
złącze p-n, dioda
półprzewodnikowa

Ciąła stałe

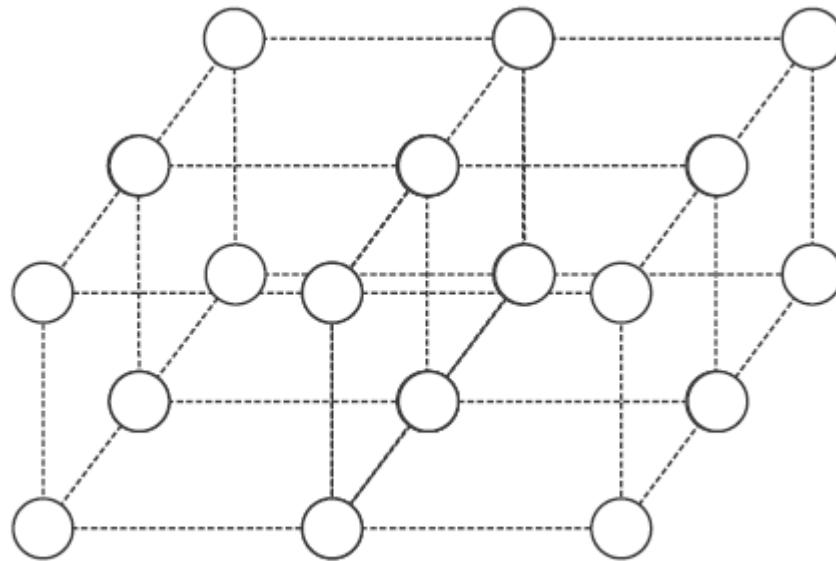
- Atomy
- Jonizacja
- Kwantyzacja
- Elektryny walencyjne



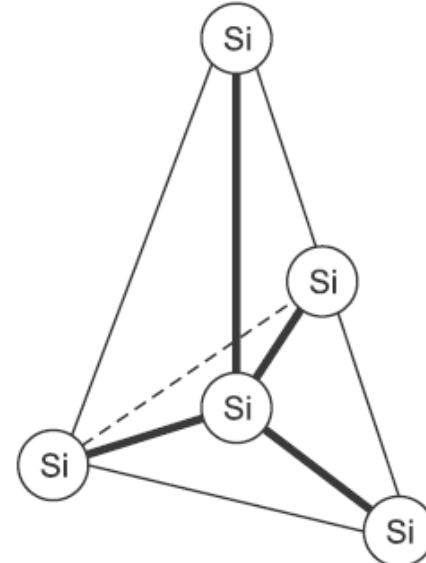
Struktura atomu – model Bohra

Ciąła stałe

- Trwały układ przestrzenny cząstek
- Sieć krystaliczna

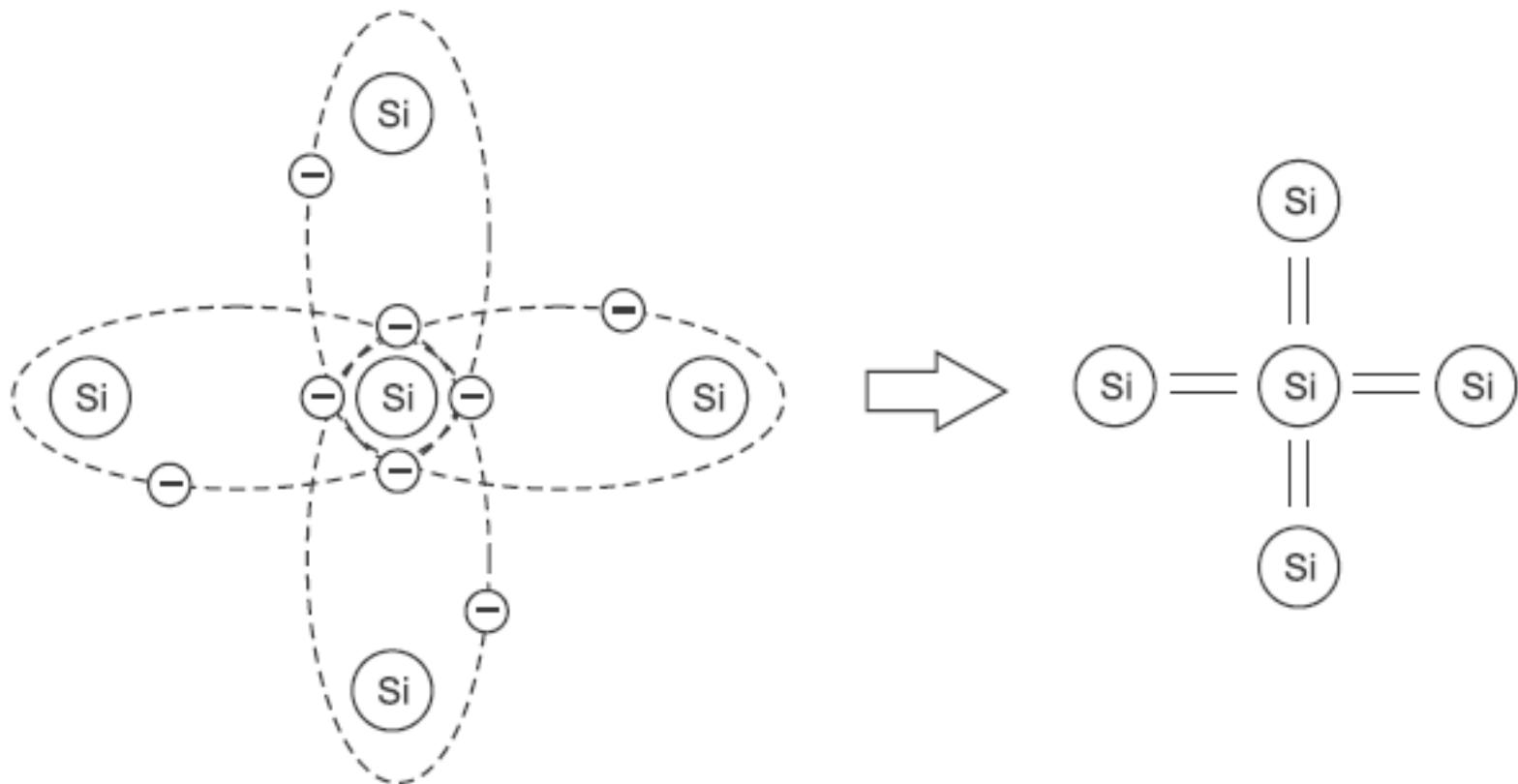


Model sieci krystalicznej



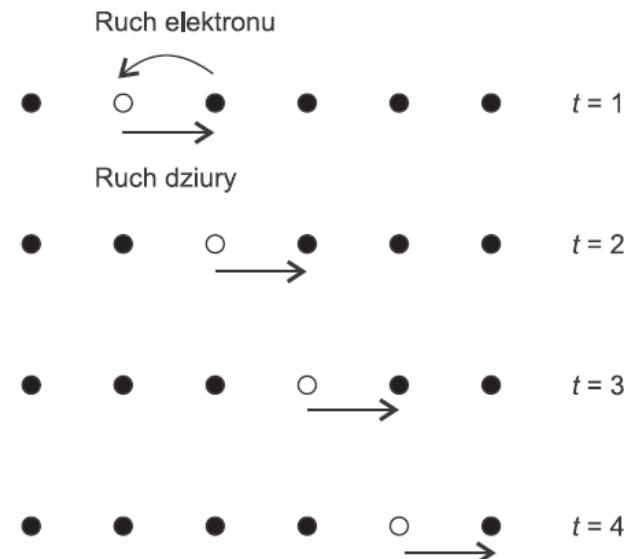
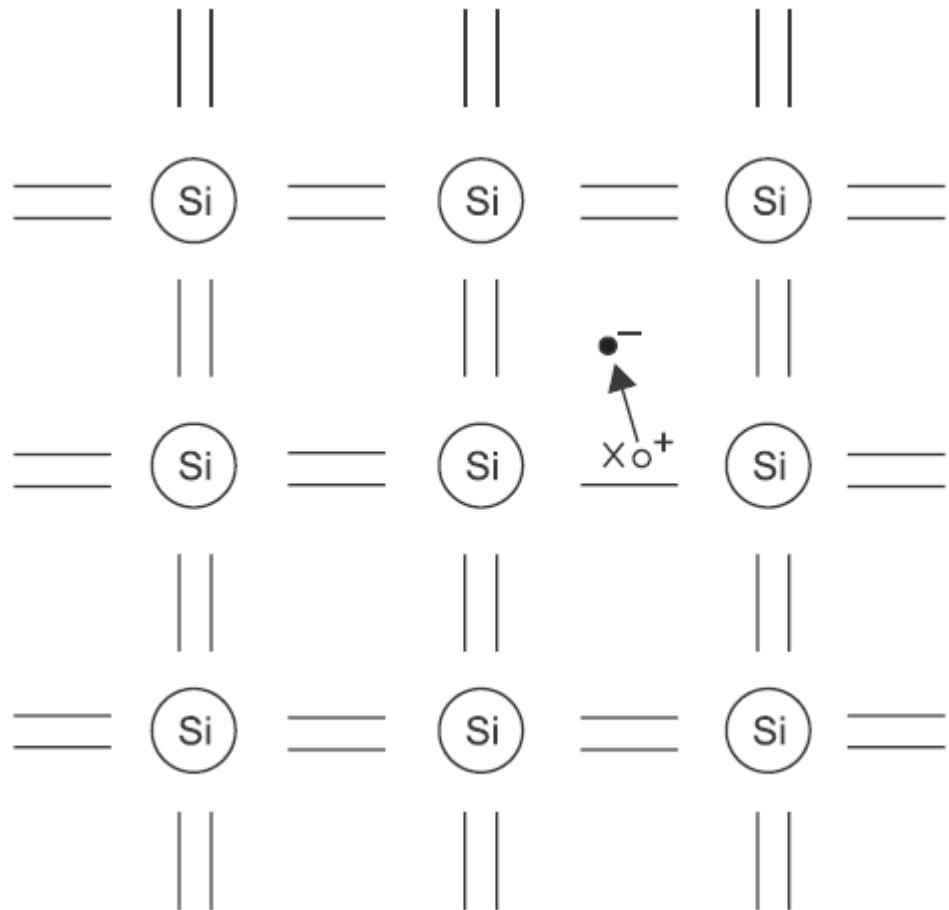
Konfiguracja atomów w podstawowej komórce sieci krystalicznej typu diament

Ciąła stałe



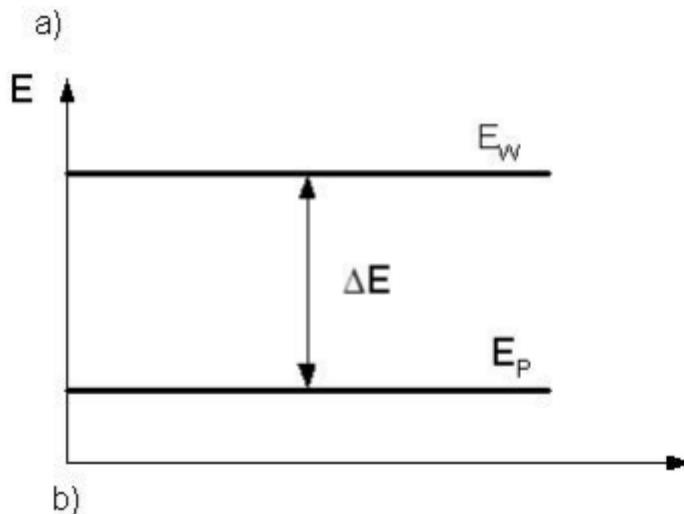
Model wiązań kowalencyjnych między atomami krzemu i ich symboliczna reprezentacja

Ciąła stałe



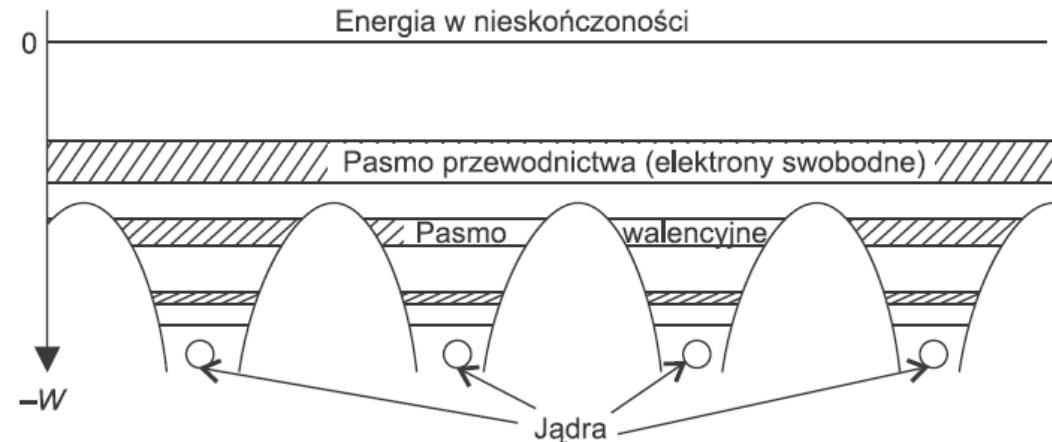
Ilustracja powstawania pary elektron-dziura w wyniku zerwania wiązania kowalencyjnego

Pasmowy model ciała stałego



b)

Energia w nieskończoności

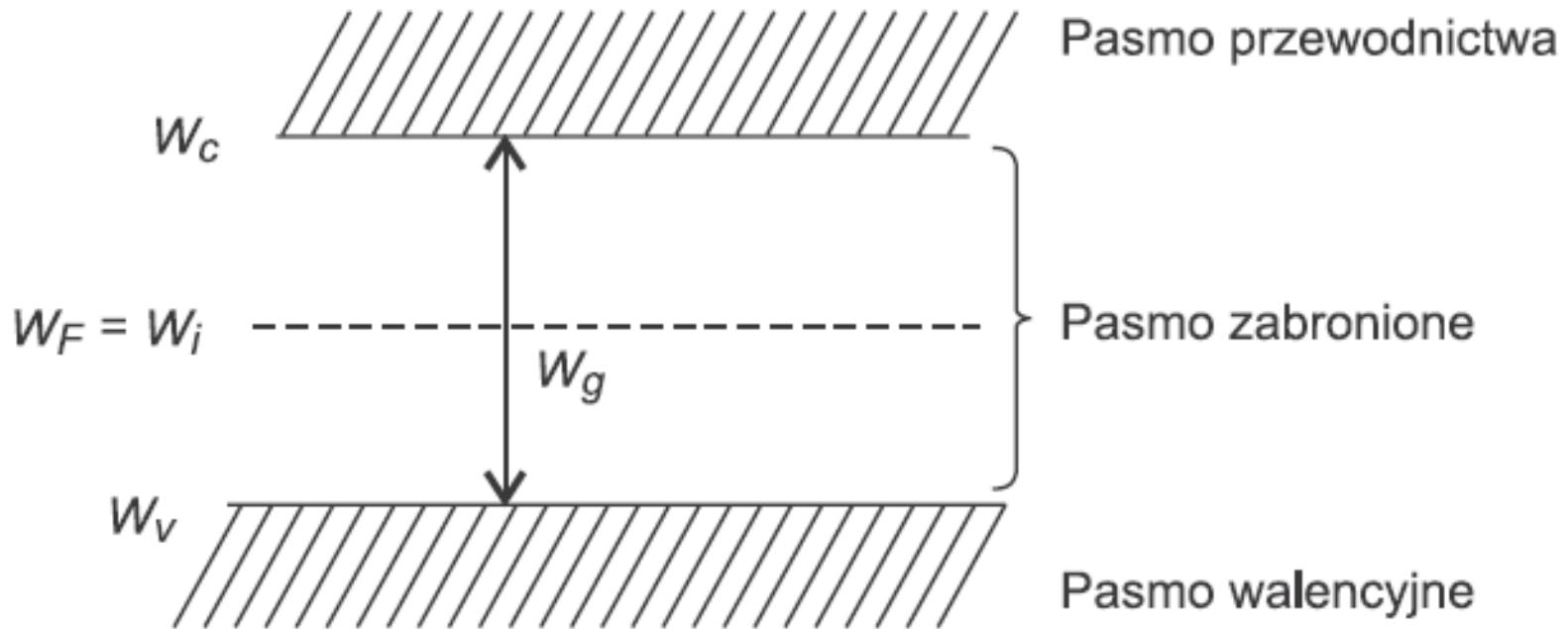


Model energetyczny:

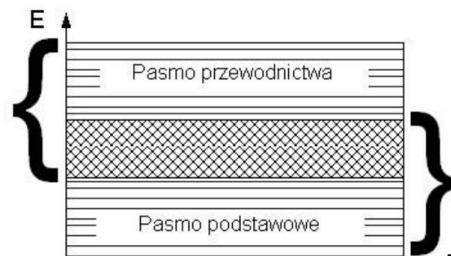
a) atomu: E_P – energia w stanie podstawowym, E_W – energia w stanie wzbudzonym, ΔE – pamo zabronione (przerwa energetyczna)

b) ciała stałego

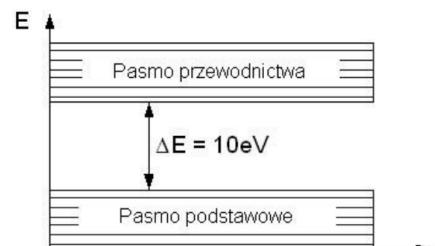
Pasmowy model ciała stałego



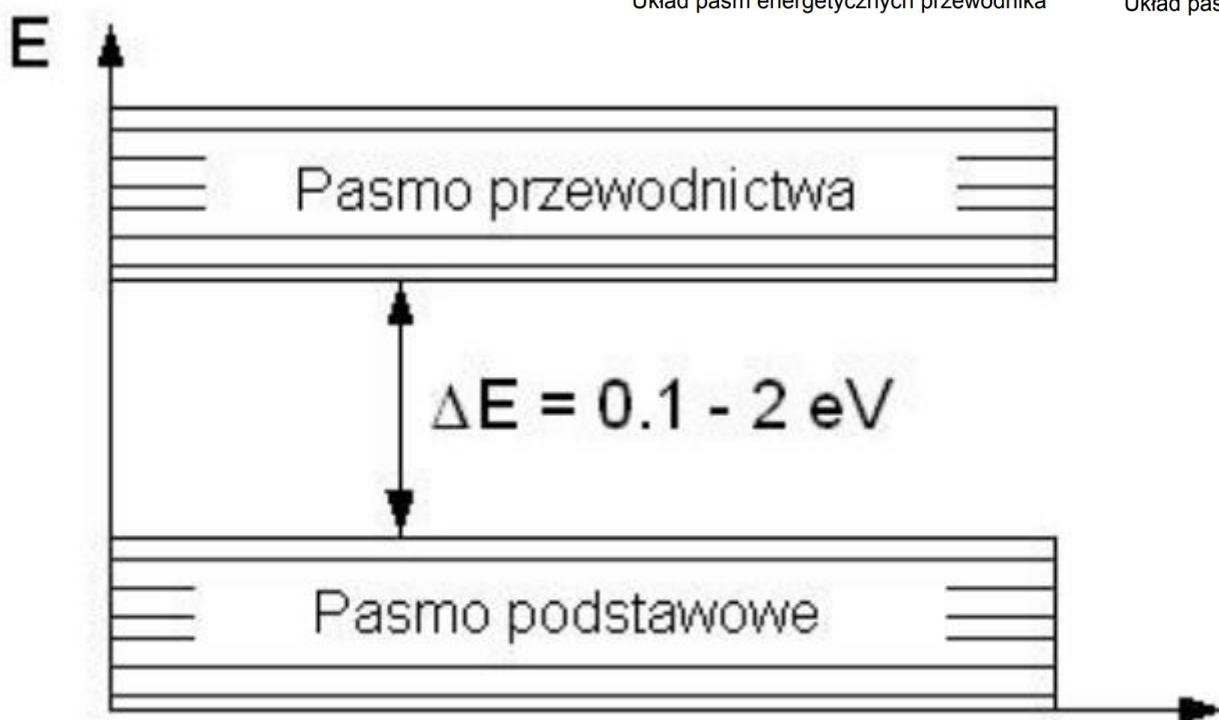
Półprzewodniki



Układ pasm energetycznych przewodnika

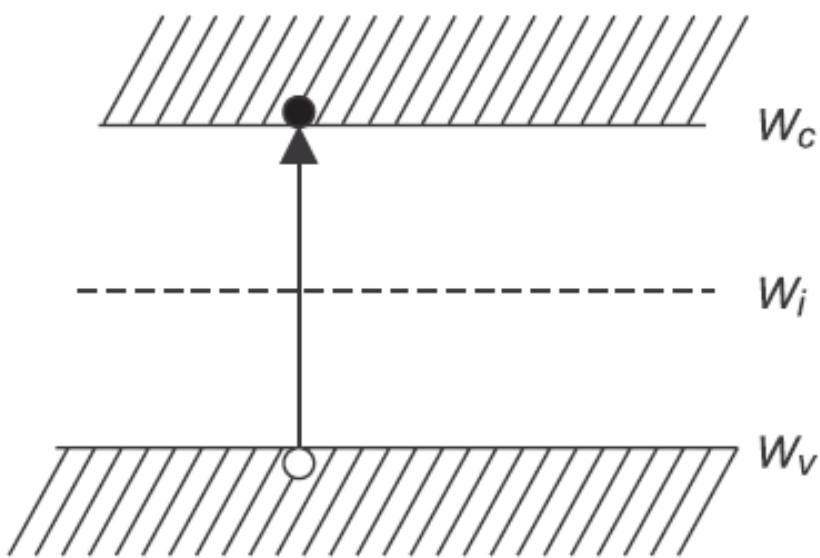


Układ pasm energetycznych dielektryka



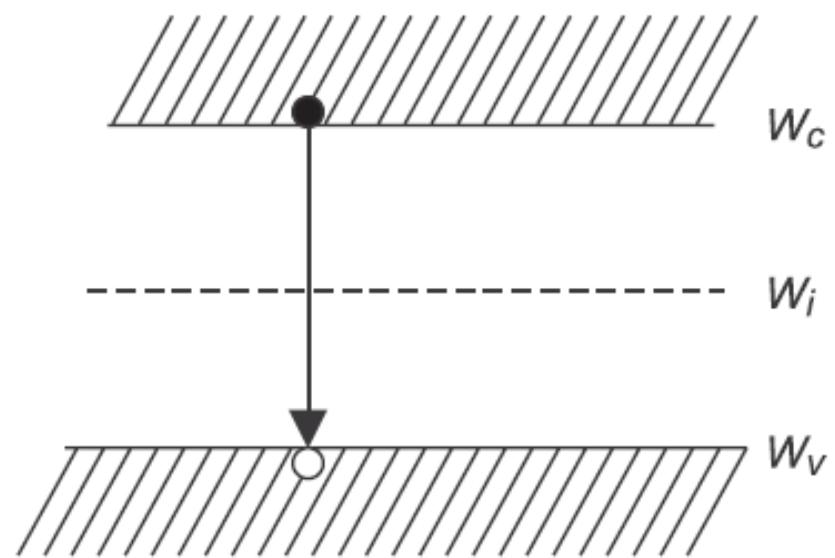
Układ pasm energetycznych półprzewodnika

Półprzewodniki



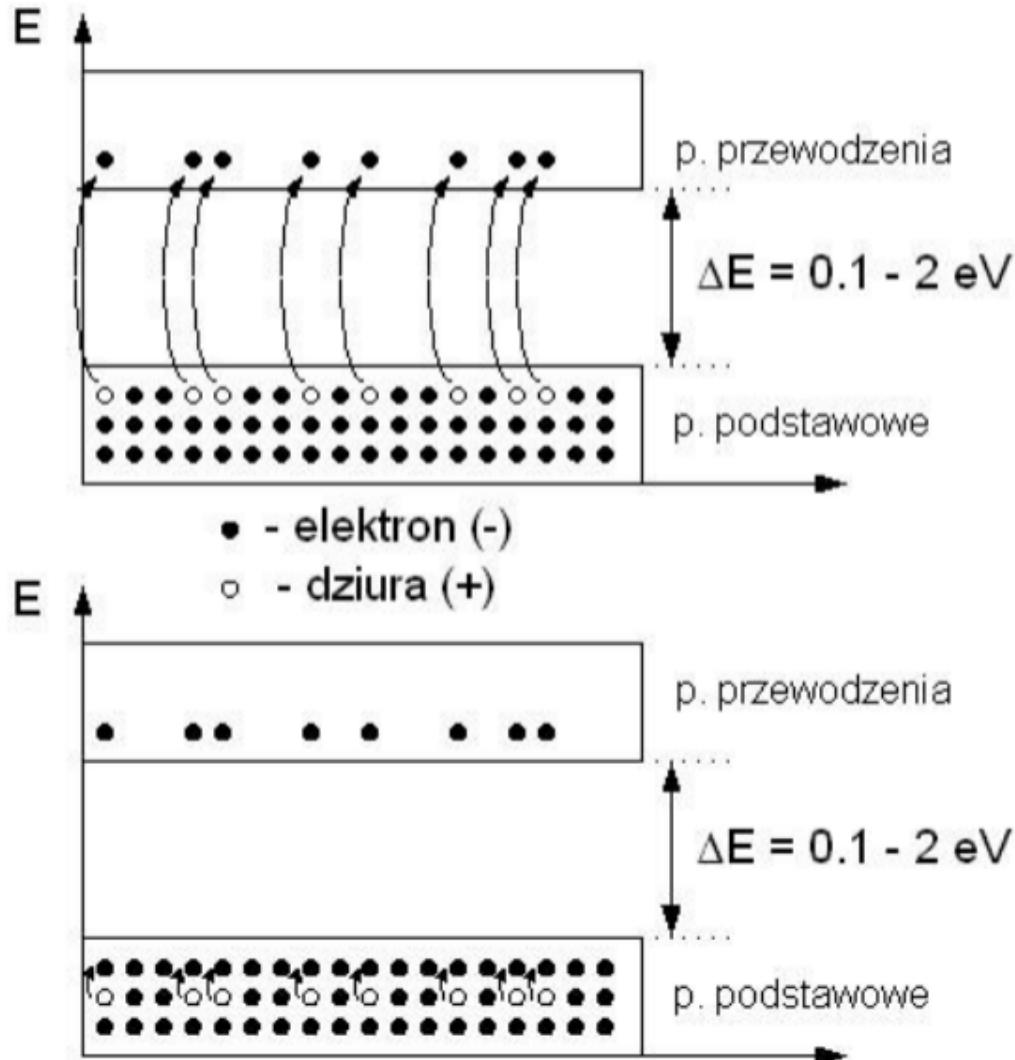
Generacja
(a)

● – elektron
○ – dziura



Rekombinacja
(b)

Półprzewodniki



Przejście pomiędzy poziomami - **generacja i rekombinacja**; pary dziura elektron (garaż piętrowy).

Prąd w półprzewodniku:

- elektronowy w paśmie przewodnictwa w kierunku elektrody dodatniej
- dziurowy w paśmie podstawowym w kierunku elektrody ujemnej

Półprzewodniki - właściwości

- konduktywność $10^{-8} \dots 10^{-4}$ S/m
- przerwa energetyczna 0.1 – 2 eV
- w temperaturze pokojowej występują elektrony w paśmie przewodnictwa
- wraz ze wzrostem temperatury rezystancja półprzewodnika maleje
- działając na półprzewodnik: ciepłem, promieniowaniem, polami elektrycznym lub magnetycznym łatwo jest przenieść elektron z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa