

# Podstawy elektrotechniki i elektroniki

cz. III  
Rezystancja. Rezystory.

Opracował:  
mgr inż. Marcin Wieczorek  
[www.marwie.net.pl](http://www.marwie.net.pl)

## 1. Elementy rezystancyjne.

- należą do grupy odbiorników energii elektrycznej
- idealne elementy rezystancyjne przekształcają energię prądu elektrycznego w ciepło

## 2. Rezystancja.




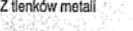
- współczynnik proporcjonalności R
- najważniejszy parametr elementu rezystancyjnego
- jednostka Ohm [Ω]
- wartość rezystancji zależy od wymiarów geometrycznych elementu (długości l oraz przekrój S) oraz od zdolności zastosowanego materiału do przewodzenia prądu

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

gdzie  $\rho$  – rezystywność [Ωm]

### 3. Budowa rezystorów ich właściwości i oznaczenia.

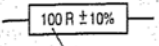
- rezystory stałe

Rezystor	Materiał rezystancyjny	Struktura, wytwarzanie	Właściwości i zastosowanie
	Stop metalowy, np. konstantan, manganin, chromonikielina	Korpus ceramiczny w postaci walca z nawiniętymi zwojami drutu oporowego	Małe wartości rezystancji, np. rezystory pomiarowe
		Uzwojenie pokryte jest warstwą cementu	Rezystory o dużych stratach mocy, stosowane np. w odbiornikach telewizyjnych. Muszą być montowane z odpowiednim zabezpieczeniem miejsca lutowania, aby zmniejszyć wpływ wydzielnego w nich ciepła na pozostałą część obwodu elektrycznego
		Uzwojenie jest chronione warstwą ceramiki	Rezystor może nagrzać się do temperatury około 350°C. Zastosowanie: rezystory obciążeni
	Warstwa węglowa	Na korpusie ceramicznym nałożona jest warstwa węglowa zabezpieczona na zewnątrz powłoką lakierną	Najczęściej stosowane w elektrotechnice jako rezystory szeregowo
	Warstwa metalu, np. chrom – nikiel	Warstwa metalu jest napylna na korpus ceramiczny i chroniona lakierem od czynników zewnętrznych	Rezystory pomiarowe o tolerancji $\pm 0,01\%$ , stabilne temperaturowo
	Tlenek metalu, np. tlenek cynku	Korpus ceramiczny pokryty jest tlenkiem metalu	Stosowane jako rezystory mocy, gdy temperatury na powierzchni osiągają wysokie wartości (do 250°C)

6/

- wartość rezystancji wraz z dopuszczalnymi odchyłkami (tolerancją) przedstawić w postaci:
  - nadruku, np.  $100\Omega \pm 1\%$
  - kodu kolorowego
  - kodu liczbowego, np. 100 R
- kod liczbowy stosowany jest stosowany przy elementach o dużych rozmiarach, a szczególnie do rezystorów o dużej mocy

Nadruk	Wartość	Nadruk	Wartość
R 10	0,10 $\Omega$	100 R	100 $\Omega$
1 R 0	1,0 $\Omega$	10 K	10 k $\Omega$
1 R 33	1,33 $\Omega$	1 M	1 M $\Omega$

Przykład:  = 100  $\Omega$

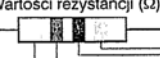
6/

- paskowy kod kolorów
  - stosowane są kody cztero- i pięciopaskowe
  - stosuje się także szósty pasek określający współczynnik temperaturowy rezystancji

- pierwszy pasek znajduje się w pobliżu jednego z wyprowadzeń


- ostatni pasek często jest szerszy od pozostałych

Wartości rezystancji ( $\Omega$ )



Kolor	Skróty nazw koloru wg. PN-EN 60062	1 cyfra	2 cyfra	Mnożnik	Tolerancja
–	–	–	–	–	$\pm 20\%$
srebrny	SR	–	–	$10^{-2}$	$\pm 10\%$
złoty	GD	–	–	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
czarny	BK	0	0	$10^0$	–
brązowy	BN	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
czerwony	RD	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$
pomarańczowy	OG	3	3	$10^3$	–
żółty	YE	4	4	$10^4$	–
zielony	GN	5	5	$10^5$	$\pm 0,5\%$
niebieski	BU	6	6	$10^6$	$\pm 0,25\%$
fioletowy	VT	7	7	$10^7$	$\pm 0,1\%$
szary	GY	8	8	$10^8$	–
biały	WH	9	9	$10^9$	–

Przykład:



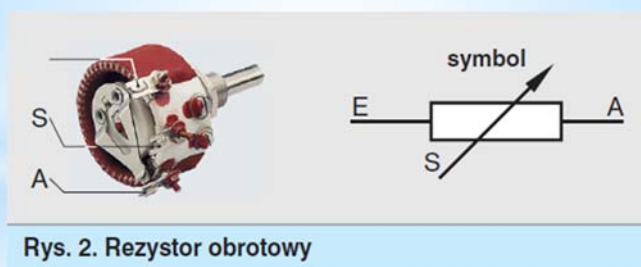
brązowy    czerwony    pomarańczowy    żółty

1    2     $10^3$     5%

$12k\Omega \pm 5\%$

6/

- rezystory zmienne
  - dają możliwość ciągłej (bezstopniowej) zmiany wartości rezystancji
  - mają trzy wyprowadzenia



Rys. 2. Rezystor obrotowy

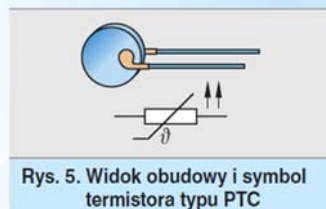
6/

- rezystory nieliniowe

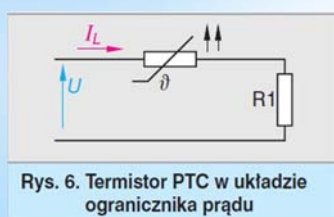
- elementy, których rezystancja nie jest wielkością stałą i zależy od różnych wielkości fizycznych np. temperatury



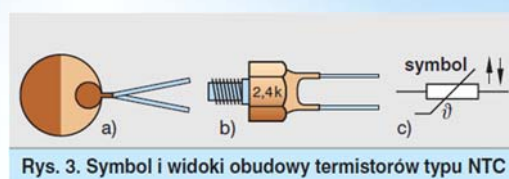
Rys. 4. Oznaczenie na termistorach typu NTC



Rys. 5. Widok obudowy i symbol termistora typu PTC



Rys. 6. Termistor PTC w układzie ogranicznika prądu



Rys. 3. Symbol i widoki obudowy termistorów typu NTC

6/

- termistory NTC

- ze wzrostem temperatury rezystancja termistora NTC zmniejsza się

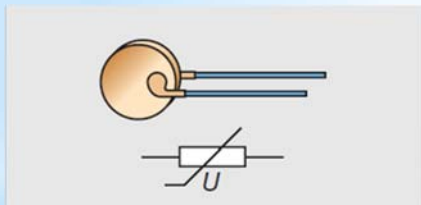
- termistory PTC

- ze wzrostem temperatury rezystancja termistora PTC zwiększa się

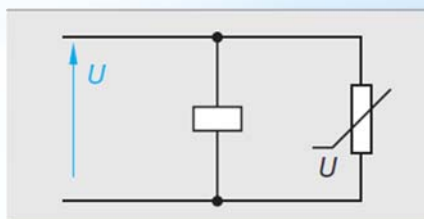
6/

- warystory (rezystory VDR)

➤ rezystancja warystorów zmniejsza się, gdy napięcie rośnie



Rys. 7. Widok obudowy i symbol warystora VDR

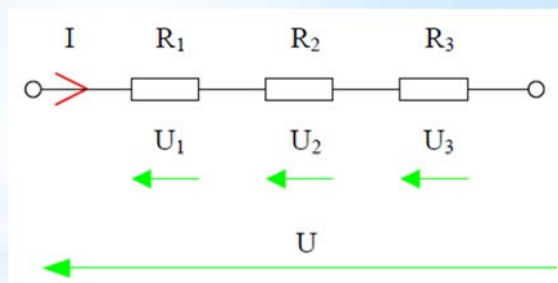


Rys. 8. Warystor VDR w układzie ogranicznika napięcia

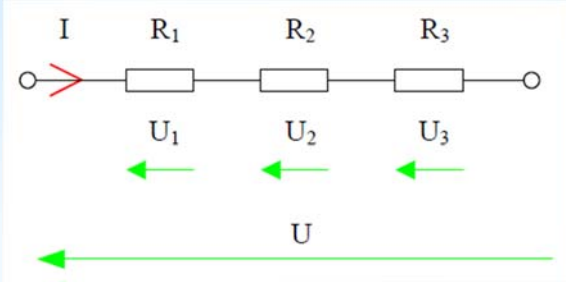
6/

### Połączenie szeregowe rezystorów

- przez wszystkie rezystory płynie ten sam prąd
- suma napięć na poszczególnych rezystorach jest równa napięciu źródła



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$



$$U_1 = R_1 \cdot I$$

$$U_2 = R_2 \cdot I$$

$$U_3 = R_3 \cdot I$$

$$U = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{U}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

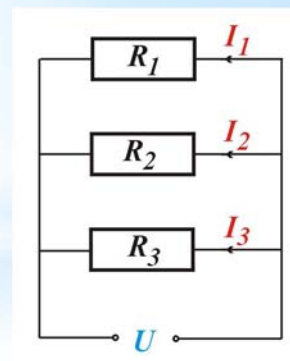
$$\frac{U}{I} = R_z$$

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3$$

### Połączenie równoległe rezystorów

- przez wszystkie rezystory płynie to samo napięcie
- suma prądów płynących przez poszczególne rezystory jest równa prądowi wypadkowemu

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

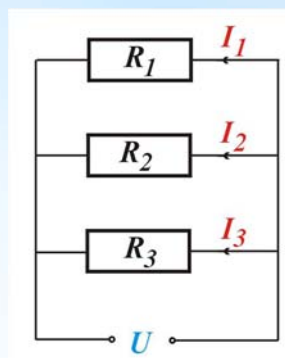
$$I_2 = \frac{U}{R_2} \quad I = I_1 + I_2 + I_3$$

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

$$\frac{U}{I} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

$$\frac{U}{I} = R_z \quad R_z = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$



### Połączenie równoległe rezystorów

- gdy wszystkie rezystory mają taką samą wartość to wtedy rezystancję zastępczą wyliczamy ze wzoru:

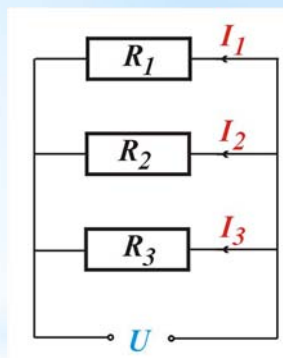
$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

$$R_z = \frac{R}{n}$$

gdzie:

R – wartość jednego z rezystorów

n – liczba rezystorów połączonych równoległe



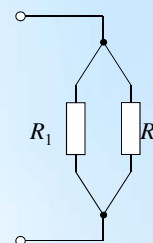
### Połączenie równoległe dwóch rezystorów

➤ w przypadku dwóch rezystorów połączonych równoległe

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

➤ po przekształceniu

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



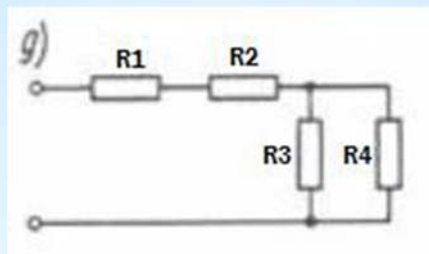
➤ **PULAPKA:** wzorując się na ostatniej zależności część uczniów zapisze dla trzech rezystorów **NIEPOPRAWNIE**

~~$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$~~

Szeregowo	Równoległe
Rezystancja zastępcza	
$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
jest większa od każdej z wartości $R_1, R_2, \dots, R_n$	jest mniejsza od każdej z wartości $R_1, R_2, \dots, R_n$
Konduktancja zastępcza	
$\frac{1}{G} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \dots + \frac{1}{G_n}$	$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$
Rezystancja w przypadku $n$ jednakowych rezystorów $R_1$	
$R = nR_1$	$R = \frac{R_1}{n}$



### Połączenie mieszane rezystorów

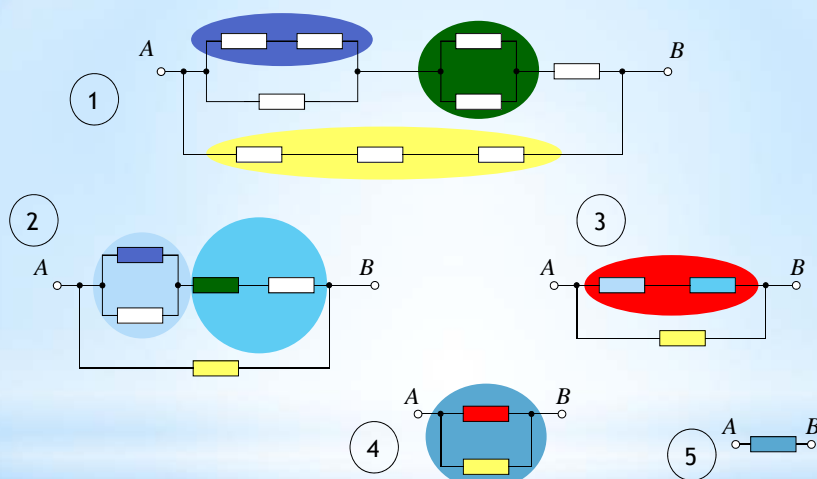


$$R_A = R_1 + R_2$$

$$R_B = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

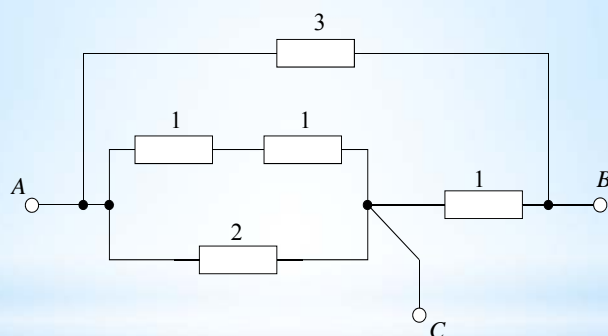
$$R_z = R_A + R_B$$

### Połączenie mieszane rezystorów – redukcja obwodu

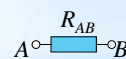
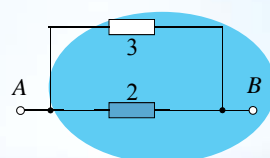
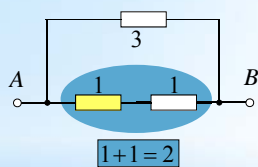
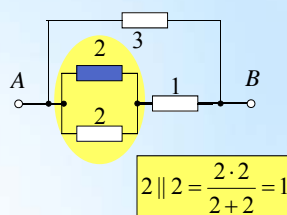
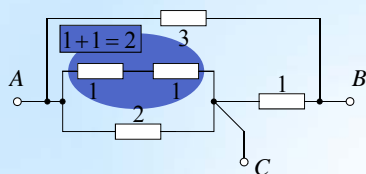


### Połączenie mieszane rezystorów – przykład

Wyznaczyć rezystancję zastępczą względem zacisków  $AB$  oraz  $AC$ . Wartości rezystancji w omach.

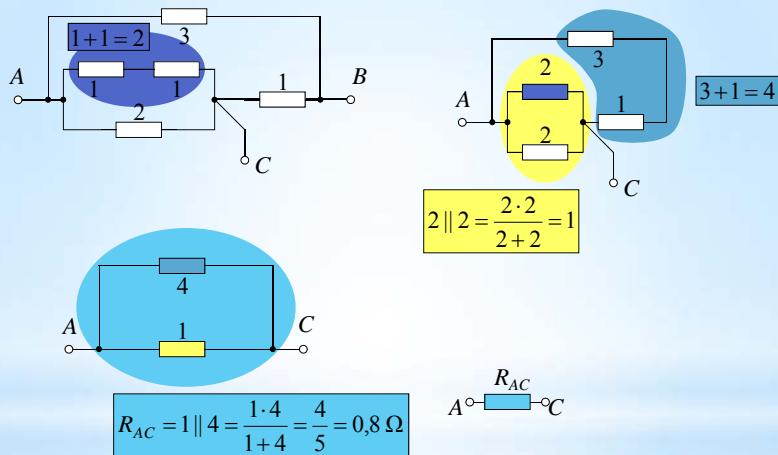


### Rezystancja $R_{AB}$



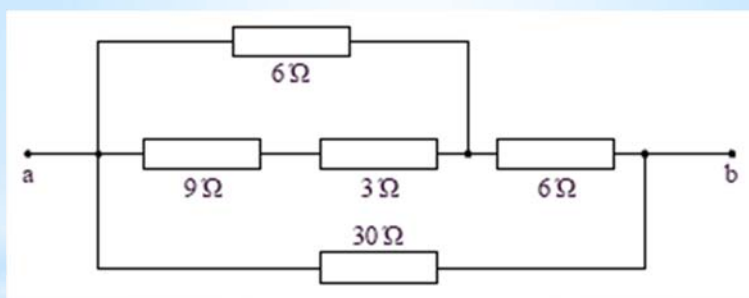
$$R_{AB} = 2 \parallel 3 = \frac{2 \cdot 3}{2 + 3} = \frac{6}{5} = 1,2 \Omega$$

### Rezystancja $R_{AC}$



### Zadanie 1

Oblicz rezystancję zastępczą poniższego układu



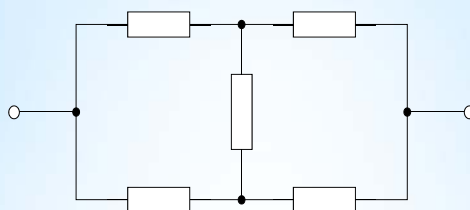
**Zadanie 2**

Dane są rezystory:  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$ ,  $R_3 = 10 \Omega$ ,  $R_4 = 10 \Omega$ ,  
 $R_5 = 10 \Omega$ .

Oblicz rezystancję zastępczą tych rezystorów połączonych  
równoległe.

**Połączenia specjalne**

Istnieją układy rezystorów, w którym brak jest połączeń szeregowych i równoległych, czyli nie da się ich zredukować za pomocą poznanych dotychczas wzorów.



Wtedy stosuje się tzw. zamianę „trójkąt-gwiazda” lub „gwiazda-trójkąt”.

## Połączenie w gwiazde i trójkąt

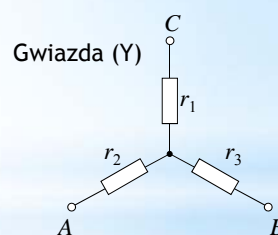
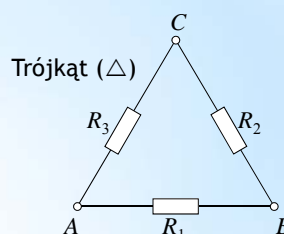
Równoważność obydwu połączeń wymaga, aby ich rezystancja zastępcza względem każdej pary zacisków  $AB$ ,  $BC$  i  $CA$  była jednakowa.

Stąd mamy układ równań

$$R_{AB} : \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = r_2 + r_3$$

$$R_{BC} : \frac{R_2(R_3 + R_1)}{R_1 + R_2 + R_3} = r_3 + r_1$$

$$R_{CA} : \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = r_1 + r_2$$



## Zamiana trójkąt - gwiazda

Rozwiązując powyższy układ równań ze względu na  $r_1$ ,  $r_2$  i  $r_3$ , dostajemy wzory na zamianę  $\Delta$ - $Y$

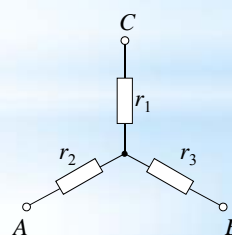
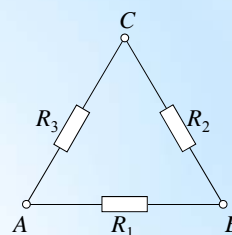
$$r_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_2 = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Jeżeli  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{\Delta}$ , to

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_Y = \frac{R_{\Delta}}{3}$$



### Zamiana gwiazda - trójkąt

Rozwiązując wcześniejszy układ równań ze względu na  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ , dostajemy wzory na zamianę Y- $\Delta$

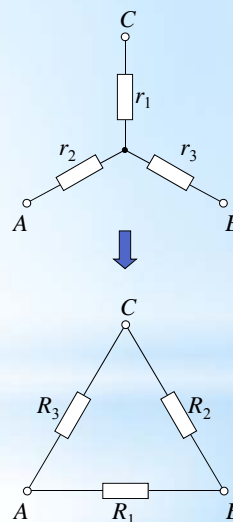
$$R_1 = r_2 + r_3 + \frac{r_2 r_3}{r_1}$$

$$R_2 = r_3 + r_1 + \frac{r_3 r_1}{r_2}$$

$$R_3 = r_1 + r_2 + \frac{r_1 r_2}{r_3}$$

Jeżeli  $r_1 = r_2 = r_3 = r_Y$ , to

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_\Delta = 3r_Y$$



### PRZYKŁAD

Obliczyć rezystancję zastępczą  $R_{AB}$ . Wartości rezystancji w omach.

