



**ŹRÓDŁO  
ENERGII**



Ponad  
**90**



**MAP  
MYŚLOWYCH**



**PRZECŁĄCZNIK**  
otwiera lub zamyka  
obwód.



**REZYSTOR**  
ogranicza  
przepływ prądu.



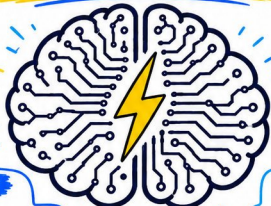
**PRZEWODY**  
przewodzą  
prąd.

— ABY —  
**ZROZUMIEĆ  
OBWODY  
ELEKTRYCZNE**



**ŻARÓWKA**  
zamienia energię  
elektryczną  
na światło.

*W sposób praktyczny i szybki*



**NAPIĘCIE (V)**  
to „siła”, która  
wprawia prąd  
w ruch.



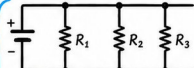
**PRĄD (A)**  
to przepływ  
ładunków  
elektrycznych.

**OBWÓD SZEREGOWY**



*Jedna ścieżka dla prądu.*

**OBWÓD RÓWNOLEGŁY**



*Wiele ścieżek dla prądu.*



*Ucz się **wizualnie**,  
zrozum formuły i powtarzaj  
z **większą łatwością**.*



# PRAWA AUTORSKIE



1

## WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE



Ten materiał jest chroniony prawem autorskim.

2

## DOZWOLONY UŻYTEK



Materiał jest przeznaczony wyłącznie do użytku osobistego i edukacyjnego.



3

## CZEGO NIE WOLNO



kopiować



sprzedawać



udostępniać



publikować bez zgody autora



4

## WAŻNA INFORMACJA



Materiał ma charakter edukacyjny. Podczas pracy z obwodami elektrycznymi zawsze zachowuj zasady bezpieczeństwa.



Dziękujemy za szacunek dla pracy autora.







# SPIS TREŚCI



01

Moduł 01 –

Podstawy obwodów elektrycznych



→ strony 04–15

02

Moduł 02 –

Prawo Ohma i podstawowe wzory

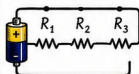


→ strony 16–27

03

Moduł 03 –

Obwody szeregowe

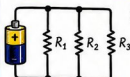


→ strony 28–40

04

Moduł 04 –

Obwody równoległe i mieszane



→ strony 41–53

05

Moduł 05 –

Moc i energia elektryczna



→ strony 54–65

06

Moduł 06 –

Symbol, elementy i pomiary



→ strony 66–77

07

Moduł 07 –

Prawa Kirchhoffa i analiza obwodów



→ strony 78–89

08

Moduł 08 –

Kondensatory, cewki i półprzewodniki



→ strony 90–101

09



Moduł 09 –

Obliczenia, zadania i powtórka

→ strony 102–112



Łącznie: 100 map myślowych + strony wprowadzające



# WPROWADZENIE

Ten materiał powstał, aby  
ułatwić Ci **zrozumienie obwodów elektrycznych**.

1

## CO ZNAJDZIESZ W ŚRODKU?



100 map myślowych,  
schematy, wzory,  
przykłady i szybkie  
podsumowania.

2

## DLA KOGO?



Dla uczniów,  
początkujących techników  
i wszystkich, którzy chcą  
zrozumieć obwody  
elektryczne w prosty  
sposób.

## JAK KORZYSTAĆ Z TEGO MATERIAŁU?



3

## JAK SIĘ UCZYĆ?

- 1  czytaj tytuł
- 2  obejrzyj schemat
- 3  zrozum wzór
- 4  powtórz własnymi słowami

4

## LEGENDA STRON

-  Definicja
-  Wzór
-  Przykład
-  Pamiętaj
-  Częsty błąd

5

## NAJWAŻNIEJSZA ZASADA



Najpierw zrozum sens,  
potem zapamiętaj  
symbole i obliczenia.

Ucz się małymi krokami —  
jedna mapa, jedna idea.



# MODUŁ 01



# FUNDAMENTY OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH

Zacznij od podstaw

## OBWÓD

Zamknięta droga,  
po której płynie prąd.



## PRĄD

Przepływ ładunków  
elektrycznych.



## NAPIĘCIE

Różnica potencjałów  
między dwoma  
punktami.



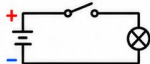
## REZYSTANCJA

Opor elementu,  
który utrudnia  
przepływ prądu.



## SCHEMAT

Graficzny zapis obwodu  
za pomocą symboli  
elektrycznych.



W tym module poznasz **podstawowe pojęcia**,  
**symbole** i **zasady działania** prostego obwodu.



# MAPA MYŚLI 01 — CZYM JEST OBWÓD ELEKTRYCZNY?



## 1 DEFINICJA

Obwód elektryczny to zamknięta droga, którą może płynąć prąd.

# OBWÓD ELEKTRYCZNY

## 2 CO JEST POTRZEBNE?



źródło energii



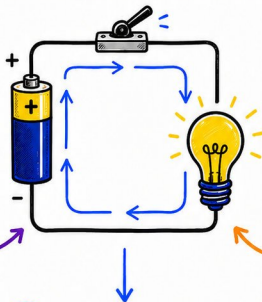
przewody



odbiornik



zamknięta ścieżka



## 3 JAK TO DZIAŁA?

Po zamknięciu obwodu prąd płynie od źródła przez elementy i wraca do źródła.



## 4 PRZYKŁAD



Po zamknięciu wyłącznika żarówka świeci.

## 5 PAMIĘTAJ



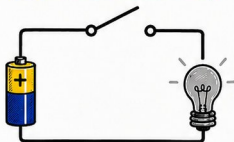
Bez ciągłej ścieżki prąd nie popłynie.

Obwód działa wtedy, gdy ma **źródło energii** i **zamkniętą drogę** dla prądu.



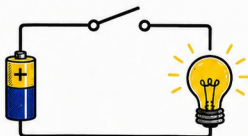
## OTWARTY CZY ZAMKNIĘTY?

### 1 OBWÓD OTWARTY



- ❌ Ścieżka jest przerwana.
- ❌ Prąd nie płynie.
- ❌ Żarówka nie świeci.

### 2 OBWÓD ZAMKNIĘTY



- ✅ Ścieżka jest ciągła.
- ✅ Prąd płynie.
- ✅ Żarówka świeci.

### 3 ROLA WYŁĄCZNIKA



Wyłącznik otwiera  
lub zamyka obwód.

#### PAMIĘTAJ



O stanie obwodu  
decyduje ciągłość  
drogi dla prądu.

#### CZĘSTY BŁĄD



Otwartego obwodu  
nie myl z działającym  
obwodem.

Zamknięty obwód **działa**.  
Otwarty obwód **przerывa** przepływ prądu.



# MAPA MYŚLI 03 – ŁADUNEK, PRĄD, NAPIĘCIE I REZYSTANCJA

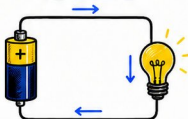
## 1 ŁADUNEK (Q)



To podstawowa własność cząstek elektrycznych.

Jednostka:  
kulomb (C).

## 2 PRĄD (I)



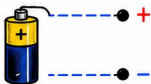
To przepływ ładunku elektrycznego.

Jednostka:  
amper (A).

# 4

## PODSTAWOWE POJĘCIA

## 3 NAPIĘCIE (U)



To różnica potencjałów, która „popycha” prąd.

Jednostka:  
wolt (V).

Napięcie wprawia prąd w ruch, a rezystancja ten przepływ ogranicza.

### POMOCNE PORÓWNANIE:



- 💧 napięcie = nacisk
- 💧 prąd = przepływ
- 💧 rezystancja = zwężenie

## 4 REZYSTANCJA (R)



To opór przeciw przepływowi prądu.

Jednostka:  
om ( $\Omega$ ).



Aby zrozumieć obwody, najpierw poznaj ładunek, prąd, napięcie i rezystancję.



## SYMBOLE I JEDNOSTKI PODSTAWOWYCH WIELKOŚCI



1

**ŁADUNEK**

SYMBOL:



JEDNOSTKA:



kulomb



Ilość ładunku elektrycznego w ciele lub elemencie.

2

**PRĄD**

SYMBOL:



JEDNOSTKA:



amper



Przepływ ładunku elektrycznego przez przewodnik.

## SYMBOLE I JEDNOSTKI

3

**NAPIĘCIE**

SYMBOL:



JEDNOSTKA:



wolt



Różnica potencjałów między dwoma punktami w obwodzie.

4

**REZYSTANCJA**

SYMBOL:



JEDNOSTKA:



om



Opor, jaki element stawia przepływowi prądu.



**DLACZEGO TO WAŻNE?**



Znajomość symboli pozwala czytać wzory, schematy i zadania.

**ZAPAMIĘTAJ:**



symbol opisuje wielkość, a jednostka mówi, w czym ją mierzymy.



**Q, I, U i R** to alfabet podstawowych wielkości elektrycznych.



## ŹRÓDŁO ENERGII

### 1 CZYM JEST ŹRÓDŁO?

To element, który dostarcza energię elektryczną do obwodu.

### 2 PRZYKŁADY



ogniwo



bateria



zasilacz



### 3 BIEGUN DODATNI (+)

To jeden z końców źródła energii.



### 4 BIEGUN UJEMNY (-)

To drugi koniec źródła energii.



### 5 BIEGUNOWOŚĆ

Właściwe podłączenie "+" i "-" ma znaczenie dla działania wielu elementów.



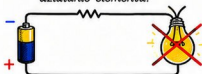
### i KIERUNEK PRĄDU

Umowny kierunek prądu pokazuje się od "+" do "-".



### UWAGA

odwrócona polaryzacja może spowodować nieprawidłowe działanie elementu.



Źródło energii **zasila** obwód,  
a biegunowość pomaga **poprawnie połączyć** elementy.

# MAPA MYŚLI 06 – PRZEWODNIKI I IZOLATORY

## PRZEWODNIKI I IZOLATORY

### 1 PRZEWODNIKI

Materiały, przez które prąd płynie łatwo.



miedź



aluminium



srebro

rdzeń metalowy (przewodzi)



izolacja (chroni)

### 2 IZOLATORY

Materiały, które bardzo utrudniają przepływ prądu.



guma



plastik

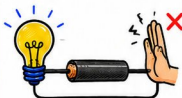


szkło



suche drewno

### 3 JAK TO DZIAŁA?



Metalowe przewody przenoszą prąd, a izolacja chroni przed dotykiem i zwarcieniem.

### 4 PRZYKŁAD Z ŻYCIA



W przewodzie elektrycznym środek przewodzi, a osłona izoluje.

### 5 PAMIĘTAJ



Przewodnik niesie prąd, izolator zwiększa bezpieczeństwo.

W praktyce potrzebujemy obu:  
przewodnika do przepływu prądu i izolatora do ochrony.

# MAPA MYŚLI 07 – REZYSTOR I OPÓR ELEKTRYCZNY



## 1 CO TO JEST?

Rezystor to element, który stawia opór przepływowi prądu.



## 2 CO ROBI?



Ogranicza natężenie prądu w obwodzie.

# REZYSTOR



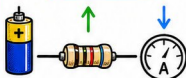
## 3 SYMBOL I JEDNOSTKA

R

$\Omega$

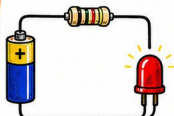
Rezystancję mierzymy w omach.

## 5 ZALEŻNOŚĆ



Większa rezystancja =  
mniejszy prąd przy tym  
samym napięciu.

## 4 PRZYKŁAD



Rezystor może chronić element przed zbyt dużym prądem.



### CZĘSTY BŁĄD

Nie myl rezystora z samym symbolem oporu.  
Rezystor to element, a opór to jego właściwość.



Rezystor pomaga **kontrolować prąd**  
i **bezpiecznie sterować pracą elementów.**





# MAPA MYŚLI 08 – JAK CZYTAĆ PROSTY SCHEMAT ELEKTRYCZNY?

## 1 KROK 1

Znajdź  
źródło energii.



## 2 KROK 2

Rozpoznaj symbole  
elementów:

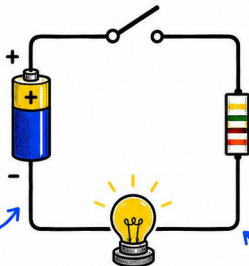
— przewód

wyłącznik

rezystor

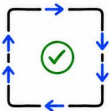
żarówka

# CZYTANIE SCHEMATU



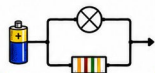
## 3 KROK 3

Śledź połączenia  
i sprawdź, czy droga  
dla prądu jest  
zamknięta.



## 4 KROK 4

Zobacz, jak elementy  
są połączone:  
szeregowo  
czy  
równoległe.



## PAMIĘTAJ



Schemat  
pokazuje  
zależności,  
a nie wygląd  
rzeczywisty  
elementów.



## PRZYKŁAD

Na tym schemacie  
prąd płynie od źródła,  
przez wyłącznik  
i odbiornik, a potem  
wraca do źródła.



Czytając schemat, idź krok po kroku:  
źródło → elementy → połączenia → działanie.





# KTÓRĘDY PŁYNIE PRĄD?

1

## UMOWNY KIERUNEK PRĄDU



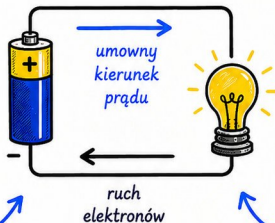
Na schematach przyjmujemy, że prąd płynie od **+** do **-**.

2

## RUCH ELEKTRONÓW



W metalach elektrony poruszają się od **-** do **+**.



3

## DLACZEGO SĄ DWA KIERUNKI?



To dwie różne konwencje opisu tego samego zjawiska.

5

## PAMIĘTAJ



Jeśli rozumiesz oba opisy, łatwiej czytasz wzory i schematy.

4

## W PRAKTYCE



W analizie obwodów najczęściej używa się umownego kierunku prądu.

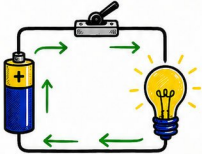
Umowny kierunek prądu i ruch elektronów są **przeciwnie**, ale opisują ten sam obwód.



# MAPA MYŚLI 10 – OBWÓD ZAMKNIĘTY, OTWARTY I ZWARCIE



**1** **OBWÓD ZAMKNIĘTY**



- ✓ ciągła ścieżka
- ✓ prąd płynie
- ✓ odbiornik działa

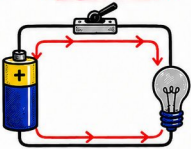
**2** **OBWÓD OTWARTY**



- przerwana ścieżka
- prąd nie płynie
- odbiornik nie działa

## 3 STANY OBWODU

**3** **ZWARCIE**



- bardzo mały opór
- duży prąd
- może być niebezpieczne

**ROLA WYŁĄCZNIKA**



Wyłącznik otwiera lub zamyka drogę dla prądu.

**UWAGA**



Zwarcie może prowadzić do przegrzania przewodów i uszkodzenia obwodu.

☆ Zamknięty obwód **działa**, otwarty **przerywa** przepływ, a zwarcie jest stanem **niebezpiecznym**. ☆

# MAPA MYŚLI 11 — NAJWAŻNIEJSZE WIELKOŚCI ELEKTRYCZNE — PORÓWNANIE

## 4 KLUCZOWE WIELKOŚCI

### 1 ŁADUNEK (Q)



Podstawowa  
własność cząstek  
elektrycznych.

Jednostka:  
kulomb (C)

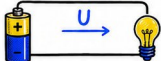
### 2 PRĄD (I)



Przepływ ładunku  
elektrycznego.

Jednostka:  
amper (A)

### 3 NAPIĘCIE (U)



Różnica potencjałów,  
która wprawia prąd w ruch.

Jednostka:  
wolt (V)

### 4 REZYSTANCJA (R)



Opór przeciw  
przepływowi prądu.

Jednostka:  
om ( $\Omega$ )

### JAK TO SIĘ ŁĄCZY?



Napięcie napędza, prąd płynie,  
rezystancja ogranicza,  
a ładunek jest tym,  
co się przemieszcza.

★ Znajomość tych wielkości to **podstawa** rozumienia  
obwodów i **prawa Ohma**. ★



## MODUŁ 02



# PRAWO OHMA I WZORY

Zrozum zależności między  $U$ ,  $I$  i  $R$

### 1 NAPIĘCIE



Różnica potencjałów między punktami obwodu.

### 2 PRĄD



Przepływ ładunku elektrycznego.

### 3 REZYSTANCJA



Właściwość ograniczająca prąd.

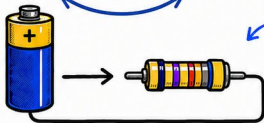


### 4 WZORY

$$U = I \times R$$

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

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



W tym module poznasz **prawo Ohma**,  
podstawowe wzory i proste obliczenia  
krok po kroku.



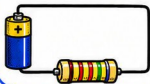


## PRAWO OHMA

$$U = I \times R$$

### 1 CO MÓWI PRAWO OHMA?

Zależność między napięciem, prądem i rezystancją opisuje wzór  
 $U = I \times R$ .



### 2 ZNACZENIE SYMBOLI

$U$  = napięcie

$I$  = prąd

$R$  = rezystancja

### 3 JEŚLI $U$ ROŚNIE...



Przy stałej rezystancji prąd **rośnie**.

### 4 JEŚLI $R$ ROŚNIE...



Przy stałym napięciu prąd **maleje**.

### 5 PRAKTYCZNE PORÓWNANIE

napięcie = nacisk

prąd = przepływ

rezystancja = zwężenie



### PAMIĘTAJ



Prawo Ohma działa dla wielu prostych obwodów i ułatwia podstawowe obliczenia.

Prawo Ohma pomaga szybko przewidywać, jak zmiana **napięcia** lub **rezystancji** wpływa na **prąd**.

# TRÓJKĄT OHMA

## 1 JAK DZIAŁA?

Zastój wielkość,  
którą chcesz  
obliczyć.



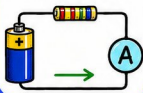
## 2 DLA NAPIĘCIA

$$U = I \times R$$



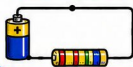
## 3 DLA PRĄDU

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



## 4 DLA REZYSTANCJI

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



## 5 PRZYKŁAD

Jeśli  $U = 12 \text{ V}$   
i  $R = 4 \Omega$ ,  
to  $I = 3 \text{ A}$ .



## PAMIĘTAJ



Trójkąt pomaga szybko  
wybrać właściwy wzór  
bez zgadywania.



Trójkąt prawa Ohma to prosta ściąg  
do podstawowych obliczeń.



# MAPA MYŚLI 14 — JAK OBLICZYĆ NAPIĘCIE?

## OBLICZANIE NAPIĘCIA

### 1 CO JEST POTRZEBNE?

Aby obliczyć napięcie, musisz znać prąd i rezystancję.



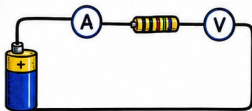
### 2 WZÓR

$$U = I \times R$$

napięcie =  
prąd × rezystancja

### 3 KROK PO KROKU

- 1  Zapisz dane
- 2  Wybierz wzór
- 3  Podstaw liczby
- 4  Oblicz wynik



### 4 PRZYKŁAD

$$I = 2 \text{ A}, R = 5 \Omega$$



$$U = 2 \times 5 = 10 \text{ V}$$

### 5 JEDNOSTKI

$$\text{A} \times \Omega = \text{V}$$

Zawsze zapisuj wynik  
w woltach.

### CZĘSTY BŁĄD



Nie zapomnij  
zamienić **mA** na **A**  
przed obliczeniem.

Jeśli znasz **prąd** i **rezystancję**,  
**napięcie** obliczysz z prostego wzoru  $U = I \times R$ .

# MAPA MYŚLI 15 – JAK OBLICZYĆ PRĄD?

## 1 CO JEST POTRZEBNE?

Aby obliczyć prąd, potrzebujesz dwóch wielkości:



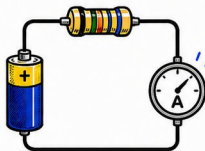
napięcie (U)



rezystancja (R)

## OBLICZANIE PRĄDU

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



## 2 WZÓR

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

prąd =  $\frac{\text{napięcie}}{\text{rezystancja}}$

## 3 KROK PO KROKU

1



Zapisz dane: napięcie (U) i rezystancję (R).

2



Wybierz wzór  $I = \frac{U}{R}$ .

3



Podstaw dane do wzoru.

4



Oblicz wynik.

## 4 PRZYKŁAD

Dane:

$$U = 12 \text{ V}, R = 4 \Omega$$

Obliczenie:

$$I = \frac{12}{4} = 3 \text{ A}$$

Odpowiedź:

$$I = 3 \text{ A}$$

## 5 JEDNOSTKI

$$\text{V} / \Omega = \text{A}$$

Wynik zawsze zapisuj w amperach (A).

## CZĘSTY BŁĄD



Nie zapomnij sprawdzić, czy jednostki pasują do siebie przed obliczeniem!

Jeśli znasz napięcie i rezystancję, prąd obliczysz z prostego wzoru  $I = \frac{U}{R}$ .

# MAPA MYŚLI 16 – JAK OBLICZYĆ REZYSTANCJĘ?



## 1 CO JEST POTRZEBNE?

Aby obliczyć rezystancję, potrzebujesz:

**V** napięcia ( $U$ )  
w woltach [V]

**A** prądu ( $I$ )  
w amperach [A]

## 2 WZÓR

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

rezystancja =  
napięcie / prąd

# OBLICZANIE REZYSTANCJI

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

## 3 KROK PO KROKU

1 Zapisz dane:  
napięcie  $U$  i prąd  $I$ .

2 Wybierz wzór:  
 $R = \frac{U}{I}$

3 Podstaw liczby  
do wzoru.

4 Oblicz wynik  
i zapisz go.

## 4 PRZYKŁAD

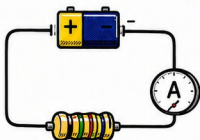
$$U = 9 \text{ V}, I = 3 \text{ A}$$

$$R = \frac{9}{3} = 3 \Omega$$

## 5 JEDNOSTKI

$$\frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$$

Wynik zawsze zapisuj  
w omach ( $\Omega$ ).



+ źródło napięcia

rezystor

– amperomierz

## CZĘSTY BŁĄD



Nie myl rezystora (elementu  
w obwodzie) z rezystancją,  
która jest jego właściwością!



Jeśli znasz napięcie i prąd,  
rezystancję obliczysz z prostego wzoru  $R = \frac{U}{I}$ .

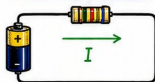


## JEDEN WZÓR, 3 POSTACIE

### 1 OD CZEGO ZACZAĆ?

Zacznij od podstawowego wzoru Ohma:

$$U = I \times R$$

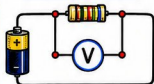


$U$  – napięcie  
 $I$  – prąd  
 $R$  – rezystancja

### 2 DLA NAPIĘCIA

Wyznacz  $U$ , używając wzoru:  $U = I \times R$

$$U = I \times R$$

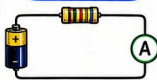


Napięcie to iloczyn prądu i rezystancji.  
Jednostka: wolt (V)

### 3 DLA PRĄDU

Wyznacz  $I$ , używając wzoru:  $I = U / R$

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

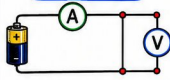


Prąd to iloraz napięcia i rezystancji.  
Jednostka: amper (A)

### 4 DLA REZYSTANCJI

Wyznacz  $R$ , używając wzoru:  $R = U / I$

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



Rezystancja to iloraz napięcia i prądu.  
Jednostka: om ( $\Omega$ )

### 5 TRÓJKĄT OHMA



Zakryj szukany element palcem:

- $U$  – użyj  $U = I \times R$
- $I$  – użyj  $I = U / R$
- $R$  – użyj  $R = U / I$

Trójkąt Ohma pomaga szybko wybrać właściwy wzór.

Zmieniając zapis wzoru, możesz obliczyć napięcie, prąd lub rezystancję.

### CZĘSTY BŁĄD



Nie pomył licznika i mianownika!

To najczęstszy błąd w obliczeniach.

Zawsze sprawdź, czy wzór ma sens w Twoim zadaniu.

# MAPA MYŚLI 18 — JEDNOSTKI I PRZELICZENIA



## JEDNOSTKI W OBWODACH

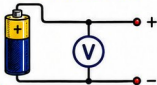
### 1 NAPIĘCIE

Jednostka: **wolt (V)**

Napięcie to różnica potencjałów między dwoma punktami.

#### PRZYKŁAD

Bateria 9 V



### 2 PRĄD

Jednostka: **amper (A)**

Prąd to przepływ ładunków elektrycznych w obwodzie.

#### PRZYKŁAD

Prąd 0,5 A



### 3 REZYSTANCJA

Jednostka: **om ( $\Omega$ )**

Rezystancja określa, jak bardzo element utrudnia przepływ prądu.

#### PRZYKŁAD

Rezystor 220  $\Omega$



### 4 MOC

Jednostka: **wat (W)**

Moc to tempo, z jakim energia elektryczna zamienia się w inne formy energii.

#### PRZYKŁAD

Żarówka 10 W



### 5 PRZELICZENIA



$$1000 \text{ mA} = 1 \text{ A}$$



$$1000 \text{ mV} = 1 \text{ V}$$



$$1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$$

### UWAŻAJ



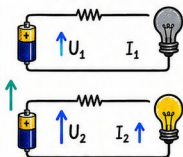
Zawsze przeliczaj **jednostki** przed podstawieniem do wzorów!

Dobre obliczenia zaczynają się od **poprawnych jednostek**.

# MAPA MYŚLI 19 – ZALEŻNOŚCI WEDŁUG PRAWA OHMA

## 1 GDY U ROŚNIE

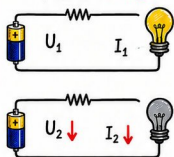
Przy stałej rezystancji ( $R$ )  
prąd ( $I$ ) **rośnie**.



Większe napięcie →  
większy prąd.

## 2 GDY U MALEJE

Przy stałej rezystancji ( $R$ )  
prąd ( $I$ ) **maleje**.

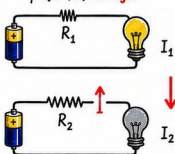


Mniejsze napięcie →  
mniejszy prąd.

# CO SIĘ ZMIENIA?

## 3 GDY R ROŚNIE

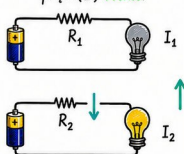
Przy stałym napięciu ( $U$ )  
prąd ( $I$ ) **maleje**.



Większa rezystancja →  
mniejszy prąd.

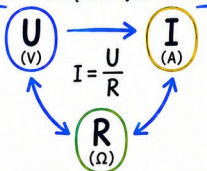
## 4 GDY R MALEJE

Przy stałym napięciu ( $U$ )  
prąd ( $I$ ) **rośnie**.



Mniejsza rezystancja →  
większy prąd.

ZWIĄZEK MIĘDZY

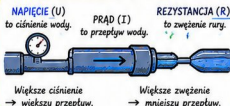


## 5 PAMIĘTAJ

Aby łatwo zauważyć zmianę,  
zawsze zmieniamy tylko  
**JEDNĄ** wielkość,  
a pozostałe utrzymujemy  
**STAŁE**.

- ✓ stałe  $R$  → porównujemy  $U$  i  $I$
- ✓ stałe  $U$  → porównujemy  $R$  i  $I$

## ANALOGIA: PRZEPŁYW WODY



Prawo Ohma pokazuje,  
jak **napięcie** i **rezystancja** wpływają na **prąd**.

# MAPA MYŚLI 20 – ROZWIĄZYWANIE PROSTYCH ZADAŃ

## 1 KROK 1

PRZECZYTAJ ZADANIE  
i podkreśl dane.



## 2 KROK 2

ZIDENTYFIKUJ,  
o co pytają.



PYTANIE:  
Obliczyć natężenie  
prądu  $I$ .

OD  
DANYCH  
DO  
WYNIKU

## 5 KROK 5

SPRAWDŹ JEDNOSTKĘ  
i czy wynik ma sens.

- ✓ Jednostka: A ✓
- ✓ Wynik jest dodatni i realistyczny. ✓

POPRAWNIE!



## 3 KROK 3

WYBIERZ WŁAŚCIWY  
wzór.

Prawo Ohma

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



## 4 KROK 4

PODSTAW WARTOŚCI  
i wykonaj obliczenia.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6 \text{ V}}{2 \Omega} = 3 \text{ A}$$



### PRZYKŁAD – KROK PO KROKU

ZADANIE: W obwodzie dane są:  
napięcie  $U = 6 \text{ V}$  oraz rezystancja  
 $R = 2 \Omega$ . Oblicz natężenie prądu  $I$ .



Czytaj  
dane



Zidentyfikuj  
pytanie



Wybierz  
wzór



Podstaw  
i oblicz



Sprawdź  
wynik

DANE:  $U = 6 \text{ V}$ ,  $R = 2 \Omega$  | PYTANIE: Oblicz  $I$  | OBLICZENIA:  $I = \frac{6 \text{ V}}{2 \Omega} = 3 \text{ A}$  | ODPOWIEDŹ:  $I = 3 \text{ A}$



Najlepszy sposób nauki to rozwiązywanie zadań krok po kroku.

# MAPA MYŚLI 21 — CZĘSTE BŁĘDY W OBLICZENIACH

## 1 MIESZANIE JEDNOSTEK

Nie można dodawać ani odejmować wartości w różnych jednostkach.

$$5 \text{ A} + 2000 \text{ mA} = ?$$

Najpierw zamień jednostki na wspólne.



## 2 WYBÓR ZŁEGO WZORU

Użycie niewłaściwego wzoru prowadzi do błędnych wyników.

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

Zawsze upewnij się, który wzór pasuje do zadania.

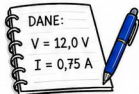


## 5 NIEPRAWIDŁOWE PRZEPISYWANIE DANYCH

Błędne przepisanie wartości prowadzi do złych obliczeń.

$$V = 12,0 \text{ V} \text{ a nie } 120 \text{ V}$$

Sprawdź dokładnie cyfry, przecinki i jednostki.



## 4 ZAPOMNIENIE JEDNOSTKI W WYNIKU

Wynik bez jednostki jest niepełny i nieczytelny.

$$R = 12,5$$

$$R = 12,5 \, \Omega$$

Zawsze dopisz jednostkę w odpowiedzi.

## 3 ZAMIANA LICZNIKA Z MIANOWNIKIEM

Błąd w kolejności może całkowicie zmienić wynik.

**BŁĄD!**

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

Zwracaj uwagę na kolejność w zapisie wzoru.

$$\frac{U}{I} \longleftrightarrow \frac{I}{U}$$

## JAK UNIKAĆ BŁĘDÓW?



**1. CZYTAJ UWAŻNIE**  
Zrozum dokładnie treść zadania i dane.



**2. ZAMIEŃ JEDNOSTKI**  
Sprowadź wszystkie jednostki do wspólnych.



**3. SPRAWDŹ WZÓR**  
Upewnij się, że wzór pasuje do zadania.



**4. SPRAWDŹ WYNIK**  
Czy wynik ma sens? Czy jednostka jest?

**Dokładność w zapisie i jednostkach chroni przed większością błędów.**

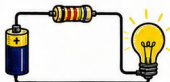


# MAPA MYŚLI 22 — SZYBKA POWTÓRKA PRAWA OHMA

## 1 GŁÓWNY WZÓR

Prawo Ohma w podstawowej postaci:

$$U = I \times R$$



Napięcie jest równe iloczynowi prądu i rezystancji.

# PRAWO OHMA

## W PIGUŁCE



## 2 PRZEKSZTAŁCONE WZORY

Z trójkąta Ohma wyprowadzamy:

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

Prąd =  
napięcie  
podzielone  
przez rezystancję.

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

Rezystancja =  
napięcie  
podzielone  
przez prąd.

## 3 CO ZNACZĄ WIELKOŚCI?

**U**

### NAPIĘCIE

To „siła”, która  
wprawia prąd  
w ruch.

**I**

### PRĄD

To przepływ ładunków  
elektrycznych.

**R**

### REZYSTANCJA

To opór, jaki stawia  
przepływ prądu.

## 4 JEDNOSTKI

**V**

### WOLT [V]

Jednostka  
napięcia.



**A**

### AMPER [A]

Jednostka  
prądu.



**Ω**

### OM [Ω]

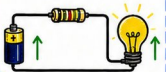
Jednostka  
rezystancji.



## 5 CO SIĘ DZIEJE, GDY...

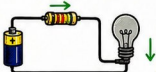
### ...ZWIĘKSZASZ NAPIĘCIE (U)

Przy stałej rezystancji (R)  
→ prąd (I) rośnie.



### ...ZWIĘKSZASZ REZYSTANCJĘ (R)

Przy stałym napięciu (U)  
→ prąd (I) maleje.



## PAMIĘTAJ

- ✓ Prawo Ohma:  $U = I \times R$
- ✓ U zależy od I i R.
- ✓ I zależy od U i R.
- ✓ R zależy od U i I.
- ✓ Sprawdź jednostki!
- ✓ Trójkąt Ohma pomaga zapamiętać wzory.



Zapamiętaj zależność:



napięcie, prąd i rezystancja są ze sobą połączone.



## MODUŁ 03

# OBWODY SZEREGOWE

Jedna ścieżka, wspólny prąd, dzielone napięcie

1

### JEDNA ŚCIEŻKA



Prąd ma tylko jedną ścieżkę.

2

### PRĄD

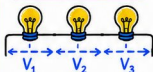
$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

Prąd ma tę samą wartość we wszystkich elementach.

3

### NAPIĘCIE

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$



Napięcie dzieli się między elementy.

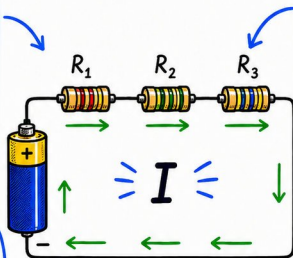
4

### REZYSTANCJA

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$



Rezystancja zastępcza jest sumą rezystancji elementów.



W tym module poznasz  
★ **zasadę działania**  
**obwodów szeregowych** ★  
krok po kroku.

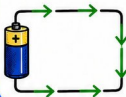
# MAPA MYŚLI 23 — CO TO JEST OBWÓD SZEREGOWY?



## OBWÓD SZEREGOWY

### 1 JEDNA ŚCIEŻKA

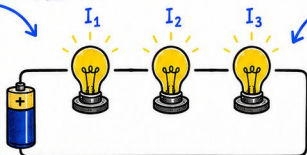
Prąd płynie tylko jedną ścieżką.



### 2 PRĄD

$$I_1 = I_2 = I_3$$

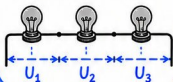
Prąd ma taką samą wartość we wszystkich elementach.



### 3 NAPIĘCIE

$$U_{\text{całkowite}} = U_1 + U_2 + U_3$$

Napięcie całkowite dzieli się między elementy.



### 4 REZYSTANCJA RÓWNOWAŻNA

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Rezystancje elementów się sumują.



### 5 GDY JEDEN ELEMENT ZAWIDZIE

Jeśli jeden element przestanie działać (np. przepali się żarówka), może przestać działać cały obwód.



### PRZYKŁAD CODZIENNY

Stare lampki dekoracyjne — jeśli jedna żarówka się przepali, wszystkie pozostałe przestają świecić.



W obwodzie szeregowym istnieje **tylko jedna ścieżka** dla prądu, a **napięcie** dzieli się między elementy.



# MAPA MYŚLI 24 – PRĄD W OBWODZIE SZEREGOWYM

## 1 DLACZEGO?

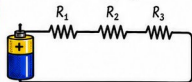
- W obwodzie szeregowym istnieje tylko **JEDNA DROGA** przepływu prądu.
- Ładunek, który przechodzi przez  $R_1$ , **MUSI** potem przejść przez  $R_2$  i  $R_3$ .
- Prąd **NIE MOŻE** rozdzielić się na gałęzie.

W OBWODZIE SZEREGOWYM  
**PRĄD**  
JEST TAKI SAM

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

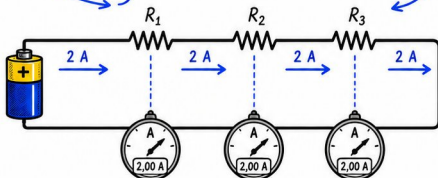
## 2 PRZYKŁAD

Obwód szeregowy:



Amperomierz przed  $R_1$   
wskazuje:  $I = 2 \text{ A}$

$$I_1 = 2 \text{ A} \quad I_2 = 2 \text{ A} \quad I_3 = 2 \text{ A}$$



## 3 WAŻNE

Nie zapisujemy

$$2 \text{ A} \rightarrow 1,5 \text{ A} \rightarrow 1 \text{ A}$$

tylko dlatego, że prąd przechodzi przez kolejne rezystory.



**PRĄD NIE JEST „ZUŻYWANY” PRZEZ REZYSTORY**

## 4 CO ZMIENIA SIĘ NA ELEMENTACH?

✔ prąd → taki sam

⚡ napięcie → może być różne na każdym elemencie

## 5 POMIAR

Amperomierz możemy podłączyć:

- przed  $R_1$  → — 2,00 A
- między  $R_1$  i  $R_2$  → — 2,00 A
- między  $R_2$  i  $R_3$  → — 2,00 A

W idealnym obwodzie szeregowym amperomierz zawsze wskazuje tę samą wartość.

## 6 MINI TEST

Jeśli  $I_1 = 0,5 \text{ A}$ ,  
to ile wynosi  $I_3$ ?



$$I_3 = 0,5 \text{ A}$$

7

**ZAPAMIĘTAJ**

Jedna droga =  
jeden wspólny prąd w całej gałęzi szeregowej.

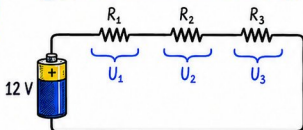
# MAPA MYŚLI 25 – NAPIĘCIE W OBWODZIE SZEREGOWYM

## 1 CO OZNACZA TEN WZÓR?

Jeśli źródło dostarcza **12 V**, to suma napięć na wszystkich elementach szeregowo musi wynosić **12 V**.

## NAPIĘCIE DZIELI SIĘ MIĘDZY ELEMENTY

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$



## 2 PRZYKŁAD 1

Źródło:  $U = 12 \text{ V}$

Zmierzono:  $U_1 = 3 \text{ V}$

$U_2 = 4 \text{ V}$

Szukamy:  $U_3 = ?$

$$12 \text{ V} = 3 \text{ V} + 4 \text{ V} + U_3$$

$$U_3 = \underline{5 \text{ V}}$$

## 3 SPRAWDZENIE

$$3 \text{ V} + 4 \text{ V} + 5 \text{ V} = 12 \text{ V}$$



## 4 CZY NAPIĘCIA MUSZĄ BYĆ RÓWNE?

Nie.

Zależą od oporu każdego elementu.

$$U = R \times I$$

W szeregu prąd jest taki sam, dlatego:

większa  $R \rightarrow$  większy spadek napięcia

## 5 PRZYKŁAD 2

$$R_1 = 10 \, \Omega \quad R_2 = 20 \, \Omega \quad I = 0,2 \text{ A}$$

$$U_1 = R_1 \times I = 10 \times 0,2 = 2 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 \times I = 20 \times 0,2 = 4 \text{ V}$$



$$U = U_1 + U_2 = 2 \text{ V} + 4 \text{ V} = \underline{6 \text{ V}}$$

## 6 ZASADA

Prąd jest wspólny.  
Napięcia dzielą się.

7



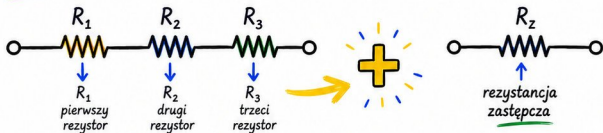
## ZAPAMIĘTAJ

W szeregu napięcie źródła jest sumą spadków napięcia na elementach.





# MAPA MYŚLI 26 – REZYSTANCJA ZASTĘPCZA W SZEREGU



## 1 PRZYKŁAD 1

$$R_1 = 10 \, \Omega$$

$$R_2 = 20 \, \Omega$$

$$R_3 = 30 \, \Omega$$

$$R_Z = 10 + 20 + 30$$

$$R_Z = 60 \, \Omega$$

## 3 DLACZEGO REZYSTANCJA ROŚNIE?

Każdy dodatkowy rezystor dodaje więcej oporu dla przepływu prądu.

$$R_1 + R_2 + R_3 \rightarrow \text{większa całkowita } R$$

## 5 JEŚLI DODASZ KOLEJNY REZYSTOR

Przy tym samym napięciu źródła:



$$R_Z \uparrow$$

więc z prawa Ohma:

$$I \downarrow$$

**ZAPAMIĘTAJ**

W szeregu dodajesz rezystancje bezpośrednio.

**REZYSTANCJE W SZEREGU SIĘ SUMUJĄ**

$$R_Z = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$R_Z$  = rezystancja zastępcza całego połączenia

## 2 CO TO ZNACZY?

Trzy rezystory  $10 \, \Omega + 20 \, \Omega + 30 \, \Omega$  można zastąpić w obliczeniach całego obwodu jednym rezystorem  $60 \, \Omega$ .

## 4 WAŻNA REGUŁA KONTROLNA

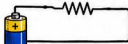
W połączeniu szeregowym  $R_Z$  musi być większa od każdego pojedynczego rezystora.

$10 \, \Omega, 20 \, \Omega, 30 \, \Omega \rightarrow 60 \, \Omega$ , który jest większy od  $10 \, \Omega, 20 \, \Omega$  i  $30 \, \Omega$ .

## 6 PRZYKŁAD 2

Przed dodaniem:

$$R_1 = 10 \, \Omega$$

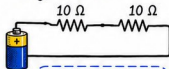


$$R_Z = 10 \, \Omega$$

$$U = 20 \, V$$

$$I = 2 \, A$$

Po dodaniu drugiego rezystora  $10 \, \Omega$ :



$$R_Z = 20 \, \Omega$$

$$I = \frac{20}{20} = 1 \, A$$



# MAPA MYŚLI 27 – DWA REZYSTORY POŁĄCZONE SZEREOWO

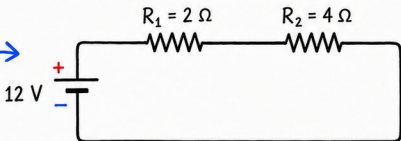
## DANE:

- $U = 12 \text{ V}$
- $R_1 = 2 \Omega$
- $R_2 = 4 \Omega$

## Szukamy:

$R_z, I, U_1, U_2$

## $R_1 + R_2$ – PEŁNY PRZYKŁAD



### 1 KROK 1 – REZYSTANCJA ZASTĘPCZA

$$R_z = R_1 + R_2$$
$$R_z = 2 + 4$$
$$\underline{R_z = 6 \Omega}$$

### 2 KROK 2 – PRĄD CAŁKOWITY

$$I = \frac{U}{R_z}$$
$$I = \frac{12}{6}$$
$$\underline{I = 2 \text{ A}}$$

### 3 KROK 3 – PRĄD NA KAŻDYM REZYSTORZE

$$I_1 = I_2 = I$$
$$\underline{I_1 = I_2 = 2 \text{ A}}$$

### 4 KROK 4 – NAPIĘCIE NA $R_1$

$$U_1 = R_1 \times I$$
$$U_1 = 2 \times 2$$
$$\underline{U_1 = 4 \text{ V}}$$

### 5 KROK 5 – NAPIĘCIE NA $R_2$

$$U_2 = R_2 \times I$$
$$U_2 = 4 \times 2$$
$$\underline{U_2 = 8 \text{ V}}$$

### 6 KROK 6 – SPRAWDZENIE

$$U_1 + U_2 = U$$
$$4 \text{ V} + 8 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

✓ poprawnie

### 7 CO WIDZISZ?



$R_2$  ma dwa razy większą rezystancję od  $R_1$ , dlatego przy tym samym prądzie  $U_2$  jest dwa razy  $U_1$ .

### 8 PEŁNE PODSUMOWANIE

- $R_z = 6 \Omega$
- $I = 2 \text{ A}$
- $U_1 = 4 \text{ V}$
- $U_2 = 8 \text{ V}$



### 9 ZAPAMIĘTAJ

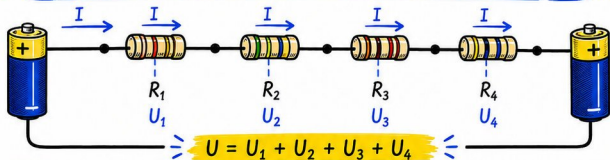


W szeregu najpierw policz  $R_z$ , potem **prąd**, a następnie **napięcia** na poszczególnych elementach.

# MAPA MYŚLI 28 –

## TRZY LUB WIĘCEJ REZYSTORÓW W SZEREGU

WIĘCEJ ELEMENTÓW – TE SAME ZASADY



### 1 ZASADA 1 – PRĄD

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

Prąd jest taki sam w każdym punkcie obwodu szeregowego.

### 2 ZASADA 2 – REZYSTANCJA

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

Rezystancja zastępcza to suma wszystkich rezystorów.

### 3 ZASADA 3 – NAPIĘCIE

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

Napięcie całkowite równa się sumie spadków napięć na wszystkich rezystorach.

### 4 PRZYKŁAD

- $U = 20 \text{ V}$
- $R_1 = 2 \Omega$
- $R_2 = 3 \Omega$
- $R_3 = 1 \Omega$
- $R_4 = 4 \Omega$



### 5 KROK 1

$$R_z = 2 + 3 + 1 + 4$$

$$R_z = 10 \Omega$$

### 6 KROK 2

$$I = U / R_z$$

$$I = 20 / 10$$

$$I = 2 \text{ A}$$

### 7 KROK 3 – NAPIĘCIA

$$U_1 = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$$

$$U_2 = 3 \times 2 = 6 \text{ V}$$

$$U_3 = 1 \times 2 = 2 \text{ V}$$

$$U_4 = 4 \times 2 = 8 \text{ V}$$

### 8 KROK 4 – KONTROLA

$$4 + 6 + 2 + 8 = 20 \text{ V}$$



### 9 WZORZEC



Większy rezystor → większy spadek napięcia przy tym samym prądzie.

### 10 ZAPAMIĘTAJ

Liczba rezystorów nie zmienia zasad połączenia szeregowego.

# MAPA MYŚLI 29 – DZIELNIK NAPIĘCIA

1

## NAJPIERW LOGIKA



W połączeniu szeregowym płynie ten sam prąd przez wszystkie elementy.



Każdy rezystor ma spadek napięcia

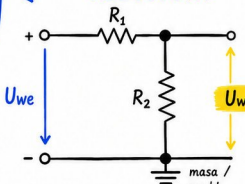
$$U = R \times I$$



Im większy rezystor, tym większa część całkowitego napięcia.

## DZIELNIK NAPIĘCIA

=  
NAPIĘCIE  
PODZIELONE MIĘDZY  
REZYSTORY



2

## DWA REZYSTORY

Dwa rezystory połączone szeregowo tworzą dzielnik napięcia.

$$R_z = R_1 + R_2$$

3

## NAPIĘCIE NA $R_2$

Napięcie wyjściowe ( $U_{wy}$ ) na rezystorze  $R_2$  wynosi:

$$U_{wy} = U_{we} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

4

## PRZYKŁAD

$$U_{we} = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4 \text{ k}\Omega$$

$$U_{wy} = \frac{12 \times 4}{2 + 4}$$

$$U_{wy} = \frac{12 \times 4}{6}$$

$$U_{wy} = 8 \text{ V}$$

6

## JEŚLI $R_1 = R_2$

Gdy rezystory są równe, napięcie dzieli się równo.

$$12 \text{ V} \rightarrow 6 \text{ V} + 6 \text{ V}$$

5

## SPRAWDZENIE PRZES PRAWO OHMA

$$R_z = R_1 + R_2 = 2 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega = 6 \text{ k}\Omega$$

$$I = \frac{U_{we}}{R_z} = \frac{12 \text{ V}}{6 \text{ k}\Omega}$$

$$I = 2 \text{ mA}$$

$$U_2 = R_2 \times I = 4 \text{ k}\Omega \times 2 \text{ mA}$$

$$U_2 = 8 \text{ V}$$

Ten sam wynik.

7

## WAŻNE



- Powyższy prosty wzór dzielnika napięcia zakłada, że wyjście *nie jest znacząco obciążone* przez dodatkowy odbiornik.
- Jeśli element podłączony do wyjścia pobiera znaczny prąd, rzeczywiste napięcie wyjściowe *może się zmienić*.



8

## ZAPAMIĘTAJ

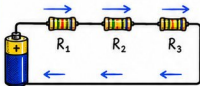
Dzielnik napięcia to praktyczne wykorzystanie dwóch lub więcej rezystorów połączonych szeregowo.

# MAPA MYŚLI 30 – CO SIĘ STANIE, GDY JEDEN ELEMENT ULEGNIE AWARII?

## JEDNA DROGA = JEDEN PUNKT AWARII MOŻE PRZERWAĆ CAŁY OBWÓD



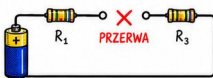
### 1 PRACA NORMALNA



Droga zamknięta

Prąd płynie przez wszystkie elementy.

### 2 AWARIA TYPU PRZERWA



Droga nie jest ciągła.  
W idealnym prostym obwodzie

$$I = 0 \text{ A}$$

### 3 CO DZIEJE SIĘ Z $R_1$ , $I_{R_3}$ ?

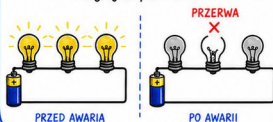
Ponieważ  $R_1$  i  $R_3$  znajdują się w tej samej gałęzi, a droga jest przerwana, prąd przez nie nie może płynąć.

$$\text{Prąd przez } R_1 = 0 \text{ A}$$

$$\text{Prąd przez } R_3 = 0 \text{ A}$$

### 4 PRZYKŁAD Z ŻARÓWKAMI

Trzy żarówki połączone szeregowo. Jeśli jedna przestanie przewodzić, wszystkie mogą zgasnąć, bo droga jest przerwana.



### 5 NIE KAŻDA AWARIA WYGLĄDA TAK SAMO

**PRZERWA** — 

Bardzo duża rezystancja ścieżki. Prąd przestaje płynąć.

**ZWARCIE ELEMENTU**

  
Element może zostać ominięty przez ścieżkę o bardzo małej rezystancji. Zachowanie obwodu zmienia się inaczej.

### 6 UWAGA



Nie zakładaj automatycznie, że każda uszkodzona część zawsze tworzy przerwę w obwodzie.

Rodzaj awarii ma znaczenie!

### 7 ZAPAMIĘTAJ

W prostym szeregu przerwanie jednego punktu może zatrzymać prąd w całej gałęzi.





# MAPA MYŚLI 31 – ŻARÓWKI POŁĄCZONE SZEREGOWO

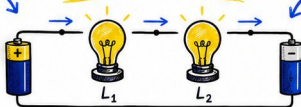


## DWIE ŻARÓWKI W JEDNEJ DRODZE PRĄDU

### 1 PRĄD

Przez obie żarówki  
płynie ten sam prąd:

$$I_1 = I_2$$



### 2 NAPIĘCIE

$$U = U_1 + U_2$$

Jeśli żarówki mają  
podobne właściwości,  
napięcia mogą być  
podobne.

### 3 PRZYKŁAD UPROSZCZONY

- Dwie identyczne żarówki  
(model rezystancyjny):  
 $R_1 = 6 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$

- Źródło napięcia:

$$U = 12 \text{ V}$$

- Rezystancja zastępcza:

$$R_2 = R_1 + R_2 = 12 \Omega$$

- Prąd w obwodzie:

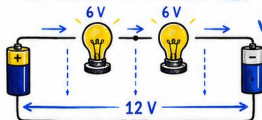
$$I = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

- Napięcia na żarówkach:

$$U_1 = R_1 \times I = 6 \times 1 = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 \times I = 6 \times 1 = 6 \text{ V}$$

PRZYKŁAD: DWA IDENTYCZNE ŻARÓWKI



CO SIĘ STANIE PO DODANIU  
TRZECIEJ ŻARÓWKI?



Model uproszczony:

większa liczba żarówek  $\Rightarrow$  mniejsza jasność każdej z nich.

### 4 CO SIĘ STANIE PO DODANIU TRZECIEJ?

- Po dodaniu kolejnego elementu szeregowego rezystancja zastępcza  $R_2$  **rośnie**.
- Przy tym samym napięciu źródła prąd **I maleje**.
- W prostym modelu rezystancyjnym oznacza to **mniejszą moc** w każdej żarówce (mniej światła).

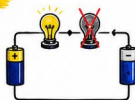
### 5 WAŻNE TECHNICZNE

Prawdziwe, tradycyjne żarówki nie mają stałej rezystancji w każdych warunkach, ponieważ opór włókna zmienia się wraz z temperaturą. Im wyższa temperatura włókna, tym większy opór.



### 6 AWARIA

Jeśli jedna żarówka utworzy przerwę:  
cały szereg  
przestaje  
przewodzić.



Obliczenia na tej stronie są celowo uproszczonym modelem do nauki zasad połączenia szeregowego.



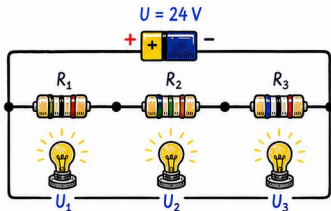
## ★ ZAPAMIĘTAJ ★

Żarówki w szeregu **dzielą napięcie**,  
ale przepływa przez nie **ten sam prąd**.

# MAPA MYŚLI 32 – OBLICZENIA W SZEREGU – PRZYKŁAD 1

## DANE

- $U = 24 \text{ V}$
- $R_1 = 2 \Omega$
- $R_2 = 4 \Omega$
- $R_3 = 6 \Omega$



## SZUKAMY

- $R_z = ?$
- $I = ?$
- $U_1 = ?$
- $U_2 = ?$
- $U_3 = ?$

## PRZYKŁAD 1 – OD DANYCH DO PEŁNEGO ROZWIĄZANIA

### 1 KROK 1 – OBLICZ $R_z$

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_z = 2 + 4 + 6$$

$$R_z = 12 \Omega$$

### 2 KROK 2 – OBLICZ PRĄD

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

$$I = \frac{24}{12}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

### 3 KROK 3 – PRĄD W KAŻDYM REZYSTORZE

$$I_1 = I_2 = I_3 = 2 \text{ A}$$

### 4 KROK 4 – NAPIĘCIE NA $R_1$

$$U_1 = R_1 \times I$$

$$U_1 = 2 \times 2$$

$$U_1 = 4 \text{ V}$$

### 5 KROK 5 – NAPIĘCIE NA $R_2$

$$U_2 = R_2 \times I$$

$$U_2 = 4 \times 2$$

$$U_2 = 8 \text{ V}$$

### 6 KROK 6 – NAPIĘCIE NA $R_3$

$$U_3 = R_3 \times I$$

$$U_3 = 6 \times 2$$

$$U_3 = 12 \text{ V}$$

### 7 KROK 7 – KONTROLA

$$U_1 + U_2 + U_3 = U$$

$$4 + 8 + 12 = 24 \text{ V}$$

✓ poprawnie

### ODPOWIEDŹ

- $R_z = 12 \Omega$
- $I = 2 \text{ A}$
- $U_1 = 4 \text{ V}$
- $U_2 = 8 \text{ V}$
- $U_3 = 12 \text{ V}$

### CO WARTO ZAUWAŻYĆ?

Największy rezystor  $R_3 = 6 \Omega$  ma największy spadek napięcia  $U_3 = 12 \text{ V}$ , ponieważ przez wszystkie rezystory płynie ten sam prąd.



W szeregu większy opór → większy spadek napięcia (przy tym samym prądzie).

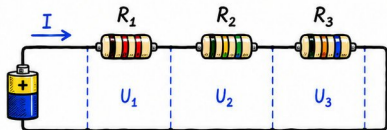
### ZAPAMIĘTAJ

W szeregu:  $R_z \rightarrow I \rightarrow$  napięcia na elementach  $\rightarrow$  kontrola sumy napięć.

# MAPA MYŚLI 33 – OBLICZENIA W SZEREGU – PRZYKŁAD 2

**DANE**

$I = 0,5 \text{ A}$   
 $R_1 = 10 \Omega$   
 $R_2 = 20 \Omega$   
 $R_3 = 30 \Omega$



**SZUKAMY**

$R_z = ?$   
 $U_1 = ?$   
 $U_2 = ?$   
 $U_3 = ?$   
 $U = ?$

## PRZYKŁAD 2 – GDY NIE ZNASZ NAPIĘCIA ŹRÓDŁA

**1 KROK 1 – REZYSTANCJA ZASTĘPCZA**

$R_z = 10 + 20 + 30$

$R_z = 60 \Omega$

**2 KROK 2 – NAPIĘCIE NA  $R_1$**

$U_1 = R_1 \times I$   
 $U_1 = 10 \times 0,5$

$U_1 = 5 \text{ V}$

**3 KROK 3 – NAPIĘCIE NA  $R_2$**

$U_2 = R_2 \times I$   
 $U_2 = 20 \times 0,5$

$U_2 = 10 \text{ V}$

**4 KROK 4 – NAPIĘCIE NA  $R_3$**

$U_3 = R_3 \times I$   
 $U_3 = 30 \times 0,5$

$U_3 = 15 \text{ V}$

**5 KROK 5 – NAPIĘCIE CAŁKOWITE**  
**Metoda A**

$U = U_1 + U_2 + U_3$   
 $U = 5 + 10 + 15$

$U = 30 \text{ V}$

OBIE  
METODY  
DAJĄ TEN  
SAM WYNIK

**6 KROK 6 – SPRAWDZENIE DRUGĄ METODĄ**  
**Metoda B**

$U = R_z \times I$   
 $U = 60 \times 0,5$

$U = 30 \text{ V}$

**7 PEŁNA ODPOWIEŹ**

$R_z = 60 \Omega$   
 $I = 0,5 \text{ A}$   
 $U_1 = 5 \text{ V}$   
 $U_2 = 10 \text{ V}$   
 $U_3 = 15 \text{ V}$   
 $U = 30 \text{ V}$

**8 DLACZEGO TO WAŻNE?**

Dwie niezależne metody kontroli pozwalają wykryć ewentualne błędy w obliczeniach.

Jeśli  $U_1 + U_2 + U_3$  nie jest równe  $R_z \times I$ , należy ponownie sprawdzić obliczenia.

**9 MINI WYZWANIE**

Co stanie się z całkowitym prądem, jeśli napięcie pozostaje 30 V, ale do obwodu szeregowego dodamy jeszcze jeden opornik  $R_4 = 40 \Omega$ ?

Wskazówka: Nowe:  $R_z = 100 \Omega$

Odpowiedź kontrolna:  $I = 30 / 100 = 0,3 \text{ A}$

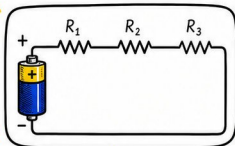
**10 ZAPAMIĘTAJ**

Dobry sposób kontroli obwodu szeregowego:  
**suma napięć = napięcie obliczone z  $R_z \times I$ .**



## OBWÓD SZEREGOWY

– WSZYSTKO W –  
JEDNYM MIEJSCU



### 1 JAK GO ROZPOZNAĆ?

- ✓ Jedna droga przepływu prądu.
- ✓ Elementy znajdują się jeden za drugim w tej samej gałęzi.
- ✓ Brak rozgałęzienia między analizowanymi elementami.

### 2 PRĄD

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

Ten sam prąd przepływa przez wszystkie elementy szeregu.

**PRĄD JEST WSPÓLNY**

### 3 NAPIĘCIE

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Napięcie źródła dzieli się między elementy.

większa  $R \rightarrow$  większy spadek  $U$

### 5 KOLEJNOŚĆ OBLICZEN

- 1 KROK 1  $\rightarrow$  policz  $R_z$
- 2 KROK 2  $\rightarrow$  policz  $I$
- 3 KROK 3  $\rightarrow$  policz  $U_1, U_2, U_3 \dots$
- 4 KROK 4  $\rightarrow$  sprawdź sumę napięć

### 4 REZYSTANCJA

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

W szeregu rezystancje po prostu dodajesz.

- ✓  $R_z >$  każda pojedyncza rezystancja.

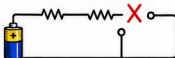
### SZYBKI PRZYKŁAD



|                    |                                  |
|--------------------|----------------------------------|
| $U = 18 \text{ V}$ | $R_z: 3 + 6 = 9 \Omega$          |
| $R_1 = 3 \Omega$   | $I: 18 / 9 = 2 \text{ A}$        |
| $R_2 = 6 \Omega$   | $U_1: 3 \times 2 = 6 \text{ V}$  |
|                    | $U_2: 6 \times 2 = 12 \text{ V}$ |

Kontrola:  $6 + 12 = 18 \text{ V}$

### AWARIA TYPU PRZERWA



Jeśli jedna część wspólnej drogi zostanie przerwana:  
prąd w całej gałęzi przestaje płynąć.

### 5 PYTAŃ KONTROLNYCH

- ✓ Czy istnieje tylko jedna droga prądu?
- ✓ Czy prąd jest taki sam?
- ✓ Czy rezystancje zostały dodane?
- ✓ Czy napięcia na elementach sumują się do napięcia źródła?
- ✓ Czy wynik ma właściwe jednostki?

**ZAPAMIĘTAJ**  
**SZEREG** = jedna droga + wspólny prąd +  
suma rezystancji + suma spadków napięcia.



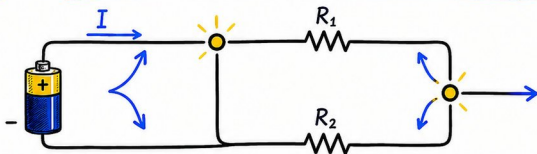
# MODUŁ 04



## OBWODY RÓWNOLEGŁE I MIESZANE

Gdy prąd ma więcej niż jedną drogę,  
zmieniają się zasady analizy.

Wiele dróg przepływu —  
jedna wspólna różnica potencjałów między gałęziami



**V** Napięcie — takie samo na gałęziach równoległych

**I** Prąd — dzieli się między gałęzie

 Rezystancja zastępcza — maleje po dodaniu kolejnej gałęzi



Następnie połączysz zasady szeregu i równoległości,  
aby analizować obwody mieszane.





**NAJWAŻNIEJSZA  
CECHA**

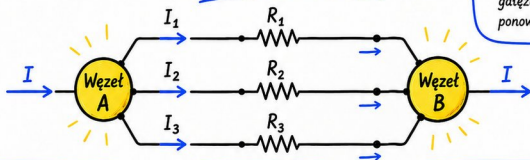
**PRĄD MA WIĘCEJ  
NIŻ JEDNĄ DROGĘ**

## POŁĄCZENIE RÓWNOLEGŁE

Elementy są połączone równolegle,  
gdy są podłączone między  
tymi samymi dwoma węzłami.

**CO TO OZNACZA?**

- Prąd całkowity dociera do węzła.
- Następnie rozdziela się:  
 $I \rightarrow I_1 + I_2 + I_3$
- Po przejściu przez gałęzie prądy ponownie się łączą.



**JAK ROZPOZNAĆ?**

Czy oba końce  $R_1$  są  
podłączone do tych samych  
dwóch punktów co oba  
końce  $R_2$ ?



Jeśli tak:  
 $R_1$  i  $R_2$  są równoległe.

**NIE PATRZ TYLKO  
NA WYGLĄD**

Dwa rezystory mogą być  
narysowane jeden nad drugim,  
obok siebie, pod różnym kątem  
i nadal być połączone  
równoległe.

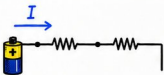
**WĘZŁY, NIE KSZTAŁT RYSUNKU**

**TRZY ZASADY,  
KTÓRE POZNASZ**

- Napięcie na gałęziach jest takie samo.
- Prąd dzieli się między gałęzie.
- Rezystancja zastępcza jest mniejsza od najmniejszej rezystancji gałęzi.

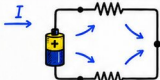
**SZEREG:**

jedna droga



**RÓWNOLEGŁE:**

więcej niż  
jedna droga



**ZAPAMIĘTAJ**  
**Równoległe = te same dwa węzły.**

# MAPA MYŚLI 36 – NAPIĘCIE W POŁĄCZENIU RÓWNOLEGŁYM

## DLACZEGO?

- Każda gałąź jest podłączona między tym samym węzłem A i tym samym węzłem B.
- Dlatego różnica potencjałów między końcami każdej gałęzi jest taka sama.



## NAPIĘCIE NA KAŻDEJ GAŁĘZI JEST TAKIE SAMO

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

## PRZYKŁAD



Źródło:  $U = 12\text{ V}$

Trzy rezystory równolegle:  $R_1, R_2, R_3$

$$U_1 = 12\text{ V}$$

$$U_2 = 12\text{ V}$$

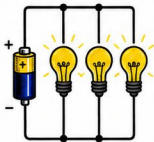
$$U_3 = 12\text{ V}$$

## PRZYKŁAD Z ŻARÓWKAMI

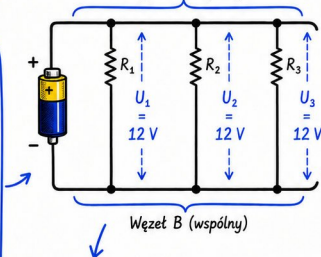
Trzy odpowiednie żarówki podłączone równolegle do źródła 12 V.

Każda znajduje się między tymi samymi zaciskami źródła.

Dlatego na każdej występuje 12 V.



Węzeł A (wspólny)



Węzeł B (wspólny)

## WAŻNE



Nie zapisujemy:

$$12\text{ V} = 4\text{ V} + 4\text{ V} + 4\text{ V}$$

To byłoby myślenie charakterystyczne dla prostego szeregu.



w układzie równoległym każda gałąź widzi **pełne** napięcie między **wspólnymi węzłami**.

## POMIAR



Woltomierz podłączony równolegle do:

- $R_1 \rightarrow 12\text{ V}$
- $R_2 \rightarrow 12\text{ V}$
- $R_3 \rightarrow 12\text{ V}$

## PORÓWNAJ



**SZEREG:** napięcie dzieli się



**RÓWNOLEGŁE:** napięcie jest wspólne

## ZAPAMIĘTAJ

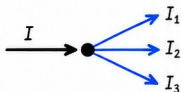


Te same dwa węzły = to samo napięcie.

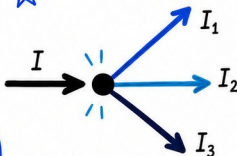
# MAPA MYŚLI 37 – PRĄD W POŁĄCZENIU RÓWNOLEGŁYM

## A CO DZIEJE SIĘ W WĘZLE?

- Przed rozgałęzieniem:  $I$
- Po rozgałęzieniu:  $I_1, I_2, I_3$
- Po ponownym połączeniu prądy sumują się z powrotem.



## PRĄD DZIELI SIĘ MIĘDZY GAŁĘZIE



## B PRZYKŁAD 1

$$\begin{aligned} I &= 6 \text{ A} \\ I_1 &= 2 \text{ A} \\ I_2 &= 1 \text{ A} \\ \text{Szukamy } I_3 \end{aligned}$$

$$6 = 2 + 1 + I_3$$

$$I_3 = 3 \text{ A}$$

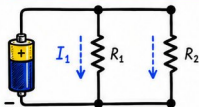
## C DLACZEGO PRĄDY MOGĄ BYĆ RÓŻNE?

- Każda gałąź ma to samo napięcie.
- Ale może mieć inną rezystancję.

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

mniejsza  $R \rightarrow$  większy prąd gałęzi

większa  $R \rightarrow$  mniejszy prąd gałęzi



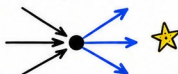
$$U_1 = U_2 = U \text{ (to samo napięcie)}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

## E PRAWO WĘZŁA – ZAPOWIEDŹ

To, co wpływa do idealnego węzła, musi z niego wypłynąć.

Dokładniej poznasz tę zasadę w module o prawach Kirchhoffa.



## D PRZYKŁAD 2

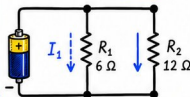
$$\begin{aligned} U &= 12 \text{ V} \\ R_1 &= 6 \Omega \\ R_2 &= 12 \Omega \end{aligned}$$

$$I_1 = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = 2 + 1 = 3 \text{ A}$$



## F

## ZAPAMIĘTAJ

W równoległym **napięcie** jest wspólne, ale **prąd** może być **różny** w każdej gałęzi.

# MAPA MYŚLI 38 – REZYSTANCJA ZASTĘPCZA W POŁĄCZENIU RÓWNOLEGŁYM

## NAJWAŻNIEJSZA RÓŻNICA



W szeregu:  
dodajesz  
bezpośrednio



Równolegle:  
dodajesz  
odwrotności  
rezystancji

WIĘCEJ DRÓG  
DLA PRĄDU →  
MNIJSZA  
REZYSTANCJA ZASTĘPCZA

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

## PRZYKŁAD 1

$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 3 \Omega$$

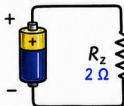
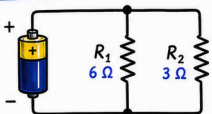
$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{6} + \frac{2}{6}$$

$$\frac{1}{R_z} = \frac{3}{6}$$

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{2}$$

$$R_z = 2 \Omega$$



## REGUŁA KONTROLNA

- ✓ Najmniejszy rezystor: 3  $\Omega$
- ✓ Rezystancja zastępcza: 2  $\Omega$



$R_z$  jest **mniejsza**  
od najmniejszego  
rezystora gałęzi.



## DLACZEGO?



- Dodanie kolejnej gałęzi daje prądowi dodatkową drogę.
- Przy tym samym napięciu całkowity prąd może wzrosnąć.

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

większy  $I$  przy tym  
samym  $U$  oznacza  
**mniejszą  $R_z$ .**

## BARDZO WAŻNE



Jeśli obliczysz dla  
rezystorów 6  $\Omega$  i 3  $\Omega$ :

$$R_z = 9 \Omega$$

to popętniesz błąd  
typowy dla połączenia  
**szeregowego.**

## SZYBKA KONTROLA



$$R_z < \text{najmniejsza } R$$



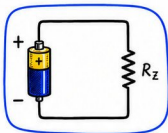
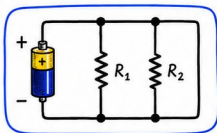
## ZAPAMIĘTAJ

Każda dodatkowa równoległa droga **zmniejsza**  
**rezystancję zastępczą** układu.





# MAPA MYŚLI 39 — DWA REZYSTORY RÓWNOLEGLE



## SKĄD TO SIĘ BIERZE?

Zaczynamy od:

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

Po przekształceniu:

$$R_z = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

To nie jest nowa zasada —  
tylko wygodniejsza forma  
dla dwóch rezystorów.

## DWA REZYSTORY — SZYBSZY WZÓR

$$R_z = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

### 1 PRZYKŁAD 1

$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 3 \Omega$$

$$R_z = \frac{6 \times 3}{6 + 3}$$

$$R_z = \frac{18}{9}$$

$$R_z = 2 \Omega$$

### 2 PRZYKŁAD 2

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 10 \Omega$$

$$R_z = \frac{10 \times 10}{20}$$

$$R_z = 5 \Omega$$

### SPECJALNY PRZYPADEK

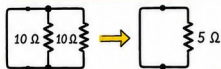
Dwa jednakowe rezystory:

$R \parallel R$  dają:

$$R_z = \frac{R}{2}$$

Przykład:

$$100 \Omega \parallel 100 \Omega = 50 \Omega$$



### KONTROLA

Para 6  $\Omega$  i 3  $\Omega$  →  
 $R_z$  musi być mniejsza  
niż 3  $\Omega$

Wynik: 2  $\Omega$



logiczny

### NAJCZĘSTSZE BŁĘDY

❌ Błąd 1:  $R_1 + R_2$

❌ Błąd 2: pominięcie  
nawiasu w mianowniku

❌ Błąd 3: wynik większy  
niż najmniejsza  
rezystancja



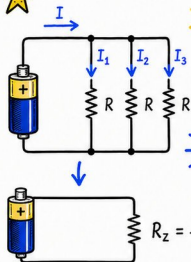
## ZAPAMIĘTAJ

Dwa równolegle: **iloczyn** u góry, **suma** na dole.



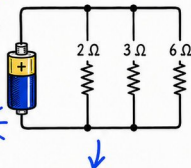


# MAPA MYŚLI 40 – TRZY LUB WIĘCEJ REZYSTORÓW RÓWNOLEGLE



**WIĘCEJ GAŁĘZI –  
TA SAMA ZASADA**

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



**PRZYKŁAD 2 –  
RÓŻNE WARTOŚCI**

$$\begin{aligned} \bullet R_1 &= 2 \, \Omega & \frac{1}{R_z} &= \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \\ \bullet R_2 &= 3 \, \Omega & \frac{1}{R_z} &= \frac{3}{6} + \frac{2}{6} + \frac{1}{6} \\ \bullet R_3 &= 6 \, \Omega & \frac{1}{R_z} &= \frac{6}{6} \end{aligned}$$

$$R_z = 1 \, \Omega$$

**PRZYKŁAD 1**

- $R_1 = 6 \, \Omega$
- $R_2 = 6 \, \Omega$
- $R_3 = 6 \, \Omega$

SKRÓT:

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

$R$  = wartość jednego rezystora  
 $n$  = liczba jednakowych rezystorów

$$R_z = \frac{6}{3} \Rightarrow R_z = 2 \, \Omega$$

**DLACZEGO  
TO DZIAŁA?**



Trzy identyczne gałęzie pozwalają na przepływ większego prądu całkowitego niż jedna gałąź.

Dlatego rezystancja zastępcza maleje.

**CO SIĘ STANIE PO  
DODANIU KOLEJNEJ  
GAŁĘZI?**



$R_z$  jeszcze bardziej spadnie.

**KONTROLA**

- Najmniejsza gałąź:  $2 \, \Omega$
  - Wynik:  $1 \, \Omega$
- ✓ poprawnie, ponieważ  $R_z < 2 \, \Omega$

**REGUŁA DLA  
JEDNAKOWYCH REZYSTORÓW**

- 2 jednakowe:  $R_z = \frac{R}{2}$
- 3 jednakowe:  $R_z = \frac{R}{3}$
- 4 jednakowe:  $R_z = \frac{R}{4}$



**ZAPAMIĘTAJ**

Im więcej równoległych gałęzi,  
tym mniej rezystancja zastępcza.

# MAPA MYŚLI 41 – PODZIAŁ PRĄDU MIĘDZY GAŁĘZIE

## PUNKT WYJŚCIA

W obwodzie równoległym:

$$U_1 = U_2 = U_3$$

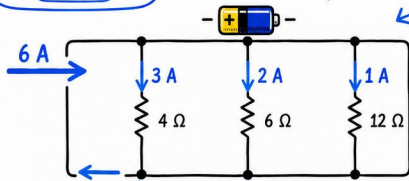
A prąd w każdej gałęzi liczymy z:

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

TEN SAM  $U$  –  
**RÓŻNE  $R$**  →  
**RÓŻNE  $I$**

## PRZYKŁADOWE DANE

- Źródło:  $U = 12\text{ V}$
- Gałąź 1:  $R_1 = 4\ \Omega$
- Gałąź 2:  $R_2 = 6\ \Omega$
- Gałąź 3:  $R_3 = 12\ \Omega$



## PRĄD CAŁKOWITY

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = 3 + 2 + 1$$

$$I = 6\text{ A}$$

## GAŁĄŹ 1

$$I_1 = \frac{12}{4} = 3\text{ A}$$

## GAŁĄŹ 2

$$I_2 = \frac{12}{6} = 2\text{ A}$$

## GAŁĄŹ 3

$$I_3 = \frac{12}{12} = 1\text{ A}$$

## CO WIDAĆ?

- Najmniejsza rezystancja:  
 $4\ \Omega \rightarrow$  największy prąd: **3 A**
- Największa rezystancja:  
 $12\ \Omega \rightarrow$  najmniejszy prąd: **1 A**

## ZASADA

Mniejsza rezystancja  
gałęzi  $\rightarrow$  **większa część**  
prądu całkowitego.

## SPRAWDZENIE PRZEZ $R_2$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{3}{12} + \frac{2}{12} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$$

$$R_2 = 2\ \Omega$$

$$I = \frac{12}{2} = 6\text{ A}$$

Ten sam wynik.

## ZAPAMIĘTAJ

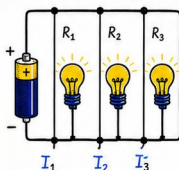
Prąd wybiera wszystkie dostępne gałęzie,  
ale **nie dzieli się** zawsze po równo.

# MAPA MYŚLI 42 – AWARIA JEDNEJ GAŁĘZI

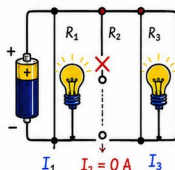
## PRACA NORMALNA

- Trzy gałęzie:  $R_1, R_2, R_3$ .
- Wszystkie podłączone między tymi samymi dwoma węzłami.
- Każda ma własną drogę.

## PRZED AWARIĄ



## PO AWARII (PRZERWA W $R_2$ )



## AWARIA TYPU PRZERWA W $R_2$

- Gałąź  $R_2$  zostaje przzerwana.
- W tej gałęzi:  $I_2 = 0 \text{ A}$
- Ale  $R_1$  i  $R_3$  nadal tworzą zamknięte drogi.
- Dlatego:  $I_1$  może nadal płynąć,  $I_3$  może nadal płynąć.

**JEDNA GAŁĄŻ PRZESTAJE DZIAŁAĆ – INNE MOGĄ NADAL PRZEWODZIĆ**

## PORÓWNIANIE Z SZEREGIEM

### SZEREG

Jedna przerwa: wspólna droga zostaje przzerwana  
→ cały prąd może spaść do 0 A.

### RÓWNOLEGLE

Jedna przzerwana gałąź: tylko ta gałąź przestaje przewodzić  
→ pozostałe mogą działać dalej.

## PRZYKŁAD Z ŻARÓWKAMI

Trzy żarówki równolegle. Jedna żarówka ulega przzerwaniu. Efekt: jedna gaśnie, pozostałe mogą nadal świecić.



## CO DZIEJE SIĘ Z REZYSTANCJĄ ZASTĘPCZĄ?

- Po utracie jednej równoległej gałęzi liczba dróg maleje.
- Dlatego:  $R_2$  rośnie
- Przy stałym napięciu źródła: prąd catkowity maleje.

## PRZYKŁAD LICZBOWY

- $R_1 = 10 \Omega$
- $R_2 = 10 \Omega$
- Równoległe:  $R_2 = 5 \Omega$
- Jeśli  $R_2$  zostanie przzerwany: zostaje tylko  $R_1$
- Nowe:  $R_2 = 10 \Omega$
- Przy źródle 10 V:  
Przed awarią  $I = 10 / 5 = 2 \text{ A}$   
Po awarii  $I = 10 / 10 = 1 \text{ A}$

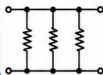
## PORÓWNIANIE $R_2$

### PRZED AWARIĄ

$$R_2 = 5 \Omega$$

### PO AWARII (PRZERWA W $R_2$ )

$$R_2 = 10 \Omega$$



## WAŻNE



Awaria typu zwarcie w gałęzi może mieć zupełnie inne i znacznie bardziej niebezpieczne skutki niż przerwa.

## ZAPAMIĘTAJ

Równoległe gałęzie są elektrycznie **niezależnymi** drogami między wspólnymi węzłami.

# MAPA MYŚLI 43 – SZEREGOWY CZY RÓWNOLEGŁY?

## NAJPIERW ROZPOZNAJ POŁĄCZENIE – DOPIERO POTEM LICZ

### POŁĄCZENIE SZEREGOWE

Czy przez oba elementy musi przepłynąć ten sam prąd bez możliwości wyboru innej drogi?

Jeśli **TAK**: elementy są połączone szeregowo.

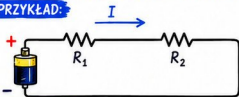
#### CECHY:

- jedna droga
- ten sam prąd
- rezystancje się sumują
- napięcia na elementach się sumują

#### WZORY:

$$I = I_1 = I_2 \quad R_z = R_1 + R_2 \quad U = U_1 + U_2$$

#### PRZYKŁAD:



#### SZYBKI TEST:



Czy prąd ma alternatywną drogę między  $R_1$  i  $R_2$ ?

**Nie.** Wniosek:  $R_1$  i  $R_2$  są szeregowo.

### POŁĄCZENIE RÓWNOLEGŁE

Czy oba elementy są podłączone do tych samych dwóch węzłów?

Jeśli **TAK**: elementy są połączone równolegle.

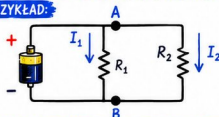
#### CECHY:

- więcej niż jedna droga
- to samo napięcie
- prąd się dzieli
- $R_z$  jest mniejsza od najmniejszej gałęzi

#### WZORY:

$$U = U_1 = U_2 \quad I = I_1 + I_2 \quad \frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

#### PRZYKŁAD:



Wniosek:  $R_1$  i  $R_2$  są równoległe.

**!**  
Patrz na połączenia i węzły, nie na geometrię rysunku.

### SZYBKI ALGORYTM

1

Zaznacz węzły.



2

Prześledź drogi prądu.



3

Sprawdź, czy prąd może się rozdzielić.



4

Dopiero wtedy wybierz wzory.



**Szereg** rozpoznajesz po **wspólnym prądzie**.

**Równoległość** – po **wspólnych dwóch węzłach**.



# MAPA MYŚLI 44 – JAK ROZPOZNAĆ OBWÓD MIESZANY?

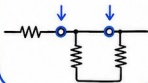
## OBWÓD MIESZANY

**SZEREG + RÓWNOLEGŁOŚĆ  
W JEDNYM UKŁADZIE**

Obwód mieszany zawiera co najmniej jeden fragment połączony szeregowo oraz co najmniej jeden fragment połączony równolegle.

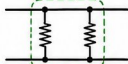
### KROK 1 – ZNAJDŹ WĘZŁY

Zaznacz miejsca, w których prąd się rozdziela lub łączy ponownie się łącząc.



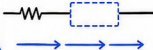
### KROK 2 – ZNAJDŹ ELEMENTY RÓWNOLEGŁE

Które elementy są połączone między tymi samymi dwoma węzłami? Te elementy tworzą blok równoległy.



### KROK 3 – ZNAJDŹ ELEMENTY SZEREGOWE

Po uproszczeniu części równoległej sprawdź: które elementy pozostają w jednej wspólnej drodze?



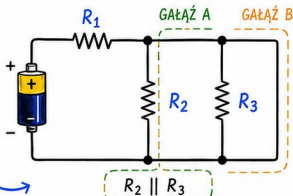
### KROK 4 – ZAPISZ STRUKTURĘ

Zapisz układ za pomocą nawiasów.

$$R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

lub

$$(R_1 + R_2) \parallel R_3$$



$$R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

Nawiasy pomagają zobaczyć kolejność upraszczania.



$R_1 + (R_2 \parallel R_3)$  to nie to samo co  $(R_1 + R_2) \parallel R_3$

### PYTANIE KONTROLNE



Czy w schemacie występuje przynajmniej jedno rozgałęzienie oraz przynajmniej jeden fragment wspólnej drogi?



W obwodzie mieszanym nie próbuj liczyć wszystkiego naraz. Najpierw podziel układ na prostsze bloki.

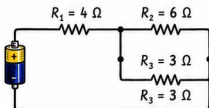




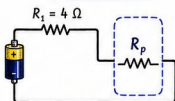
# UPRASZCZAJ

## OD ŚRODKA DO CAŁEGO OBWODU

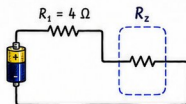
### 1 OBWÓD MIESZANY



### 2 ZAMENIAMY BŁOK RÓWNOLEŻY

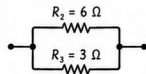


### 3 OBWÓD UPROSZCZONY



#### KROK 1 –

ZNAJDŹ NAJPROSTSZY BŁOK



$R_2$  i  $R_3$  są między tymi samymi dwoma węzłami.

Zatem:  $R_2 \parallel R_3$

#### KROK 2 –

OBLICZ REZYSTANCJĘ BŁOKU RÓWNOLEŻEGO

$$R_p = (R_2 \times R_3) / (R_2 + R_3)$$

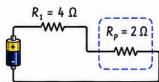
$$R_p = (6 \times 3) / (6 + 3)$$

$$R_p = 18 / 9$$

$$R_p = 2 \Omega$$

#### KROK 3 –

NARYSUJ UKŁAD UPROSZCZONY



Oryginał:  $R_1 + (R_2 \parallel R_3)$ .

Po uproszczeniu:  $R_1 + R_p$ ,

czyli:  $4 \Omega + 2 \Omega$

#### KROK 4 –

POLICZ REZYSTANCJĘ CAŁKOWITĄ

$$R_z = 4 + 2$$

$$R_z = 6 \Omega$$

#### CO WŁAŚNIE ZROBILIŚMY?



Zamieniliśmy trzy rezystory:  $4 \Omega$ ,  $6 \Omega$ ,  $3 \Omega$

na jeden zastępczy:  $6 \Omega$  zachowujący takie samo zachowanie układu widziane od zacisków źródła dla tej analizy rezystancyjnej.

#### UNIERSALNA METODA

1. Zaznacz najprostszy fragment.
2. Oblicz jego  $R_z$ .
3. Zastąp go jednym rezystorem.
4. Narysuj prostszy schemat.
5. Powtarzaj, aż zostanie jedna  $R_z$ .

#### WAŻNE!



Nie dodawaj:  $R_1 + R_2 + R_3$  jeżeli  $R_2$  i  $R_3$  są równolegle.

#### SPRAWDŹ I KONTROLUJ



Blok:  $6 \Omega \parallel 3 \Omega$  musi dać wartość mniejszą niż  $3 \Omega$ .

Otrzymaliśmy:  $2 \Omega$  ✓ poprawnie.

Następnie:  $4 \Omega + 2 \Omega = 6 \Omega$



Obwód mieszany rozwiązuje się etapami — jeden prosty blok naraz.

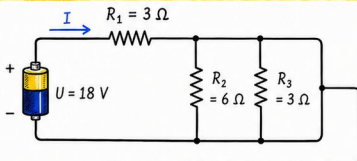


# MAPA MYŚLI 46 — OBWÓD MIESZANY — PRZYKŁAD OBLICZENIOWY



## DANE

- $U = 18 \text{ V}$
- $R_1 = 3 \Omega$
- $R_2 = 6 \Omega$
- $R_3 = 3 \Omega$



## STRUKTURA

$$R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

## SZUKAMY

- $R_2$
- $I$  całkowitego
- $U_1$
- napięcia bloku równoległego
- $I_2, I_3$



## UPRASZCZANIE

## POWRÓT DO ORYGINALNEGO OBWODU



### 1 KROK 1 — UPROŚĆ BLOK RÓWNOLEGŁY

$$R_p = (R_2 \times R_3) / (R_2 + R_3)$$

$$R_p = (6 \times 3) / 9$$

$$R_p = 2 \Omega$$

### 2 KROK 2 — REZYSTANCJA CAŁKOWITA

$$R_z = R_1 + R_p$$

$$R_z = 3 + 2$$

$$R_z = 5 \Omega$$

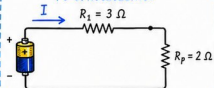
### 3 KROK 3 — PRĄD CAŁKOWITY

$$I = U / R_z$$

$$I = 18 / 5$$

$$I = 3,6 \text{ A}$$

PO UPROSZCZENIU:



### 4 KROK 4 — NAPIĘCIE NA $R_1$

$$U_1 = R_1 \times I$$

$$U_1 = 3 \times 3,6$$

$$U_1 = 10,8 \text{ V}$$

### 5 KROK 5 — NAPIĘCIE NA BLOKU RÓWNOLEGŁYM

$$U_r = U - U_1$$

$$U_r = 18 - 10,8$$

$$U_r = 7,2 \text{ V}$$

Ponieważ  $R_2$  i  $R_3$   
są równoległe:  
 $U_2 = U_3 = 7,2 \text{ V}$

### 6 KROK 6 — PRĄD PRZES $R_2$

$$I_2 = U_2 / R_2$$

$$I_2 = 7,2 / 6$$

$$I_2 = 1,2 \text{ A}$$

### 7 KROK 7 — PRĄD PRZES $R_3$

$$I_3 = U_3 / R_3$$

$$I_3 = 7,2 / 3$$

$$I_3 = 2,4 \text{ A}$$

## SPRAWDŹ PRĄD

$$I = I_2 + I_3$$

$$3,6 \text{ A} = 1,2 \text{ A} + 2,4 \text{ A}$$

✓ poprawnie

## SPRAWDŹ NAPIĘCIA

$$U = U_1 + U_r$$

$$18 \text{ V} = 10,8 \text{ V} + 7,2 \text{ V}$$

✓ poprawnie

## WYNIKI KOŃCOWE

- $R_2 = 5 \Omega$
- $I = 3,6 \text{ A}$
- $U_1 = 10,8 \text{ V}$
- $U_2 = U_3 = 7,2 \text{ V}$
- $I_2 = 1,2 \text{ A}$
- $I_3 = 2,4 \text{ A}$

W równoległych gałęziach  
 $R_3$  ma mniejszą  
rezystancję niż  $R_2$ .  
Dlatego:

$$I_3 > I_2$$



## PAMIĘTAJ

W obwodzie mieszanym po uproszczeniu  $R_2$  wracaj  
krok po kroku do oryginalnego schematu,  
aby znaleźć napięcia i prądy poszczególnych elementów.



## MODUŁ 05

# MOC I ENERGIA ELEKTRYCZNA

Nie wystarczy wiedzieć, jaki prąd płynie.  
Zobacz, jak szybko przekazywana jest energia.

**P** P – moc

**E** E – energia

napięcie + prąd

**U** + **I**



moc + czas

**P** + **t**



★ W tym module nauczysz się obliczać  
moc urządzeń, zużycie energii oraz  
rozumieć jednostki W, Wh i kWh.

# MAPA MYŚLI 47 — CZYM JEST MOC ELEKTRYCZNA?

## PROSTE WYJAŚNIENIE



Moc mówi:  
ile energii urządzenie  
przekazuje,  
pobiera lub  
przetwarza  
w jednostce czasu.

**MOC =**  
**JAK SZYBKO**  
**PRZEKAZYWANA LUB**  
**PRZETWARZANA**  
**JEST ENERGIA**

## SYMBOL I JEDNOSTKA

**P**  
wat — W

## JEDNOSTKA MOCY

**1 W = 1 J/s**

urządzenie o mocy 1 W  
przetwarza energię  
w tempie 1 dżula  
na sekundę.

## PRZYKŁAD PORÓWNAWCZY

Grzałka A:  
**100 W**



Grzałka B:  
**1000 W**



W tym samym czasie  
grzałka B przetwarza  
energię szybciej.

## PRZYKŁADY W PRAKTYCE



żarówka LED: np. 10 W



ładowarka: np. 20 W



laptop: np. 65 W



czajnik: np. 2000 W

Wartości są przykładami —  
rzeczywiste urządzenia mogą  
mieć inne moce znamionowe.

## MOC $\neq$ ENERGIA

Moc — jak szybko



Określa tempo przetwarzania  
energii w danej chwili.

Energia — ile łącznie



Określa całkowitą ilość energii  
zużytą w danym czasie.

## PRZYKŁAD INTUITYWNY



Urządzenie: **100 W**  
pracuje przez **1 godzinę**.

**Zużywa: 100 Wh**

Ta zależność zostanie rozwinięta  
na kolejnych mapach.

Wat opisuje **moc**,  
a **nie** całkowite **zużycie energii**.

# MAPA MYŚLI 48 — WZÓR $P = U \times I$



## SYMBOLE

$P$  — moc [W]

$U$  — napięcie [V]

$I$  — natężenie prądu [A]

$$P = U \times I$$

Moc = napięcie  $\times$  natężenie prądu

## KIEDY UŻYĆ?

Gdy znasz:

$U$  oraz  $I$

i chcesz obliczyć:

$P$ .

## PRZYKŁAD 1

1 Dane:  $U = 12 \text{ V}$ ,  $I = 2 \text{ A}$

2  $P = U \times I$

3  $P = 12 \times 2$

4  $P = 24 \text{ W}$

## INTERPRETACJA

Jeśli urządzenie ma:

$P = 115 \text{ W}$ ,

to w danych warunkach przetwarza energię w tempie:  
 $115 \text{ J/s}$ .

## PRZYKŁAD 2

1 Dane:  $U = 230 \text{ V}$ ,  $I = 0,5 \text{ A}$

2  $P = U \times I$

3  $P = 230 \times 0,5$

4  $P = 115 \text{ W}$

## TRENDY



Przy stałym  $I$ :

$U \uparrow \rightarrow P \uparrow$



Przy stałym  $U$ :

$I \uparrow \rightarrow P \uparrow$

## SPRAWDŹ JEDNOSTKI

$$V \times A = W$$

$$1 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 1 \text{ W}$$



## MINI ZADANIE

$U = 24 \text{ V}$ ,  $I = 3 \text{ A}$ ,  $P = ?$

Oblicz moc.

ODPOWIEDŹ KONTROLNA:  
 $72 \text{ W}$

## PAMIĘTAJ



Na tym etapie pracujemy z podstawowym modelem obwodów prądu stałego lub obciążeń, dla których  $P = U \times I$  jest właściwym opisem.

Jeśli znasz napięcie i prąd,  
moc otrzymasz przez ich  
pomnożenie.





# MAPA MYŚLI 49 – WZORY $P = I^2 R$ ORAZ $P = U^2 / R$

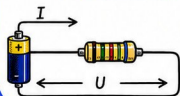
## 1 DERYWACJA 1

Z prawa Ohma:  $U = I \times R$

Podstawiamy do:  $P = U \times I$

$$P = (I \times R) \times I$$

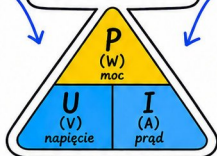
$$P = I^2 R$$



## TRZY WZORY – TA SAMA MOC

WZÓR PODSTAWOWY

$$P = U \times I$$



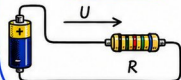
## 2 DERYWACJA 2

Z prawa Ohma:  $I = \frac{U}{R}$

Podstawiamy do:  $P = U \times I$

$$P = U \times \left( \frac{U}{R} \right)$$

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



## 3 KIEDY UŻYĆ $P = I^2 R$ ?

Gdy znasz:  $I$  i  $R$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$R = 5 \Omega$$

$$P = 2^2 \times 5$$

$$P = 4 \times 5$$

$$P = 20 \text{ W}$$



## 4 KIEDY UŻYĆ $P = U^2 / R$ ?

Gdy znasz:  $U$  i  $R$

$$U = 10 \text{ V}$$

$$R = 5 \Omega$$

$$P = \frac{10^2}{5}$$

$$P = \frac{100}{5}$$

$$P = 20 \text{ W}$$



## 5 SPRAWDZENIE (WERYFIKACJA)

Z prawa Ohma:  $I = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$

$$P = U \times I = 10 \times 2 = 20 \text{ W}$$

Wszystkie drogi dają  
ten sam wynik.



## 6 UWAGA NA KWADRAT

$$I^2 = I \times I$$

$$U^2 = U \times U$$

Nie:  $I \times 2$  ani:  $U \times 2$



Wybierz wzór, który wykorzystuje  
wielkości już znane w zadaniu.

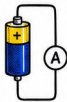
# MAPA MYŚLI 50 – KTÓREGO WZORU NA MOC UŻYĆ?



## NAJPIERW SPRAWDŹ, CO ZNASZ

1 MASZ  $U$  ORAZ  $I$ ?

$$P = U \times I$$



PRZYKŁAD

$$U = 12 \text{ V}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

$$P = 36 \text{ W}$$

2 MASZ  $I$  ORAZ  $R$ ?

$$P = I^2 R$$



PRZYKŁAD

$$I = 2 \text{ A}$$

$$R = 10 \Omega$$

$$P = 2^2 \times 10$$

$$P = 40 \text{ W}$$

3 MASZ  $U$  ORAZ  $R$ ?

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



PRZYKŁAD

$$U = 20 \text{ V}$$

$$R = 10 \Omega$$

$$P = \frac{400}{10} \times 10$$

$$P = 40 \text{ W}$$

? A JEŚLI NIE MASZ ODPOWIEDNIEJ PARY?

Możliwe, że najpierw trzeba wykorzystać:  
prawo Ohma, aby obliczyć brakującą wielkość.



Przykład:

Masz  $U$  i  $I$ , ale zadanie pyta także o  $R$ .

$$\text{Najpierw: } R = \frac{U}{I}.$$

Potem możesz korzystać z innych zależności.

SZYBKA ŚCIEŻKA — PODSUMOWANIE

Jakie dane masz?

$$U + I$$

$$P = UI$$

$$I + R$$

$$P = I^2 R$$

$$U + R$$

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



PAMIĘTAJ



Właściwy wzór wynika z danych, które masz, i wielkości, której szukasz.

KONTROLA



- ☒ Czy jednostką jest W?
- ☒ Czy nie pomyliłem mA z A?
- ☒ Czy poprawnie obliczyłem kwadrat?

MINI TEST



Dane:  $U = 9 \text{ V}$ ,  $R = 3 \Omega$ .

Który wzór na moc jest najwygodniejszy?

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

Obliczenie:

$$P = \frac{81}{3} = 27 \text{ W}$$



$$U + I \rightarrow UI \quad | \quad I + R \rightarrow I^2 R \quad | \quad U + R \rightarrow \frac{U^2}{R}$$



# MAPA MYŚLI 51 – CZYM JEST ENERGIA ELEKTRYCZNA?

# E

**ENERGIA =**  
ŁĄCZNA ILOŚĆ  
PRZEKAZANA LUB ZUŻYTA  
W CZASIE



## CO TO ZNACZY?

Urządzenie o większej mocy: przetwarza energię szybciej.

Urządzenie pracujące dłużej: zużywa więcej energii.

Dlatego:

- większa  $P \rightarrow$  większa  $E$  przy tym samym czasie.
- dłuższy  $t \rightarrow$  większa  $E$  przy tej samej mocy.

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ

1. Urządzenie:  $P = 100 \text{ W}$   
Czas:  $t = 2 \text{ h}$   
Energia:  $E = 100 \times 2$   
 **$E = 200 \text{ Wh}$**

2. Urządzenie:  $P = 1000 \text{ W}$   
Czas:  $t = 3 \text{ h}$   
Energia:  $E = 3000 \text{ Wh}$   
czyli:  **$3 \text{ kWh}$**

## CO OZNACZA CO?

**MOC**



Jak szybko?

**W**

**ENERGIA**



Ile łącznie?

**J, Wh, kWh**

## PRZYKŁAD INTUICYJNY

Dwa urządzenia:

**A** A: 1000 W przez 1 h.

**B** B: 500 W przez 2 h.

Energia A: 1000 Wh.

Energia B: 1000 Wh.

## Wniosek:

różna moc i różny czas  
mogą dać tę samą  
ilość energii.



## UWAGA!

W i Wh to nie to samo.

W = moc.

Wh = energia.

Nie zapisuj zużycia energii  
jako „1000 W”, jeśli masz  
na myśli „1000 Wh”.

## POMOCNE SYMBOLE



czas  
(h)



licznik energii  
(kWh)

## CO DALEJ?



Na kolejnych  
mapach:  
J, Wh, kWh  
oraz praktyczne  
obliczanie zużycia  
energii.



**Moc** mówi, jak **szybko** energia jest przekazywana.  
**Energia** mówi, ile **łącznie** przekazano w określonym czasie.



# MAPA MYŚLI 52 — DŻUL, WATOGODZINA I KILOWATOGODZINA



1

## DŻUL — J

Podstawowa jednostka energii w układzie SI.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s}$$

Urządzenie o mocy 1 W pracujące przez 1 sekundę przetwarza energię równą 1 J.



2

## WATOGODZINA — Wh

Jednostka bardzo wygodna przy urządzeniach elektrycznych.

$$E = P \times t$$

Jeżeli  $P = 1 \text{ W}$  i  $t = 1 \text{ h}$ ,  
to  $E = 1 \text{ Wh}$ .



3

## KILOWATOGODZINA — kWh

Stosowana szczególnie przy większych ilościach energii.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$$

$$2000 \text{ Wh} = 2 \text{ kWh}$$



4

## JAK POŁĄCZYĆ Wh Z J?



- $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
  - $1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \times 3600 \text{ s}$
  - $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$
  - $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$
- czyli: **3,6 MJ**

5

## PRZYKŁAD 1

- Urządzenie: 100 W
- Czas: 3 h
- Energia:  $E = 100 \times 3$

$$E = 300 \text{ Wh}$$



6

## PRZYKŁAD 2

- Grzejnik: 2 kW
- Czas: 1,5 h
- Energia:  $E = 2 \times 1,5$

$$E = 3 \text{ kWh}$$



7

## KIEDY KTÓREJ JEDNOSTKI UŻYWAĆ?



J — często w fizyce i analizie energii w sekundach



Wh — wygodna dla mniejszych urządzeń i czasu podanego w godzinach



kWh — wygodna dla zużycia energii elektrycznej w domu lub większych odbiornikach



8

## NIE MYL



✗ kW = moc

✗ kWh = energia

Kilowat i kilowatogodzina nie oznaczają tego samego.

9

## ZAPAMIĘTAJ



J, Wh i kWh opisują **energie**.

W i kW opisują **moc**.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 3,6 \text{ MJ}$$



# MAPA MYŚLI 53 — OBLICZANIE ZUŻYCIA ENERGII

## 1 KROK 1 — ZNAJDŹ MOC

Czajnik:  $P = 2000 \text{ W}$ ,  
czyli  $P = 2 \text{ kW}$ .



ILE ENERGII  
ZUŻYJE  
URZĄDZENIE?  
 $E = P \times t$

## 2 KROK 2 — OKREŚL CZAS PRACY

$t = 15 \text{ min}$

$15 \text{ min} = 0,25 \text{ h}$



## 3 KROK 3 — OBLICZ ENERGIĘ

$$E = P \times t$$

$$E = 2 \text{ kW} \times 0,25 \text{ h}$$

$$E = 0,5 \text{ kWh}$$



## 4 PRZYKŁAD 2 — LAMPA

• Moc:  $10 \text{ W}$

• Czas:  $5 \text{ h}$

$$E = 10 \times 5$$

$$E = 50 \text{ Wh}$$

czyli:  $0,05 \text{ kWh}$



## 5 PRZYKŁAD 3 — KOMPUTER

•  $150 \text{ W} = 0,15 \text{ kW}$

• Czas pracy:  $8 \text{ h}$

$$E = 0,15 \times 8$$

$$E = 1,2 \text{ kWh}$$



★ Rzeczywista moc wielu urządzeń może zmieniać się podczas pracy.

## 6 JEŚLI URZĄDZENIE PRACUJE CODZIENNIE

•  $0,5 \text{ kWh}$  dziennie

•  $30 \text{ dni}$

$$0,5 \times 30 = 15 \text{ kWh}$$



## 7 UNIWERSALNY SCHEMAT

MOC

CZAS

$$E = P \times t$$

ENERGIA

## 8 UWAGA NA JEDNOSTKI

kWh

Dla kWh używamy:  
 $\text{kW} \times \text{h}$

Wh

Dla Wh używamy:  
 $\text{W} \times \text{h}$

## 9 NAJCZĘSTSZY BŁĄD



$30 \text{ min} \neq 30 \text{ h}$



Poprawnie:  
 $30 \text{ min} = 0,5 \text{ h}$

## 10 MINI ZADANIE

• Urządzenie:  $500 \text{ W}$

• pracuje:  $4 \text{ h}$

• Energia:  $E = ?$

Odpowiedź kontrolna:  
 $2000 \text{ Wh} = 2 \text{ kWh}$



## 11 ZAPAMIĘTAJ



Zużycie energii zależy  
zarówno od **mocy** urządzenia,  
jak i od **czasu** jego pracy.



URZĄDZENIE



MOC (kW)



CZAS (h)



ENERGIA (kWh)



# MAPA MYŚLI 54 — SPRAWNOŚĆ I STRATY ENERGII



## 1 CZYM JEST SPRAWNOŚĆ?

Sprawność informuje:  
jaka część dostarczonej energii  
lub mocy zostaje wykorzystana  
do pożądanego celu.

$\eta$

czytamy: eta

ENERGIA  
DOSTARCZONA  
 $\neq$   
ZAWSZE  
ENERGIA UŻYTECZNA

## 2 WZÓR

$$\eta = \frac{P_{\text{użyteczna}}}{P_{\text{dostarczona}}}$$

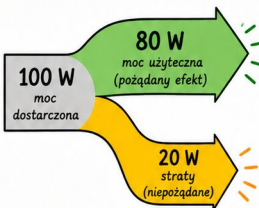
$$\eta = \left( \frac{P_{\text{użyteczna}}}{P_{\text{dostarczona}}} \right) \times 100\%$$

## 3 PRZYKŁAD

- Urządzenie pobiera: 100 W
- Użyteczna moc: 80 W

$$\eta = \frac{80}{100} \times 100\%$$

$$\eta = 80\%$$



## 4 CO STAŁO SIĘ Z POZOSTAŁYMI 20 W?

Ta energia nie znika,  
lecz przechodzi w formę:

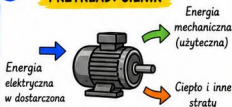
- ciepło
- dźwięk
- drgania
- światło niebędące celem pracy urządzenia

## 5 BILANS MOCY

$$P_{\text{dostarczona}} = P_{\text{użyteczna}} + P_{\text{strat}}$$

$$100 \text{ W} = 80 \text{ W} + 20 \text{ W}$$

## 6 PRZYKŁAD: SILNIK



## 7 CZY 100% SPRAWNOŚCI JEST TYPOWE?

W rzeczywistych urządzeniach  
sprawność jest zawsze  
mniejsza niż 100%.

$$\eta < 100\%$$

## 8

To, co nazywamy „stratą”,  
nie oznacza zniszczenia energii.  
Oznacza przekształcenie energii  
w formę, która w danym  
zastosowaniu nie jest pożądana.



## 9 MINI ZADANIE

- Urządzenie pobiera: 500 W
- Moc użyteczna: 400 W
- Sprawność:  $\eta = ?$
- Odpowiedź: 80%
- Straty: 100 W



## 10 ZAPAMIĘTAJ



Energia nie znika —  
zmienia formę.  
Sprawność mówi,  
jaka część trafia  
do pożądanego efektu.



# MAPA MYŚLI 55 — DLACZEGO REZYSTOR SIĘ NAGRZEWA?



## 1 CO DZIEJE SIĘ W REZYSTORZE?

Podczas przepływu prądu energia elektryczna może być przekształcana w energię cieplną. Dlatego rezystor może się nagrzewać.



## 2 MOC WYDZIELANA NA REZYSTORZE

$$P = U \times I$$

$$P = I^2 R$$

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

## 3 PRZYKŁAD 1

- $R = 10 \Omega$
- $I = 2 \text{ A}$
- $P = I^2 R$
- $P = 2^2 \times 10$

$$P = 40 \text{ W}$$

To oznacza bardzo dużą moc dla małego typowego rezystora elektronicznego.



$$I = 1 \text{ A}$$

$$\rightarrow 10 \text{ W}$$



$$I = 2 \text{ A}$$

$$\rightarrow 40 \text{ W}$$

**PRĄD + REZYSTANCJA  
→ WYDZIELANIE CIEPŁA**

## 4 DLACZEGO KWADRAT PRĄDU JEST WAŻNY?

Jeśli prąd się podwoi przy stałej rezystancji, to moc staje się cztery razy większa.

*Podwojenie prądu może czterokrotnie zwiększyć moc cieplną.*

## 5 PORÓWNANIE

$$I = 1 \text{ A} \rightarrow P = 10 \text{ W}$$

$$I = 2 \text{ A} \rightarrow P = 40 \text{ W}$$

Moc wzrasta 4 razy!

## 6 MOC ZNAMIONOWA REZYSTORA

Typowe wartości mocy znamionowej:

0,125 W

0,25 W

0,5 W

1 W

Dobór rezystora wymaga odpowiedniego zapasu mocy i uwzględnienia warunków chłodzenia.

## 7 CO MOŻE SIĘ STAĆ PRZY PRZECIĄŻENIU?

- silne nagrzanie
- zmiana parametrów
- uszkodzenie elementu
- przebarwienie obudowy
- w skrajnym przypadku zagrożenie dla układu



## 8 PRZYKŁAD DOBORU – TYLKO EDUKACYJNY

- $P = 0,18 \text{ W}$
- Rezystor: 0,25 W

Zachowaj zapas mocy zgodnie z zaleceniami w dokumentacji producenta elementu.

9

## ZAPAMIĘTAJ



Rezystor ogranicza prąd, ale jednocześnie może zamieniać energię elektryczną w ciepło.



# MAPA MYŚLI 56 – MOC – OBLICZENIA KROK PO KROKU

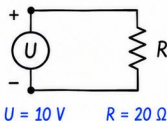


## ZADANIE

Rezystor:  $R = 20 \Omega$   
jest podłączony do  
napięcia:  $U = 10 \text{ V}$ .

Oblicz:  $I = ?$   $P = ?$

## OD DANYCH DO MOCY – 6 KROKÓW



### 1 KROK 1 – WYPISZ DANE

$U = 10 \text{ V}$      $R = 20 \Omega$

### 2 KROK 2 – ZNAJDŹ PRĄD

Prawo Ohma:  $I = \frac{U}{R}$

$$I = 10 / 20 \rightarrow I = 0,5 \text{ A}$$

### 3 KROK 3 – WYBIERZ WZÓR NA MOC

Mamy znane  $U$  i  $I$ , więc  
używamy wzoru:  $P = U \times I$

### 4 KROK 4 – OBLICZ

$$P = 10 \times 0,5 \rightarrow P = 5 \text{ W}$$

### 5 KROK 5 – SPRAWDŹ DRUGIM WZOREM

$$P = U^2 / R$$

$$P = 10^2 / 20$$

$$P = 100 / 20$$

$$P = 5 \text{ W}$$



wynik  
zgodny

### 6 KROK 6 – ZINTERPRETUJ

Rezystor przetwarza energię  
elektryczną z mocą:  $5 \text{ W}$   
w tych warunkach pracy.

**5 W**

## DRUGI PRZYKŁAD



- $I = 0,25 \text{ A}$
- $R = 100 \Omega$
- $P = I^2 R$
- $P = 0,25^2 \times 100$
- $P = 0,0625 \times 100$

$$P = 6,25 \text{ W}$$

## ALGORYTM



- Dane
- Szukane
- Czy brakuje  $U$ ,  $I$  lub  $R$ ?
- Jeśli tak  $\rightarrow$  prawo Ohma
- Wybierz najwygodniejszy wzór na  $P$
- Sprawdź jednostkę  $W$

## ZAPAMIĘTAJ



Prawo Ohma pomaga  
znaleźć brakującą  
wielkość, a wzory  
mocy pokazują tempo  
przetwarzania energii.

## MINI WYZWANIE



- $U = 24 \text{ V}$
- $R = 12 \Omega$

Oblicz:  $I$  oraz  $P$

Odpowiedź kontrolna:  
 $I = 2 \text{ A}$ ,  $P = 48 \text{ W}$

# MAPA MYŚLI 57 — MOC I ENERGIA — SZYBKA POWTÓRKA

## 1 MOC — P

Jak szybko energia jest przekazywana lub przetwarzana?



W — wat

- $P = U \times I$
- $P = I^2 R$
- $P = U^2 / R$

## 2 ENERGIA — E

Ile energii przekazano lub zużyto łącznie?

$$E = P \times t$$



J



Wh



kWh

## 3 NAJWAŻNIEJSZE PRZELICZENIA

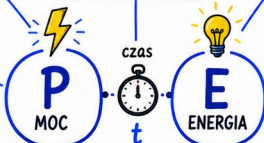
- 1000 W = 1 kW
- 1000 Wh = 1 kWh
- 1 Wh = 3600 J
- 1 kWh = 3,6 MJ



## 4 MOC ≠ ENERGIA

W  
kW → moc

Wh  
kWh → energia



MOC I ENERGIA —  
WSZYSTKO W JEDNYM MIEJSCU

## 5 SPRAWNOŚĆ

$$\eta = \frac{P_{\text{użyteczna}}}{P_{\text{dostarczona}}} \times 100\%$$

$$P_{\text{dostarczona}} = P_{\text{użyteczna}} + P_{\text{strat}}$$



## 6 EFEKT CIEPLNY

$$P = I^2 R$$



Większy prąd może dramatycznie zwiększyć moc wydzielaną w ciepło.

## 7 SZYBKI PRZYKŁAD

- $P = 500 \text{ W} = 0,5 \text{ kW}$
- $t = 4 \text{ h}$
- $E = 0,5 \times 4$

$$E = 2 \text{ kWh}$$

## 8 5 NAJCZĘSTSZYCH BŁĘDÓW

- ✗ Mylenie W z Wh
- ✗ Nieprzeliczenie minut na godziny
- ✗ Mylenie kW z kWh
- ✗ Pominięcie kwadratu w  $I^2$  lub  $U^2$
- ✗ Brak jednostki w wyniku

## 9 MINI TEST

- Co oznacza P?
- Jaka jest jednostka mocy?
- Czym różni się kW od kWh?
- Wzór na energię w funkcji mocy i czasu?
- Wzór na moc z napięcia U i rezystancji R?



- P = moc
- W
- kW = moc, kWh = energia
- $E = P \times t$
- $P = U^2 / R$

## 10 ZAPAMIĘTAJ



Moc opisuje tempo.  
Energia opisuje sumę w czasie.

# MODUŁ 06



## SYMBOLE, ELEMENTY I POMIARY

Naucz się rozpoznawać elementy na schemacie  
i prawidłowo mierzyć podstawowe wielkości.

Rozpoznaj → Zrozum → Zmierz

Źródła



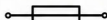
Rezystory



Wyłączniki



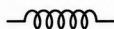
Bezpieczniki



Mierniki



Kondensatory i cewki



Dobry schemat jest jak język —  
gdy poznasz symbole, możesz zacząć go czytać.





# MAPA MYŚLI 58 — SYMBOLE ŹRÓDEŁ I POŁĄCZEŃ



## 1 OGNIWO

Symbol:

Jedna para linii różnej długości.  
Dłuższa linia: biegun dodatni (+).  
Krótsza linia: biegun ujemny (-).

Wygląd (uproszczony):



## 2 BATERIA

Symbol:

Kilka symboli ogniw połączonych razem.  
Znaczenie: źródło złożone z więcej niż jednego ogniwa.

Wygląd (uproszczony):



## 3 ŹRÓDŁO NAPIĘCIA STAŁEGO

Symbol:

Może być pokazane jako okrąg z + i - lub symbolem baterii.

Zawsze sprawdzaj legendę i przyjętą normę symboli.

Wygląd (uproszczony):



## 4 PRZEWÓD / POŁĄCZENIE

Symbol:

Prosta linia oznacza połączenie elektryczne między punktami.

Wygląd (uproszczony):



**SCHEMAT NIE  
POKAZUJE WYGLĄDU —  
POKAZUJE FUNKCJĘ  
I POŁĄCZENIA.**

## 5 WĘZŁ

Symbol:

Punkty połączone idealnym przewodem (mocnym połączeniem) mają taki sam potencjał w analizie uproszczonej.

Wygląd (uproszczony):



## 6 KRZYŻUJĄCE SIĘ LINIE

Z kropką → połączenie | Bez oznaczenia połączenia → mogą się tylko krzyżować



Uwaga: konwencje mogą się różnić — zawsze sprawdzaj legendę!

## 7 MASA / PUNKT ODNIENISIA

Symbol:

Punkt odniesienia dla napięcia w obwodzie (0 V).

"Masa" na schemacie nie zawsze oznacza fizyczne połączenie z ziemią ochronną.

Wygląd (uproszczony):



## 8 UZIEMIENIE OCHRONNE

Symbol:

Związane z bezpieczeństwem instalacji elektrycznej.  
Nie jest automatycznie tym samym co każde uziemienie na schematach elektroniki.

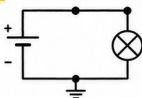
Wygląd (uproszczony):



## 9 MINI ĆWICZENIE

Na poniższym prostym schemacie zaznacz i nazwij:

- źródło
- dwa węzły
- przewody
- punkt odniesienia



## ZAPAMIĘTAJ

Linie mówią, co jest połączone.

Symbole mówią, czym jest dany element.



# MAPA MYŚLI 59 — SYMBOLÓW ODBIORNIKÓW I ELEMENTÓW

NAZWA → SYMBOL → FUNKCJA

1

**REZYSTOR**



R

R1, R2



ogranicza prąd i pomaga ustalać napięcia w obwodzie.

2

**ŻARÓWKA / LAMPKA**



zamienia energię elektryczną między innymi na światło i ciepło.

3

**SILNIK**



zamienia energię elektryczną na mechaniczną.

4

**KONDENSATOR**



C



może gromadzić energię w polu elektrycznym.

5

**CEWKA**



L



magazynuje energię w polu magnetycznym i przeciwstawia się szybkim zmianom prądu.

6

**DIODA**



D



przewodzi prąd głównie w jednym kierunku w typowych warunkach pracy.

7

**DIODA LED**

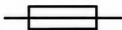


emituje światło podczas prawidłowego przepływu prądu.

LED wymaga kontroli prądu.

8

**BEZPIECZNIK**



ma przerwać obwód, gdy prąd przekroczy określone warunki zabezpieczenia.

**NAZWY ELEMENTÓW NA SCHEMACIE**

R1 — pierwszy rezystor  
C1 — pierwszy kondensator  
D1 — pierwsza dioda  
L1 — pierwsza cewka



Symbole mogą się różnić w zależności od normy, kraju, programu CAD i dokumentacji.

Kluczowa umiejętność to rozpoznanie funkcji i sprawdzanie legendy.

**MINI TEST**

Dopasuj symbol do elementu.

|     |               |
|-----|---------------|
| R • | • rezystor    |
| C • | • kondensator |
| L • | • cewka       |
| D • | • dioda       |

**ZAPAMIĘTAJ**



Schemat zastępuje wygląd rzeczywistego elementu jego umownym symbolem.



# MAPA MYŚLI 60 — WYŁĄCZNIKI, PRZEŁĄCZNIKI I PRZEKAŹNIKI



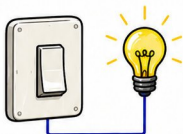
## 1 WYŁĄCZNIK — PROSTE OTWARCIE LUB ZAMKNIĘCIE

łączy albo rozłącza drogę elektryczną.

✓ zamknięty → droga ciągła

✗ otwarty → droga przerwana

Przykład: zwykły włącznik światła.

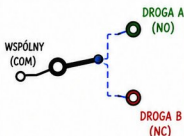


## 2 PRZEŁĄCZNIK

Może kierować połączenie między różnymi stykami.

Przykład typu: **SPDT**

jeden styk wspólny może zostać połączony z jednym z dwóch innych styków.



### PODSTAWOWE OZNACZENIA



NO — Normally Open  
styk normalnie otwarty  
w stanie spoczynkowym nie przewodzi



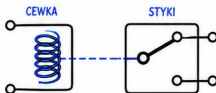
NC — Normally Closed  
styk normalnie zamknięty  
w stanie spoczynkowym przewodzi



"Normalnie" oznacza stan spoczynkowy, bez zadziałania elementu sterującego.

## 3 PRZEKAŹNIK

Umożliwia sterowanie jednym obwodem za pomocą sygnału w innym obwodzie. Składa się z cewki i styków.



### JAK DZIAŁA?

- 1 Prąd płynie przez cewkę.
- 2 Powstaje pole magnetyczne.
- 3 Mechanizm zmienia położenie styków.
- 4 Obwód sterowany zostaje połączony lub rozłączony.

### DLACZEGO UŻYWA SIĘ PRZEKAŹNIKÓW?

- sterowanie innym obwodem
- możliwość separacji galwanicznej w wielu rozwiązaniach
- przełączanie różnych sygnałów lub obciążeń
- automatyzacja sterowania

### UWAGA

Nie każdy przełącznik ani jego zastosowanie dają ten sam poziom izolacji lub bezpieczeństwa. Parametry i wymagania montażu zawsze mają znaczenie.



### PORÓWNANIE W PIGUŁCE

- 1 **Wyłącznik** — ręcznie otwiera lub zamyka drogę
- 2 **Przełącznik** — wybiera jedną z dróg lub konfiguracji połączeń
- 3 **Przełącznik** — zmienia stan styków pod wpływem sygnału sterującego

### MINI PRZYKŁAD

Obwód sterujący (mały prąd)  
przycisk → cewka przełącznika



Obwód sterowany (większy prąd)  
źródło → styk przełącznika → lampa



Mały sygnał sterujący może decydować o stanie oddzielnego obwodu.

## ZAPAMIĘTAJ

Wyłącznik przerywa drogę, przełącznik wybiera drogę, a przełącznik steruje stykami za pomocą osobnego sygnału.



# MAPA MYŚLI 61 – BEZPIECZNIKI I WYŁĄCZNIKI NADPRĄDOWE

## 1 BEZPIECZNIK TOPIKOWY



- Część przewodząca może stopić się, gdy przez pewien czas płynie zbyt duży prąd.
- Skutek: **obwód zostaje przerwany.**
- Po zadziałaniu bezpiecznik należy wymienić na właściwego typu.

## ZABEZPIECZENIE MA PRZERWAĆ NIEBEZPIECZNY PRZEPŁYW PRĄDU



## 2 WYŁĄCZNIK NADPRĄDOWY

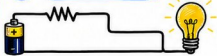


- Może automatycznie odłączyć obwód, gdy prąd jest zbyt duży.
- Po usunięciu przyczyny i spełnieniu warunków bezpiecznych można go ponownie włączyć.

## 3 CO MOŻE SPOWODOWAĆ ZADZIAŁANIE?

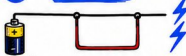
- przeciążenie
- zwarcie
- zbyt duży prąd w chronionym obwodzie

## 4 PRZECIĄŻENIE



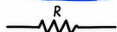
- Prąd większy niż przewidziany dla obwodu przez pewien czas.
- Może spowodować przegrzanie przewodów i urządzeń.

## 5 ZWARCIE



- Ścieżka o bardzo małej impedancji / rezystancji.
- Może spowodować bardzo duży prąd w bardzo krótkim czasie.

## 6 CZEGO ZABEZPIECZENIE NIE ROBI?



Nie działa jak rezystor, który po prostu ogranicza prąd.

Zabezpieczenie odłącza obwód w określonych warunkach.

## 7 DLACZEGO PARAMETRY SĄ WAŻNE?

Dobierane są według:

- ✓ przekrojów przewodów
- ✓ rodzaju obciążenia
- ✓ wartości prądu
- ✓ charakterystyki czasowo-prądowej
- ✓ warunków instalacji

✱ Nie wolno zastępować zabezpieczenia elementem o przypadkowo większym prądzie znamionowym.

## 8 PRZYKŁAD EDUKACYJNY

NORMALNIE:

$$I = 2 \text{ A}$$



AWARIA:

$$I = 20 \text{ A}$$



ZABEZPIECZENIE WYKRYWA NADMIERNY PRĄD I: ROZŁĄCZA OBWÓD

## 9 WAŻNE BEZPIECZEŃSTWO



Dobór i praca z rzeczywistymi instalacjami elektrycznymi wymaga stosowania właściwych norm, dokumentacji producenta i zasad bezpieczeństwa.

## ZAPAMIĘTAJ



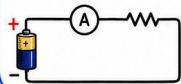
✱ Bezpiecznik lub wyłącznik nadprądowy ma przerwać obwód, zanim nadmierny prąd spowoduje poważne skutki.

# MAPA MYŚLI 62 – AMPEROMIERZ

## 1 JAK GO PODŁĄCZYĆ?

### SZEREOWO

z elementem lub gałęzią, której prąd chcemy zmierzyć.

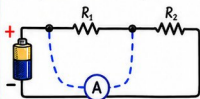


## 2 DLACZEGO SZEREOWO?

Aby zmierzyć prąd, taki sam prąd musi płynąć przez miernik.

## 4 PRZYKŁAD

Aby zmierzyć prąd płynący przez rezystor  $R_1$ , musisz przerwać drogę i włączyć amperomierz w tę drogę.



## 6 ZAKRES POMIAROWY

Wybierz odpowiedni zakres.

Jeśli nie znasz wartości prądu, zacznij od bezpiecznie wyższego zakresu zgodnie z instrukcją miernika.



# AMPEROMIERZ MIERZY NATĘŻENIE PRĄDU

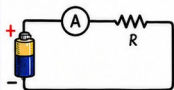


A — amper

## 3 POPRAWNY OBWÓD

✓ DOBRZE

Źródło → A → R → Źródło



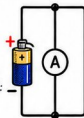
Amperomierz mierzy prąd, który płynie przez R.

## ❌ NIE PODŁĄCZAJ JAK WOLTOMIERZA

Nie podłączaj bezpośrednio równolegle do źródła napięcia tylko „żeby sprawdzić prąd”. Amperomierz ma bardzo małą rezystancję wewnętrzną.

Złe podłączenie może spowodować:

- bardzo duży prąd,
- zadziałanie bezpiecznika,
- uszkodzenie miernika lub elementów,
- zagrożenie dla Ciebie.



## 8 PRZYKŁAD ODCZYTU



0,25 A = 250 mA

## 9 MINI TEST

Jak należy podłączyć amperomierz, aby zmierzyć prąd w obwodzie?

A) równolegle

B) szeregowo



Prawidłowa odpowiedź:  
B — szeregowo

## 7 GNIAZDA MIERNIKA

Wiele multimetrów wymaga przełożenia przewodu do dedykowanego gniazda do pomiaru prądu.



Po pomiarze prądu przywróć przewód do właściwego gniazda przed kolejnymi pomiarami napięcia lub rezystancji.

## PAMIĘTAJ

Prąd mierzysz przez włączenie miernika w drogę przepływu.





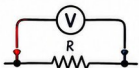
# MAPA MYŚLI 63 – WOLTOMIERZ

## WOLTOMIERZ MIERZY RÓŻNICĘ POTENCJAŁÓW MIĘDZY DWOMA PUNKTAMI

### 1 JAK GO PODŁĄCZYĆ?

#### RÓWNOLEGLE

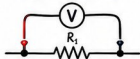
do elementu  
lub między dwoma  
punktami obwodu.



### 3 PRZYKŁAD 1

Rezystor  $R_1$ .  
Podłącz woltomierz  
do obu końców  $R_1$ .

Odczyt to  $U_1$ .



### 5 REZYSTANCJA WEWNĘTRZNA

Idealny woltomierz powinien  
mieć nieskończoną rezystancję.

Rzeczywisty ma bardzo dużą  
rezystancję wejściową,  
dlatego pobiera tylko  
bardzo mały prąd.



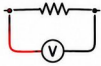
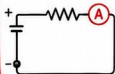
### 8 NIE MYŁ



Amperomierz:  
szeregowo



Woltomierz:  
równolegle



### 6 POLARYZACJA PRZY DC

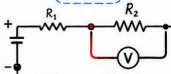
- Czerwony przewód (+)  
zwykle do punktu  
o wyższym potencjale.
- Czarny przewód (COM)  
do punktu odniesienia.
- Odwrotne podłączenie  
w mierniku cyfrowym może  
dać wartość ujemną,  
np.  $-12,0\text{ V}$ .



### 9 MINI TEST

Aby zmierzyć napięcie na  $R_2$ ,  
czy trzeba przeciąć przewód?

Nie.



Woltomierz podłącz do  
dwóch końców  $R_2$ .

### 2 DLACZEGO RÓWNOLEGLE?

Napięcie to różnica  
potencjałów  
między dwoma  
punktami.



### 4 PRZYKŁAD 2

Bateria 12 V.  
Woltomierz podłączony  
do obu zacisków pokazuje  
w przybliżeniu napięcie  
między nimi.



Odczyt  $\approx 12\text{ V}$

### 7 ZAKRES

- ✓ Sprawdź, czy mierzysz  
AC czy DC.
- ✓ Sprawdź, czy zakres  
jest odpowiedni.
- ✓ Upewnij się, że przewody  
są w poprawnych gniazdach.



### PAMIĘTAJ

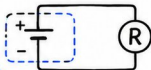


Napięcie mierzysz  
pomiędzy dwoma  
punktami —  
dlatego woltomierz  
podłączasz  
równolegle.

# MAPA MYŚLI 64 – OMOMIERZ

## 1 JAK DZIAŁA W UPROSZCZENIU?

Miernik ma własne wewnętrzne źródło, wysyła mały sygnał testowy i na jego podstawie wyznacza rezystancję.



## OMOMIERZ MIERZY REZYSTANCJĘ

$\Omega$  — om

## 2 REZYSTANCJI NIE MIERZ W OBWODZIE POD NAPIĘCIEM

NIE POD  
NAPIĘCIEM

Przed pomiarem odłącz zasilanie i upewnij się, że obwód jest w bezpiecznym stanie.

## 3 DLACZEGO?

Zewnętrzne napięcie może:

- zaktualizować pomiar,
- spowodować błędny wynik,
- uszkodzić miernik,
- stworzyć zagrożenie dla Ciebie.

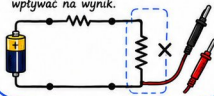


Rezystor odłączony od obwodu.

## 4 POMIAR REZYSTORA

W prostym przypadku odizoluj badany element od innych równoległych ścieżek.

Często oznacza to odłączenie przynajmniej jednego końca, jeśli inne elementy mogą wpływać na wynik.



## 5 PRZYKŁAD

Rezystor:  $R = 1 \text{ k}\Omega$

Oczekiwany odczyt: około  $1,00 \text{ k}\Omega$  (uwzględniając tolerancję rezystora i dokładność miernika).



## 6 CO OZNACZA „OL” LUB BARDZO DUŻA WARTOŚĆ?

Może oznaczać:

- poza zakresem miernika,
- bardzo dużą rezystancję, / przerwę w obwodzie.

Dokładne znaczenie zależy od modelu miernika.



## 7 SPRAWDZANIE CIĄGŁOŚCI

Funkcja ciągłości może wskazać bardzo małą rezystancję, często sygnalizowaną dźwiękiem (buzzerem).

Nie oznacza to automatycznie idealnych  $0 \Omega$ .



## 8 PRZYKŁAD CIĄGŁOŚCI

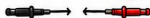
CIĄGŁOŚĆ OK



Przewód nieprzerwany

→ bardzo mała rezystancja (sygnał dźwiękowy).

PRZERWA



Przewód przerwany

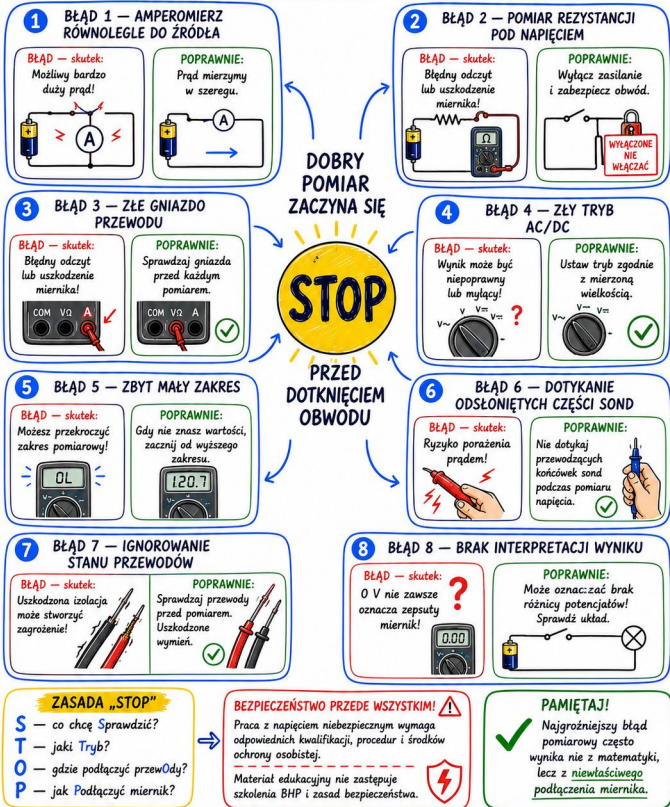
→ bardzo duża rezystancja / brak ciągłości (brak dźwięku).

## 9 PAMIĘTAJ



Pomiar  $\Omega$  wykonuj przy wyłączonej i odpowiednio zabezpieczonym obwodzie.

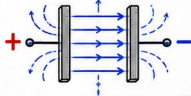
# MAPA MYŚLI 66 — NAJCZĘSTSZE BŁĘDY PODCZAS POMIARÓW



# MAPA MYŚLI 67 – KONDENSATOR I CEWKA – PODSTAWY

## KONDENSATOR – C

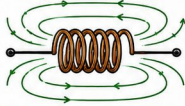
magazynuje energię  
w polu elektrycznym



**DWA  
ELEMENTY,  
KTÓRE  
MAGAZYNUJĄ  
ENERGIĘ  
W POLACH**

## CEWKA – L

magazynuje energię  
w polu magnetycznym



### PORÓWNANIE

#### KONDENSATOR

ważne jest  
**NAPIĘCIE**

↓  
pole  
elektryczne



#### CEWKA

ważny jest  
**PRĄD**

↓  
pole  
magnetyczne



**WIELKOŚĆ:**

indukcyjność – L

**H**

**JEDNOSTKA:**

henr – H



**MNIEJSZE JEDNOSTKI:**

mH     $\mu$ H

### PROSTA INTUICJA KONDENSATORA



• Może magazynować ładunek.



• Może się ładować.



• Może się rozładowywać.



• Wpływa na zmiany napięcia  
w czasie.



Napięcie na idealnym kondensatorze  
nie może zmienić się skokowo  
bez odpowiedniego prądu.

### PROSTA INTUICJA CEWKI



• Może magazynować energię  
magnetyczną.



• Przeciwdziała szybkim zmianom prądu.



• Współpracuje z polami magnetycznymi.



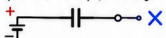
• Jest składnikiem filtrów  
i układów mocy.



Prąd idealnej cewki nie może  
zmienić się skokowo bez  
odpowiedniego napięcia.

### W OBWODZIE DC PO DŁUGIM CZASIE – MODEL IDEALNY

Idealny kondensator po pełnym  
naładowaniu może w obwodzie DC  
zachowywać się jak **OBWÓD OTWARTY**  
(przerwa) dla napięcia stałego.



Idealna cewka po ustaleniu się prądu  
w obwodzie DC może zachowywać się  
jak **ZWARCIE 0  $\Omega$**  w uproszczonym modelu.



Rzeczywiste elementy mają straty, rezystancję i ograniczenia.

### CO DALEJ?

W Moduł 08 poznasz:

- ładowanie kondensatora,
- pojemność, cewkę,
- układ RC,
- diody i tranzystory.

### PAMIĘTAJ!



Kondensator magazynuje energię  
w polu **elektrycznym**, a cewka –  
w polu **magnetycznym**.



# MAPA MYŚLI 68 – ROZPOZNAWANIE ELEMENTÓW ELEKTRYCZNYCH



## CZY POTRAFISZ PRZEJŚĆ OD WYGLĄDU DO SCHEMATU?



### 1 REZYSTOR

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

ogranicza lub ustala  
prąd i pomaga tworzyć  
odpowiednie napięcia.

### 2 KONDENSATOR

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

magazynuje energię  
w polu elektrycznym.

### 3 CEWKA

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

magazynuje energię  
w polu magnetycznym.

### 4 DIODA

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

przewodzi głównie  
w jednym kierunku  
w typowych warunkach.

### 5 LED

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

dioda emitująca światło;  
przewodzi głównie w  
jednym kierunku.

### 6 BEZPIECZNIK

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

przerzuca obwód w  
określonych warunkach  
przebiegnięcia prądowego.

### 7 WYŁĄCZNIK

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

otwiera lub zamyka  
drogę przepływu prądu  
w obwodzie.

### 8 ŹRÓDŁO / BATERIA

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

utrzymuje różnicę potencjałów  
i dostarcza energię  
do obwodu.

### 9 SILNIK

wygląd



symbol /  
oznaczenie



funkcja

zamienia energię  
elektryczną na  
mechaniczną.

### 10 PRZEKAŹNIK

wygląd



symbol /  
oznaczenie



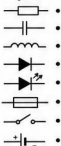
funkcja

składa się z części sterującej  
+ styków; umożliwia  
przetaczanie sygnałem  
dodatkovym.

### ĆWICZENIE 1 – POŁĄCZ



symbol



nazwa

- bateria
- dioda
- bezpiecznik
- cewka
- kondensator
- wyłącznik
- rezystor
- LED

### ĆWICZENIE 2 – CO ROBI TEN ELEMENT?

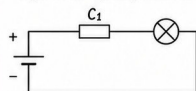


- R<sub>1</sub> → .....
- C<sub>1</sub> → .....
- D<sub>1</sub> → .....
- F<sub>1</sub> → .....

### ĆWICZENIE 3 – ZNAJDŹ BŁĄD



Co jest nie tak w poniższym schemacie?



**ODPOWIEŹ:** rezystor powinien mieć oznaczenie R,  
np. R<sub>1</sub>.



Oznaczenia elementów pomagają je zidentyfikować, ale pełne znaczenie pochodzi ze schematu,  
legendy i dokumentacji.

### SPRAWDŹ SIEBIE

- ☒ Czy potrafisz nazwać element po wyglądzie?
- ☒ Czy rozpoznajesz jego symbol i oznaczenie?
- ☒ Czy wiesz, jaką pełni funkcję w obwodzie?
- ☒ Czy potrafisz znaleźć go na schemacie?

→ **JESTEŚ GOTOWY  
DO BARDZIEJ ZŁOŻONEJ  
ANALIZY OBWODÓW.**

### PAMIĘTAJ!

Dobry czytelnik schematów  
rozpoznaje nie tylko symbol,  
ale też rolę elementu  
w całym obwodzie.







# MODUŁ 07



## PRAWA KIRCHHOFFA I ANALIZA OBWODÓW

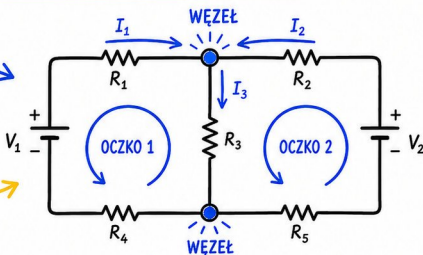
Gdy samo prawo Ohma nie wystarcza,  
zaczynj analizować węzły i oczka.

**WĘZŁY**

→ PRĄDY

**OCZKA**

→ NAPIĘCIA



1

Suma prądów  
wptywających = suma  
prądów wyptywających

2

Suma zmian napięcia  
w zamkniętym oczku = 0



To nie są nowe 'magiczne wzory'.  
To uporządkowany sposób stosowania  
zasady zachowania ładunku i energii w obwodach.





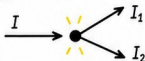
## 1 WĘZŁ

To punkt lub zbiór połączonych punktów, w którym spotykają się elementy lub gałęzie.

W analizie idealnej punkty jednego węzła mają ten sam potencjał elektryczny.



## 2 PROSTY PRZYKŁAD WĘZŁA



Prąd  $I$  wchodzi, a prądy  $I_1$  i  $I_2$  wychodzą. To węzeł rozgałęzienia.

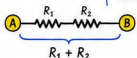
## 3 GAŁĄŻ

To część obwodu między dwoma węzłami, przez którą płynie jeden prąd gałęzi.



## 4 PRZYKŁAD GAŁĘZI

Między węzłem A i B:



Jśli między nimi nie ma dodatkowych rozgałęzień, oba elementy niosą ten sam prąd gałęzi.

## 8 NIE MYŁ

Węzeł = punkt wspólny



Gałąź = droga między węzłami



Oczko = zamknięta droga



## 11 MINI TEST

Co opisuje gałąź?

- A) pojedynczy punkt
- B) część obwodu między węzłami
- C) tylko rezystor

→ Prawidłowa odpowiedź: (B)

# NAJPIERW NAUCZ SIĘ NAZYWAĆ CZĘŚCI OBWODU

## WĘZŁ



Punkt wspólny, gdzie spotykają się gałęzie.

## GAŁĄŻ



Część obwodu między dwoma węzłami.

## OCZKO



Zamknięta droga w obwodzie, bez przerwy w ciągłości.

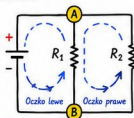
## 5 OCZKO

To zamknięta droga w obwodzie, którą można przejść i wrócić do punktu startowego bez przerywania ciągłości.

W analizie oczkowej ważne są podstawowe zamknięte pętle płaskiego obwodu.

## 6 PRZYKŁAD

Obwód ma dwie gałęzie równoległe i wspólne źródło.



## 9 PRZYKŁAD STRUKTURALNY

A, B – węzły

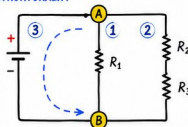
Gałąź ① =  $R_1$

Gałąź ② =  $R_2 + R_3$

Gałąź ③ = źródło U

Oczko: A →  $R_1$  → B

→ źródło → A



## 7 JAK JE ZNALEZĆ?

① Zaznacz główne węzły (kropkami).



② Zaznacz gałęzie między węzłami.



③ Wyznacz zamknięte drogi (oczka), prowadząc trasę i wracając do startu.



## 10 DLACZEGO TO WAŻNE?

I prawo Kirchhoffa (prądowe) dotyczy głównie węzłów.

II prawo Kirchhoffa (napięciowe) dotyczy zamkniętych oczek.

## PAMIĘTAJ

Węzeł łączy.  
Gałąź prowadzi.  
Oczko zamyka drogę.





## PIERWSZE PRAWO KIRCHHOFFA

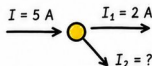
### PRAWO WĘZŁÓW

#### 1 PROSTA IDEA



Ładunek nie gromadzi się w węźle, dlatego prąd wpływający do węzła jest równy prądowi wypływającemu.

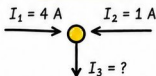
#### 2 PRZYKŁAD 1



$$5 = 2 + I_2$$

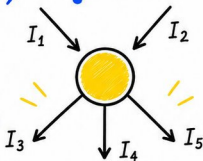
$$I_2 = 3 \text{ A} \quad \checkmark$$

#### 3 PRZYKŁAD 2



$$4 + 1 = I_3$$

$$I_3 = 5 \text{ A} \quad \checkmark$$



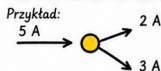
$$\sum I_{\text{wpływających}} = \sum I_{\text{wypływających}}$$

w zapisie ze znakami:

$$\sum I = 0$$

#### 4 ZAPIS ZE ZNAKAMI

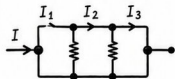
Prądy wpływające dajemy dodatnie, a wypływające ujemne.



$$+5 \text{ A} - 2 \text{ A} - 3 \text{ A} = 0$$

#### 5 SKĄD TO ZNASZ?

W obwodzie równoległym prąd w głównej gałęzi dzieli się na gałęzie:



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

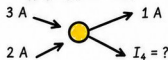
#### 7 ZAPAMIĘTAJ



Węzeł nie tworzy ani nie niszczy prądu — prądy wpływające i wypływające muszą się bilansować.

#### 6 MINI ZADANIE

Do węzła wpływają 3 A i 2 A, wypływają 1 A i  $I_4$ .



$$3 + 2 = 1 + I_4$$

$$I_4 = 4 \text{ A} \quad \checkmark$$

## DRUGIE PRAWO KIRCHHOFFA

— PRAWO OCZEK —

$$\sum U = 0$$

### 1 PROSTA IDEA



Po przejściu dookoła zamkniętej pętli i powrocie do punktu startu, całkowita zmiana potencjału wynosi 0 V.

### 2 ŹRÓDŁO PODNOSI POTENCJAŁ



Przejście przez idealne źródło od - do + daje  $+U_z$ .

### 3 REZYSTOR POWODUJE SPADEK NAPIĘCIA



Przejście przez rezystor w kierunku prądu daje  $-U_R$ .

### 6 WAŻNE

Znaki zależą od kierunku obchodzenia oczka, biegunowości źródeł i kierunku prądu.



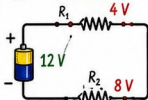
Nie ucz się znaków bezmyślnie. Najpierw zaznacz kierunek przechodzenia oczka i biegunowości.

### 7 ZWIĄZEK Z ENERGIĄ



To prawo jest ściśle związane z zasadą zachowania energii w obwodzie.

### 4 PRZYKŁAD

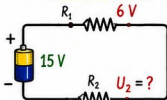


$$+12 - 4 - 8 = 0$$

$$U_z = U_1 + U_2$$

$$12 \text{ V} = 4 \text{ V} + 8 \text{ V}$$

### 5 PRZYKŁAD Z NIEZNAJYM NAPIĘCIEM



$$15 - 6 - U_2 = 0$$

$$U_2 = 9 \text{ V}$$

### 8 MINI TEST



$$20 - 5 - 7 - U_3 = 0$$

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

### 9 ZAPAMIĘTAJ

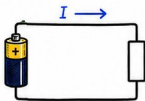
Po pełnym obejściu oczka suma wszystkich wzrostów i spadków napięcia wynosi 0.



# MAPA MYŚLI 72 — ZNAKI NAPIĘĆ I KIERUNKI PRĄDÓW

## 1 KIERUNEK PRĄDU

Kierunek prądu  $I$  możesz założyć przed obliczeniami.



**KIERUNEK  
MOŻESZ ZAŁOŻYĆ —  
MATEMATYKA  
SPRAWDZI, CZY BYŁ  
POPRAWNY**

## 2 PRZYKŁAD

Założyłeś:  $I \rightarrow$

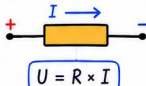
Wynik z obliczeń:  $I = -2 \text{ A}$

Interpretacja:

Rzeczywista wartość prądu wynosi 2 A, ale płynie w kierunku przeciwnym do założonego ( $\leftarrow$ ).

## 3 BIEGUNOWOŚĆ REZYSTORA

Umowa bierna znaków:  
prąd wpływa po stronie +,  
wypływa po stronie -.



## 4 PRZECHODZENIE PRZEZ REZYSTOR

Przechodząc od + do -  $\rightarrow -U_R$

Przechodząc od - do +  $\rightarrow +U_R$

## 5 PRZECHODZENIE PRZEZ ŹRÓDŁO

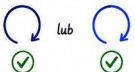
Przechodząc od - do +  $\rightarrow +U_z$

Przechodząc od + do -  $\rightarrow -U_z$

## 6 KIERUNEK OCZKA

Kierunek obiegu oczka możesz obrać zgodnie z ruchem wskazówek zegara ( $\curvearrowright$ ) lub przeciwnie ( $\curvearrowleft$ ).

Oba są poprawne, jeśli będziesz konsekwentny.



## 7 NAJCZĘSTSZY BŁĄD



Zmiana znaków w trakcie rozwiązywania zadania.



**PRAWDŁOWO**

Ustal kierunki i biegunowości przed zapisaniem równań.

## 8 MINI PRZYKŁAD

Dane:  $R = 5 \Omega$ ,  $I = 2 \text{ A} \rightarrow$



$$U = R \cdot I = 5 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 10 \text{ V}$$

Napięcie 10 V: + po stronie wpływu prądu, - po stronie wypływu prądu.

## 9 ZAPAMIĘTAJ

Ujemny wynik nie oznacza błędu — często tylko informuje, że rzeczywisty kierunek jest przeciwny do założonego.



$I \rightarrow$  założyłeś

$I = -2 \text{ A}$  wylczyłeś

$I$  rzeczywisty = 2 A  $\leftarrow$

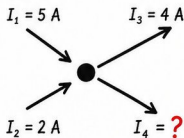






## PRZYKŁAD – ZNAJDŹ NIEZNANY PRĄD W WĘZLE

### 1 SCHEMAT



→ wpływa do węzła

→ wypływa z węzła

### 2 KROK 1 – ZAPISZ PRAWO WĘZŁÓW

$$\sum I_{\text{wpływających}} = \sum I_{\text{wypływających}}$$

### 3 KROK 2 – PODSTAW WARTOŚCI

$$5 + 2 = 4 + I_4$$

### 5 KROK 4 – SPRAWDŹ

wpływa do węzła

$$I_1 + I_2 = 5 + 2 = 7 \text{ A}$$

wypływa z węzła

$$I_3 + I_4 = 4 + 3 = 7 \text{ A}$$



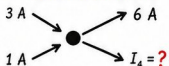
bilans poprawny

### 4 KROK 3 – OBLICZ

$$7 = 4 + I_4$$

$$I_4 = 3 \text{ A}$$

### 6 DRUGI PRZYKŁAD – NIEZNANY KIERUNEK



• Przyjmujemy kierunek  $I_4$  jako wypływający.

$$3 + 1 = 6 + I_4$$

$$I_4 = -2 \text{ A}$$

### 7 INTERPRETACJA

Wynik ujemny oznacza, że rzeczywisty kierunek prądu jest przeciwny do założonego.

Czyli prąd faktycznie:

$$I_4 = 2 \text{ A}$$

wpływa do węzła

### 8 CO TEN PRZYKŁAD UCZY?



Możesz założyć kierunek prądu dowolnie, a matematyka zweryfikuje Twój wybór.

### 9 MINI ZADANIE



$$8 = 3 + 2 + I_4$$

$$I_4 = 3 \text{ A}$$

### 10 ZAPAMIĘTAJ

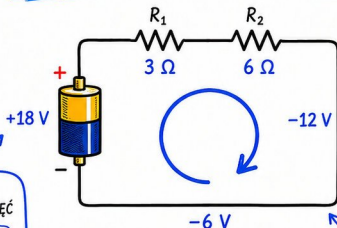


W węzle najpierw zapisujesz bilans prądów, a dopiero potem wykonujesz działania.

## PRZYKŁAD — ZAPISZ BILANS NAPIĘĆ

### 1 DANE

- Źródło:  
 $U_z = 18 \text{ V}$
- Rezystor:  
 $R_1 = 3 \Omega$
- Rezystor:  
 $R_2 = 6 \Omega$



### 2 KROK 1 OBLICZ PRĄD

Połączenie szeregowe.

$$R_z = 3 + 6 = 9 \Omega$$

$$I = \frac{18}{9} = 2 \text{ A}$$

### 3 KROK 2 OBLICZ SPADKI NAPIĘĆ

$$U_1 = R_1 \times I = 3 \times 2 = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 \times I = 6 \times 2 = 12 \text{ V}$$

### 4 KROK 3 WYBIERZ KIERUNEK OCZKA

Zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

### 5 KROK 4 — ZAPISZ ZMIANY NAPIĘCIA

Przechodząc przez źródło od + do +:



Przechodząc przez  $R_1$  zgodnie z prądem:



Przechodząc przez  $R_2$  zgodnie z prądem:



### 6 KROK 5 — RÓWNANIE

$$+18 - 6 - 12 = 0 \quad \checkmark$$

Suma zmian napięcia w oczku równa się zero.

### 7 CO JEŚLI WYBIERZESZ PRZECIWNY KIERUNEK?

Wybierasz kierunek przeciwny (przeciwnie do ruchu wskazówek).

$$-18 + 6 + 12 = 0 \quad \checkmark$$

Też jest poprawnie!

### WAŻNY WNIOSEK



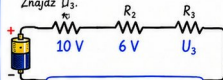
Kierunek oczka możesz wybrać dowolnie, ale znaki muszą być zgodne z wybranym kierunkiem.

### 10 ZAPAMIĘTAJ

W oczku suma wzrostów napięcia dokładnie równoważy sumę spadków.

### 9 MINI ZADANIE

Źródło 24 V, spadki napięć:  
 $U_1 = 10 \text{ V}$ ,  $U_2 = 6 \text{ V}$ .  
Znajdź  $U_3$ .



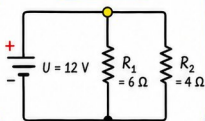
$$24 - 10 - 6 - U_3 = 0$$

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

# MAPA MYŚLI 75 — DWA PRAWA KIRCHHOFFA RAZEM

## WĘZŁY + OCZKA = PEŁNIEJSZY OBRAZ OBWODU

### 1 SCHEMAT



### 2 KROK 1 — NAPIĘCIE NA GAŁĘZIACH

Gałęzie są równoległe, więc napięcie jest takie samo.

$$U_1 = U_2 = 12\text{ V}$$

### 3 KROK 2 — PRĄD GAŁĘZI 1

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{6} = 2\text{ A}$$

### 4 KROK 3 — PRĄD GAŁĘZI 2

$$I_2 = \frac{12}{4} = 3\text{ A}$$

### 6 KROK 5 — PRAWO OCZEK DLA GAŁĘZI 1

Suma napięć w oczku = 0.

$$+12 - 12 = 0$$

### 7 KROK 6 — PRAWO OCZEK DLA GAŁĘZI 2

Suma napięć w oczku = 0.

$$+12 - 12 = 0$$

### 5 KROK 4 — PRAWO WĘZŁÓW

W węźle prądy wptywające równają się prądom wypływającym.

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 3 = 5\text{ A}$$



### 8 CO WIDZISZ?

- KCL (prawo węzłów) łączy prądy w węźle.
- KVL (prawo oczek) łączy napięcia w zamkniętej ścieżce.

### 9 PODSUMOWANIE

$$\Sigma I = 0$$

(prawo węzłów)

$$\Sigma U = 0$$

(prawo oczek)

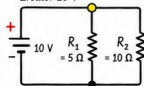
$$U = RI$$

(prawo Ohma)

Te trzy narzędzia razem pozwalają analizować wiele obwodów rezystancyjnych.

### 10 MINI ĆWICZENIE

Źródło: 10 V



WYNIKI:

$$I_1 = 2\text{ A}$$

$$I_2 = 1\text{ A}$$

$$I = 3\text{ A}$$

### 11 ZAPAMIĘTAJ

- Prawo *Ohma* opisuje element.
- Prawo *węzłów* opisuje przepływ prądów.
- Prawo *oczek* opisuje bilans napięć.

#### PRAWO OHMA



$$U = RI$$

Relacja między napięciem, prądem i rezystancją elementu.

#### PRAWO WĘZŁÓW



$$\Sigma I = 0$$

Algebraiczna suma prądów w węźle równa się zero.

#### PRAWO OCZEK



$$\Sigma U = 0$$

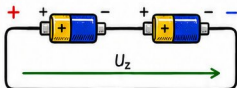
Algebraiczna suma napięć w oczku równa się zero.

# MAPA MYŚLI 76 – ŹRÓDŁA NAPIĘCIA POŁĄCZONE SZEREGOWO

## 1 PRZYPADK 1 – ŹRÓDŁA WSPOMAGAJĄ SIĘ

$$U_1 = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = 9 \text{ V}$$



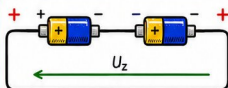
$$U_z = U_1 + U_2 = 15 \text{ V}$$

Napięcia się dodają.  
Kierunek od + do -.

## 2 PRZYPADK 2 – ŹRÓDŁA PRZECIWNE

$$U_1 = 9 \text{ V}$$

$$U_2 = 6 \text{ V}$$



$$U_z = 9 - 6 = 3 \text{ V}$$

Napięcia się odejmują.  
Kierunek odpowiada  
silniejszemu źródłu (9 V).

W SZEREGU  
NAPIĘCIA ŹRÓDEŁ  
MOGĄ SIĘ  
DODAWAĆ LUB  
ODEJMOWAĆ.

## 3 JAK TO SPRAWDZIĆ?

- do + → (+U)

+ do - → (-U)

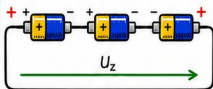
Następnie sumujesz  
algebraicznie.

## 4 PRZYKŁAD 3

$$+12 \text{ V}$$

$$+5 \text{ V}$$

$$-3 \text{ V}$$



$$U_z = 12 + 5 - 3 = 14 \text{ V}$$

## 5 WAŻNE PRAKTYCZNIE

- ✓ Nie każde rzeczywiste źródło nadaje się do łączenia szeregowo.
- ✓ Zwróć uwagę na: konstrukcję, izolację, dopuszczalne napięcie.
- ✓ Przestrzegaj zaleceń producenta.
- ✓ Dopasuj parametry źródeł (napięcie, prąd, technologia).

## 6 NIE RÓB TEGO „NA PRÓBĘ”



- ✗ Błędne połączenie szeregowo może uszkodzić źródła.
- ✗ Może powstać niekontrolowany prąd.
- ✗ Może powstać zagrożenie dla zdrowia i mienia.

## 7 ZAPAMIĘTAJ



W szeregu  
nie dodajesz napięć  
„z automatu” –  
najpierw sprawdzasz  
ich **biegunowość**.



## SZEREG czy RÓWNOLEGLE?



INNY CEL, INNE ZACHOWANIE

### BATERIE SZEREGOWO

PRZYKŁAD:

Dwie ogniwa 1,5 V



$$1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} = 3,0 \text{ V}$$

### NAPIĘCIA SIĘ SUMUJĄ

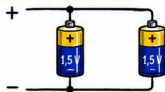


Dla jednakowych ogniw pojemność (Ah) w analizie idealnej pozostaje w przybliżeniu taka sama jak jednego ogniwa.

### BATERIE RÓWNOLEGLE

PRZYKŁAD:

Dwa odpowiednie źródła 1,5 V



$$1,5 \text{ V} \parallel 1,5 \text{ V} = 1,5 \text{ V}$$

### NAPIĘCIE POZOSTAJE TAKIE SAMA

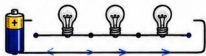


Catkowiata pojemność (Ah) może wzrosnąć, jeśli źródła są poprawnie dobrane i przeznaczone do takiego łączenia.

## PORÓWNANIE

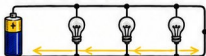
✓ Szereg: napięcie rośnie.

✓ Jest tylko jedna ścieżka prądu.



✓ Równoległe: napięcie nie zmienia się.

✓ Dostępna pojemność/prąd może wzrosnąć.



### BARDZO WAŻNE

Nie łącz losowych baterii równoległe! Różnice napięć mogą powodować prądy wyrównawcze.



### NIE ŁĄCZ BEZ WIEDZY

Sz szczególnie niebezpieczne przy różnych:

- chemiach
- napięciach
- stanach naładowania
- pojemnościach
- uszkodzonych ogniwach



### DLA AKUMULATORÓW LITOWYCH

Wymagane jest odpowiednie zabezpieczenie, BMS, zasady ładowania oraz kontrola parametrów.



**!** To nie jest obszar do improwizowanych eksperymentów.

### PRZYKŁAD EDUKACYJNY

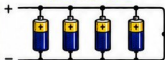
Cztery jednakowe ogniwa 1,5 V

#### SZEREG



$$1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} = 6,0 \text{ V}$$

#### RÓWNOLEGLE



$$1,5 \text{ V} \parallel 1,5 \text{ V} \parallel 1,5 \text{ V} \parallel 1,5 \text{ V} = 1,5 \text{ V}$$

### ZAPAMIĘTAJ



Szereg służy głównie do zwiększenia napięcia. Połączenie równoległe zachowuje napięcie, ale może zwiększać zdolność dostarczania energii — tylko przy prawidłowo dobranych źródłach.





# MAPA MYŚLI 78 — JAK ZNALEŹĆ NIEZNANY PRĄD?

## 1 PYTANIE 1

CZY ZNASZ

$U$  i  $R$  ELEMENTU?

Użyj Prawa Ohma:

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



PRZYKŁAD:

$$U = 12 \text{ V}, \quad R = 6 \, \Omega$$

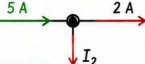
$$I = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

## 2 PYTANIE 2

CZY PRĄD

JEST W WĘZLE?

Użyj I prawa Kirchhoffa  
(suma prądów w węzle = 0):



PRZYKŁAD:

$$5 \text{ A} = 2 \text{ A} + I_2$$

$$I_2 = 3 \text{ A}$$

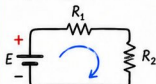
**NIE KAŻDY  
NIEZNANY  
PRĄD  
LICZY SIĘ  
TAK SAMO**

## 3 PYTANIE 3

CZY MUSISZ NAJPIERW  
ZNALEŹĆ NAPIĘCIE?

Użyj II prawa Kirchhoffa  
(suma napięć w pętli = 0),  
aby znaleźć napięcie gałęzi.

Następnie użyj Prawa Ohma:



PRZYKŁAD:

Najpierw znajdź  $U_{R_2}$  z pętli,

$$\text{potem } I_{R_2} = \frac{U_{R_2}}{R_2}$$

## 5 DRZEWO DECYZYJNE

1 Znasz  $U$  i  $R$  → Prawo Ohma

2 Masz węzeł i inne prądy → I prawo Kirchhoffa

3 Brakuje napięcia gałęzi → II prawo Kirchhoffa

4 Obwód da się uprościć →  $R_z$  + Prawo Ohma

## 4 PYTANIE 4

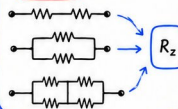
CZY OBWÓD

MOŻNA UPROŚCIĆ?

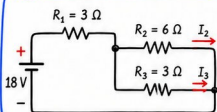
Uprość: szeregowo / równolegle / mieszany.

Najpierw oblicz  $R_z$ ,  
potem użyj Prawa Ohma:

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



## 6 PRZYKŁAD KOMBINOWANY



$$R_p = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2 \, \Omega$$

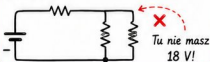
$$R_z = R_1 + R_p = 3 + 2 = 5 \, \Omega$$

$$I = \frac{U}{R_z} = \frac{18}{5} = 3,6 \text{ A}$$

$$I = I_2 + I_3$$

## 7 NAJCZĘSTSZY BŁĄD

Stosowanie  $I = U/R$  z napięciem źródła dla rezystora, który nie jest bezpośrednio podłączony do źródła.



Najpierw ustal, jakie napięcie naprawdę występuje na danej gałęzi. Dopiero potem licz jej prąd.

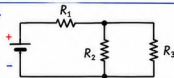
# MAPA MYŚLI 79 – ALGORYTM ANALIZY OBWODU

## NIE LICZ LOSOWO – ANALIZUJ W TEJ KOLEJNOŚCI

1

### KROK 1 – PRZECZYTAJ SCHEMAT

Zidentyfikuj źródła, rezystory, węzły, gałęzie i oczka.



2

### KROK 2 – ZAZNACZ DANE

Np.:  $U = 24 \text{ V}$

$R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 8 \Omega$

$U = 24 \text{ V}$

$R_1 = 4 \Omega$

$R_2 = 8 \Omega$

3

### KROK 3 – ZAZNACZ SZUKANE

Np.:  $I_1 = ?$ ,  $U_2 = ?$ ,  $R_2 = ?$

$I_1 = ?$

$U_2 = ?$

$R_2 = ?$

4

### KROK 4 – ROZPOZNAJ STRUKTURĘ

Czy to szeregowe, równoległe, mieszane, a może wiele oczek?

SZEREG.



RÓWNOLEGŁY



MIESZANY



WIELE OCZEK?



5

### KROK 5 – UPROŚĆ, JEŚLI MOŻNA

Policz  $R_2$  dla prostych bloków szeregowych lub równoległych.

Szeregowo:

$$R_2 = R_1 + R_2$$



Równoległo:

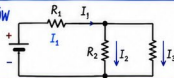
$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



6

### KROK 6 – ZAZNACZ KIERUNKI PRĄDÓW

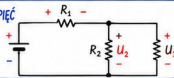
Wybierz kierunki prądów i bądź konsekwentny.



7

### KROK 7 – ZAZNACZ BIEGUNOWOŚCI NAPIĘĆ

Szczególnie na rezystorach, źródłach i w oczkach.



8

### KROK 8 – WYBIERZ NARZĘDZIA

Dobierz prawa i metody dla układu.

Prawo Ohma:

$$U = RI$$

Prawo węzłów:

$$\sum I = 0$$

Prawo oczek:

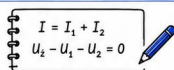
$$\sum U = 0$$

9

### KROK 9 – ZAPISZ RÓWNANIA PRZED LICZENIEM

Np.:  $I = I_1 + I_2$

$$U_2 - U_1 - U_2 = 0$$



10

### KROK 10 – OBLICZ I SPRAWDŹ

✓ Oblicz wartości krok po kroku.

✓ Na końcu sprawdź wyniki.

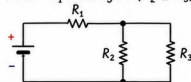


### 5 KONTROLI KOŃCOWYCH

- ☐ 1. W układzie szeregowym  $R_2$  jest większe od największego pojedynczego  $R$ ; w równoległym  $R_2$  jest mniejsze od najmniejszego  $R$ .
- ☐ 2. Czy prądy w węzle się równoważą?
- ☐ 3. Czy sumy napięć w oczkach wynoszą 0?
- ☐ 4. Czy wynik ma poprawną jednostkę?
- ☐ 5. Czy wynik jest zgodny z prawem Ohma?

### MINI PRZYKŁAD STRATEGII

Układ:  $R_1$  w szeregu z  $(R_2 \parallel R_3)$



- 1. Policz  $R_2 \parallel R_3$ .
- 2. Dodaj  $R_1$ :  $R_2 = R_1 + (R_2 \parallel R_3)$ .
- 3. Oblicz prąd całkowity:  $I = U / R_2$ .
- 4. Oblicz napięcie na bloku równoległym.
- 5. Oblicz prądy w gałęziach:  $I_2$ ,  $I_3$ .
- 6. Sprawdź prawo węzłów.



Najlepsza analiza obwodu to nie najszybsze liczenie, tylko poprawna kolejność decyzji.

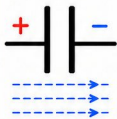


# MODUŁ 08

# KONDENSATORY, CEWKI I PÓŁPRZEWODNIKI

Poznaj elementy, które reagują nie tylko na **wartość napięcia i prądu**, ale także na ich **zmiany**.

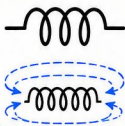
KONDENSATOR



ŁADOWANIE

Magazynuje energię w polu elektrycznym i oddaje ją w czasie.

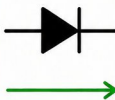
CEWKA



POLE  
MAGNETYCZNE

Magazynuje energię w polu magnetycznym i przeciwdziała zmianom prądu.

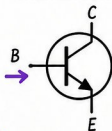
DIODA



KIERUNEK  
PRĄDU

Przewodzi prąd głównie w jednym kierunku.

TRANZYSTOR



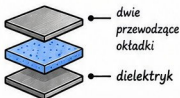
STEROWANIE

Mały sygnał sterujący kontroluje większy prąd między pozostałymi wyprowadzeniami.

W tym module zobaczysz, **jak działają** podstawowe elementy stosowane w elektronice oraz jak łączyć ich zachowanie z prawami obwodów, które już znasz.

# MAPA MYŚLI 80 – KONDENSATOR

## 1 Z CZEGO SIĘ SKŁADA?



Dielektryk to materiał izolujący znajdujący się pomiędzy okładkami.

**KONDENSATOR –  
MAGAZYNUJE  
ENERGIĘ  
W POLU  
ELEKTRYCZNYM**

## 2 CO ROBI KONDENSATOR?

- gromadzi ładunek
- magazynuje energię
- ładuje się
- rozładowuje się
- wpływa na przebieg napięcia w czasie

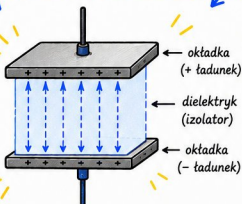
## 3 POJEMNOŚĆ – C

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

C – pojemność [F]

Q – ładunek [C]

U – napięcie [V]  
między okładkami



SYMBOL SCHEMATYCZNY



OZNACZENIE

C

JEDNOSTKA

farad – F

## 4 JEDNOSTKI

F (farad)

$\mu$ F (mikrofarad)

nF (nanofarad)

pF (pikofarad)

1000  $\mu$ F = 0,001 F

100 nF = 0,1  $\mu$ F

## 5 ENERGIA W KONDENSATORZE

$$E = \frac{1}{2} \times C \times U^2$$

Im większa pojemność  
lub napięcie, tym więcej  
energii może zostać  
zgromadzone.

## 6 KONDENSATOR W OBWODZIE DC

- Na początku ładowania płynie prąd.
- W miarę ładowania prąd maleje.
- W idealnym stanie ustalonym DC prąd się zatrzymuje.

## 7 WAŻNE

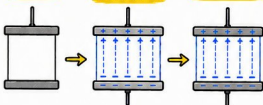


Niektóre kondensatory są spolaryzowane, np. elektrolityczne. Podłączenie odwrotnej polaryzacji może uszkodzić element.

PUSTY

W TRAKCIE  
ŁADOWANIA

NAŁADOWANY



## 8 NAPIĘCIE ZNAMIONOWE

100  $\mu$ F / 25 V

Oznacza pojemność  
100  $\mu$ F i maksymalne  
napięcie pracy 25 V.

Kondensator nie "magazynuje napięcia".  
Magazynuje **energię** i **ładunek**,  
a **napięcie** pojawia się pomiędzy jego okładkami.

## KONDENSATOR NIE ŁADUJE SIĘ NATYCHMIAST

### 1 ŁADOWANIE — START

$$U_C \approx 0 \text{ V}$$



Prąd w obwodzie jest na początku największy.

### 2 W CZASIE ŁADOWANIA

$$U_C \uparrow$$

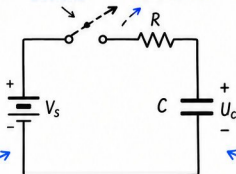
$$I \downarrow$$



Napięcie na kondensatorze rośnie, a prąd w obwodzie maleje z czasem.

ŁADOWANIE

ROZŁADOWANIE



### 3 PO DŁUGIM CZASIE — MODEL IDEALNY DC

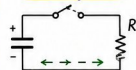
$$U_C \rightarrow V_S \quad (100\%)$$

$$I \rightarrow 0 \text{ A}$$

Kondensator jest naładowany.



### 4 ROZŁADOWANIE



Kondensator oddaje zgromadzoną energię przez rezystor. Napięcie  $U_C$  i prąd rozładowania maleją z czasem.

### 5 STAŁA CZASOWA — $\tau$

Stała czasowa określa tempo ładowania i rozładowania obwodu RC.

$$\tau = R \times C$$



### 6 CO OZNACZA $\tau$ ?

Po upływie jednej stałej czasowej  $\tau$ :



- w ładowaniu:  $U_C$  osiąga około 63% wartości końcowej.

$$U_C(\tau) \approx 0,63 \cdot V_S$$



- w rozładowaniu: pozostaje około 37% wartości początkowej.

$$U_C(\tau) \approx 0,37 \cdot U_C(0)$$

### 7 REGUŁA 5 $\tau$

Po około 5 stałych czasowych ( $5\tau$ ) proces jest praktycznie zakończony.

- $U_C \approx 99,3\% V_S$
- $I \approx 0$  (ładowanie)
- $U_C \approx 0$  (rozładowanie)
- $I \approx 0$



### 8 PRZYKŁAD

$$R = 10 \text{ k}\Omega \quad C = 100 \text{ }\mu\text{F}$$

$$10\,000 \text{ }\Omega \quad 0,0001 \text{ F}$$

$$\tau = R \times C = 10\,000 \times 0,0001 = 1 \text{ s}$$

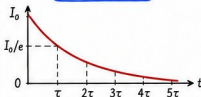
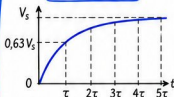
$$5\tau = 5 \times 1 \text{ s} = 5 \text{ s}$$



### 9 CHARAKTERYSTYKI CZASOWE

$U_C(t)$  — ładowanie

$I(t)$  — ładowanie



$$I_0 = V_S / R \quad e \approx 2,718$$

PODCZAS ŁADOWANIA  $U_C$  rośnie, a  $I$  maleje.  
PODCZAS ROZŁADOWANIA zgromadzona energia  
wraca do obwodu.





# MAPA MYŚLI 82 — POJEMNOŚĆ ELEKTRYCZNA I JEJ JEDNOSTKI

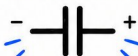
## 1 CO OZNACZA WIĘKSZA POJEMNOŚĆ?

Przy tym samym napięciu większa pojemność oznacza, że kondensator gromadzi więcej ładunku.

$$Q = C \times U$$



**POJEMNOŚĆ  
MÓWI, JAK  
KONDENSATOR  
REAGUJE NA  
GROMADZENIE  
ŁADUNKU**



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

**F — farad**

## 3 JEDNOSTKI POJEMNOŚCI

1 F — farad

1 mF =  $10^{-3}$  F

1  $\mu$ F =  $10^{-6}$  F

1 nF =  $10^{-9}$  F

1 pF =  $10^{-12}$  F

## 5 PRZYKŁADY PRZELICZEŃ

0,001 F = 1 mF

1  $\mu$ F = 1000 nF

100 nF = 0,1  $\mu$ F

4700 pF = 4,7 nF

## 8 MINI TEST

2,2  $\mu$ F = ? nF

2200 nF

## 2 PRZYKŁAD

$$\begin{array}{l} C = 100 \mu\text{F} \\ U = 10 \text{ V} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} C \\ U \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 100 \mu\text{F} \\ = 0,0001 \text{ F} \end{array}$$

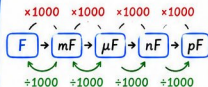
$$Q = C \times U$$

$$Q = 0,0001 \text{ F} \times 10 \text{ V}$$

$$Q = 0,001 \text{ C}$$

To jest 1 mC (mikulomb).

## 4 DRABINKA PRZELICZEŃ



W prawo (do mniejszych jednostek):  $\times 1000$

W lewo (do większych jednostek):  $\div 1000$

## 7 BARDZO WAŻNE

Pojemność i napięcie znamionowe to dwie różne rzeczy!

Przykład:



47  $\mu$ F / 50 V

**NIE** oznacza 47 V!

50 V to maksymalne napięcie, jakie kondensator może bezpiecznie wytrzymać.

Farad jest **dużą jednostką**,  
dlatego w elektronice  
bardzo często spotkasz  
 **$\mu$ F, nF i pF.**

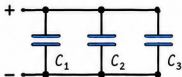


# MAPA MYŚLI 83 — KONDENSATORY SZEREGOWO I RÓWNOLEGLE

## KONDENSATORY RÓWNOLEGLE

$$C_z = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Każdy kondensator ma takie samo napięcie, a łączna zdolność do magazynowania ładunku jest większa.



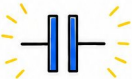
$$\begin{matrix} C_1 = 10 \mu\text{F} \\ C_2 = 20 \mu\text{F} \\ C_3 = 30 \mu\text{F} \end{matrix} \rightarrow C_z = 60 \mu\text{F}$$



### KONTROLA:

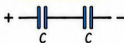
$C_z >$  każda pojedyncza pojemność

## KONDENSATORY ŁĄCZĄ SIĘ INACZEJ NIŻ REZYSTORY



### DWA JEDNAKOWE KONDENSATORY W SZEREGU

$$C_z = \frac{C}{2}$$



100  $\mu\text{F}$  i 100  $\mu\text{F}$  szeregowo

↓  
50  $\mu\text{F}$

## KONDENSATORY SZEREGOWO

$$\frac{1}{C_z} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Dla dwóch kondensatorów:

$$C_z = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$



$$\begin{matrix} C_1 = 6 \mu\text{F} \\ C_2 = 3 \mu\text{F} \end{matrix} \rightarrow C_z = 2 \mu\text{F}$$



### KONTROLA:

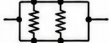
$C_z <$  najmniejsza pojemność

## PORÓWNANIE

### POŁĄCZENIE SZEREGOWE



### POŁĄCZENIE RÓWNOLEGŁE



## REZYSTORY

Sumują się

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$R_z$  maleje

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

$R_z$  jest mniejsza od najmniejszego rezystora

## KONDENSATORY

Nie sumują się – liczymy przez odwrotności

$$\frac{1}{C_z} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

$C_z$  zmniejsza się

Sumują się

$$C_z = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$C_z$  zwiększa się



To „odwrotna” logika względem rezystorów.

## PIĘMIĘTAJ!



W połączeniu szeregowym – napięcie może się dzielić, ale idealne kondensatory szeregowo przenoszą ten sam ładunek (co do wartości bezwzględnej).



## W PRAKTYCE:

W połączeniu szeregowym kondensatory należy wyrównywać elementami balansującymi (rezystory wyrównawcze), bo różnice tolerancji i prądy upływu w rzeczywistości dzielą napięcie nierówno.



## ZAPAMIĘTAJ!

Kondensatory równoległe dodajesz.

Kondensatory szeregowo liczysz przez odwrotności.



# MAPA MYŚLI 84 – CEWKA INDUKCYJNA

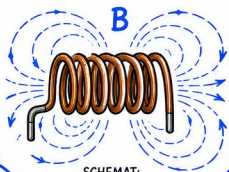
## 1 Z CZEGO SIĘ SKŁADA?

Przewodnik nawinięty w zwoje.



Rdzeń (opcjonalnie):

- powietrzny
- ferrytowy
- ferromagnetyczny



SCHEMAT:



## 2 INDUKCYJNOŚĆ – L

To zdolność cewki do reagowania na zmiany prądu poprzez indukowanie napięcia.

## 4 PRAWO CEWKI

$$U = L \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

(dla zmian średnich)

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

(dla zmian chwilowych)

Im szybciej zmienia się prąd, tym większe napięcie może się pojawić na cewce.

## 3 NAJWAŻNIEJSZA IDEA

Cewka przeciwstawia się gwałtownej zmianie prądu.

Nie ogranicza po prostu zawsze każdego prądu DC, jak rezystor.

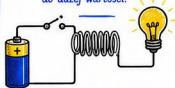
## 5 ENERGIA W CEWCE

$$E = \frac{1}{2} \times L \times I^2$$

Energia jest magazynowana w polu magnetycznym i zależy od indukcyjności L oraz prądu I.

## 6 INTUICYJNIE

Po załączeniu prąd nie może skoczyć od razu do dużej wartości.



Cewka „stara się” utrzymać poprzedni prąd.

## 7 CEWKA W STANIE USTALONYM DC – MODEL IDEALNY

Po długim czasie idealna cewka zachowuje się jak przewodnik o oporze 0 Ω.

W praktyce cewki mają:

- rezystancję uzwojenia
- straty w rdzeniu
- ograniczenia prądowe
- pojemności pasozytne

## 8 ZASTOSOWANIA

- ~ Filtry (LC, dolno- i górnoprzepustowe)
- ~ Przetwornice DC/DC i AC/DC
- ~ Dławiki (ograniczanie zakłóceń, tłumienie tętnień)
- ~ Elektromagnesy
- ~ Przekazniki
- ~ Transformatory

## NA SZYBKIE PORÓWNANIE

### KONDENSATOR (C)

Przeciwstawia się gwałtownej zmianie **NAPIĘCIA**.



szybka zmiana napięcia

✗



stopniowa zmiana napięcia

✓

### CEWKA (L)

Przeciwstawia się gwałtownej zmianie **PRĄDU**.



szybka zmiana prądu

✗



stopniowa zmiana prądu

✓

# MAPA MYŚLI 85 – DIODA



## 1 DWA WYPROWADZENIA

ANODA — A  
KATODA — K



Kreska w symbolu diody wskazuje stronę katody.

## DIODA – ELEMENT, KTÓRY SILNIE ZALEŻY OD KIERUNKU NAPIĘCIA



Kreska w symbolu diody wskazuje stronę katody.

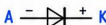
## DWIE SYTUACJE

PRZEWODZENIE  
(kierunek prosty)



Dioda przewodzi  
(prąd może płynąć).

BLOKOWANIE  
(kierunek zaporowy)



Dioda blokuje prąd  
(prawie nie płynie).

## 2 POLARYZACJA W KIERUNKU PRZEWODZENIA

Anoda ma wyższy potencjał niż katoda o odpowiednią wartość — dioda może przewodzić znaczący prąd.



Dioda przewodzi.

## 4 UPROSZCZONY MODEL

KIERUNEK PROSTY  
(przewodzenie)

Dioda zachowuje się jak zwarcie (0 V).



KIERUNEK ZAPOROWY  
(zapora)

Dioda zachowuje się jak przerwa (brak połączenia).



To tylko model idealny!  
Realne diody mają spadek napięcia i ograniczenia.

## 5 TYPOWY SPADEK NAPIĘCIA

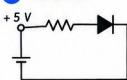
Dla diody krzemowej spadek napięcia w kierunku przewodzenia wynosi zwykle ok. 0,6 – 0,7 V

(w zależności od prądu, temperatury i typu).



≈ 0,6 – 0,7 V

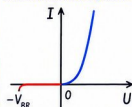
## 6 PRZYKŁAD



Źródło 5 V,  
opornik i dioda krzemowa.  
Jeśli dioda przewodzi  
(spadek ok. 0,7 V),  
to na oporniku jest  
ok. 4,3 V.

5 V = 0,7 V (dioda) + 4,3 V (opornik)

## CHARAKTERYSTYKA I-U (jakościowa)



## 7 DO CZEGO SŁUŻĄ DIODY?



- ✓ Prostowanie prądu przemiennego.
- ✓ Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją.
- ✓ Ograniczenie napięcia (zenerki, LED, itd.).
- ✓ Sterowanie kierunkiem przepływu prądu.
- ✓ Ochrona przed przepięciami (w odpowiednich układach).

## WAŻNE

- ★ Maksymalny prąd przewodzenia ( $I_F \text{ max.}$ ).
- ★ Maksymalne napięcie wsteczne ( $V_R \text{ max.}$ ).
- ★ Spadek napięcia ( $V_F$ ).
- ★ Szybkość przełączania.
- ★ Moc strat ( $P = V_F \times I_F$ ).



## 9 MINI TEST

Która strona symbolu diody jest katodą?



Odpowiedź:

Strona z kreską. ★



## PAMIĘTAJ!

Dioda nie jest zwykłym przewodem jednokierunkowym — jej zachowanie zależy od napięcia, prądu i typu elementu.



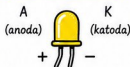
## LED ŚWIECI, ALE PRĄD MUSI BYĆ KONTROLOWANY

### 1 CZYM JEST LED?



Light Emitting Diode,  
po polsku dioda  
elektroluminescencyjna.  
Emituje światło,  
gdy przewodzi prąd.

### 2 ANODA I KATODA

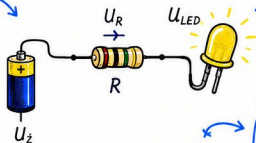


Symbol LED =  
symbol diody  
+ strzałki światła  
na zewnątrz.

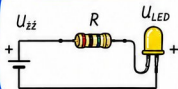


### 3 DLACZEGO REZYSTOR?

LED nie zachowuje się jak  
rezystor o stałej wartości.  
Po przekroczeniu napięcia  
przewodzenia niewielki wzrost  
napięcia może spowodować  
duży wzrost prądu.  
Dlatego stosujemy  
rezystor ograniczający prąd.



### 4 PODSTAWOWY UKŁAD



### 5 WZORY

$$U_R = U_z - U_{LED}$$

$$R = \frac{U_R}{I_{LED}}$$

$$R = \frac{U_z - U_{LED}}{I_{LED}}$$

### 6 PRZYKŁAD

$$U_R = 5 \text{ V}$$

$$U_{LED} = 2 \text{ V}$$

$$I_{LED} = 10 \text{ mA} = 0,01 \text{ A}$$

$$U_R = 3 \text{ V} \downarrow$$

$$R = 300 \Omega$$

### 7 DOBÓR PRAKTYCZNY

Wybierz najbliższą wartość  
z szeregu standardowego.  
Dla  $300 \Omega$  wybieramy  $330 \Omega$ .  
Prąd będzie nieco mniejszy,  
co jest bezpieczne dla LED.

$$R = 330 \Omega$$

### 8 SPRAWDŹ MOC REZYSTORA

Dla  $330 \Omega$  i około  $3 \text{ V}$  na rezystorze:

$$P = \frac{U^2}{R} \approx \frac{9}{330} \approx 0,027 \text{ W} = 27 \text{ mW}$$

Zatem rezystor  $0,25 \text{ W}$   
ma duży zapas mocy.



### 9 PAMIĘTAJ



Napięcie LED zależy  
od koloru i typu.  
Nie zakładaj zawsze  $2 \text{ V}$ !  
Sprawdź dokumentację  
lub kartę katalogową.



### 10 CZĘSTY BŁĄD



Podłączenie LED bezpośrednio  
do źródła napięcia, bez  
ograniczenia prądu,  
może ją uszkodzić!



### ZAPAMIĘTAJ



Najpierw odejmij napięcie LED  
od napięcia źródła.  
Dopiero z pozostałego napięcia  
oblicz rezystor.





# MAPA MYŚLI 87 – TRANZYSTOR NPN I PNP

## 1 TRZY WYPROWADZENIA

(B) baza

(C) kolektor

(E) emiter

## TRANZYSTOR BIPOLARNY – MAŁY SYGNAŁ MOŻE STEROWAĆ WIĘKSZYM PRĄDEM

BJT – Bipolar Junction Transistor

## 2 TRANZYSTOR NPN

- Strzałka na emiterze wskazuje na zewnątrz.

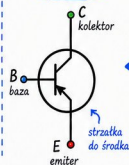
NPN – strzałka „Not Pointing in”

- Konwencjonalny prąd płynie z kolektora do emitera, strzałka „ucieka” z bazy.

### NPN



### PNP



## 4 CO ROBI TRANZYSTOR?

Może pracować jako:

- ☆ wzmacniacz
- ☆ przełącznik
- ☆ element sterujący
- ☆ część układów logicznych
- ☆ część układów analogowych

## 3 TRANZYSTOR PNP

- Strzałka na emiterze wskazuje do środka.
- Konwencjonalny prąd płynie z emitera do kolektora, strzałka „wchodzi” do bazy.

## 5 UPROSZCZONA IDEA NPN

Gdy złącze baza-emiter jest odpowiednio spolaryzowane i płynie prąd bazy ( $I_B$ ), tranzystor może „otworzyć drogę” dla znacznie większego prądu między kolektorem a emiterem ( $I_C$ ).



## 6 PRĄDY

$$I_E = I_C + I_B$$

$I_E$  – prąd emitera  
 $I_C$  – prąd kolektora  
 $I_B$  – prąd bazy

## 7 WZMOCNIENIE PRĄDOWE – UPROSZCZENIE

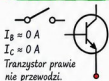
$$I_C \approx \beta \times I_B$$

$\beta$  – wzmacnienie prądowe (jako przybliżenie)

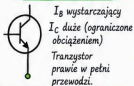
⚠  $\beta$  nie jest idealne ani stałe. Zależy od typu tranzystora i warunków pracy.

## 8 TRANZYSTOR JAKO PRZEŁĄCZNIK

### WYŁĄCZONY (odcięcie)



### WŁĄCZONY (nasycenie)



☆ Dokładne zachowanie zależy od typu tranzystora i warunków sterowania.

## 9 NPN A PNP – SZYBKE PORÓWNANIE

### NPN

Często stosowany względem niższego potencjału odniesienia (np. masa). Prąd konwencjonalny płynie z kolektora do emitera.

### PNP

Często stosowany po stronie wyższego potencjału. Prąd konwencjonalny płynie z emitera do kolektora.

☆ To uproszczenie na potrzeby nauki!

## 10 WAŻNE



Rożmieszczenie wyprowadzeń (B, C, E) nie jest zawsze takie samo fizycznie! Zawsze sprawdzaj kartę katalogową (datasheet).



### PAMIĘTAJ:

NPN i PNP mają te same trzy podstawowe wyprowadzenia, ale różnią się polaryzacją i kierunkami pracy.

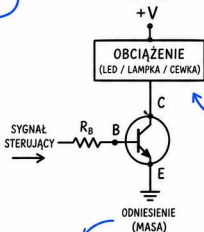
# MAPA MYŚLI 88 – TRANZYSTOR JAKO KLUCZ

## 1 PROSTY UKŁAD NPN

- Obciążeniem może być LED, mała lampka lub cewka przekaźnika.
- Emiter do masy (odniesienia).
- Kolektor do obciążenia.
- Baza sterowana przez rezystor.

## TRANZYSTOR JAKO KLUCZ

=  
STEROWANIE  
PRZEPŁYWEM  
PRĄDU



## 2 STAN 1 – WYŁĄCZONY

- Brak prawidłowego sterowania bazy lub  $I_B \approx 0$ .
- Transzystor nie przewodzi znaczącego prądu kolektora.
- Obciążenie jest wyłączone.



## 4 PO CO REZYSTOR BAZY?

- Ogranicza prąd bazy do bezpiecznej wartości.
- Bez niego prąd bazy może być zbyt duży.



## 5 OBLICZENIA – PRZYKŁAD EDUKACYJNY

- Napięcie sterujące: 5 V
- $U_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$
- Chcemy:  $I_B = 5 \text{ mA}$
- Napięcie na rezystorze:  
 $U_R = 5 - 0,7 = 4,3 \text{ V}$

$$R_B = \frac{U_R}{I_B} = \frac{4,3}{0,005} = 860 \Omega$$

Wybieramy najbliższą wartość z szeregu:  
 $R_B = 910 \Omega$  (standard)

**!** To przykład edukacyjny! W praktyce dobór  $R_B$  zależy od tranzystora, prądu obciążenia i wymaganego nasycenia.

## 3 STAN 2 – WŁĄCZONY

- Na bazę doprowadzony jest prąd  $I_B$ .
- Transzystor przewodzi jak zamknięty klucz.
- Droga prądu: źródło → obciążenie → kolektor → emiter → odniesienie.
- Obciążenie jest włączone.

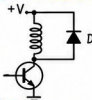


## 6 OBCIĄŻENIE INDUKCYJNE – WAŻNE



Jeśli sterujesz cewką przekaźnika lub innym obciążeniem indukcyjnym, po wyłączeniu może pojawić się wysokie napięcie indukowane.

## 7 DIODA ZABEZPIECZAJĄCA



Po wyłączeniu tranzystora dioda (D) przewodzi prąd cewki, zapewniając ścieżkę i ograniczając przepięcie. Dioda w kierunku zaporowym w czasie pracy.

## 8 NIE ZAPOMNIJ



- Tranzystor musi mieć odpowiednie:
- dopuszczalne napięcie ( $V_{CEmax}$ )
  - dopuszczalny prąd ( $I_{Cmax}$ )
  - dopuszczalną moc strat ( $P_{tot}$ )
  - warunki sterowania bazy ( $I_B$ )
  - ewentualne chłodzenie

## 9 MINI PORÓWNIANIE

PRZELĄCZNIK  
MECHANICZNY



sterowanie  
ręczne

TRANZYSTOR  
JAKO KLUCZ



sterowanie  
elektryczne

## 10 CO DALEJ?



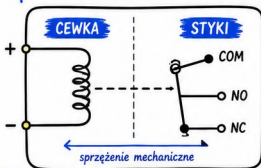
Następna mapa pokaże, jak tranzystor + przekaźnik umożliwia sterowanie oddzielnym obwodem o większej mocy.

Tranzystor jako klucz pozwala **matemu sygnałowi** sterującemu decydować o stanie **większego** obwodu obciążenia.

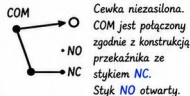
## 1 DWIE CZĘŚCI PRZEKAŹNIKA

- CEWKA** — Po przepływie odpowiedniego prądu wytwarza pole magnetyczne. Pole to zmienia położenie styków.
- STYKI** — Sterują osobnym obwodem. Najczęściej spotkasz:  
COM — styk wspólny  
NO — normalnie otwarty  
NC — normalnie zamknięty.

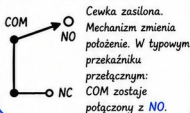
## PRZEKAŹNIK = CEWKA STERUJĄCA + ODDZIELNE STYKI



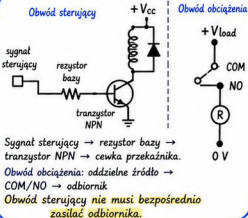
## 2 STAN SPOCZYNKOWY



## 3 STAN ZAŁĄCZONY



## 4 TYPOWY UKŁAD STEROWANIA



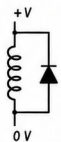
## 5 DLACZEGO STOSOWAĆ TRANZYSTOR?



Wyjście sterujące może nie być w stanie dostarczyć prądu wymaganego przez cewkę.

Tranzystor działa wtedy jako elektroniczny klucz.

## 6 DIODA PRZY CEWCE



Po wyłączeniu prądu cewka próbuje podtrzymać przepływ i może wygenerować wysokie napięcie. Dlatego w prostym układzie DC stosuje się diodę zabezpieczającą równolegle do cewki. Normalnie dioda jest spolaryzowana zaporowo. Po wyłączeniu przewodzi prąd cewki i ogranicza przepięcie.

## 7 PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA



## 8 CO DAJE PRZEKAŹNIK?

- separację galwaniczną między obwodem cewki i styków;
- sterowanie innym poziomem napięcia;
- zmianę wielu styków jednocześnie;
- sterowanie obciążeniem innym sygnałem.

## 9 BARDZO WAŻNE

Parametry styków: napięcie, prąd, rodzaj obciążenia muszą być zgodne z dokumentacją. Nie zakładaj, że przełącznik opisany np. jako **10 A** może przełączać dowolne obciążenie **10 A** w każdych warunkach.

## 10 MINI TEST

Co steruje ruchem styków?

Cewka.

Który styk jest zwykle otwarty w stanie spoczynkowym?

NO.

Przełącznik wykorzystuje sygnał w obwodzie cewki do mechanicznej zmiany połączeń w oddzielnym obwodzie styków.

# MAPA MYŚLI 90 – PROSTY OBWÓD RC



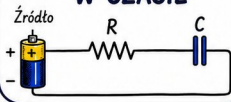
## 1 ROLA REZYSTORA

Rezystor ogranicza prąd ładowania i rozładowania kondensatora.



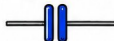
- Większe  $R$ : wolniejsza zmiana.
- Mniejsze  $R$ : szybsza zmiana.

## $R + C =$ OBWÓD, KTÓRY REAGUJE W CZASIE



## 2 ROLA KONDENSATORA

Kondensator gromadzi energię i ładunek.



- Większe  $C$ : dłuższy czas ładowania i rozładowania.
- Mniejsze  $C$ : krótszy czas.

## 3 STAŁA CZASOWA

$$\tau = R \times C$$

$\tau$  – stała czasowa [s]  
 $R$  – rezystancja [ $\Omega$ ]  
 $C$  – pojemność [F]

## 4 PRZYKŁAD

$R = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$   
 $100 \text{ k}\Omega = 100\,000 \text{ }\Omega$   
 $10 \text{ }\mu\text{F} = 0,00001 \text{ F}$

$$\tau = 100\,000 \times 0,00001$$

$$\tau = 1 \text{ s}$$

## 5 CO OZNACZA $1\tau$ ?

Podczas ładowania:

- po około  $1\tau$ :  $U_c \approx 63\%$  wartości końcowej
- po około  $2\tau$ :  $U_c \approx 86\%$
- po około  $3\tau$ :  $U_c \approx 95\%$
- po około  $5\tau$ :  $U_c \approx 99\%$

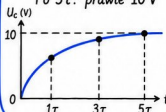
$5\tau$  to praktyczna reguła przybliżonego zakończenia procesu.

## 6 PRZY NAPIĘCIU 10 V

Po  $1\tau$ : około 6,3 V

Po  $3\tau$ : około 9,5 V

Po  $5\tau$ : prawie 10 V



## 7 CO SIĘ STANIE, GDY PODWOISZ $R$ ?

Nowe  $R = 200 \text{ k}\Omega$ .  
Przy tym samym  $C$ :

$$\tau = 2 \text{ s}$$

Obwód reaguje  
2 razy wolniej.



## 8 CO SIĘ STANIE, GDY PODWOISZ $C$ ?

Tak samo:

$\tau$  podwoi się.



## 9 GDZIE STOSUJE SIĘ UKŁADY RC?

- opóźnienia czasowe
- filtrowanie sygnałów
- wygładzanie
- kształtowanie impulsów
- układy czasowe
- eliminacja prostych zakłóceń



## 10 WAŻNE

Rzeczywiste zachowanie zależy także od:

- źródła
- obciążenia
- rezystancji wewnętrznych
- tolerancji  $R$  i  $C$



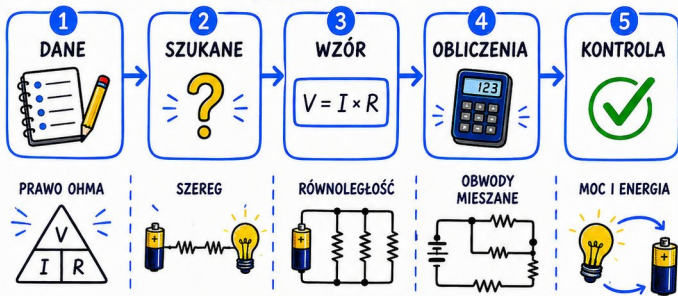
$R$  i  $C$  razem określają, jak szybko napięcie kondensatora może zmieniać się w prostym układzie RC.



# MODUŁ 09

# OBLICZENIA, ZADANIA I POWTÓRKA

*Nie zgaduj. Rozwiązuj każde zadanie według tej samej logicznej procedury.*



Celem nie jest wykonanie jak największej liczby działań. Celem jest wiedzieć, **dlaczego** wykonujesz każde z nich.



# MAPA MYŚLI 91 — JAK CZYTAĆ TREŚĆ ZADANIA?

## 1 KROK 1 —

### CZEGO DOTYCZY UKŁAD?

- szeregowo
- równolegle
- napięcie
- natężenie prądu
- rezystancja
- moc
- energia
- czas



# NAJPIERW ZROZUM ZADANIE — POTEM LICZ

## 2 KROK 2 —

### WYPISZ WSZYSTKIE DANE

„Rezystor  $20\ \Omega$  podłączono do źródła  $10\text{ V}$ .”

$$R = 20\ \Omega, U = 10\text{ V}$$

## 4 KROK 4 —

### ZIGNORUJ INFORMACJE, KTÓRYCH NIE POTRZEBUJESZ

Nie każda liczba w zadaniu musi wejść bezpośrednio do pierwszego wzoru. Pytaj: Czy ta wartość jest potrzebna do obliczenia szukanej wielkości?



## 3 KROK 3 —

### ZAPISZ SZUKANE

$$I = ?$$

### PRZYKŁAD

„Dwa rezystory  $4\ \Omega$  i  $8\ \Omega$  połączono szeregowo i podłączono do źródła  $24\text{ V}$ . Oblicz prąd.”



Dane:  $R_1 = 4\ \Omega, R_2 = 8\ \Omega, U = 24\text{ V}$

Szukane:  $I = ?$

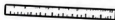
Struktura: szereg

Pierwsza decyzja: najpierw  $R_2$

## 5 KROK 5 —

### ZWRÓĆ UWAGĘ NA JEDNOSTKI

$20\text{ mA}$  to nie  $20\text{ A}$ .  
 $2\text{ k}\Omega$  to nie  $2\ \Omega$ .



## 6 KROK 6 —

### NARYSUJ SCHEMAT, JEŚLI GO NIE MA

- co jest szeregowo
- co jest równolegle
- gdzie jest źródło
- gdzie mierzysz napięcie



### SŁOWA-KLUCZE

- ★ połączono szeregowo → rezystancje dodaj
- ★ połączono równolegle → sprawdź wspólne napięcie i oblicz  $R_2$  równolegle
- ★ oblicz moc → szukasz  $P$
- ★ zużycie energii → potrzebujesz  $P$  i czasu

### NAJCZĘSTSZY BŁĄD



Zobaczyć dwie liczby i natychmiast je pomnożyć lub podzielić bez określenia, co oznaczają.



### MINI TEST

Przez rezystor  $50\ \Omega$  płynie prąd  $0,2\text{ A}$ . Oblicz napięcie.

Dane:  $R = 50\ \Omega, I = 0,2\text{ A}$

Szukane:  $U = ?$

Właściwa zależność:  $U = R \times I$



## JAK PRZEKSZTAŁCIĆ TREŚĆ ZADANIA W DANE I STRUKTURĘ?

### TREŚĆ ZADANIA

„Dwa rezystory  $4\ \Omega$  i  $8\ \Omega$  połączono szeregowo i podłączono do źródła  $24\text{ V}$ . Oblicz prąd.”

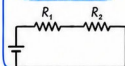
### DANE

$$R_1 = 4\ \Omega \\ R_2 = 8\ \Omega \\ U = 24\text{ V}$$

### SZUKANE

$$I = ?$$

### STRUKTURA



### WYNIK:

Teraz możesz wybrać właściwą zależność i obliczyć.



Treść zadania jest źródłem danych i struktury obwodu — nie tylko zbiorem liczb.

# MAPA MYŚLI 92 – KONTROLA JEDNOSTEK PRZED OBLICZENIEM

## DLACZEGO TO WAŻNE?



5 A oraz 5 mA  
różnią się  
1000 razy.

## ZANIM PODSTAWISZ LICZBY –

## UPORZĄDKUJ JEDNOSTKI

### PRĄD



1 A = 1000 mA  
1 mA = 0,001 A  
25 mA = 0,025 A

### REZYSTANCJA



1 k $\Omega$  = 1000  $\Omega$   
1 M $\Omega$  = 1 000 000  $\Omega$   
4,7 k $\Omega$  = 4700  $\Omega$

### NAPIĘCIE



1 V = 1000 mV  
250 mV = 0,25 V

### MOC



1 kW = 1000 W  
2,5 kW = 2500 W

### METODA 3 KROKÓW

1. Sprawdź przedrostek.
2. Przelicz do wygodnej jednostki.
3. Dopiero wtedy podstaw do wzoru.

### CZAS



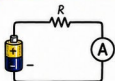
1 h = 60 min  
1 min = 60 s  
1 h = 3600 s  
30 min = 0,5 h

### POJEMNOŚĆ



1  $\mu$ F = 1000 nF  
1 nF = 1000 pF

### PRZYKŁAD 1



$U = 5 \text{ V}$ ,  $R = 2 \text{ k}\Omega$   
 $2 \text{ k}\Omega = 2000 \Omega$   
 $I = 5 / 2000$   
 $I = 0,0025 \text{ A}$ ,  
czyli 2,5 mA

### PRZYKŁAD 2



$P = 500 \text{ W}$ ,  $t = 30 \text{ min}$   
 $30 \text{ min} = 0,5 \text{ h}$   
 $E = 500 \times 0,5$   
 $E = 250 \text{ Wh}$

### SZYBKA KONTROLA WYMIAROWA

$$\frac{\text{V}}{\Omega} = \text{A}$$

$$\text{V} \times \text{A} = \text{W}$$

$$\text{W} \times \text{h} = \text{Wh}$$

### NAJCZĘSTSZY BŁĄD



Podstawienie  $R = 2$   
do wzoru, gdy w treści:  
 $R = 2 \text{ k}\Omega$ .



Dobra konwersja jednostek może uratować  
poprawny tok rozumowania przed wynikiem  
błędny tysiąc razy.



## 1 DANE

Zapisz:  
co już wiesz.

Przykład:  
 $U = 12 \text{ V}$ ,  $R = 4 \Omega$

## 2 SZUKANE

Zapisz:  
czego nie wiesz.

Przykład:  
 $I = ?$

# JEDEN SZABLON

## DO WIĘKSZOŚCI ZADAŃ

## 3 WZÓR

Najpierw symbolicznie:

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

Nie podstawiaj liczb  
przed zapisaniem wzoru.

## 4 PODSTAWIENIE

$$I = \frac{12 \text{ V}}{4 \Omega}$$

## 5 WYNIK

$$I = 3 \text{ A}$$

## 6 KONTROLA

Sprawdź:  $V/\Omega = \text{A}$ .  
Czy wynik jest  
logiczny? Tak. ✓

## DLACZEGO TEN FORMAT DZIAŁA?

- wykryć brakujące dane
- wybrać poprawny wzór
- kontrolować jednostki
- pokażać tok rozumowania
- łatwo znaleźć błąd

### PRZYKŁAD 2

Dane:  
 $I = 0,5 \text{ A}$ ,  $R = 20 \Omega$

Szukane:  $U = ?$

Wzór:  
 $U = R \times I$

Podstawienie:  
 $U = 20 \times 0,5$

Wynik:  $U = 10 \text{ V}$

### PRZYKŁAD 3 – MOC

Dane:  
 $U = 24 \text{ V}$ ,  $I = 2 \text{ A}$

Szukane:  $P = ?$

Wzór:  
 $P = U \times I$

Podstawienie:  
 $P = 24 \times 2$

Wynik:  $P = 48 \text{ W}$

## WERSJA DO KOPIOWANIA

- DANE
- SZUKANE
- WZÓR
- PODSTAWIENIE
- WYNIK
- KONTROLA

## NAJCZĘSTSZY BŁĄD

Zapisywanie tylko:  $\frac{12}{4} = 3$ .

Bez informacji: co obliczono i w jakiej jednostce.

Dobry zapis rozwiązania powinien być zrozumiały  
nawet wtedy, gdy wrócisz do niego po kilku tygodniach.

## ZADANIE A — OBLICZ PRĄD

Dane:  $U = 24 \text{ V}$ ,  
 $R = 8 \Omega$

Szukane:  $I = ?$

Wzór:  $I = U / R$

Obliczenie:

$$I = 24 / 8$$

$$I = 3 \text{ A}$$

## ZADANIE B — OBLICZ REZYSTANCJĘ

Dane:  $U = 18 \text{ V}$ ,  
 $I = 0,5 \text{ A}$

Szukane:  $R = ?$

Wzór:  $R = U / I$

Obliczenie:

$$R = 18 / 0,5$$

$$R = 36 \Omega$$

## ZADANIE C — OBLICZ NAPIĘCIE

Dane:  $R = 15 \Omega$ ,  
 $I = 0,4 \text{ A}$

Szukane:  $U = ?$

Wzór:  $U = R \times I$

Obliczenie:

$$U = 15 \times 0,4$$

$$U = 6 \text{ V}$$

## MINI WYZWANIE

$I = 20 \text{ mA}$ ,  $R = 470 \Omega$

Oblicz  $U = ?$

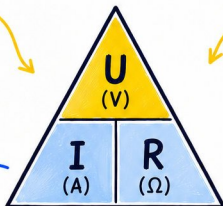
Najpierw:  $20 \text{ mA} = 0,020 \text{ A}$

Wynik:

$$U = 470 \times 0,020 = 9,4 \text{ V}$$

# 3 PYTANIA

# 1 PRAWO OHMA



## CO ŁĄCZY TE ZADANIA?

Wszystkie wynikają z:

$$U = R \times I$$

## SZYBKA KONTROLA

$$8 \Omega \times 3 \text{ A} = 24 \text{ V}$$

$$36 \Omega \times 0,5 \text{ A} = 18 \text{ V}$$

$$15 \Omega \times 0,4 \text{ A} = 6 \text{ V}$$



wszystkie zgodne

## ZADANIE D — Z PRZELICZENIEM

Dane:  $U = 5 \text{ V}$ ,  
 $R = 2,5 \text{ k}\Omega$

Najpierw:  $2,5 \text{ k}\Omega = 2500 \Omega$

Prąd:  $I = 5 / 2500$

$$I = 0,002 \text{ A},$$

czyli  $2 \text{ mA}$

Nie ucz się trzech niezależnych wzorów —  
rozumiej jedną zależność i przekształcaj ją  
zależnie od tego, czego szukasz.

# MAPA MYŚLI 95 – ZADANIE: OBWÓD SZEREGOWY

## DANE

Źródło:

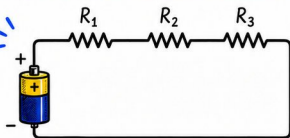
$$U = 30 \text{ V}$$

Rezystory:

$$R_1 = 5 \Omega$$

$$R_2 = 10 \Omega$$

$$R_3 = 15 \Omega$$



## SZUKANE

$$R_2, I, \\ U_1, U_2, U_3$$

## SZEREG – NAJPIERW $R_z$ , POTEM $I$ , POTEM NAPIĘCIA

### 1 KROK 1 – REZYSTANCJA ZASTĘPCZA

$$\begin{aligned} R_z &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 5 + 10 + 15 \\ &= 30 \Omega \end{aligned}$$

### 2 KROK 2 – PRĄD CAŁKOWITY

$$I = \frac{U}{R_z} = \frac{30}{30} = 1 \text{ A}$$

### 3 KROK 3 – PRĄDY ELEMENTÓW

W szeregu:

$$I_1 = I_2 = I_3 = 1 \text{ A}$$

### 4 KROK 4 – NAPIĘCIE NA $R_1$

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 \times I \\ &= 5 \times 1 = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

### 5 KROK 5 – NAPIĘCIE NA $R_2$

$$U_2 = 10 \times 1 = 10 \text{ V}$$

### 6 KROK 6 – NAPIĘCIE NA $R_3$

$$U_3 = 15 \times 1 = 15 \text{ V}$$

### 7 KROK 7 – KONTROLA

$$\begin{aligned} U_1 + U_2 + U_3 &= U \\ 5 + 10 + 15 &= 30 \text{ V} \end{aligned}$$

✓ poprawnie

### CO WIDZISZ?

Rezystancje: 5 : 10 : 15.  
Napięcia: 5 : 10 : 15.  
Ponieważ prąd jest ten sam

### DODATKOWA KONTROLA MOCY

$$P = U \times I = 30 \times 1 = 30 \text{ W}$$

$$P_1 = I^2 R_1 = 5 \text{ W}; P_2 = 10 \text{ W}; P_3 = 15 \text{ W}$$

$$\text{Suma: } 5 + 10 + 15 = 30 \text{ W} \quad \checkmark$$

### MINI WYZWANIE

Jeśli dodasz  $R_4 = 10 \Omega$   
przy tym samym źródle 30 V:

$$R_z = 40 \Omega, \quad I = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ A}$$

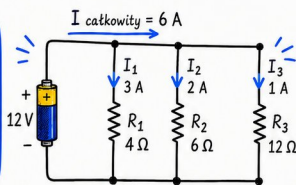
W szeregu wspólny prąd pozwala obliczyć  
każdy spadek napięcia i każdą moc elementu.



# MAPA MYŚLI 96 — ZADANIE: OBWÓD RÓWNOLEGŁY

## DANE

Źródło:  $U = 12 \text{ V}$   
 Gałęzie:  
 $R_1 = 4 \Omega$   
 $R_2 = 6 \Omega$   
 $R_3 = 12 \Omega$



## SZUKANE

$I_1, I_2, I_3,$   
 $I_{\text{catkowity}}, R_z$

### 1 KROK 1 — NAPIĘCIE GAŁĘZI

W równoległym:

$$U_1 = U_2 = U_3 = 12 \text{ V}$$

## RÓWNOLEGLE — NAJPIERW WSPÓLNE NAPIĘCIE, POTEM PRĄDY GAŁĘZI

### 2 KROK 2 — PRĄD $I_1$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{4} = 3 \text{ A}$$

### 3 KROK 3 — PRĄD $I_2$

$$I_2 = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

### 4 KROK 4 — PRĄD $I_3$

$$I_3 = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

### 5 KROK 5 — PRĄD CAŁKOWITY

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 3 + 2 + 1 = 6 \text{ A}$$

### 6 KROK 6 — $R_z$ Z PRAWA OHMA

$$R_z = \frac{U}{I} = \frac{12}{6} = 2 \Omega$$

### 7 KROK 7 — SPRAWDZENIE WZOREM RÓWNOLEGŁYM

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}; \quad \frac{1}{R_z} = \frac{3}{12} + \frac{2}{12} + \frac{1}{12};$$

$$\frac{1}{R_z} = \frac{6}{12}; \quad \frac{1}{R_z} = \frac{1}{2}; \quad \text{Zatem: } R_z = 2 \Omega \checkmark$$

### KONTROLA LOGICZNA

Najmniejszy rezystor:  $4 \Omega$ .  
 Rezystancja zastępcza:  $2 \Omega$ .  
 Czyli  $R_z < R_{\min}$  ✓



### CO WIDZISZ?

Najmniejsza rezystancja:  $4 \Omega$   
 → Największy prąd:  $3 \text{ A}$ .  
 Największa rezystancja:  $12 \Omega$   
 → Najmniejszy prąd:  $1 \text{ A}$



### BILANS MOCY — DODATKOWO

$$P = U \times I = 12 \times 6 = 72 \text{ W}$$


---


$$P_1 = U^2/R_1 = 36 \text{ W}; \quad P_2 = 24 \text{ W}; \quad P_3 = 12 \text{ W}$$

$$\text{Suma: } 36 + 24 + 12 = 72 \text{ W} \checkmark$$

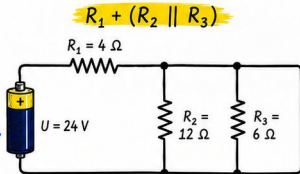
W równoległym każda gałąź ma **to samo napięcie**,  
 ale pobiera **prąd zależny** od własnej rezystancji.

# MAPA MYŚLI 97 — ZADANIE: OBWÓD MIESZANY



## DANE

- Źródło:  $U = 24 \text{ V}$
- Rezystor szeregowy:  
 $R_1 = 4 \, \Omega$
- Blok równoległy:  
 $R_2 = 12 \, \Omega$ ,  $R_3 = 6 \, \Omega$
- Struktura:  
 $R_1 + (R_2 \parallel R_3)$



## SZUKANE

$R_z$ ,  $I$  całkowity,  
 $U_1$ ,  $U_2 = U_3$ ,  
 $I_2$ ,  $I_3$



### 1 KROK 1 – UPROŚĆ BŁOK RÓWNOLEGŁY

$$R_p = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{12 \times 6}{12 + 6}$$

$$= \frac{72}{18} = 4 \, \Omega$$

### 2 KROK 2 – REZYSTANCJA CAŁKOWITA

$$R_z = R_1 + R_p$$

$$= 4 + 4 = 8 \, \Omega$$

### 3 KROK 3 – PRĄD CAŁKOWITY

$$I = \frac{U}{R_z} = \frac{24}{8} = 3 \text{ A}$$

### 4 KROK 4 – NAPIĘCIE NA $R_1$

$$U_1 = R_1 \times I$$

$$= 4 \times 3 = 12 \text{ V}$$

### 5 KROK 5 – NAPIĘCIE NA BŁOKU RÓWNOLEGŁYM

$$U_p = U - U_1 = 24 - 12 = 12 \text{ V}$$

Ponieważ  $R_2$  i  $R_3$  są równoległe:

$$U_2 = U_3 = 12 \text{ V}$$

### 6 KROK 6 – PRĄD $I_2$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

### 7 KROK 7 – PRĄD $I_3$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

### 8 KROK 8 – KONTROLA WĘZŁA

$$I = I_2 + I_3$$

$$3 \text{ A} = 1 \text{ A} + 2 \text{ A} \quad \checkmark$$

### 9 KROK 9 – KONTROLA NAPIĘCIA

$$U = U_1 + U_p$$

$$24 \text{ V} = 12 \text{ V} + 12 \text{ V} \quad \checkmark$$

## DODATKOWA KONTROLA MOCY

$$P = U \times I = 24 \times 3 = 72 \text{ W}$$

$$P_1 = I^2 R_1 = 3^2 \times 4 = 36 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{144}{12} = 12 \text{ W}$$

$$P_3 = \frac{144}{6} = 24 \text{ W}$$

$$\text{Suma: } 36 + 12 + 24 = 72 \text{ W} \quad \checkmark$$

## CO WARTO ZAUWAŻYĆ?

Blok równoległy ma  $R_p = 4 \, \Omega$ ,  
czyli tyle samo co  $R_1$ .



Dlatego napięcie 24 V  
dzieli się pomiędzy te dwa  
szeregowo bloki po równo:  
 $12 \text{ V} + 12 \text{ V}$

## UNIERSALNY WZORCZEC

- Zaznacz blok równoległy.
- Oblicz jego  $R_z$ .
- Uprość cały obwód.
- Oblicz prąd całkowity.
- Wróć do oryginalnego schematu.
- Oblicz napięcia i prądy gałęzi.
- Sprawdź prawa Kirchhoffa i bilans mocy.



Najtrudniejszą część obwodu mieszanego to zwykle  
nie matematyka, lecz **poprawne rozpoznanie**  
**kolejności upraszczania.**

1

## 5 PYTAŃ KONTROLNYCH

- ✓ Czy jednostka jest poprawna?
- ✓ Czy wynik ma właściwy znak?
- ✓ Czy wielkość ma rozsądną wartość?
- ✓ Czy zgadza się z prawem Ohma lub prawami Kirchhoffa?
- ✓ Czy pasuje do struktury obwodu?

4

## DLA MOCY

$$P = U \times I$$

suma mocy odbiorników powinna zgadzać się z mocą źródła w prostych zadaniach rezystancyjnych

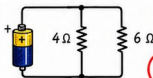


5

## PRZYKŁAD BŁĘDU

Obliczono  $R_z = 20 \Omega$  dla dwóch rezystorów  $4 \Omega$  i  $6 \Omega$  równolegle.

To niemożliwe, bo w równoległym  $R_z$  musi być mniejsze od  $4 \Omega$ .

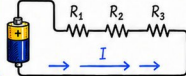


**DOBRY  
WYNIK  
TO NIE TYLKO  
LICZBA —  
TO TAKŻE  
SENS  
FIZYCZNY**

2

## DLA SZEREGU

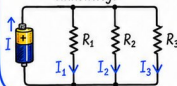
$R_z >$  największy pojedynczy rezystor; prąd jest taki sam we wszystkich elementach; napięcia sumują się do napięcia źródła



3

## DLA RÓWNOLEGŁEGO

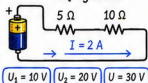
$R_z <$  najmniejszy rezystor; napięcie jest takie samo w gałęziach; prądy gałęzi sumują się do prądu całkowitego



6

## PRZYKŁAD POPRAWNEJ KONTROLI

Jeśli w szeregu  $R_1 = 5 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$  i  $I = 2 \text{ A}$ , to  $U_1 = 10 \text{ V}$ ,  $U_2 = 20 \text{ V}$ , a  $U = 30 \text{ V}$  — wszystko się zgadza.



7

## NAJCZĘSTSZE SYGNAŁY OSTRZEGAWCZE

- ! brak jednostki
- ! wynik tysięcy razy za duży lub za mały
- ~ Rz większe w równoległym niż pojedynczy rezystor
- ujemny prąd bez interpretacji
- Σ brak kontroli sum napięć lub prądów



Końcowa kontrola często zajmuje kilka sekund, a potrafi uratować całe rozwiązanie.



# MAPA MYŚLI 99 – 10 NAJCZĘSTSZYCH BŁĘDÓW

## 1 BŁĄD 1 – MYLENIE NAPIĘCIA Z PRĄDEM

**Nie:**  $U = \text{ampery}$ ,  $I = \text{wolt}$

**Poprawnie:**  $U \rightarrow V$ ,  $I \rightarrow A$

Najpierw nazwa wielkości,  
potem symbol, potem jednostka.



## 2 BŁĄD 2 – BRAK PRZELICZENIA JEDNOSTEK

**Nie:** 20 mA to 0,020 A, a nie 20 A  
3 kΩ = 3000 Ω



## 3 BŁĄD 3 – ZŁY WZÓR PRAWA OHMA

**Nie:** Jeśli szukasz prądu:  $I = U/R$

**Nie:**  $I = U \times R$

najpierw zapisz, czego szukasz.



## 4 BŁĄD 4 – DODAWANIE REZYSTORÓW RÓWNOŁĘGŁYCH JAK SZEREGOWYCH

**Nie:**  $R_2 = R_1 + R_2$  dla połączenia równoległego

Dla dwóch:  $R_2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

Kontrola:  $R_2$  równoległa musi być mniejsza od najmniejszej rezystancji gałęzi.



## 5 BŁĄD 5 – DZIELENIE PRĄDU W OBWODZIE SZEREGOWYM

**Nie:** W szeregu:  $I_1 = I_2 = I_3$

Prąd nie „zużywa się” po drodze.



## 6 BŁĄD 6 – DZIELENIE NAPIĘCIA PO RÓWNO W KAŻDYM PRZYPADKU

**Nie:** W szeregu napięcie dzieli się zgodnie z wartościami elementów.

Nie zawsze  $U_1 = U_2$

Równe napięcia np. dla jednakowych rezystorów przy tym samym prądzie.



## 7 BŁĄD 7 – STOSOWANIE PEŁNEGO NAPIĘCIA ŹRÓDŁA DO KAŻDEGO REZYSTORA W OBWODZIE MIESZANYM

**Nie:** Najpierw ustal, jakie napięcie naprawdę występuje na danej gałęzi lub elemencie.

Schemat przed wzorem.



## 8 BŁĄD 8 – MYLENIE W Z W h

**Nie:**  $W = \text{moc}$        $Wh = \text{energia}$   
 $kW = \text{moc}$        $kWh = \text{energia}$

Nie: urządzenie zużyło 2 kW, jeśli pytanie dotyczy energii.

Poprawnie: np. 2 kWh



## 9 BŁĄD 9 – NIEPRAWIDŁOWE PODŁĄCZENIE MIERNIKA

- Amperomierz: szeregowo
- Woltomierz: równolegle
- Rezystancja: przy wyłączonej zasilaniu badanego układu

Błąd pomiarowy może być nie tylko błędem wyniku, ale również zagrożeniem.



## 10 BŁĄD 10 – BRAK KONTROLI WYNIKU

- Po obliczeniu nie kończ od razu.
- jednostkę
  - znak
  - skalę wyniku
  - $R_2$
  - sumę napięć
  - sumę prądów
  - bilans mocy, jeśli jest potrzebny



# 10 BŁĘDÓW, KTÓRE NAJCZĘŚCIEJ PSUJĄ DOBRE ROZWIĄZANIE

## SUPER CHECKLISTA – 7 PYTAŃ

1 Czy poprawnie odczytałem strukturę obwodu?



2 Czy zapisałem wszystkie dane?



3 Czy przeliczyłem jednostki?



4 Czy wiem, czego szukam?



5 Czy wybrałem właściwy wzór?

$$V = I \times R$$

6 Czy wynik ma prawidłową jednostkę?



7 Czy wynik jest logiczny?



### TEST LOGIKI 1 – SZEREG



Rezystory: 5 Ω + 10 Ω + 20 Ω.  
Czy  $R_2 = 2 \Omega$  może być poprawne?

**Nie.** W szeregu:  $R_2 = 35 \Omega$

### TEST LOGIKI 2 – RÓWNOŁĘGŁE



Rezystory: 10 Ω || 20 Ω.  
Czy  $R_2 = 30 \Omega$  może być poprawne?  
**Nie.**  $R_2$  musi być mniejsza niż 10 Ω

### TEST LOGIKI 3 – WĘZŁ



Wpływa: 5 A.  
Wypływa: 2 A + 1 A.  
Brakuje: 2 A.

**Nie może zniknąć.**

## NIE UFAJ TYLKO KALKULATOROWI – SPRAWDZAJ, CZY WYNIK MA SENS.

Większość błędów można wykryć przed oddaniem zadania, jeśli poświęcisz kilkanaście sekund na kontrolę struktury, jednostek i logiki wyniku.



## 1. PODSTAWOWE WIELKOŚCI

- Napięcie —  $U$  [V] — różnica potencjałów
  - Prąd —  $I$  [A] — przepływ ładunku
  - Rezystancja —  $R$  [ $\Omega$ ] — przeciwstawianie się przepływowi prądu
  - Moc —  $P$  [W] — tempo przetwarzania energii
  - Energia —  $E$  [J, Wh, kWh] — łączna ilość energii
- $U \rightarrow V \quad I \rightarrow A \quad R \rightarrow \Omega \quad P \rightarrow W$

## 2. PRAWO OHMA

$$U = R \times I$$

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

Czego szukasz?

- $U \rightarrow$  mnożysz
- $I \rightarrow$  dzielisz  $U$  przez  $R$
- $R \rightarrow$  dzielisz  $U$  przez  $I$

## 3. OBWÓD SZEREGOWY

- JEDNA DROGA
- $I = I_1 = I_2 = I_3$
- $U = U_1 + U_2 + U_3$
- $R_2 = R_1 + R_2 + R_3$
- $R_2 >$  największa pojedyncza  $R$
- Awaria typu przerwa może zatrzymać cały prąd gałęzi

## 8. ALGORYTM ROZWIĄZYWANIA ZADAŃ

- PRZECZYTAJ
- WYPISZ DANE
- ZAPISZ SZUKANE
- PRZELICZ JEDNOSTKI
- ROZPOZNAJ STRUKTURĘ
- WYBIERZ WZÓR
- OBLICZ
- SPRAWDŹ

# OBWODY ELEKTRYCZNE — WIELKA POWTÓRKA

100 MAP MYŚLOWYCH  $\rightarrow$  1 OBRAZ CAŁOŚCI

## 4. OBWÓD RÓWNOLEGŁY

- WIELE DROG — TE SAME DWA WĘZŁY
- $U = U_1 = U_2 = U_3$
- $I = I_1 + I_2 + I_3$
- $1/R_2 = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$
- $R_2 <$  najmniejsza pojedyncza  $R$
- Mniejsza  $R$  gałęzi  $\rightarrow$  większy  $I$  gałęzi

## 7. ELEMENTY I POMIARY

- Rezystor —  $R$  — ogranicza/ustala prąd i napięcie
  - Kondensator —  $C$  — pole elektryczne
  - Cewka —  $L$  — pole magnetyczne
  - Dioda —  $D$  — kierunkowe zachowanie prądu-napięcie
  - Tranzystor — sterowanie / wzmacnianie
  - Przełącznik — sterowanie stykami
- $\text{A} \rightarrow$  szeregowo  
 $\text{V} \rightarrow$  równoległe  
 $\text{Q} \rightarrow$  bez zasilania badanego układu

## 6. MOC I ENERGIA

- $P = U \times I$
  - $P = I^2 R$
  - $P = U^2 / R$
  - $E = P \times t$
  - $1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$
  - $1000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}$
  - $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
- $W \neq \text{Wh} \quad \text{kW} \neq \text{kWh}$

## 5. PRAWA KIRCHHOFFA

### I PRAWO — WĘZŁ

$\sum I = 0$   
prądy wpływające =  
prądy wypływające

### II PRAWO — ODKŁO

$\sum U = 0$   
wartości napięcia =  
spadki napięcia

WĘZŁ  $\rightarrow$  PRĄDY ODKŁO  $\rightarrow$  NAPIĘCIA

## KONTROLA KOŃCOWA

- Czy jednostka jest poprawna?
- Czy  $R_2$  ma sens?
- Czy prądy w węźle się bilansują?
- Czy napięcia w oczku się bilansują?
- Czy wynik jest realistyczny?

## SZYBKA TABELA „JEŚLI WIDZISZ...”

| Szereg               | Równoległe          | Węzeł            | Oczko            | $U + R$            | $U + I$            | $P + t$            |
|----------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      |                     |                  |                  |                    |                    |                    |
| zaczynaj od sumy $R$ | sprawdź wspólny $U$ | użyj bilansu $I$ | użyj bilansu $U$ | możesz znaleźć $I$ | możesz znaleźć $P$ | możesz znaleźć $E$ |

## OSTATNI MINI TEST — 10 PYTAŃ

- Jaka jest jednostka napięcia?
- Jaką postać ma prawo Ohma, gdy szukamy prądu?
- Jaki prąd płynie w obwodzie szeregowym?
- Jakie napięcie jest na gałęziach równoległych?
- Ki jak porównujemy  $R_2$  w obwodzie równoległym?
- Co mówi I prawo Kirchhoffa?
- Co mówi II prawo Kirchhoffa?
- Wzór na moc elektryczną to?
- Czym różni się kW od kWh?
- Jak podłączamy amperomierz?

JEŚLI POTRAFISZ WYJAŚNIĆ TĘ MAPĘ WŁASNYMI SŁOWAMI,  
NIE TYLKO ZAPAMIĘTAŁEŚ WZORY — ZROZUMIAŁEŚ  
PODSTAWY OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH.

Wracaj do tej strony przed zadaniami, sprawdzaniem lub egzaminem.  
Nie próbuj pamiętać wszystkiego osobno — szukaj zależności.

## ODPOWIEDZI KONTROLNE

- V
- $I = U/R$
- Ten sam prąd
- To samo napięcie
- $R_2$  musi być mniejsza od najmniejszej  $R$  gałęzi
- Bilans prądów w węźle
- Bilans napięć w zamkniętym oczku
- $P = U \times I$
- kW = moc, kWh = energia
- Szeregowo

## KONIEC MATERIAŁU

100 map myślowych ukończonych ✓

Teraz wróć do map, które sprawiły Ci największą trudność,  
i spróbuj odtworzyć je z pamięci.

