

KAZALO

1. UVOD	3
2. OSNOVNE ELEKTRIČNE VELIČINE	4
2.1. ELEKTRIČNI TOK IN ELEKTRINA	4
2.1.1. GOSTOTA ELEKTRIČNEGA TOKA	6
2.2. ELEKTRIČNA NAPETOST IN ELEKTRIČNI POTENCIAL	6
2.3. UPORNOST IN PREVODNOST VALJASTEGA VODNIKA PRI 20 ⁰ C	9
2.4. VPLIV TEMPERATURE NA UPORNOST VODNIKA	12
3. OSNOVNI ZAKONI IN VEZAVE V ELEKTRIČNIH KROGIIH	16
3.1. OHMOV ZAKON	16
3.2. MERJENJE ELEKTRIČNEGA TOKA IN NAPETOSTI	17
3.3. VZPOREDNA VEZAVA NAPETOSTNIH VIROV	19
3.4. PRVI KIRCHHOFFOV ZAKON	20
3.5. ZAPOREDNA VEZAVA NAPETOSTNIH VIROV	22
3.6. DRUGI KIRCHHOFFOV ZAKON	24
4. LASTNOSTI IN ZAKONITOSTI ELEKTRIČNIH KROGOV	31
4.1. VZPOREDNA VEZAVA UPOROV	31
4.1.1. Nadomestna upornost vzporedne vezave uporov	34
4.2. RAZŠIRJANJE MERILNEGA OBMOČJA AMPERMETRA	38
4.3. ZAPOREDNA VEZAVA UPOROV	39
4.3.1. Nadomestna upornost zaporedne vezave uporov	40
4.4. RAZŠIRITEV MERILNEGA OBMOČJA VOLTMETRA	45
4.5. SESTAVLJENA VEZAVA UPOROV	46
4.5.1. Obremenjen delilnik napetosti	46
4.5.2. Mostično vezje	49
4.5.3. Ravnotežje mostiča	52
4.5.4. Poljubna sestavljena vezava	53
4.6. REALNI ELEKTRIČNI KROG	55
4.7. MERJENJE ELEKTRIČNE UPORNOSTI	57
5. ELEKTRIČNA MOČ IN ELEKTRIČNO DELO	68
5.1. ELEKTRIČNA MOČ	68
5.2. RAZPOLOŽLJIVA MOČ VIRA	72
5.3. ELEKTRIČNO DELO	74
5.4. SPREMINJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	77
5.5. VAROVALKE	79
6. ELEKTRIČNO POLJE	84
6.1. KAPACITIVNOST PREVODNIH TELES	85
6.2. KAPACITIVNOST PLOŠČNEGA KONDENZATORJA	86
6.3. ENERGIJA KONDENZATORJA	87
6.4. PREBOJNA TRDNOST	88
6.5. VZPOREDNA VEZAVA KONDENZATORJEV	89
6.6. ZAPOREDNA VEZAVA KONDENZATORJEV	91
6.7. SESTAVLJENA VEZAVA KONDENZATORJEV	94
7. MAGNETNO POLJE	100
7.1. INDUKTIVNOST IN ENERGIJA MAGNETNEGA POLJA	103
7.1.1. Induktivnost ravne tuljave	104
7.1.2. Energija magnetnega polja tuljave	105
7.2. MAGNETNI UČINKI	106
7.2.1. Magnetno polje tuljave	106
7.2.2. Magnetna sila na feromagnetno telo	107
7.2.3. Magnetna sila na tokovodnik	108

7.2.4. Magnetna sila med vzporednima tokovodnikoma.....	109
7.2.5. Indukcija električne napetosti zaradi spremembe magnetnega pretoka	111
7.2.6. Indukcija električne napetosti zaradi prečkanja magnetnega pretoka	113
7.3. ZAKONITOSTI MAGNETNIH KROGOV - DODATEK.....	115
7.3.1. OHMOV ZAKON V MAGNETIKI.....	115
7.3.2. PRVI KIRCHHOFFOV ZAKON V MAGNETIKI	116
7.3.3. DRUGI KIRCHHOFFOV ZAKON V MAGNETIKI	116
8. OSNOVNI POJMI IZMENIČNIH ELEKTRIČNIH VELIČIN.....	120
8.1. OBLIKE ELEKTRIČNIH VELIČIN	120
8.2. PARAMETRI SINUSNE IZMENIČNE VELIČINE	121
8.2.1. Perioda T in frekvenca f	121
8.2.2. Trenutna, maksimalna in srednja vrednost sinusne veličine	122
8.2.3. Efektivna vrednost sinusne veličine	123
8.3. KAZALČNI DIAGRAM	124
8.3.1. Fazni premik.....	125
8.4. PREPROSTI IZMENIČNI KROGI	126
8.4.1. Idealni upor v izmeničnem krogu	126
8.4.2. Idealna tuljava v izmeničnem krogu	127
8.4.3. Idealni kondenzator v izmeničnem krogu	129

1. UVOD

Delovni zvezek je namenjen dijakom prvega letnika poklicnih elektrotehniških šol za samostojno učenje in poglobljanje znanja pri predmetu ELEKTROTEHNIKA . Ker so naloge enostavne in razložene, jih lahko uporabljajo tudi tisti, ki želijo poglobiti osnovnošolsko znanje fizike (elektrotehnike), pa tudi dijaki drugih usmeritev, kot so strojništvo, kemija ...

Pri učenju vam želimo veliko uspeha in zadovoljstva.

2. OSNOVNE ELEKTRIČNE VELIČINE

Med osnovne električne veličine štejemo **električni tok**, **električno napetost** ter **električno upornost** in **prevodnost**.

2.1. ELEKTRIČNI TOK IN ELEKTRINA

Nosilci elektrin so lahko elektroni, protoni, ioni.

Usmerjenemu gibanju prostih nosilcev elektrin pravimo električni tok.

Velikost električnega toka je odvisna od pretoka elektrin v določeni časovni enoti. Električni tok bo velik, če bo velik pretok elektrin (nosilcev električnega naboja) v kratkem času.

$$I = \frac{Q}{t} \quad [A]$$

Zapisana enačba vsebuje tri veličine, ki jih lahko predstavimo v tabeli

Ime veličine	Označba veličine	Ime enote veličine	Označba enote
električni tok	I	amper	A
elektrina	Q	coulomb	C=As
čas	t	sekunda	s

ali krajše:

I [A]	... električni tok
Q [As]	... elektrina
t [s]	... čas

Primer

Skozi vodnik je v času 30s enakomerno steklo 60As elektrine. Kolikšen je bil električni tok v vodniku ?

Rešitev:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{60As}{30s} = 2A$$

Odgovor: Električni tok v vodniku je bil 2A.

Naloga 1

Koliko elektrine je v akumulatorju, če smo ga 4 ure polnili s tokom 5A in je bil v začetku prazen?

Rešitev:

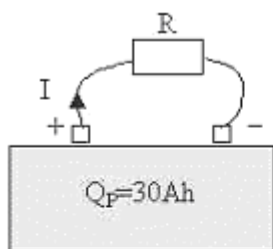
$$Q = I \cdot t = 5A \cdot 4h = 20Ah$$

Odgovor: V akumulatorju je 20Ah elektrine.

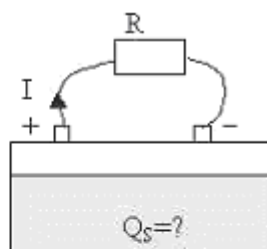
Naloga 2

Na akumulator s kapaciteto 30Ah priključimo za 3 ure porabnik, skozi katerega teče tok 4A. Koliko elektrine ostane v akumulatorju?

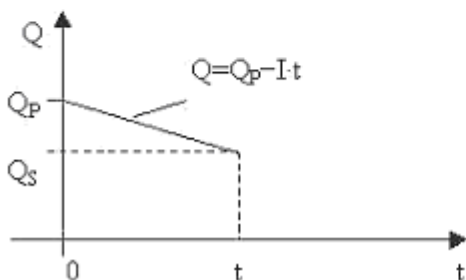
Rešitev:



$t=0h$



$t=3h$



Časovni potek praznjenja akumulatorja

$$\Delta Q = Q_P - Q_S = I \cdot t \Rightarrow Q_S = Q_P - I \cdot t = 30Ah - 4A \cdot 3h = 18Ah$$

Odgovor: V akumulatorju ostane 18Ah elektrine.

2.1.1. GOSTOTA ELEKTRIČNEGA TOKA

Gostota električnega toka je električni tok na enoto prereza.

$$J = \frac{I}{A} \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

kjer je:

J [A/m ²]	... gostota električnega toka
I [A]	... električni tok
A [m ²]	... prerez, pravokoten na električni tok

Primer

Čez vodnik s prerezom 12.56mm² teče tok 10A. Kolikšna je gostota električnega toka v vodniku?

Rešitev:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{10A}{12.56mm^2} \approx 0.8 \frac{A}{mm^2}$$

Odgovor: Gostota električnega toka v vodniku je 0.8A/mm².

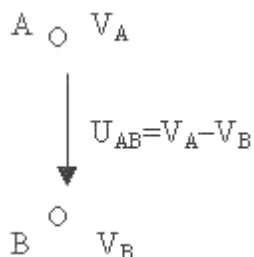
2.2. ELEKTRIČNA NAPETOST IN ELEKTRIČNI POTENCIAL

Viri električne napetosti so: generator v elektrarni, avtomobilski akumulator, kolesarski dinamo, baterija, sončna celica itd.

Električna napetost je lahko izmenična ali enosmerna.

Električna napetost je enaka razliki med električnima potencialoma in jo merimo v voltih.

Smer napetosti navadno označimo od višjega potenciala proti nižjemu. Napetost je enaka potencialu, če je eden od potencialov nič voltov.

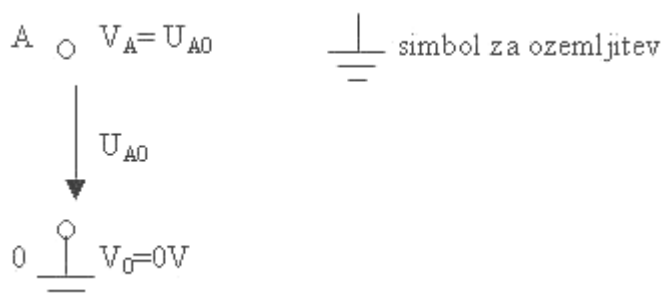


$$U_{AB} = V_A - V_B \quad [V]$$

kjer je:

$U_{AB} [V]$	... električna napetost med poloma (točkama) A in B, ki jo merimo v voltih
$V_A [V]$	... električni potencial pola (točke) A
$V_B [V]$	... električni potencial pola (točke) B

Pol (točka), ki ima potencial **nič voltov**, imenujemo **skupni električni pol**. Skupni električni pol je navadno ozemljitev, ohišje ali masa. Pri izvorih napetosti označimo višji električni potencial s plusom (+), nižji električni potencial pa z minusom (-). Ta je običajno nič voltov.



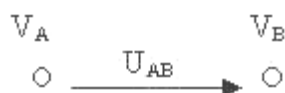
$$V_A = U_{A0} \quad [V]$$

kjer je:

$V_A [V]$	... električni potencial pola A
$V_0 [V]$	... električni potencial pola 0, ki ima 0V
$U_{A0} [V]$	... električna napetost med poloma A in 0

Primer

Izračunaj električno napetost med poloma A in B, če je električni potencial pola A 12V in električni potencial pola B 8V.



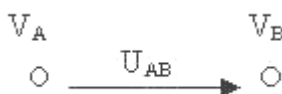
Rešitev:

$$U_{AB} = V_A - V_B = 12V - 8V = 4V$$

Odgovor: Električna napetost med poloma A in B je 4V.

Naloga 3

Izračunaj električno napetost med poloma A in B, če je električni potencial pola A 3V in električni potencial pola B -4V.



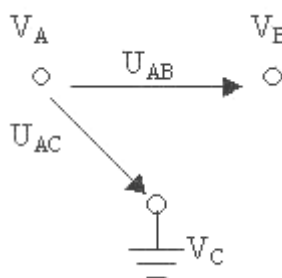
Rešitev:

$$U_{AB} = V_A - V_B = 3V - (-4V) = 7V$$

Odgovor: Električna napetost med poloma A in B je 7V.

Naloga 4

Določi električne potenciale polov A, B in C, če je električna napetost med poloma A in B 2V, električna napetost med poloma A in C pa 12V. Pol C je skupni električni pol.



Rešitev:

$$V_C = 0V$$

$$U_{AC} = V_A - V_C \Rightarrow V_A = U_{AC} = 12V$$

$$U_{AB} = V_A - V_B \Rightarrow V_B = V_A - U_{AB} = 12V - 2V = 10V$$

Odgovor: Električni potencial v polu A je 12V, v polu B je 10V in v polu C je 0V.

2.3. UPORNOST IN PREVODNOST VALJASTEGA VODNIKA PRI 20⁰ C

Električni vodniki so prevodniki z majhno upornostjo in dobro prevajajo električni tok. Vodniki so namenjeni za povezovanje električnih izvorov in porabnikov. Pogosto so izdelani iz bakra, lahko pa tudi iz aluminija ali katere druge kovine.

Upornost je lastnost snovi, da se upira prevajanju električnega toka.

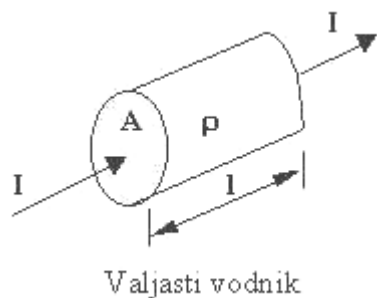
Upornost vodnika je odvisna od **specifične upornosti snovi**, iz katere je vodnik, od **dolžine vodnika** in od njegovega **prereza**. Enota za upornost je **ohm**, kar označimo z grško črko omega - Ω .

- Večja je specifična upornost vodnika, večja je upornost vodnika
- Večja je dolžina vodnika, večja je upornost vodnika
- Večji je prerez vodnika, manjša je upornost vodnika

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad [\Omega]$$

kjer je:

R [Ω]	... upornost vodnika pri 20 ⁰ C (sobna temperatura)
ρ [$\Omega \cdot m$]	... specifična upornost vodnika pri 20 ⁰ C
l [m]	... dolžina vodnika
A [m ²]	... prerez vodnika (pravokotno na smer električnega toka)



Prevodnost vodnika je obratno sorazmerna upornosti vodnika.

- Večja je upornost, manjša je prevodnost

$$G = \frac{1}{R} \quad [S]$$

kjer je:

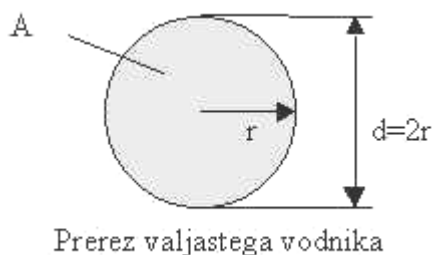
G [S]	... prevodnost vodnika, ki ima enoto siemens - S
R [Ω]	... upornost vodnika

Ker imajo vodniki navadno okrogel prerez, je prerez ploščina kroga:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [m^2]$$

kjer je:

A [m²]	... prerez valjastega vodnika, kar predstavlja ploščino kroga
d [m]	... debelina valjastega vodnika, kar predstavlja premer kroga



Naloga 5

Izračunaj električno upornost in električno prevodnost dvožilnega bakrenega kabla, če je kabl dolg 50m in ima ena bakrena žila prerez 2.5mm² ! Specifična upornost bakra je 0.0175·10⁻⁶ Ωm.



Rešitev:

Ker je dvožilni kabl, moramo vzeti dvakratno dolžino vodnika !

$$R = \frac{\rho_{Cu} \cdot 2 \cdot l}{A} = \frac{0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega m \cdot 2 \cdot 50 m}{2.5 \cdot 10^{-6} m^2} = 0.7 \Omega$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{0.7 \Omega} \approx 1.43 S$$

Odgovor: Upornost dvožilnega bakrenega kabla je 0.7Ω in prevodnost 1.43S.

Naloga 6

Kolikšna mora biti dolžina aluminijastega vodnika s prerezom 70mm², da bo upornost 2mΩ? Specifična upornost aluminija je 0.028·10⁻⁶ Ωm.

Rešitev:

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho_{Al}} = \frac{0.002\Omega \cdot 70 \cdot 10^{-6} m^2}{0.028 \cdot 10^{-6} \Omega m} = 5m$$

Odgovor: Dolžina aluminijastega vodnika mora biti 5m.

Naloga 7

Kolikšen mora biti premer bakrenega vodnika z dolžino 25m, da bo upornost 0.25Ω ? Specifična upornost bakra je $0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega m$.

Rešitev:

$$A = \frac{\rho_{Cu} \cdot l}{R} = \frac{0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega m \cdot 25m}{0.25\Omega} = 1.75 \cdot 10^{-6} m^2 = 1.75 mm^2$$
$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.75 \cdot 10^{-6} m^2}{\pi}} \approx 1.49 \cdot 10^{-3} m = 1.49 mm$$

Odgovor: Premer bakrenega vodnika je 1.49mm.

Naloga 8 - dodatek

Aluminijasti vodnik dolžine 10m in prereza $10mm^2$ je potrebno zamenjati z bakrenim vodnikom. Izračunaj prerez bakrenega vodnika, da bo imel enako dolžino in upornost kot prej aluminijasti vodnik. Specifična upornost aluminijastega vodnika je $0.028 \cdot 10^{-6} \Omega m$ in specifična upornost bakrenega vodnika $0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega m$.

Rešitev:

$$\frac{\rho_{Al} \cdot l}{A_{Al}} = \frac{\rho_{Cu} \cdot l}{A_{Cu}} \Rightarrow A_{Cu} = \frac{\rho_{Cu} \cdot A_{Al}}{\rho_{Al}} = \frac{0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega m \cdot 10 mm^2}{0.028 \cdot 10^{-6} \Omega m} = 6.25 mm^2$$

Odgovor: Prerez bakrenega vodnika je $6.25 mm^2$.

2.4. VPLIV TEMPERATURE NA UPORNOST VODNIKA

S temperaturo se upornost spreminja. Kako se spreminja upornost, pa je odvisno od temperature in od snovi. Z večanjem temperature se lahko upornost veča ali manjša. Če se upornost s temperaturo veča, govorimo o **pozitivnem** temperaturnem koeficientu. Če se upornost s temperaturo manjša, pa govorimo o **negativnem** temperaturnem koeficientu.

Specifična upornost je podana pri 20⁰ C.

Sprememba upornosti je premo sorazmerna upornosti pri 20⁰ C, temperaturnemu koeficientu upornosti in spremembi temperature.

$$\Delta R = R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta \quad [\Omega]$$

kjer je:

ΔR [Ω]	... sprememba upornosti
R_{20} [Ω]	... upornost pri 20 ⁰ C
α [K ⁻¹]	... temperaturni koeficient upornosti
$\Delta \vartheta$ [K]	... sprememba temperature

Sprememba temperature $\Delta \vartheta$ = temperatura – 20⁰C.

Upornost vodnika pri določeni temperaturi je enaka vsoti upornosti pri 20⁰ C in spremembi upornosti.

$$R_{\vartheta} = R_{20} + \Delta R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta) \quad [\Omega]$$

kjer je:

R_{ϑ} [Ω]	... upornost pri določeni temperaturi
R_{20} [Ω]	... upornost pri 20 ⁰ C
ΔR [Ω]	... sprememba upornosti

Tok, ki teče skozi vodnik, le-tega greje, zato se njegova temperatura veča, upornost pa spreminja.

Naloga 9

Bakreni vodnik ima pri temperaturi 20⁰ C upornost 2Ω. Izračunaj spremembo upornosti pri temperaturi 80⁰ C. Temperaturni koeficient upornosti bakra je 0.0039K⁻¹.

Rešitev:

$$\Delta R = R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta = 2\Omega \cdot 0.0039\text{K}^{-1} \cdot (80 - 20)\text{K} = 0.468\Omega$$

Odgovor: Sprememba upornosti pri temperaturi 80°C je 0.468Ω .

Opomba: Sprememba temperature se podaja ali v celzijah ($^{\circ}\text{C}$) ali v kelvinih (K).

Naloga 10

Izračunaj upornost bakrena vodnika pri 100°C , če je pri temperaturi 20°C upornost 2Ω . Temperaturni koeficient upornosti bakra je 0.0039K^{-1} .

Rešitev:

$$R_{100} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - 20)) = 2\Omega \cdot (1 + 0.0039\text{K}^{-1} \cdot (100 - 20)\text{K}) = 2.624\Omega$$

Odgovor: Upornost bakrena vodnika pri 100°C je 2.624Ω .

Naloga 11 - dodatek

Pri kateri temperaturi ima bakreni vodnik upornost 0.2Ω , če je upornost pri 20°C 0.15Ω ? Temperaturni koeficient upornosti bakra je 0.0039K^{-1} .

Rešitev:

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - 20)) = 0.2\Omega \Rightarrow$$

$$\vartheta = \frac{\frac{R_{\vartheta}}{R_{20}} - 1}{\alpha} + 20 = \frac{\frac{0.2\Omega}{0.15\Omega} - 1}{0.0039\text{K}^{-1}} + 20^{\circ}\text{C} = 85.47^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 105.47^{\circ}\text{C}$$

Odgovor: Temperatura je 105.47°C .

VAJE

1. Akumulator ima lahko največ 40Ah elektrine. Koliko elektrine je v akumulatorju, če smo ga 5 ur polnili s tokom 5A, in če je bil v začetku prazen?

(Rešitev: $Q=25\text{Ah}$)

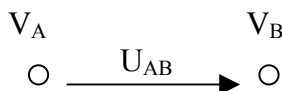
2. Akumulator s kapaciteto 50Ah ima že shranjeno 15Ah elektrine. Koliko časa je treba polniti akumulator s tokom 7A, da bo poln?

(Rešitev: $t=5\text{h}$)

3. Akumulator ima kapaciteto 50Ah. V akumulatorju je že 30Ah elektrine, zato ga polnimo 3 ure s tokom 5A in nato priključimo 5 ur porabnik skozi katerega teče tok 7A. Koliko elektrine ostane v akumulatorju?

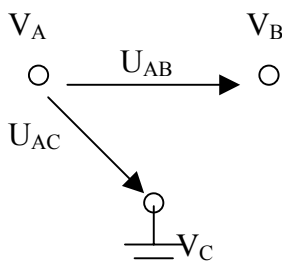
(Rešitev: $Q=10\text{Ah}$)

4. Izračunaj električno napetost med poloma A in B, če je električni potencial pola A 5V in električni potencial pola B -5V .



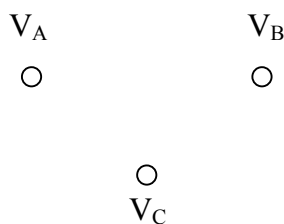
(Rešitev: $U_{AB}=10\text{V}$)

5. Določi električne potencialne polov A, B in C, če je električna napetost med poloma A in B 4V, električna napetost med poloma A in C 10V in če je pol C skupni električni pol.



(Rešitev: $V_C=0\text{V}$; $V_A=10\text{V}$; $V_B=6\text{V}$)

6. Izračunaj pozitivne električne napetosti med poli A, B in C, če je električni potencial pola A 4V, električni potencial pola B 10V in električni potencial pola C -5V .



(Rešitev: $U_{BA}=6\text{V}$; $U_{BC}=15\text{V}$; $U_{AC}=9\text{V}$)

7. Električna upornost bakrenega vodnika je 1.5Ω pri dolžini 75m. Kolikšna je upornost bakrenega vodnika pri dolžini 150m?

(Rešitev: $R=3\Omega$)

8. Električna upornost bakrenega vodnika je 1Ω . Kolikšna je upornost bakrenega vodnika, če dolžino povečamo za osemkrat in prevez povečamo za dvakrat?

(Rešitev: $R=4\Omega$)

9. Kolikšna mora biti dolžina aluminijastega vodnika s prevezom 25mm^2 , da bo na njem upornost 0.015Ω ? Specifična upornost aluminija je $0.028 \cdot 10^{-6}\Omega\text{m}$.

(Rešitev: $l=13.39\text{m}$)

10. Tuljava ima ohmsko upornost navitja 0.6Ω . Navitje je iz bakra. Kolikšna je dolžina žice navitja, če je prerez žice 0.5mm^2 ? Specifična upornost žice je $0.0175 \cdot 10^{-6}\Omega\text{m}$.

(Rešitev: $l=17.14\text{m}$)

11. Kolikšen mora biti prerez bakrenega vodnika z dolžino 15m , da bo na njem upornost 0.2Ω ? Specifična upornost bakrenega vodnika je $0.0175 \cdot 10^{-6}\Omega\text{m}$.

(Rešitev: $A=1.31\text{mm}^2$)

12. Izračunaj debelino vodnika, če prerez vodnika 2.5mm^2 .

(Rešitev: $d=1.78\text{mm}$)

13. Izračunaj debelino bakrene žice tuljave, ki ima ohmsko upornost 1Ω in dolžino žice 10m . Specifična upornost bakrene žice je $0.0175 \cdot 10^{-6}\Omega\text{m}$.

(Rešitev: $d=0.47\text{mm}$)

14. Upornost 10m dolgega vodnika je 1Ω . Izračunaj prevodnost vodnika, če vodnik podaljšamo za 30m .

(Rešitev: $G=0.25\text{S}$)

15. Bakreni vodnik ima pri temperaturi 20°C upornost 5Ω . Izračunaj spremembo upornosti pri temperaturi 90°C . Temperaturni koeficient upornosti bakra je 0.0039K^{-1} .

(Rešitev: $\Delta R=1.365\Omega$)

16. Določi temperaturni koeficient upornosti vodnika, ki ima pri temperaturi 20°C upornost 10Ω in pri temperaturi 90°C upornost 12.8Ω .

(Rešitev: $\alpha=0.004\text{K}^{-1}$)

17. Določi spremembo temperature bakrenega navitja, če je sprememba upornosti 1.8Ω , in je pri 20°C upornost 4Ω . Temperaturni koeficient upornosti bakra je 0.0039K^{-1} .

(Rešitev: $\Delta\vartheta \approx 115\text{K}$)

18. Izračunaj upornost oglja pri 120°C , če je pri temperaturi 20°C upornost oglja 10Ω . Temperaturni koeficient upornosti oglja je -0.00045K^{-1} .

(Rešitev: $R_{120}=9.55\Omega$)

19. Pri temperaturi 90°C je upornost aluminijastega vodnika 2Ω . Kolikšna je upornost aluminijastega vodnika pri temperaturi 20°C ? Temperaturni koeficient upornosti aluminija je 0.0036K^{-1} .

(Rešitev: $R_{20} \approx 1.6\Omega$)

20. Pri temperaturi 20°C ima bakreno navitje releja upornost 30Ω . Izračunaj pri kateri temperaturi ima bakreno navitje releja upornost 40Ω ? Temperaturni koeficient upornosti bakra je 0.0039K^{-1} .

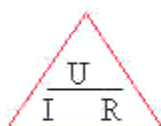
(Rešitev: $\vartheta \approx 105^{\circ}\text{C}$)

3. OSNOVNI ZAKONI IN VEZAVE V ELEKTRIČNIH KROGIH

S pomočjo Ohmovega zakona ter I in II Kirchhoffovega zakona lahko v električnih vezjih določimo tok, napetost in upornost na posameznih elementih vezja.

3.1. OHMOV ZAKON

Ohmov zakon govori o medsebojni odvisnosti napetosti U , toka I in upornosti R v električnih krogih.



Ohmov trikotnik

$$\begin{aligned}U &= I \cdot R \\I &= U / R \\R &= U / I\end{aligned}$$

Enačbe Ohmovega zakona

Če upoštevamo, da je upornost obratno sorazmerna prevodnosti, dobimo:



$$\begin{aligned}R &= 1/G \\I &= U \cdot G \\U &= I / G \\G &= I / U \quad ; \text{ prevodnost}\end{aligned}$$

Naloga 12

Kolikšen tok teče skozi upor $R=22\Omega$, če je na njem napetost $U=220V$?

Rešitev:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220V}{22\Omega} = 10A$$

Odgovor: Skozi 22Ω upor teče tok $10A$.

Naloga 13

Kolikšna je napetost na uporu $R=22k\Omega$, če skozenj teče tok $I=5mA$?

Rešitev:

$$U = I \cdot R = 5\text{mA} \cdot 22\text{k}\Omega = 110\text{V}$$

Odgovor: Napetost je 110V.

Opomba:

$$1\text{mA} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$1\text{k}\Omega = 1 \cdot 10^3 \Omega$$

Naloga 14

Kolikšna je upornost upora, če je na njem napetost $U=10\text{V}$ in tok skozenj $I=2\text{mA}$?

Rešitev:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10\text{V}}{2\text{mA}} = \frac{10\text{V}}{0.002\text{A}} = 5000\Omega = 5\text{k}\Omega$$

Odgovor: Upornost upora je $5\text{k}\Omega$.

Naloga 15

Upornost upora je $R=10\Omega$. Izračunaj prevodnost upora !

Rešitev:

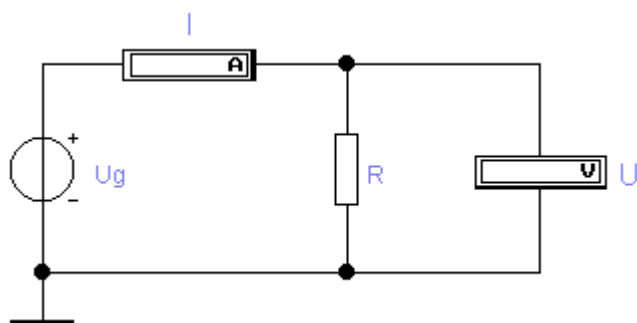
$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{10\Omega} = 0.1\text{S}$$

Odgovor: Prevodnost upora je 0.1S .

3.2. MERJENJE ELEKTRIČNEGA TOKA IN NAPETOSTI

Električni tok skozi porabnik izmerimo tako, da ampermeter vežemo zaporedno k porabniku.

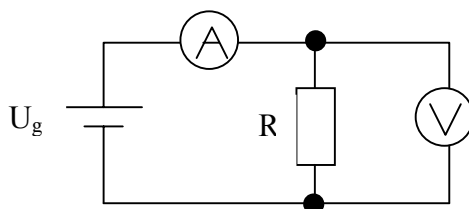
Električno napetost izmerimo tako, da voltmeter vežemo vzporedno k porabniku.



Na sliki je:

$U_g[V]$	... vir napetosti
$I[A]$	... ampermeter za merjenje toka
$U[V]$	... voltmeter za merjenje napetosti
R	... porabnik

Če zamenjamo simbole vira napetosti, ampermetra in voltmetra je slika sledeča:



Naloga 16

Določi tok in napetost na upor $R=1k\Omega$, ki je priključen na napetost vira $U_G=12V$!

Rešitev:

$$U = U_G = 12V$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12V}{1k\Omega} = 12mA$$

Odgovor: Tok skozi upor je 12mA, napetost na upor je 12V.

Naloga 17

Upor priključimo na napetost vira. Določi tokove in napetosti na upor $R=100\Omega$, če napetost vira U_G spreminjamo od 0V do 10V po korakih 1V. Tokove in napetosti upora prikaži v tabeli !

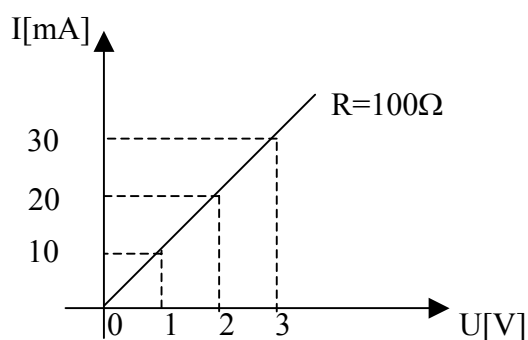
Rešitev:

U_G [V]	I [mA]	U [V]
0	0	0
1	10	1
2	20	2
3	30	3
4	40	4
5	50	5
6	60	6
7	70	7
8	80	8
9	90	9
10	100	10

Naloga 18

Nariši graf U-I upora, če je $R=100\Omega$!

Rešitev:

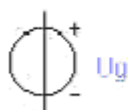


3.3. VZPOREDNA VEZAVA NAPETOSTNIH VIROV

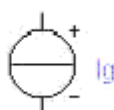
Napetostni viri so vezani vzporedno, če so istoimenski poli povezani skupaj.

Pri vzporedni vezavi elementov je napetost na elementih **vedno** enaka, zato morajo imeti napetostni viri pri vzporedni vezavi **enako** napetost.

Realni viri imajo notranjo upornost, ki je pri napetostnih virih zelo **majhna** in pri tokovnih virih zelo **velika**.

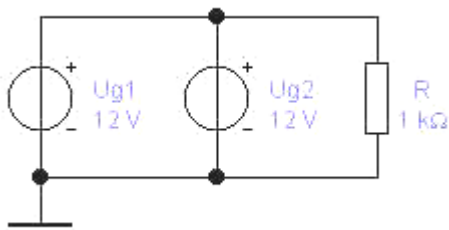


Idealni napetostni vir

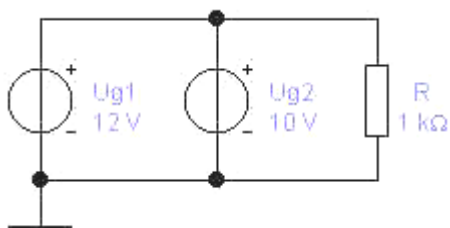


Idealni tokovni vir

Primer **dovoljene** vzporedne vezave dveh napetostnih virov:



Primer **nedovoljene** vzporedne vezave dveh napetostnih virov:



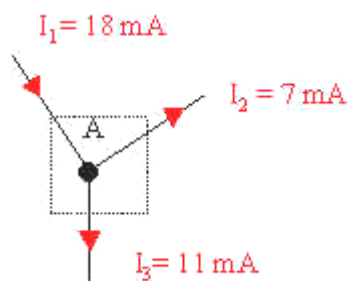
Napetosti virov nista enaki!

3.4. PRVI KIRCHHOFFOV ZAKON

I Kirchhoffov zakon ali zakon tokovnega vozlišča pravi, da je vsota pritekajočih tokov v vozlišče enaka vsoti odtekajočih tokov iz vozlišča.

Primer

Zapiši enačbo I Kirchhoffovega zakona za vozlišče A!



Rešitev:

pritekajoči tok odtekajoča tokova

$$I_1 = I_2 + I_3$$
$$18 \text{ mA} = 7 \text{ mA} + 11 \text{ mA}$$

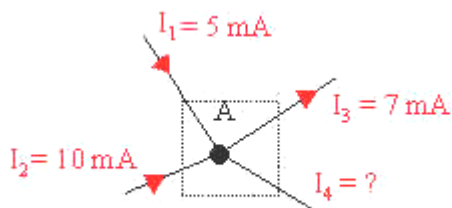
I Kirchhoffov zakon krajše: vsota vseh tokov v vozlišču je enaka nič.

V zgornjem primeru je: $I_1 + (-I_2) + (-I_3) = 0$

Vzeli smo, da ima pritekajoči tok pozitivni predznak, odtekajoči tok pa negativni predznak. Lahko bi bilo tudi obratno.

Naloga 19

Nariši smer in izračunaj velikost toka I_4 !



Rešitev:

Ker je vsota pritekajočih tokov $I_1 + I_2$ večja od odtekajočega toka I_3 , je tok I_4 **odtekajoči tok**.

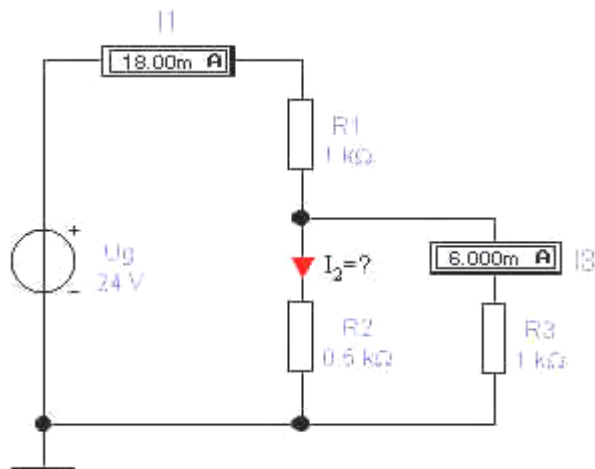
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 \Rightarrow$$

$$I_4 = I_1 + I_2 - I_3 = 5 \text{ mA} + 10 \text{ mA} - 7 \text{ mA} = 8 \text{ mA}$$

Odgovor: Odtekajoči tok I_4 je 8 mA.

Naloga 20

Izračunaj, kolikšen tok teče skozi upor R_2 ?



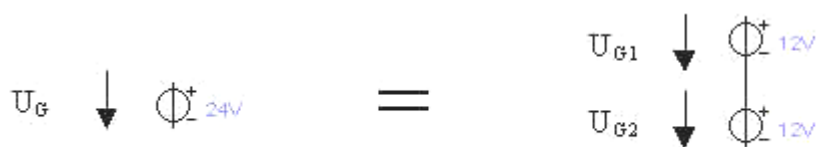
Rešitev:

$$I_2 = I_1 - I_3 = 18\text{mA} - 6\text{mA} = 12\text{mA}$$

Odgovor: Skozi upor R_2 teče tok 12mA

3.5. ZAPOREDNA VEZAVA NAPETOSTNIH VIROV

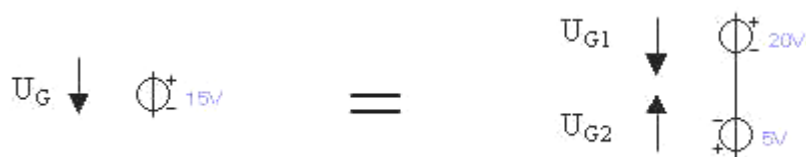
Primer seštevanja napetosti:



Če minus pol prvega napetostnega vira povežemo s plus polom drugega napetostnega vira, se napetosti virov seštevata.

$$U_G = U_{G1} + U_{G2}$$

Primer odštevanja napetosti:



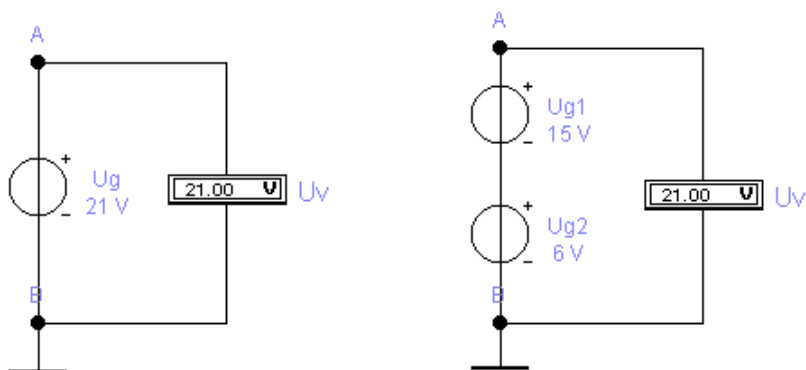
Če minus pol prvega napetostnega vira povežemo z minus polom drugega napetostnega vira, se napetosti virov odštevata.

$$U_G = U_{G1} - U_{G2}$$

Naloga 21

Zaporedno veži napetostna vira $U_{G1}=15V$ in $U_{G2}=6V$ tako, da boš dobil med poloma A in B napetost $U_G=21V$.

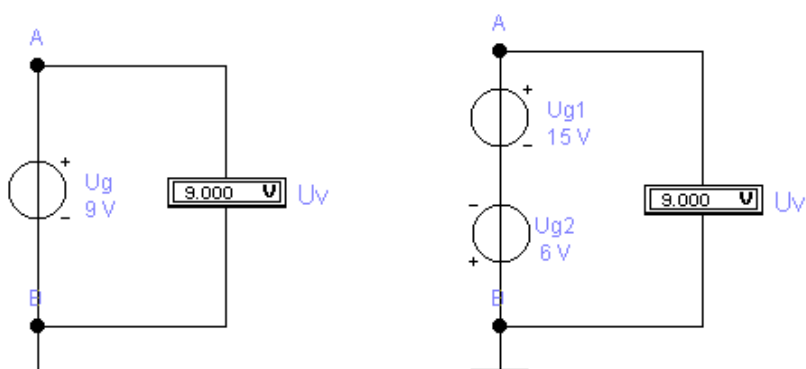
Rešitev:



Naloga 22

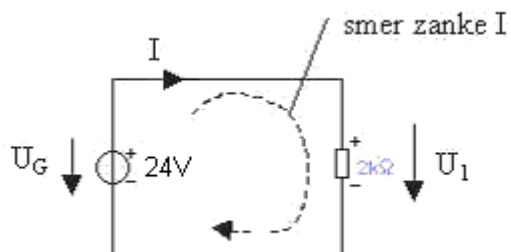
Zaporedno veži napetostna vira $U_{G1}=15V$ in $U_{G2}=6V$ tako, da boš dobil med poloma A in B napetost $U_G=9V$.

Rešitev:



3.6. DRUGI KIRCHHOFFOV ZAKON

II Kirchhoffov zakon ali zakon napetostne zanke pravi, da je v zanki vsota napetosti virov enaka vsoti padcev napetosti na porabnikih.



napetost vira padec napetosti na upor

$$U_G = U_1$$

II Kirchhoffov zakon krajše: vsota vseh napetosti v zanki je enaka nič.

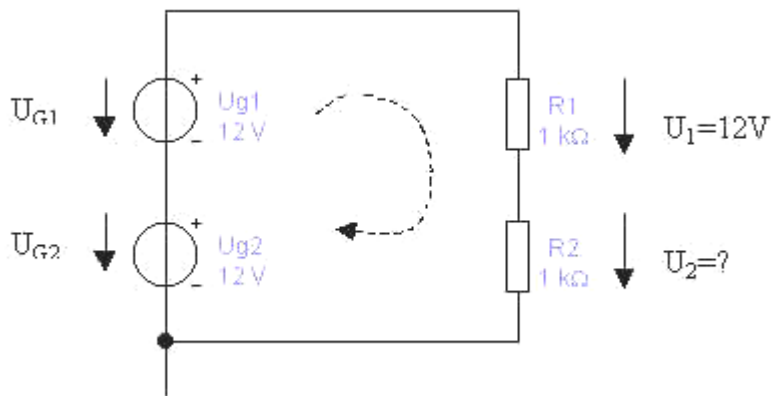
V zgornjem primeru je: $U_1 + (-U_G) = 0$

Napetost ima pozitivni predznak, če se smer napetosti ujema s smerjo zanke in negativni predznak, če se smer napetosti ne ujema s smerjo zanke. Smer pozitivne napetosti je vedno od »+« proti »-« polu.

Pri uporju je narisana smer napetosti enaka smeri toka, pri napetostnem viru pa je narisana smer napetosti nasprotna smeri toka. Smer zanke je lahko nasprotna smer toka.

Naloga 23

Izračunaj napetost U_2 !



Rešitev:

$$U_1 + U_2 - U_{G2} - U_{G1} = 0$$

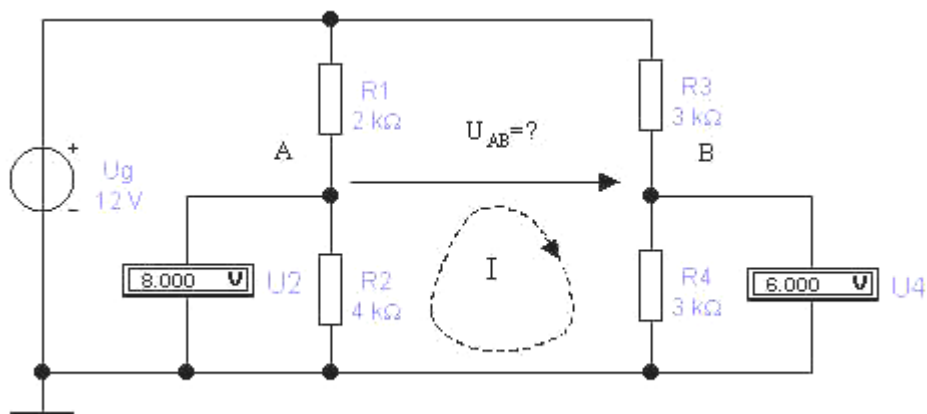
$$U_2 = U_{G2} + U_{G1} - U_1$$

$$U_2 = 12V + 12V - 12V = 12V$$

Odgovor: Napetost U_2 je 12V.

Naloga 24

Izračunaj napetost med točkama A in B , ki se nahaja v zanki I , če je $U_2=8V$ in $U_4=6V$!



Rešitev:

$$U_{AB} + U_4 - U_2 = 0$$

$$U_{AB} = U_2 - U_4$$

$$U_{AB} = 8V - 6V = 2V$$

Odgovor: Napetost med točkama A in B je 2V.

VAJE

21. Kolikšna je upornost upora, če smo na njem izmerili napetost 10V in tok skozenj 2mA?

(Rešitev: $R=5k\Omega$)

22. Imamo upor z upornostjo $1k\Omega$. Kolikšna sme biti največja priključena napetost, da ne bo tok skozenj večji kot 100mA?

(Rešitev: $U_{\max}=100V$)

23. Kolikšen tok teče skozi 22Ω porabnik, če je na njem napetost 220V?

(Rešitev: $I=10A$)

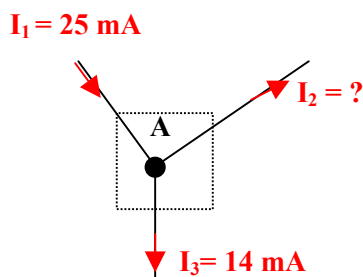
24. Kolikšne so prevodnosti uporov, če so upornosti $0.1M\Omega$; $10k\Omega$; 10Ω ; $100m\Omega$?

(Rešitev: $10\mu S$; $0.1mS$; $0.1S$; $0.01kS$)

25. Prevodnost porabnika je $0.01S$. Kolikšen tok teče skozi porabnik, če je na njem napetost 10V ?

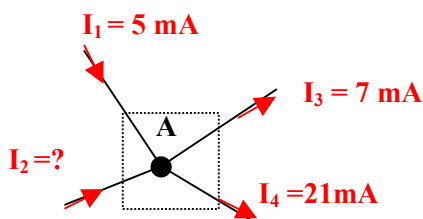
(Rešitev: $I=0.1A$)

26. Izračunaj tok I_2 !



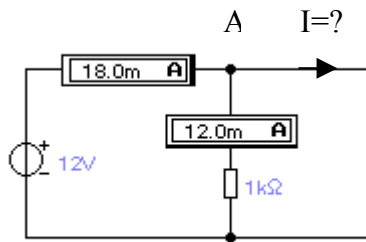
(Rešitev: $I_2=11 \text{ mA}$)

27. Izračunaj tok I_2 !



(Rešitev: $I_2=23 \text{ mA}$)

28. Narisan je levi del vezja. Izračunaj kolikšen je odtekajoči tok I v vozlišču A, če kažeta ampermetra 18mA in 12 mA ?



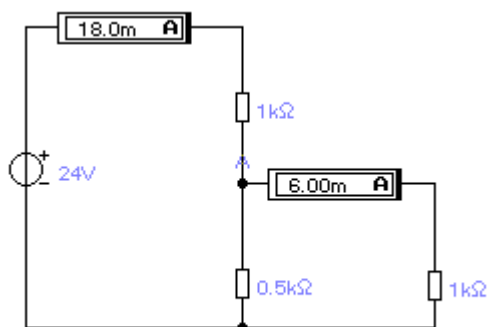
(Rešitev: $I=6\text{mA}$)

29. Napetostni vir $U_{G1}=9\text{V}$, $U_{G2}=12\text{V}$ in $U_{G3}=15\text{V}$.

Nariši vezave napetostnih virov, katera opisujejo enačbe:

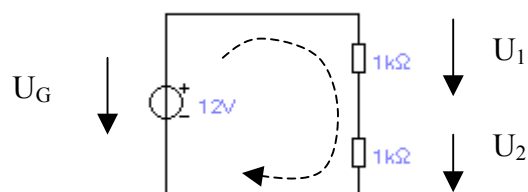
- $U_G = U_{G1} + U_{G2}$
- $U_G = U_{G1} - U_{G2}$
- $U_G = U_{G1} - U_{G2} - U_{G3}$

30. Izračunaj iz vezave, kolikšen tok teče skozi $0.5\text{k}\Omega$ upor!



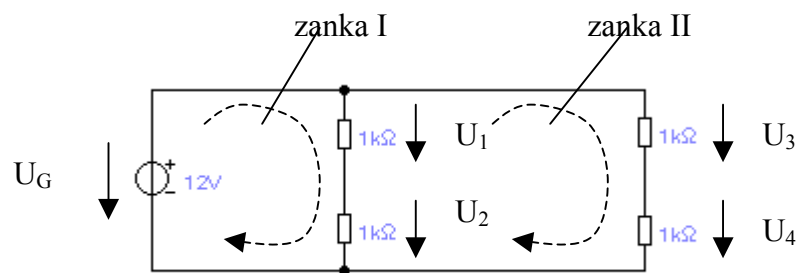
(Rešitev: 12mA)

31. Zapiši zančno enačbo !



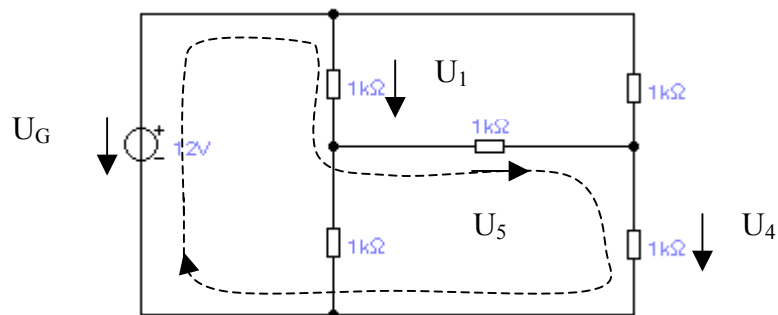
(Rešitev: $U_1+U_2-U_G=0$)

32. Zapiši zankni enačbi za zanko I in zanko II !



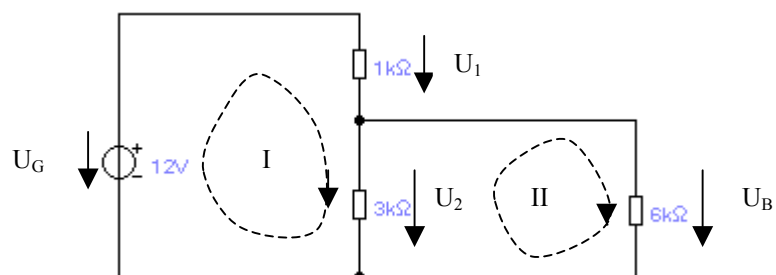
(Rešitev: zanka I: $U_1 + U_2 - U_G = 0$; zanka II: $U_3 + U_4 - U_2 - U_1 = 0$)

33. Za narisano zanko zapiši zankno enačbo !



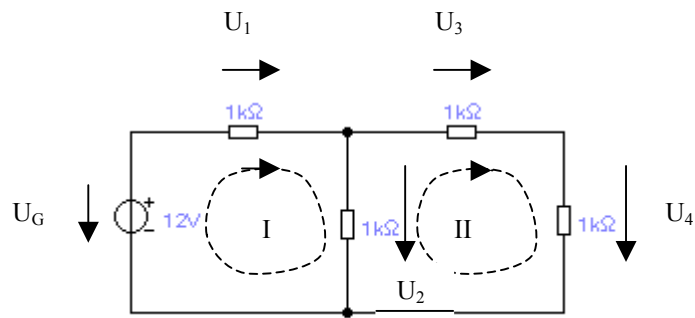
(Rešitev: $U_1 + U_5 + U_4 - U_G = 0$)

34. Zapiši zankni enačbi za zanko I in zanko II !



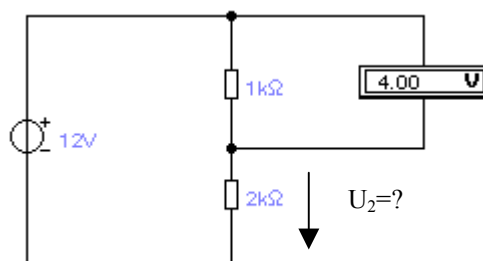
(Rešitev: zanka I: $U_1 + U_2 - U_G = 0$; zanka II: $U_B - U_2 = 0$)

35. Zapiši zankni enačbi za zanko I in zanko II !



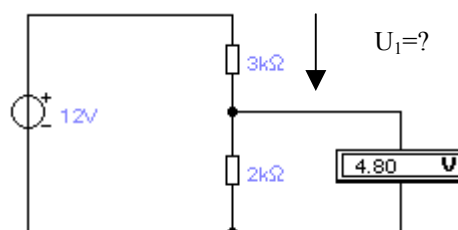
(Rešitev: zanka I: $U_1 + U_2 - U_G = 0$; zanka II: $U_3 + U_4 - U_2 = 0$)

36. Izračunaj napetost na $2k\Omega$ uporu.



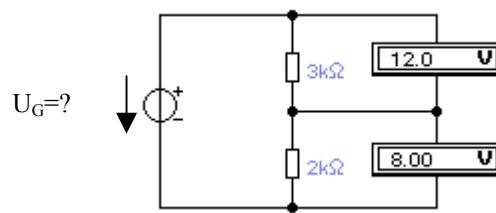
(Rešitev: $U_2 = 8V$)

37. Izračunaj napetost na $3k\Omega$ uporu.



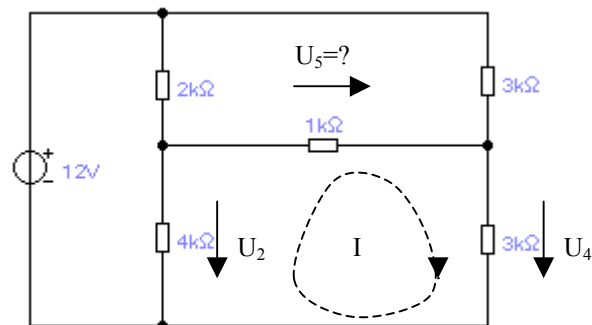
(Rešitev: $U_1 = 7.2V$)

38. Izračunaj napetost vira U_G .



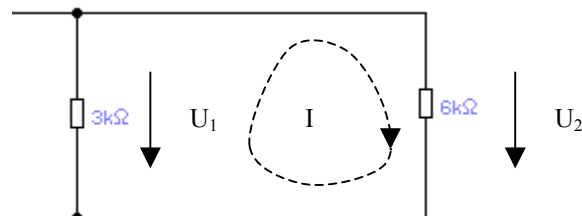
(Rešitev: $U_G=20\text{V}$)

39. Izračunaj napetost U_5 , ki se nahaja v zanki I, če je $U_2=8\text{V}$ in $U_4=6\text{V}$



(Rešitev: $U_5=2\text{V}$)

40. Izračunaj napetost U_1 v zanki I, če je $U_2=10\text{V}$



(Rešitev: $U_1=10\text{V}$)

4. LASTNOSTI IN ZAKONITOSTI ELEKTRIČNIH KROGOV

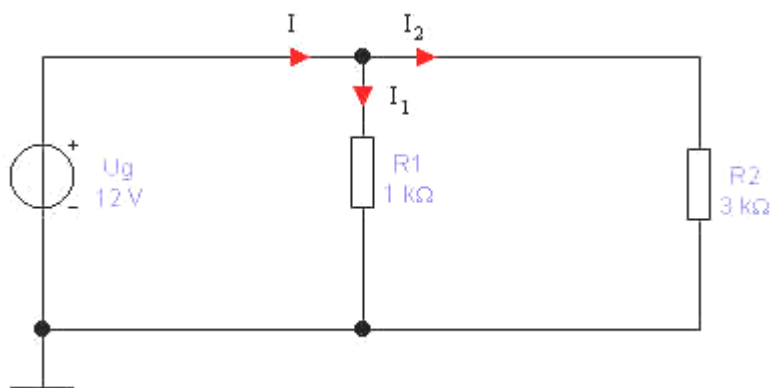
Osnovna električna kroga sta vzporedni in zaporedni električni krog. S sestavljanjem obeh krogov dobimo sestavljeni električni krog.

4.1. VZPOREDNA VEZAVA UPOROV

Pri vzporedni vezavi so napetosti na elementih enake. Tokove skozi elemente izračunamo po **Ohmovem zakonu**. Skupni tok vzporedne vezave pa izračunamo po **I Kirchhoffovem zakonu**.

Primer

Viru napetosti $U_G=12V$ priključimo vzporedno vezavo dveh uporov z upornostjo $R_1=1k\Omega$ in $R_2=3k\Omega$. Izračunaj tokova skozi upora in skupni tok vezave!



Rešitev:

Pri vzporedni vezavi so napetosti na elementih **enake**.

$$U_G = U_1 = U_2 = 12V$$

Tokova skozi upora R_1 in R_2 sta:

$$I_1 = \frac{U_G}{R_1} = \frac{12V}{1k\Omega} = 12mA, \text{ ker je } U_1 = U_G = 12V$$

$$I_2 = \frac{U_G}{R_2} = \frac{12V}{3k\Omega} = 4mA, \text{ ker je } U_2 = U_G = 12V$$

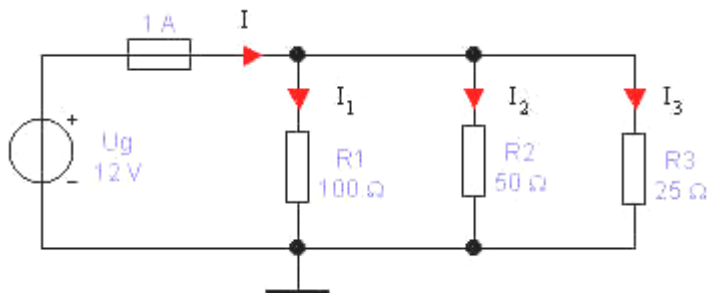
Skupni tok vzporedne vezave pa je

$$I = I_1 + I_2 = 12mA + 4mA = 16mA$$

Vzporednemu električnemu krogu pravimo tudi **delilnik toka**, ker se skupni tok razdeli na tokove porabnikov.

Naloga 25

Izračunaj ali 1–amperska varovalka izklopi tokokrog!



Rešitev:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

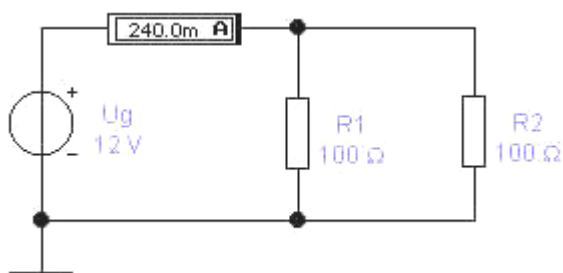
$$I = \frac{U_G}{R_1} + \frac{U_G}{R_2} + \frac{U_G}{R_3}$$

$$I = \frac{12V}{100\Omega} + \frac{12V}{50\Omega} + \frac{12V}{25\Omega} = 0.12A + 0.24A + 0.48A = 0.84A$$

Odgovor: 1–amperska varovalka ne izklopi tokokroga.

Naloga 26

Izračunaj, koliko sto ohmskih uporov bi morali vzporedno vezati, da bi nam ampermeter kazal več kot 1A?



Rešitev:

Ker so vse upornosti enake, so tudi vsi tokovi skozi upore enaki. Tok skozi upor R_1 je

$$I_1 = \frac{U_G}{R_1} = \frac{12V}{100\Omega} = 0.12A = 120mA = I_2$$

Ko imamo vzporedno vezana dva upora, nam ampermeter kaže 240mA. Da nam bo kazal več kot 1A, moramo vzporedno dodati še nekaj uporov. Koliko?

$$I = N \cdot I_1 > 1A ; N = \text{število uporov}$$

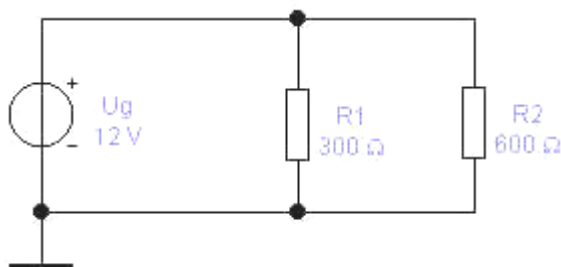
$$N > \frac{1A}{I_1} = \frac{1A}{0.12A} = 8.33$$

$$N = 9$$

Odgovor: Da bi nam ampermeter kazal več kot en amper, bi morale biti vzporedno vezanih devet 100-ohmskih uporov.

Naloga 27

Izračunaj tok skozi upor R_1 in tok skozi upor R_2 , če je $U_G=12V$, $R_1=300\Omega$ in $R_2=600\Omega$!



Rešitev:

Tok skozi upor R_1 je

$$I_1 = \frac{U_G}{R_1} = \frac{12V}{300\Omega} = 0.04A = 40mA$$

Tok skozi upor R_2 je

$$I_2 = \frac{U_G}{R_2} = \frac{12V}{600\Omega} = 0.02A = 20mA$$

Večji tok teče skozi tisti porabnik, ki ima manjšo upornost oziroma večjo prevodnost. V našem primeru je tok I_1 dvakrat večji od toka I_2 , ker je upornost R_1 za polovico manjša od upornosti R_2 .

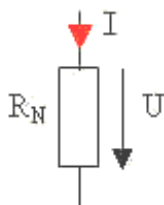
Tok skozi upor R_2 lahko dobimo tudi po formuli:

$$I_2 = \frac{R_1}{R_2} \cdot I_1 = \frac{300\Omega}{600\Omega} \cdot 40mA = 20mA$$

Odgovor: Tok skozi upor R_1 je 40mA in tok skozi upor R_2 je 20mA.

4.1.1. Nadomestna upornost vzporedne vezave uporov

Če vse upore nadomestimo z enim uporom, dobimo nadomestni upor. Njegova upornost, ki se imenuje nadomestna upornost, je odvisna od vezave in upornosti posameznih uporov.



Nadomestni upor vzporedne vezave

Nadomestna upornost R_N je razmerje napetosti U in skupnega toka I .

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

Nadomestno upornost lahko določimo z meritvijo napetosti in skupnega toka ali z izračunom upornosti vezave.

Nadomestno upornost vzporedne vezave dobimo:

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

$$\frac{U}{R_N} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots$$

Ker ima leva stran enačbe napetost U in vsak člen desne strani enačbe napetost U , lahko napetost U izpustimo in dobimo:

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

Obratna vrednost nadomestne upornosti vzporedne vezave je enaka vsoti obratnih vrednosti upornosti uporov.

Nadomestna upornost vzporedne vezave je vedno manjša od upornosti posameznega upora.

Pri računanju nadomestne upornosti vzporedne vezave uporov je najtežje seštevanje ulomkov (skupni imenovalec, ... ponovi ulomke!).

Ker je prevodnost $G=1/R$, je nadomestna prevodnost vzporedne vezave

$$G_N = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

Nadomestna prevodnost vzporedne vezave je enaka vsoti prevodnosti uporov.

Primer

Zapiši enačbo nadomestne upornosti za vzporedno vezavo dveh uporov R_1 in R_2 .

Rešitev:

Izhajamo iz enačbe nadomestne prevodnosti $G_N = G_1 + G_2$

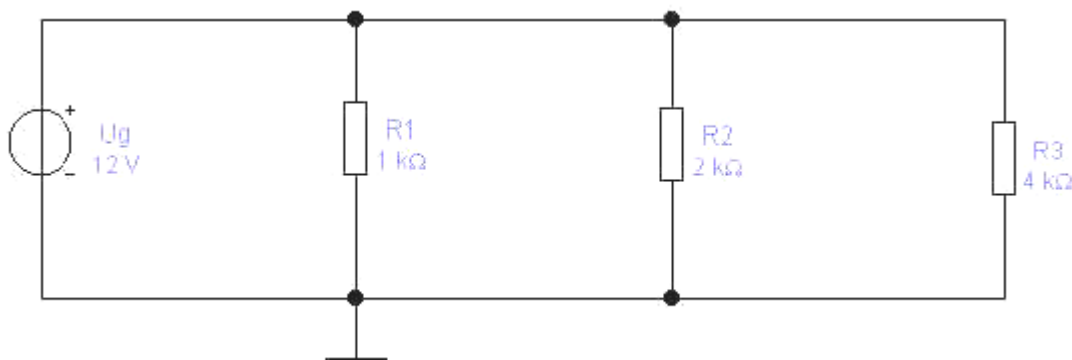
$$\frac{1}{R_N} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{R_1}{R_1 \cdot R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow$$

$$R_N = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Naloga 28

Viru napetosti z napetostjo $U_G=12V$ priključimo vzporedno vezavo treh uporov z upornostmi $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$ in $R_3=4k\Omega$.

- Izračunaj nadomestno prevodnost in nadomestno upornost vezave**
- Izračunaj skupni tok vzporedne vezave.**



Rešitev:

a) Nadomestna prevodnost vzporedne vezave je

$$G_N = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}\right)\text{mS} = \frac{4+2+1}{4}\text{mS} = \frac{7}{4}\text{mS} = 1.75\text{mS}$$

in nadomestna upornost vzporedne vezave je

$$R_N = \frac{1}{G_N} = \frac{4}{7}\text{k}\Omega \approx 571.43\Omega$$

b) Skupni tok vzporedne vezave je

$$I = \frac{U_G}{R_N} = \frac{12V}{\frac{4}{7}\text{k}\Omega} = 21\text{mA}$$

Odgovor: Nadomestna prevodnost je 1.75mS, nadomestna upornost je 571.43Ω in skupni tok vzporedne vezave je 21mA.

Naloga 29

Kolikšen je skupni tok vzporedne vezave iz naloge 28, če napetost izvora povečamo na 24V?

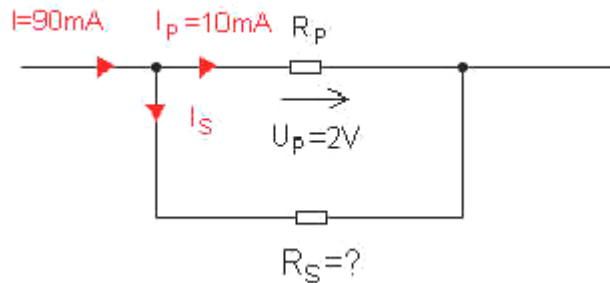
Rešitev:

$$I = \frac{U_G}{R_N} = \frac{24V}{\frac{4}{7}\text{k}\Omega} = 42\text{mA}$$

Odgovor: Če napetost izvora povečamo 2–krat, se tudi skupni tok vzporedne vezave poveča 2–krat, to je 42 mA.

Naloga 30

Porabnik s podatki 2V/10mA želimo vključiti v tokokrog s tokom 90mA. Kolikšna je upornost soupora, ki ga vežemo vzporedno k porabniku?



Rešitev:

Ker sme preko porabnika R_P teči tok le 10mA, moramo ostalih 80mA speljati preko soupora R_S .

$$I_S = I - I_P = 90\text{mA} - 10\text{mA} = 80\text{mA}$$

Napetosti na obeh uporih sta enaki

$$U_S = U_P = 2\text{V}$$

$$R_S = \frac{U_S}{I_S} = \frac{2\text{V}}{80\text{mA}} = 25\Omega$$

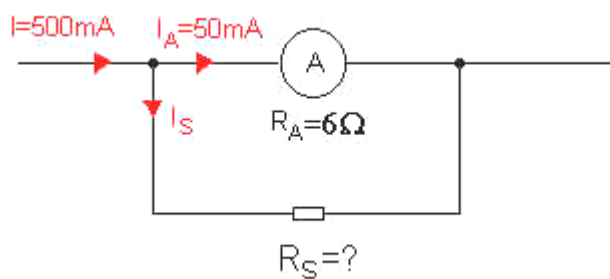
Odgovor: Vzporedno moramo vezati soupor z upornostjo 25Ω .

4.2. RAZŠIRJANJE MERILNEGA OBMOČJA AMPERMETRA

Ampermetru razširimo merilno območje tako, da mu vzporedno vežemo upor, ki ga imenujemo soupor (shunt).

Primer

Z ampermetrom, katerega merilno območje je 50mA in notranja upornost 6Ω , želimo meriti tokove do 500mA. Kolikšna je ohmska upornost soupora R_S ?



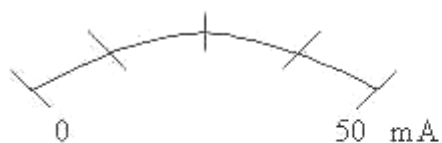
Rešitev:

$$U_S = U_A$$

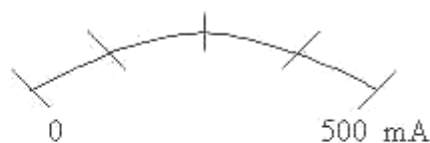
$$U_A = I_A \cdot R_A = 50\text{mA} \cdot 6\Omega = 0.3\text{V} = 300\text{mV}$$

$$R_S = \frac{U_S}{I - I_A} = \frac{300\text{mV}}{500\text{mA} - 50\text{mA}} = \frac{300\text{mV}}{450\text{mA}} = 0.666\Omega$$

Odgovor: Če želimo meriti tokove do 500mA, je potreben soupor z upornostjo 0.666Ω .



Merilno območje brez soupora



Merilno območje s souporom

Naloga 31

Z ampermetrom, katerega merilno območje je $I_A = 300\text{mA}$, smo s souporom $R_S = 0.5\Omega$ razširili merilno območje na $I = 1200\text{mA}$. Izračunaj notranjo upornost ampermetra R_A !

Rešitev:

$$R_A = \frac{(I - I_A) \cdot R_S}{I_A} = \frac{(1200mA - 300mA) \cdot 0.5\Omega}{300mA} = 1.5\Omega$$

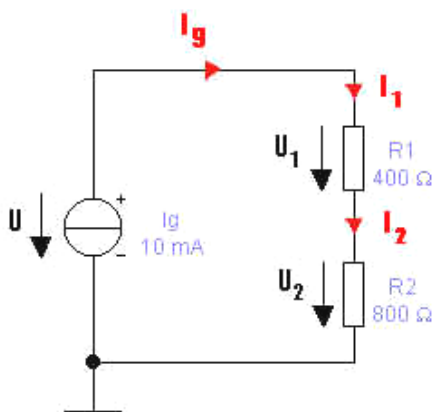
Odgovor: Notranja upornost ampermetra je 1.5Ω

4.3. ZAPOREDNA VEZAVA UPOROV

Pri zaporedni vezavi so tokovi enaki skozi vse elemente. Napetosti na elementih izračunamo po Ohmovem zakonu. Skupno napetost zaporedne vezave izračunamo po II Kirchhoffovem zakonu.

Primer

Viru toka $I_G = 10mA$ priključimo zaporedno vezavo dveh uporov z upornostjo $R_1 = 400\Omega$ in $R_2 = 800\Omega$. Izračunaj padca napetosti na uporih in skupno napetost zaporedne vezave!



Rešitev:

Pri zaporedni vezavi so **tokovi enaki** skozi vse elemente.

$$I_G = I_1 = I_2 = 10mA$$

Padca napetosti na uporih sta

$$U_1 = R_1 \cdot I_G = 400\Omega \cdot 10mA = 4V$$

$$U_2 = R_2 \cdot I_G = 800\Omega \cdot 10mA = 8V$$

Skupna napetost zaporedne vezave je

$$U = U_1 + U_2 = 4V + 8V = 12V$$

Zaporednemu električnemu krogu pravimo tudi **delilnik napetosti**, ker se skupna napetost razdeli na napetosti porabnikov.

4.3.1. Nadomestna upornost zaporedne vezave uporov

Nadomestna upornost zaporedne vezave R_N je razmerje skupne napetosti U in toka I zaporedne vezave.

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

Nadomestno upornost lahko določimo z meritvijo skupne napetosti in toka ali z izračunom upornosti zaporedne vezave.

Nadomestno upornost zaporedne vezave dobimo:

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

$$I \cdot R_N = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 + \dots$$

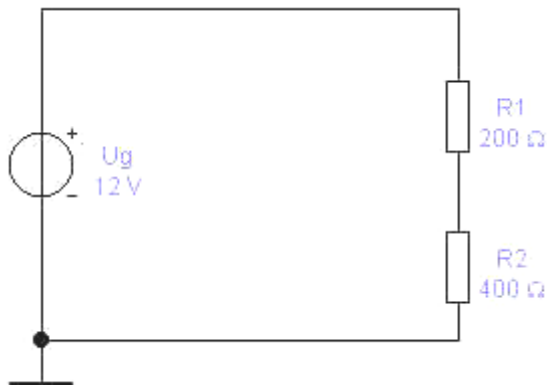
Ker ima leva stran enačbe tok I in vsak člen desne strani enačbe tok I , lahko tok I izpustimo in dobimo:

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

Nadomestna upornost zaporedne vezave je enaka vsoti upornosti uporov.

Naloga 32

Določi napetosti U_1 in U_2 pri zaporedni vezavi, če je $U_G=12V$, $R_1=200\Omega$ in $R_2=400\Omega$.



Rešitev:

Nadomestna upornost je

$$R_N = R_1 + R_2 = 200\Omega + 400\Omega = 600\Omega$$

Skupni tok je

$$I = \frac{U_G}{R_N} = \frac{12V}{600\Omega} = 0.02A = 20mA$$

Ker je tok enak, je

$$U_1 = R_1 \cdot I = 200\Omega \cdot 0.02A = 4V$$

$$U_2 = R_2 \cdot I = 400\Omega \cdot 0.02A = 8V$$

Večja napetost je na tistem porabniku, ki ima večjo upornost. V našem primeru je napetost U_2 dvakrat večja od napetosti U_1 , ker je upornost R_2 dvakrat večja od upornosti R_1 .

Napetost na upor R_2 lahko dobimo tudi po formuli:

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 = \frac{400\Omega}{200\Omega} \cdot 4V = 8V$$

Odgovor: Napetost U_1 je 4V in U_2 je 8V.

Naloga 33

Viru napetosti $U_G=12V$ priključimo zaporedno vezavo treh uporov z upornostmi $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$ in $R_3=3k\Omega$.

- a) Izračunaj nadomestno upornost zaporedne vezave**
- b) Izračunaj tok zaporedne vezave**

Rešitev:

- a) Nadomestna upornost zaporedne vezave je

$$R_N = R_1 + R_2 + R_3 = 1k\Omega + 2k\Omega + 3k\Omega = 6k\Omega$$

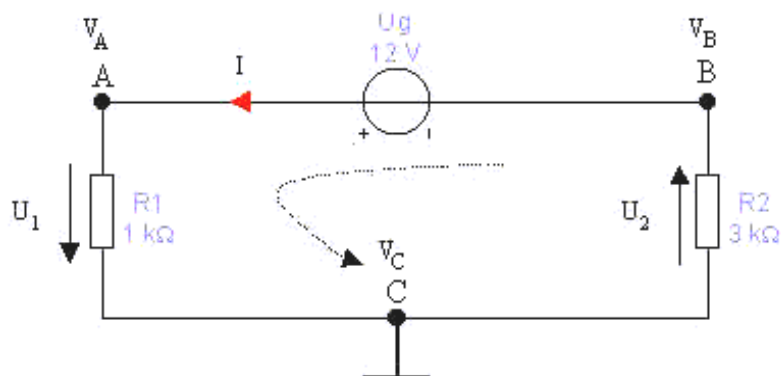
- b) Tok zaporedne vezave je

$$I = \frac{U_G}{R_N} = \frac{12V}{6k\Omega} = 2mA$$

Odgovor: Nadomestna upornost zaporedne vezave je $6k\Omega$, tok pa 2mA.

Naloga 34

Izračunaj, kolikšni so električni potenciali v točkah A, B in C ?



Rešitev:

Smer toka po dogovoru označimo od plus pola proti minus polu napetostnega vira. Smer napetosti je pri uporabi **enaka** smeri toka, pri napetostnem izvoru pa je smer napetosti **nasprotna** smeri toka.

V zgornjem primeru je električni potencial v točki C 0V (masa), v točki A je večji od nič voltov (+ pol napetostnega izvora), v točki B je manjši od nič voltov (– pol napetostnega izvora).

$$U_1 + U_2 - U_G = 0 \quad \text{II} \quad \text{Kirchhoffov zakon}$$

$$I \cdot (R_1 + R_2) = U_G \Rightarrow I = \frac{U_G}{R_1 + R_2} = \frac{12\text{V}}{4\text{k}\Omega} = 3\text{mA} \quad \text{Ohmov zakon}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I = 1\text{k}\Omega \cdot 3\text{mA} = 3\text{V}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I = 3\text{k}\Omega \cdot 3\text{mA} = 9\text{V}$$

Sedaj pa ni težko določiti električnih potencialov:

$$V_C = 0\text{V}$$

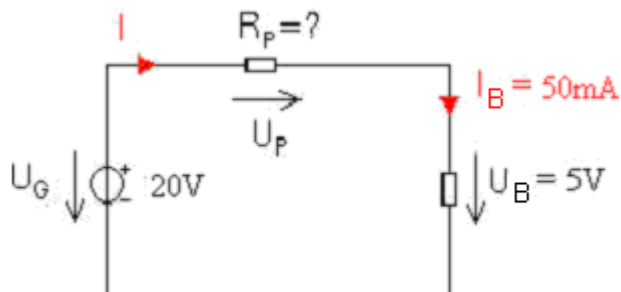
$$U_1 = U_{AC} = V_A = 3\text{V}$$

$$U_2 = U_{CB} = -V_B = 9\text{V} \Rightarrow V_B = -9\text{V}$$

Odgovor: Električni potencial v točki A je 3V, v točki B je –9V in v točki C je 0V.

Naloga 35

Porabnik želimo priključiti na napetostni vir. Določi upornost predupora, ki je zaporedno vezan k porabniku, če ima napetostni vir $U_G=20V$ in porabnik nazivne podatke $5V/50mA$!



Rešitev:

Ker na porabniku napetost ne sme presegati vrednosti 5V, napetost vira pa je 20V, moramo dodati predupor, na katerem bo padec napetosti 15V .

$$U_P = U_G - U_B = 20V - 5V = 15V$$

Tok skozi predupor je enak toku porabnika.

$$I_P = I_B = 50mA$$

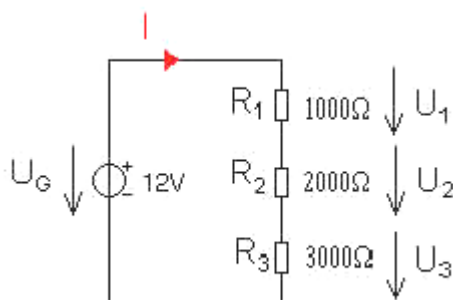
Predupor izračunamo:

$$R_P = \frac{U_P}{I_P} = \frac{15V}{50mA} = \frac{15V}{0.05A} = 300\Omega = 0.3k\Omega$$

Odgovor: Upornost predupora je 300Ω .

Naloga 36

Viru napetosti $U_G=12V$ priključimo zaporedno vezavo treh uporov z upornostjo $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$ in $R_3=3k\Omega$. Izračunaj napetosti U_1 , U_2 , U_3 ter tok I !



Rešitev:

Nadomestna upornost je

$$R_N = R_1 + R_2 + R_3 = 1000\Omega + 2000\Omega + 3000\Omega = 6000\Omega = 6k\Omega$$

Tok zaporedne vezave

$$I = \frac{U}{R_N} = \frac{12V}{6k\Omega} = 2mA$$

Padci napetosti na posameznih uporih so:

$$U_1 = R_1 \cdot I = 1k\Omega \cdot 2mA = 2V$$

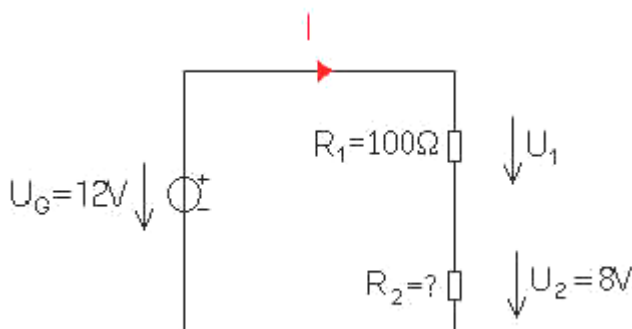
$$U_2 = R_2 \cdot I = 2k\Omega \cdot 2mA = 4V$$

$$U_3 = R_3 \cdot I = 3k\Omega \cdot 2mA = 6V$$

Odgovor: Nadomestna upornost je 6000Ω , tok je $2mA$, napetost na prvem uporu je $2V$, na drugem $4V$ in na tretjem $6V$.

Naloga 37

Izračunaj upornost R_2 delilnika napetosti tako, da bo napetost $U_2=8V$!



Rešitev:

Napetost U_1 dobimo po II Kirchhoffovem zakonu:

$$U_1 + U_2 - U_G = 0 \Rightarrow U_1 = U_G - U_2 = 12V - 8V = 4V$$

Ker je napetost na uporu R_2 podana, moramo izračunati tok skozi upor R_2 , ki je enak toku skozi upor R_1 .

$$I_2 = I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{4V}{100\Omega} = 0.04A = 40mA$$

Upornost R_2 je

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{8V}{0.04A} = 200\Omega = 0.2k\Omega$$

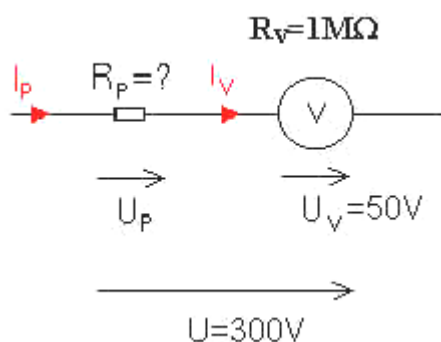
Odgovor: Upornost R_2 je 200Ω .

4.4. RAZŠIRITEV MERILNEGA OBMOČJA VOLTMETRA

Voltmetru razširimo merilno območje tako, da zaporedno vežemo predupor.

Primer

Z voltmetrom, katerega merilno območje je $50V$ in notranja upornost $1M\Omega$, želimo meriti napetosti do $300V$. Kolikšna je ohmska upornost predupora R_P ?



Rešitev:

$$U_P = U - U_V = 300V - 50V = 250V \quad \text{Napetost na preduporu.}$$

Tok skozi predupor je enak toku skozi voltmeter.

$$I_P = I_V = \frac{U_V}{R_V} = \frac{50V}{1M\Omega} = 50\mu A = 0.00005A$$

$$R_P = \frac{U_P}{I_P} = \frac{250V}{0.00005A} = 5M\Omega$$

Upornost predupora lahko dobimo tudi po formuli:

$$R_p = \frac{U - U_V}{U_V} \cdot R_V = \frac{250V}{50V} \cdot 1M\Omega = 5M\Omega$$

Odgovor: Če želimo meriti napetosti do 300V, je potreben predupor 5MΩ.



Merilno območje brez predupora



Merilno območje s preduporom

4.5. SESTAVLJENA VEZAVA UPOROV

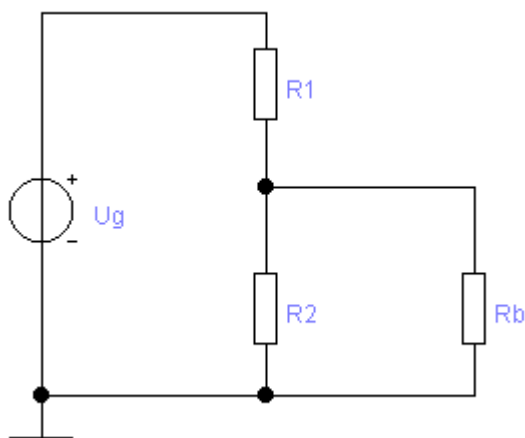
Sestavljeni električni krog združuje lastnosti in zakonitosti vzporednega in zaporednega električnega kroga.

Obravnavali bomo obremenjen delilnik napetosti, mostično vezje in druge sestavljene vezave.

4.5.1. Obremenjen delilnik napetosti

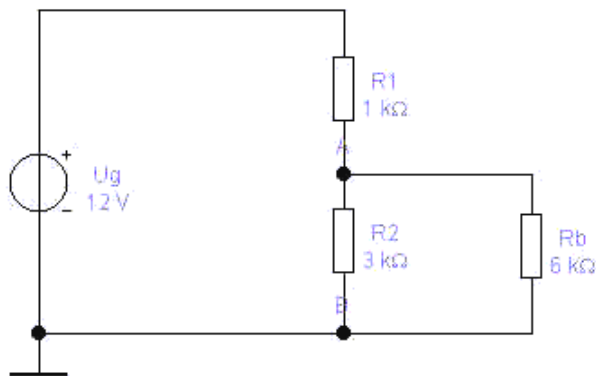
Obremenjen delilnik napetosti je delilnik napetosti z vzporedno dodanim uporom, ki ima funkcijo bremena.

V praksi uporabljamo obremenjen delilnik napetosti, ko želimo iz višje napetosti dobiti nižjo.



Primer

Izračunaj nadomestno upornost, vse tokove in napetosti obremenjenega delilnika napetosti, ki ima napetost vira $U_G=12V$ in upornosti $R_1=1k\Omega$, $R_2=3k\Omega$ in $R_B=6k\Omega$.



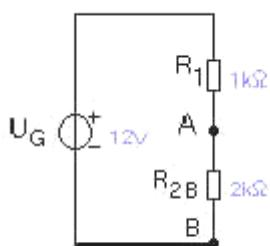
Obremenjen delilnik napetosti

Rešitev:

Če bi bil samo en upor med točkama A in B, bi bil to navaden ali neobremenjen delilnik napetosti.

Upornost med točkama A in B je upornost vzporedne vezave upora R_2 in R_B

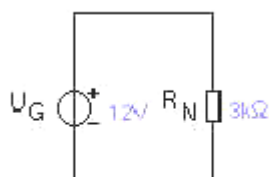
$$R_{2B} = \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B} = \frac{3k\Omega \cdot 6k\Omega}{3k\Omega + 6k\Omega} = 2k\Omega$$



Delna nadomestna vezava

Nadomestna upornost je vsota upornosti R_1 in R_{2B}

$$R_N = R_1 + R_{2B} = 1k\Omega + 2k\Omega = 3k\Omega$$



Nadomestna vezava

V nadomestni vezavi je skupni tok

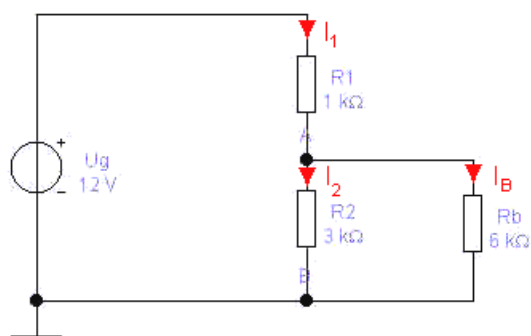
$$I = \frac{U}{R_N} = \frac{12V}{3k\Omega} = 4mA$$

Napetost med točkama A in B v delni nadomestni vezavi je

$$U_2 = U_B = R_{2B} \cdot I = 2k\Omega \cdot 4mA = 8V$$

kjer je (glej delno nadomestno vezavo):

- $U_2=U_B$; **napetost med točkama A in B**
- R_{2B} ; **upornost med točkama A in B**
- I ; **tok, ki vstopa v točka A in izstopa iz točke B.**



Ostali tokovi in napetosti so:

$$I_1 = I = 4mA$$

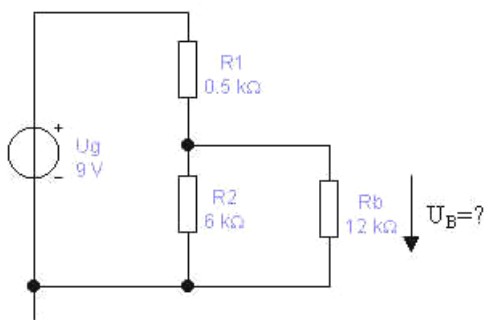
$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1k\Omega \cdot 4mA = 4V$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{8V}{3k\Omega} = 2.67mA$$

$$I_B = \frac{U_B}{R_B} = \frac{8V}{6k\Omega} = 1.33mA$$

Naloga 38

Izračunaj napetost bremena U_B obremenjenega delilnika napetosti, ki ima napetost vira $U_G=9V$ in upornosti $R_1=0.5k\Omega$, $R_2=6k\Omega$ in $R_B=12k\Omega$.



Rešitev:

Do enačbe napetosti bremena U_B pridemo postopoma

$$U_B = R_{2B} \cdot I = \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B} \cdot I$$

$$I = \frac{U_G}{R_N} = \frac{U_G}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B}}$$

Če enačbo toka I vstavimo v enačbo za napetost bremena U_B , dobimo

$$U_B = \frac{R_{2B}}{R_N} \cdot U_G$$

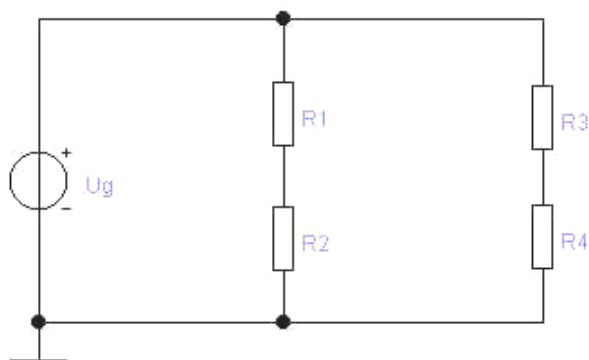
$$U_B = \frac{\frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B} \cdot U_G}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_B}{R_2 + R_B}} = \frac{4\text{k}\Omega \cdot 9\text{V}}{0.5\text{k}\Omega + 4\text{k}\Omega} = 8\text{V}$$

Odgovor: Napetost bremena je 8V.

4.5.2. Mostično vezje

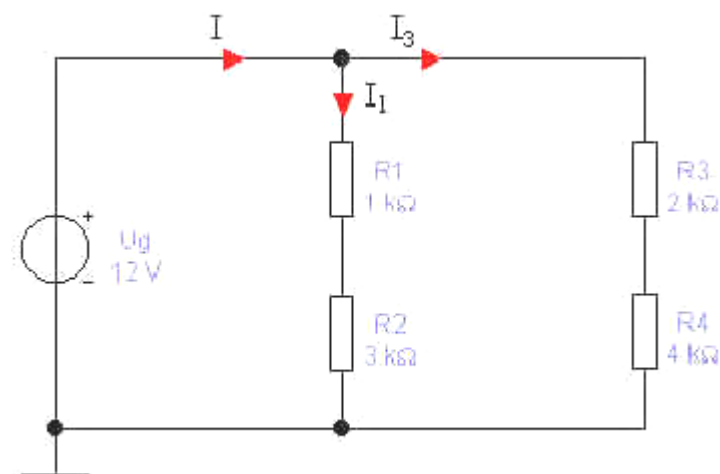
Mostično vezje je sestavljeno iz dveh vzporedno vezanih delilnikov napetosti.

Mostične vezave uporabljamo pri meritvah in v krmilni ter regulacijski tehniki.



Primer

Izračunaj nadomestno upornost, vse tokove in napetosti v mostični vezavi, ki ima napetost vira $U_G=12V$ in upornosti $R_1=1k\Omega$, $R_2=3k\Omega$, $R_3=2k\Omega$ in $R_4=4k\Omega$.



Rešitev:

Mostična vezava je vzporedna vezava dveh delilnikov napetosti. V našem primeru ima delilnik napetosti z upornostjo R_1 in R_2 upornost $4k\Omega$ in delilnik napetosti z upornostjo R_3 in R_4 upornost $6k\Omega$. Nadomestna upornost mostične vezave pa je

$$R_N = \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{4k\Omega \cdot 6k\Omega}{4k\Omega + 6k\Omega} = 2.4k\Omega$$

Skozi delilnik napetosti je tok enak, zato je $I_1=I_2$ in $I_3=I_4$.

$$I_1 = I_2 = \frac{U_G}{R_1 + R_2} = \frac{12V}{4k\Omega} = 3mA$$

$$I_3 = I_4 = \frac{U_G}{R_3 + R_4} = \frac{12V}{6k\Omega} = 2mA$$

Skupni tok I je:

$$I = I_1 + I_3 = 3mA + 2mA = 5mA$$

Napetosti so:

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1k\Omega \cdot 3mA = 3V$$

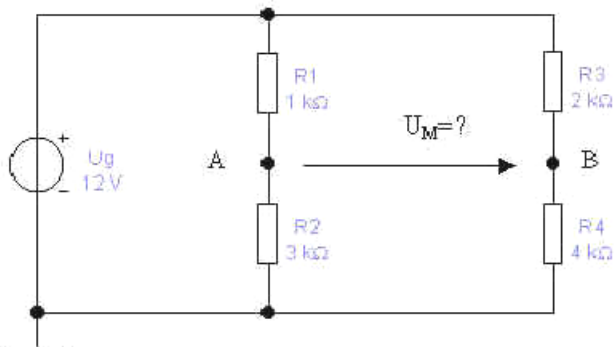
$$U_2 = R_2 \cdot I_2 = 3k\Omega \cdot 3mA = 9V$$

$$U_3 = R_3 \cdot I_3 = 2k\Omega \cdot 2mA = 4V$$

$$U_4 = R_4 \cdot I_4 = 4k\Omega \cdot 2mA = 8V$$

Naloga 39

Mostično vezje ima napetost vira $U_G=12V$ in upornosti $R_1=1k\Omega$, $R_2=3k\Omega$, $R_3=2k\Omega$ in $R_4=4k\Omega$. Izračunaj mostično napetost U_M !

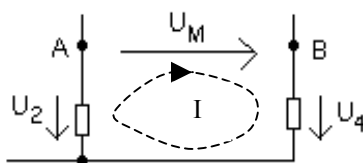


Napetost med točkama A in B je mostična napetost U_M .

Rešitev:

$$U_M = U_{AB}$$

Če narišemo zanko I , ki vsebuje napetosti U_M , U_4 in U_2



lahko po II Kirchhoffovem zakonu zapišemo

$$U_M + U_4 - U_2 = 0 \Rightarrow U_M = U_2 - U_4$$

Napetost U_2 in U_4 izrazimo z upornostmi in napetostjo izvora (delilnik napetosti).

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = \frac{U_G}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{12V}{1k\Omega + 3k\Omega} \cdot 3k\Omega = 9V$$

$$U_4 = I_4 \cdot R_4 = \frac{U_G}{R_3 + R_4} \cdot R_4 = \frac{12V}{2k\Omega + 4k\Omega} \cdot 4k\Omega = 8V$$

$$U_M = U_2 - U_4 = 9V - 8V = 1V$$

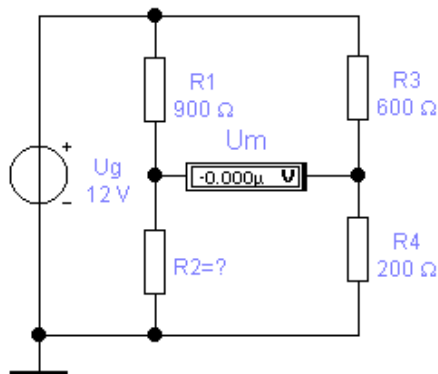
Odgovor: Mostična napetost je 1V.

4.5.3. Ravnotežje mostiča

Če je mostična napetost U_M enaka 0V, pravimo, da je mostič v ravnotežju.

Primer

Določi, pri kateri upornosti R_2 je mostična napetost nič voltov, če je napetost vira $U_G=12V$ in če so upornosti $R_1=900\Omega$, $R_3=600\Omega$ in $R_4=200\Omega$?



Rešitev:

Mostič je v ravnotežju, ko je

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

V našem primeru je mostič v ravnotežju, ko je upornost upora R_2

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3} = \frac{900\Omega \cdot 200\Omega}{600\Omega} = 300\Omega$$

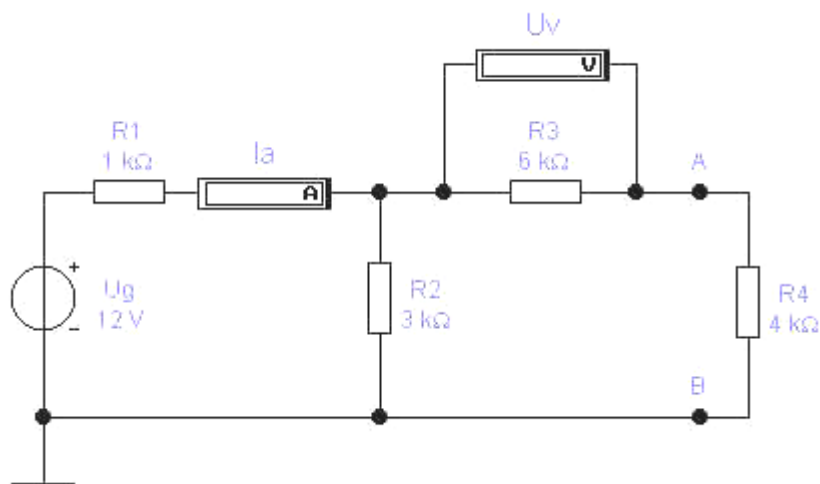
Odgovor: Mostič je v ravnotežju, ko je upornost upora R_2 300Ω.

4.5.4. Poljubna sestavljena vezava

Naloga 40

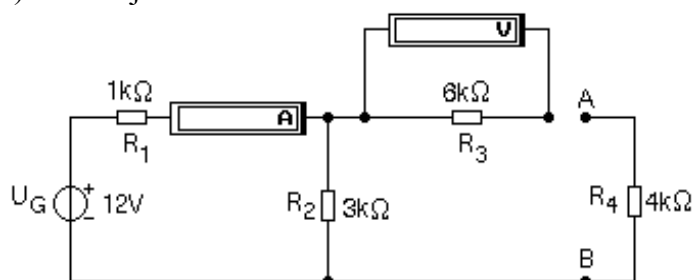
Sestavljena vezava z upori $R_1=1\text{k}\Omega$, $R_2=3\text{k}\Omega$, $R_3=6\text{k}\Omega$ in $R_4=4\text{k}\Omega$ je priključena na napetost vira $U_G=12\text{V}$. Koliko nam kažeta ampermeter in voltmeter:

- če se prekine vez v točki A
- če nastane kratek stik med točkama A in B

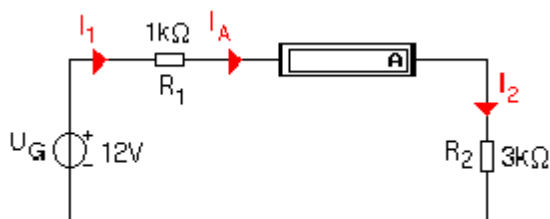


Rešitev:

- Prekinjena vez v točki A



Ker imamo prekinjeno vez v točki A, toka skozi upor R_3 in R_4 ne steče. Zato nam voltmeter kaže 0V. Steče samo tok skozi upora R_1 in R_2 .

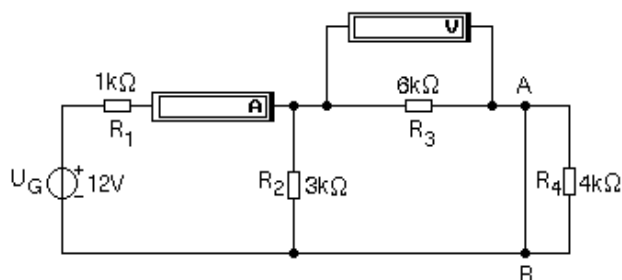


$$I = \frac{U_G}{R_1 + R_2} = \frac{12\text{V}}{1\text{k}\Omega + 3\text{k}\Omega} = 3\text{mA}$$

$$I = I_1 = I_A = I_2 = 3\text{mA}$$

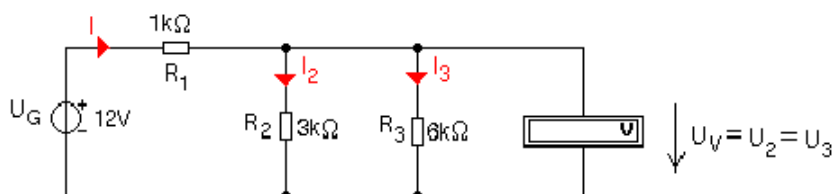
Odgovor: Voltmeter nam kaže 0V, ampermeter pa 3mA.

b) Kratek stik med točkama A in B



Ker imamo kratek stik med točkama A in B, na uporu R_4 ni napetosti in ga lahko izpustimo.

Tok skozi upor R_3 je enak toku skozi kratko vez med točkama A in B. Napetost na uporu R_2 je enaka napetosti na uporu R_3 .



Skupni tok I , ki ga kaže ampermeter je

$$I = I_A = \frac{U_G}{R_N} = \frac{U_G}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{12V}{1k\Omega + 2k\Omega} = 4mA$$

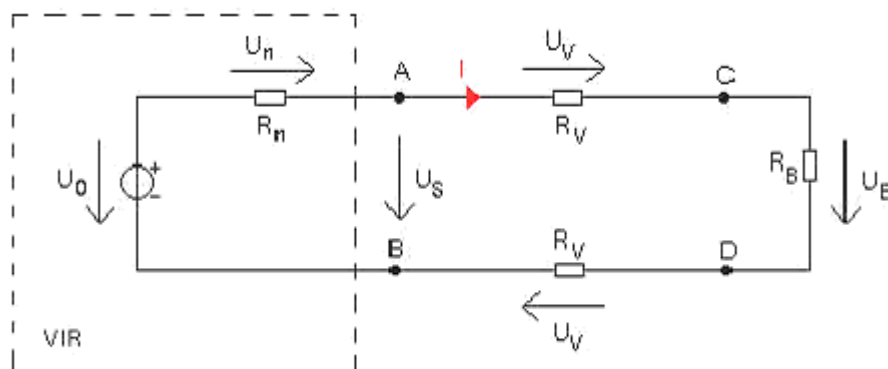
Velikost napetosti, ki ga kaže voltmetr, izračunamo, če upora R_2 in R_3 združimo v namišljeni upor R_{23} (vzporedna vezava R_2 in R_3).

$$U_V = U_2 = U_3 = I \cdot R_{23} = 4mA \cdot 2k\Omega = 8V$$

Odgovor: Voltmeter kaže 8V in ampermeter 4mA.

4.6. REALNI ELEKTRIČNI KROG

Pri realnem električnem krogu upoštevamo notranjo upornost vira R_n in upornost vodnikov R_V .



Nadomestna vezava realnega električnega kroga

V vezavi je:

R_n	... notranja upornost vira
R_V	... upornost vodnika
R_B	... upornost bremena
U_0	... napetost neobremenjenega vira
U_S	... napetost obremenjenega vira
U_n	... napetost na notranji upornosti vira
U_V	... napetost vodnika
U_B	... napetost bremena

Ko breme **ni** priključeno na vir, lahko na sponkah vira z V-metrom izmerimo napetost **neobremenjenega** vira U_0 .

Ko **je** breme priključeno na vir, lahko na sponkah vira z V-metrom izmerimo napetost **obremenjenega** vira U_S , ki je odvisna od upornosti bremena.

V **elektronskih vezjih** ne upoštevamo upornosti povezav R_V med elementi, ker so razdalje med elementi majhne, zato je napetost obremenjenega vira približno enaka napetosti bremena.

$$U_S \approx U_B$$

V **električnih omrežjih** ne upoštevamo notranje upornosti vira R_n , zato je napetost neobremenjenega vira približno enaka napetosti obremenjenega vira.

$$U_0 \approx U_S$$

Če upoštevamo notranjo upornost vira in upornost vodnika, dobimo napetost neobremenjenega vira:

$$U_0 = U_n + U_V + U_B + U_V = U_n + 2 \cdot U_V + U_B$$

Ker je $U = I \cdot R$, dobimo:

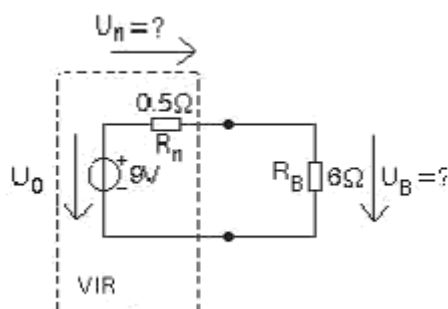
$$U_0 = I \cdot (R_n + 2 \cdot R_V + R_B) ,$$

kjer je $R_V = \frac{\rho \cdot l}{A}$

Glej upornost vodnika pri 20°C !

Naloga 41

Bateriji z napetostjo $U_0 = 9V$ in notranjo upornostjo $R_n = 0.5\Omega$ priključimo breme z upornostjo $R_B = 6\Omega$. Izračunaj padec napetosti na bremenu U_B in padec napetosti na notranji upornosti baterije U_n , če upornost povezave med baterijo in bremenom zanemarimo.



Rešitev:

Imamo delilnik napetosti, kjer je skupni tok

$$I = \frac{U_G}{R_N} = \frac{9V}{0.5\Omega + 6\Omega} = 1.3846A$$

Padec napetosti na notranji upornosti R_n je

$$U_n = R_n \cdot I = 0.5\Omega \cdot 1.3846A = 0.69V$$

Padec napetosti na bremenu R_B je

$$U_B = R_B \cdot I = 6\Omega \cdot 1.3846A = 8.31V$$

Odgovor: Napetost na notranji upornosti baterije je približno 0.69V, napetost bremena pa približno 8.31V.

Naloga 42

Na razdalji $l=50\text{m}$ od vira napetosti priključimo breme. Skozi breme teče tok $I=10\text{A}$. Kolikšen mora biti prerez bakrenega vodnika A , da bo padec napetosti U_V na vodu manjši od 5V ? Specifična upornost bakrenega vodnika je $\rho=0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$.

Rešitev:

$$U_V = 2 \cdot R_V \cdot I = 2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot I < 5\text{V}$$

$$A > 2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{5\text{V}} \cdot I$$

$$A > 2 \cdot \frac{0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m} \cdot 50\text{m}}{5\text{V}} \cdot 10\text{A} = 3.5 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$$

$$A > 3.5\text{mm}^2$$

Odgovor: Prerez bakrenega vodnika mora biti večji od 3.5mm^2 .

4.7. MERJENJE ELEKTRIČNE UPORNOSTI

Električno upornost neposredno merimo z ohmmetrom, posredno pa z ampermetrom in voltmetrom ali z drugimi merilnimi metodami.

Primer 1

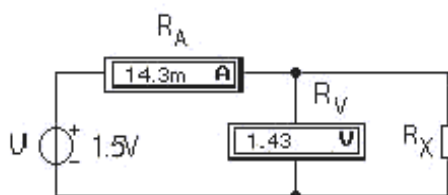
S pomočjo ampermetra in voltmetra določi neznano upornost R_X tako:

- da vežeš ampermeter pred voltmetrom
- da vežeš voltmeter pred ampermetrom

Neznana upornost R_X je priključena na napetost $U=1.5\text{V}$. Ampermeter ima notranjo upornost $R_A=5\Omega$ in voltmeter $R_V=50\text{k}\Omega$. Katera vezava je primernejša?

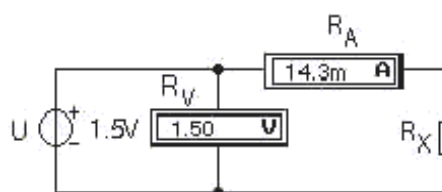
Rešitev:

a)



$$R_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{1.43\text{V}}{14.3\text{mA}} = 100\Omega$$

b)



$$R_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{1.5\text{V}}{14.3\text{mA}} \approx 104.9\Omega$$

Pri obeh vezavah smo izmerili enak tok in različno napetost. V našem primeru je pravilna napetost na uporu $1.43V$, zato je pravilna upornost upora 100Ω .

Zaključek:

Vezava ampermetra pred voltmetrom je primerna za merjenje majhnih upornosti.

Primer 2

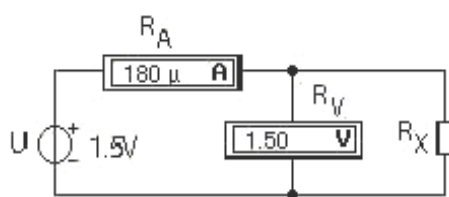
S pomočjo ampermetra in voltmetra določi neznano upornost R_X tako:

- a) da vežeš ampermeter pred voltmetrom
- b) da vežeš voltmeter pred ampermetrom

Neznana upornost R_X je priključena na napetost $U=1.5V$. Ampermeter ima notranjo upornost $R_A=5\Omega$ in voltmeter $R_V=50k\Omega$. Katera vezava je primernejša?

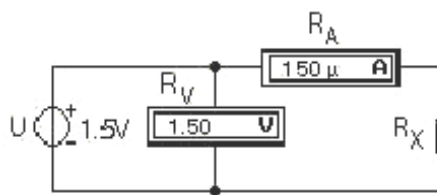
Rešitev:

a)



$$R_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{1.5V}{180\mu A} \approx 8333\Omega$$

b)



$$R_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{1.5V}{150\mu A} = 10000\Omega$$

Pri obeh vezavah smo izmerili enako napetost in različni tok. V našem primeru je pravilni tok skozi upor $150\mu A$, zato je pravilna upornost upora 10000Ω .

Zaključek:

Vezava voltmeter pred ampermetrom je primerna za merjenje velikih upornosti.

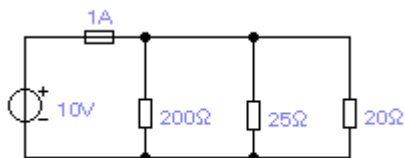
Vrstni red priključevanja ni pomembno, če sta ampermeter in voltmeter idealna ($R_A=0\Omega$, $R_V \rightarrow \infty\Omega$).

VAJE

41. Viru napetosti z napetostjo $U_G=12V$ priključimo vzporedno vezavo dveh uporov z upornostjo $R_1=3k\Omega$ in $R_2=6k\Omega$. Izračunaj tokova skozi upora in skupni tok vzporedne vezave!

(Rešitev: $I_1=4mA$; $I_2=2mA$; $I=6mA$)

42. Izračunaj, če 1–amperska varovalka izklopi tokokrog!



(Rešitev: 1–amperska varovalka ne izklopi tokokroga)

43. Tokokrog hišne razsvetljave z desetimi žarnicami varuje 10A varovalka. Tok skozi eno žarnico je 0.5A. Ali 10A varovalka izklopi tokokrog, če so vključene vse žarnice?

(Rešitev: 10A varovalka ne izklopi tokokroga)

44. Tok skozi eno žarnico je 0.5A. Izračunaj, koliko žarnic lahko največ vežemo vzporedno, da je skupni tok manjši ali enak 10A?

(Rešitev: 20 žarnic)

45. Zapiši enačbo nadomestne upornosti za vzporedno vezavo treh uporov.

(Rešitev: $R_N = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$)

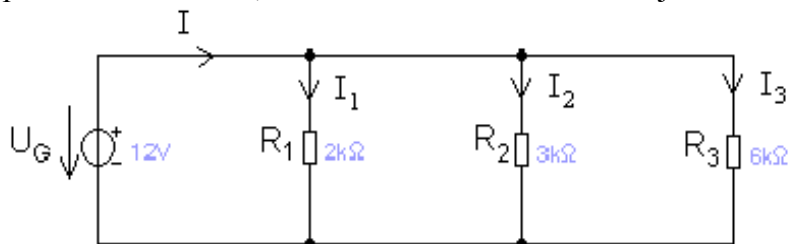
46. Izračunaj nadomestno upornost vzporedne vezave dveh uporov z upornostmi 30Ω in 60Ω !

(Rešitev: $R_N=20\Omega$)

47. Na voljo imamo samo 120–ohmske upore. Kako in koliko uporov moramo povezati skupaj, da dobimo nadomestno upornost 40Ω ?

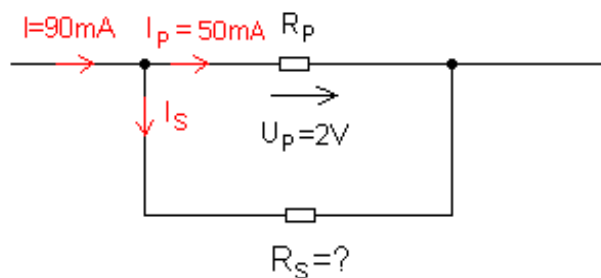
(Rešitev: Tri 120–ohmske upore moramo vezati vzporedno, da dobimo nadomestno upornost 40Ω)

48. Viru napetosti z napetostjo $U_G=12V$ priključimo vzporedno vezavo treh uporov z upornostmi $R_1=2k\Omega$, $R_2=3k\Omega$ in $R_3=6k\Omega$. Izračunaj vse tokove v vezavi!



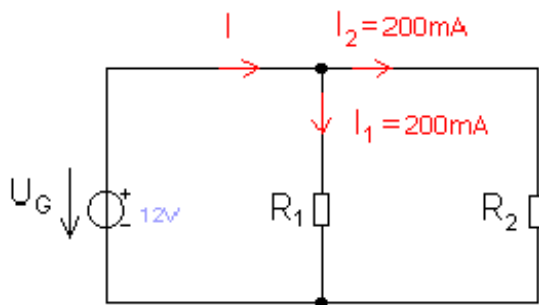
(Rešitev: $I_1=6mA$; $I_2=4mA$; $I_3=2mA$; $I=12mA$)

49. Porabnik s podatki 2V/50mA želimo vključiti v tokokrog s tokom 90mA. Kolikšno upornost soupora moramo vzporedno priključiti porabniku?



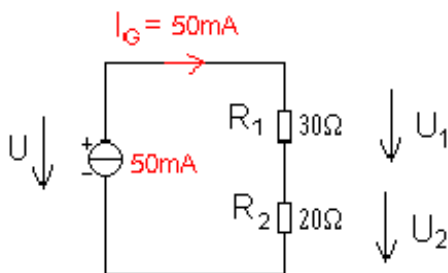
(Rešitev: $R_S = 50\Omega$)

50. Vzporedna vezava porabnikov je delilnik toka. Kolikšna je upornost delilnika toka (nadomestna upornost), če delilnik toka deli tok I , ki priteče iz napetostnega vira na $I_1 = 200\text{mA}$ in $I_2 = 200\text{mA}$? Napetost vira $U_G = 12\text{V}$.



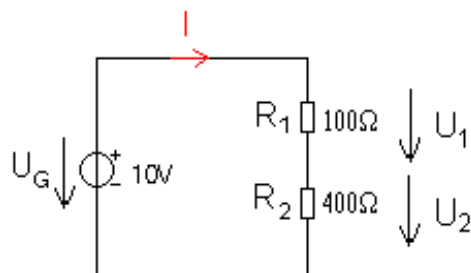
(Rešitev: $R_N = 30\Omega$)

51. Viru toka s tokom $I_G = 50\text{mA}$ priključimo zaporedno vezavo dveh uporov z upornostjo $R_1 = 30\Omega$ in $R_2 = 20\Omega$. Izračunaj padca napetosti na uporih in skupno napetost zaporedne vezave!



(Rešitev: $U_1 = 1.5\text{V}$; $U_2 = 1\text{V}$; $U = 2.5\text{V}$)

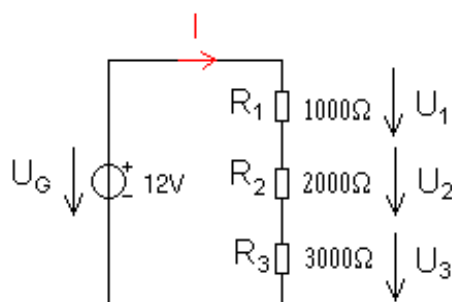
52. Viru napetosti z napetostjo $U_G=10V$ priključimo zaporedno vezavo dveh uporov R_1 in R_2 . Izračunaj padce napetosti na uporih, če je $R_2=400\Omega$ in $R_1=100\Omega$; 200Ω ; 300Ω ; 400Ω ; 500Ω !



Rešitev je podana v tabeli

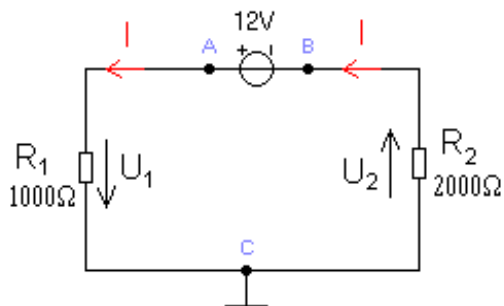
$R_2[\Omega]$	$R_1[\Omega]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$
400	100	8	2
400	200	6.67	3.33
400	300	5.71	4.29
400	400	5	5
400	500	4.44	5.56

53. Viru napetosti z napetostjo $U_G=12V$ priključimo zaporedno vezavo treh uporov z upornostjo $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$ in $R_3=3k\Omega$. Izračunaj padce napetosti U_1 , U_2 in U_3 !



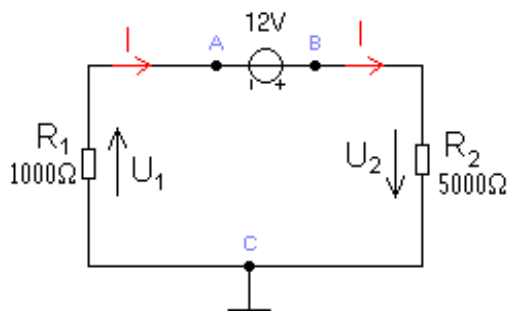
(Rešitev: $U_1=2V$; $U_2=4V$; $U_3=6V$)

54. Izračunaj, kolikšni so električni potenciali v točkah A, B in C, če je $U_G=12V$, $R_1=1k\Omega$ in $R_2=2k\Omega$?



(Rešitev: $V_C=0V$; $V_A=4V$; $V_B=-8V$)

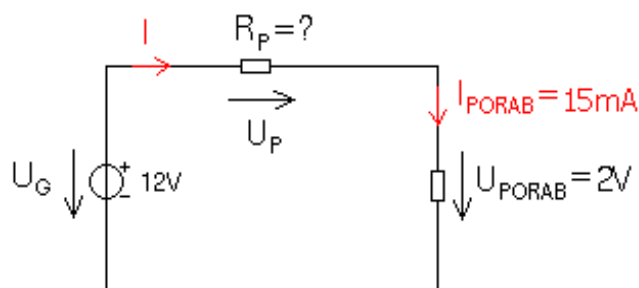
55. Izračunaj, kolikšni so električni potenciali v točkah A, B in C, če je $R_1=1\text{k}\Omega$, $R_2=5\text{k}\Omega$ in $U_G=12\text{V}$; 24V ; 110V ?



Rešitev je podana v tabeli

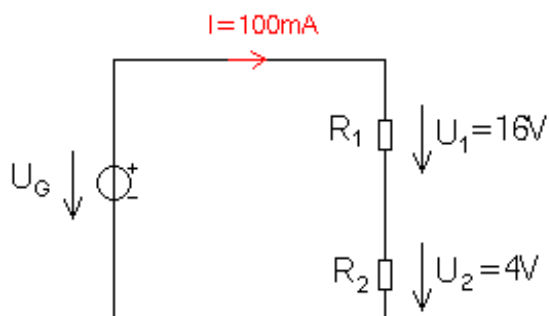
$U_G[\text{V}]$	$V_A[\text{V}]$	$V_B[\text{V}]$	$V_C[\text{V}]$
12	-2	10	0
24	-4	20	0
110	-18.33	91.67	0

56. Porabnik želimo priključiti na napetostni vir. Določi upornost predupora, ki je zaporedno vezan k porabniku, če ima napetostni izvor napetost $U_G=12\text{V}$ in porabnik nazivne podatke $2\text{V}/15\text{mA}$!



(Rešitev: $R_P \approx 667\Omega$)

57. Zaporedna vezava porabnikov je delilnik napetosti. Kolikšna je upornost delilnika napetosti (nadomestna upornost), če delilnik napetosti deli napetost vira na 16V in 4V ? Tok skozi delilnik $I=100\text{mA}$.



(Rešitev: $R_N=200\Omega$)

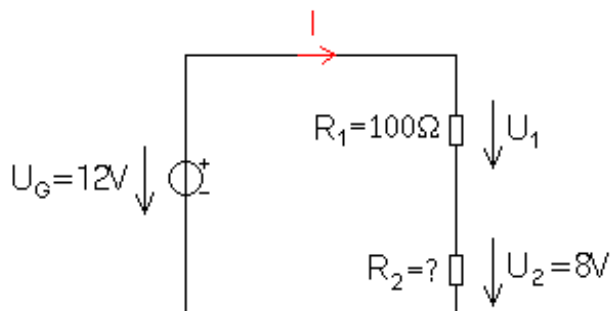
58. Na voljo imamo samo 25-ohmske upore. Kako in koliko uporov moramo povezati skupaj, da dobimo nadomestno upornost 225Ω ?

(Rešitev: Devet 25-ohmskih uporov moramo vezati zaporedno, da dobimo nadomestno upornost 225Ω)

59. Napetost na enem uporju je lahko največ 20V. Koliko enakih uporov lahko vežemo zaporedno k 120V napetostnemu viru?

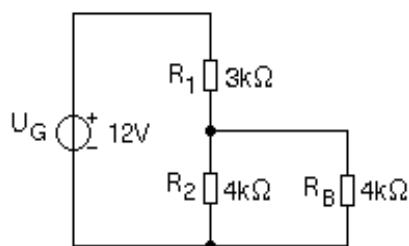
(Rešitev: Šest enakih uporov)

60. Izračunaj upornost R_2 delilnika napetosti tako, da bo napetost $U_2=8V$.



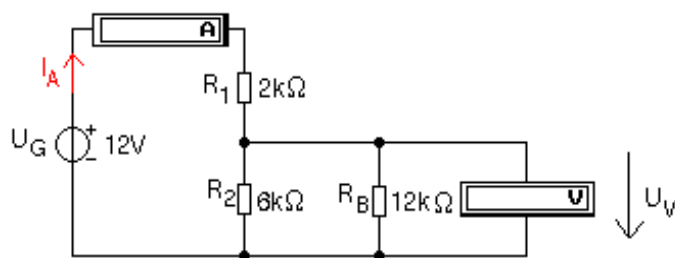
(Rešitev: $R_2=200\Omega$)

61. Izračunaj nadomestno upornost, vse tokove in napetosti obremenjenega delilnika napetosti, ki ima napetost vira $U_G=12V$ in upornosti $R_1=3k\Omega$, $R_2=4k\Omega$ in $R_B=4k\Omega$.



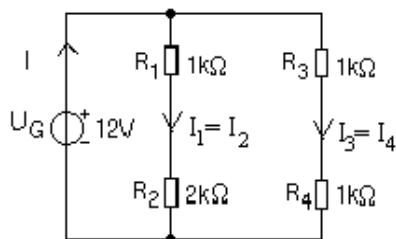
(Rešitev: $R_N=5k\Omega$; $I=I_1=2.4mA$; $U_1=7.2V$; $U_2=U_B=4.8V$; $I_2=I_3=1.2mA$)

62. Izračunaj, koliko nam kažeta ampermeter in voltmeter?



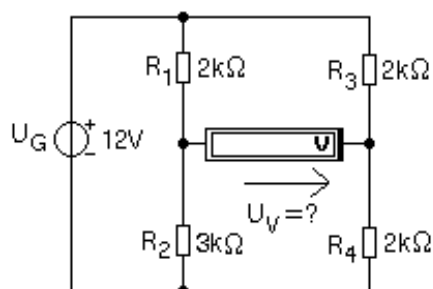
(Rešitev: $I_A=2mA$; $U_V=8V$)

63. Izračunaj nadomestno upornost, vse tokove in napetosti mostiča, ki ima napetost vira $U_G=12V$ in upornosti $R_1=1k\Omega$, $R_2=2k\Omega$, $R_3=1k\Omega$ in $R_4=1k\Omega$.



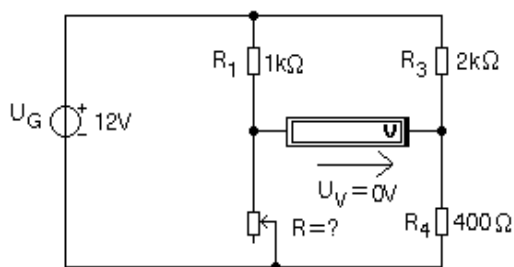
(Rešitev: $R_N=1.2k\Omega$; $I=10mA$; $I_1=I_2=4mA$; $U_1=4V$; $U_2=8V$; $I_3=I_4=6mA$; $U_3=U_4=6V$)

64. Koliko nam kaže voltmeter?



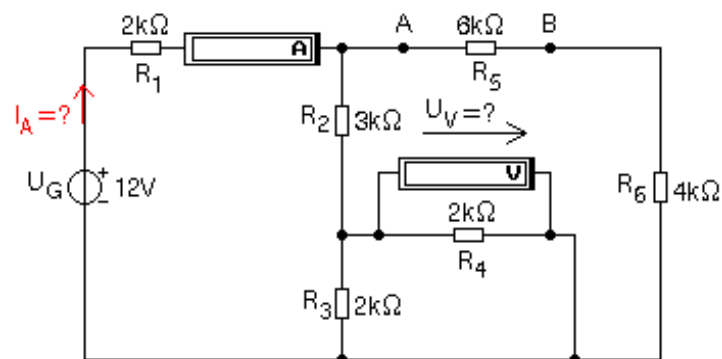
(Rešitev: $U_V=1.2V$)

65. Pri kateri upornosti potenciometra R bo mostič v ravnotežju?



(Rešitev: $R=200\Omega$)

66. Koliko kažeta ampermeter in voltmeter, če se prekine vez v točki A ?

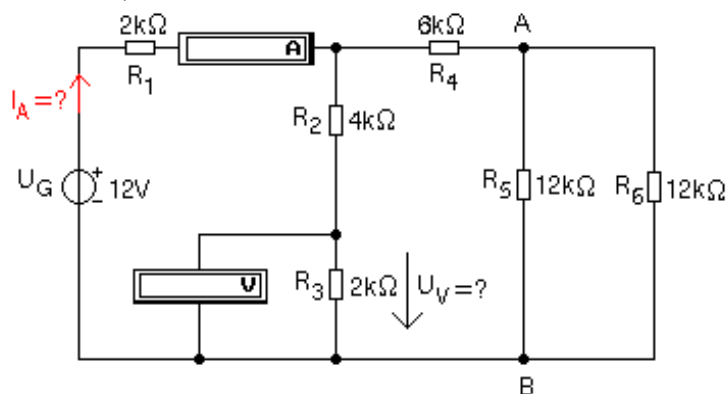


(Rešitev: $I_A=2mA$; $U_V=2V$)

Koliko nam kažeta ampermeter in voltmeter, če vez v točki A ni prekinjena?

(Rešitev: $I_A\approx 2.47mA$; $U_V\approx 1.76V$)

67. Koliko nam kažeta ampermeter in voltmeter, če točki A in B povežemo skupaj (kratek stik)?



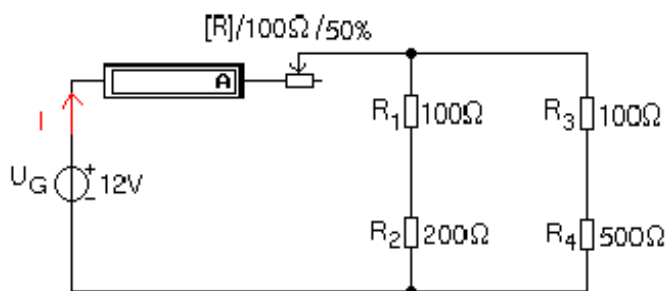
(Rešitev: $I_A = 2.4\text{mA}$; $U_V = 2.4\text{V}$)

Koliko kažeta ampermeter in voltmeter, če med točkama A in B ni kratkega stika?

(Rešitev: $I_A = 2\text{mA}$; $U_V \approx 2.67\text{V}$)

68. Izračunaj območje toka, ki ga lahko kaže ampermeter?

Opomba: Najmanjši tok ampermetra je pri upornosti potenciometra 100Ω , največji tok ampermetra je pri upornosti potenciometra 0Ω .

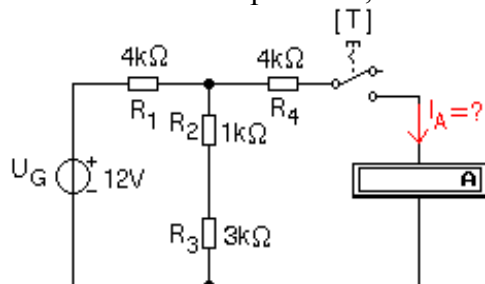


(Rešitev: Ampermeter lahko v vezavi kaže najmanjši tok 40mA in največji tok 60mA)

Izračunaj, pri kateri upornosti potenciometra R nam ampermeter kaže 50mA ?

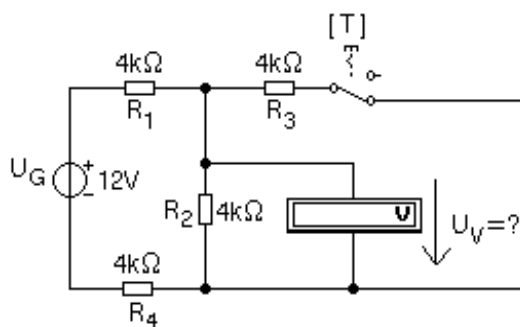
(Rešitev: $R = 40\Omega$)

69. Koliko kaže ampermeter, če sklenemo stikalo?



(Rešitev: $I_A = 1\text{mA}$)

70. Koliko kaže voltmeter, če spremenimo položaj stikala?



(Rešitev: $U_V = 4V$)

71. Bateriji z napetostjo $4.5V$ in notranjo upornostjo 0.5Ω priključimo breme z upornostjo 4Ω . Izračunaj padec napetosti na bremenu in padec napetosti na notranji upornosti vira, če upornost povezave med baterijo in bremena zamenarimo.

(Rešitev: $U_B = 4V$; $U_n = 0.5V$)

72. Napetostni vir ima pri odprtih sponkah $9V$. Izračunaj notranjo upornost vira, če je napetost obremenjenega vira $8.5V$ in upornost bremena 17Ω .

(Rešitev: $R_n = 1\Omega$)

73. Baterija je sestavljena iz treh zaporedno vezanih celic. Napetost ene celice je $1.5V$. Na baterijo priključimo breme z upornostjo 10Ω , skozi katerega teče tok $0.4A$. Izračunaj napetost neobremenjene baterije, notranjo upornost baterije in notranjo upornost ene celice.

(Rešitev: $U_{BAT} = 4.5V$; $R_{BAT} = 1.25\Omega$; $R_C \approx 0.42\Omega$)

74. Na razdalji $50m$ od vira napetosti priključimo breme. Skozi breme teče tok $20A$. Kolikšen mora biti prerez bakrenega vodnika, da ne bo padec napetosti na vodu večji ali enak $5V$? Specifična upornost bakrenega vodnika je $0.0175 \cdot 10^{-6}\Omega m$.

(Rešitev: $A > 7mm^2$)

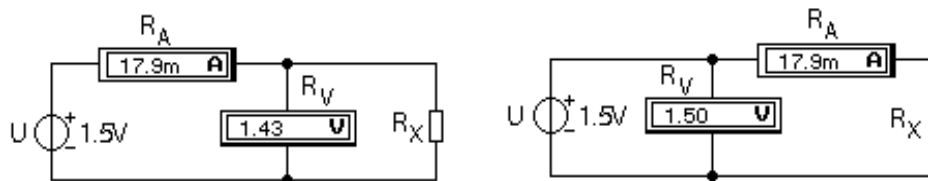
75. Izračunaj padec napetosti na bakrenem vodniku prereza $100mm^2$, dolžine $100m$ in toku $40A$. Specifična upornost bakrenega vodnika je $0.0175 \cdot 10^{-6}\Omega m$.

(Rešitev: $U_V = 0.7V$)

76. Na vir napetosti $220V$ je priključeno breme z upornostjo 100Ω . Vir in breme povezuje kabel, ki ima prerez vodnika $2.5mm^2$, dolžino vodnika $250m$ in specifično upornost vodnika $0.0175 \cdot 10^{-6}\Omega m$. Izračunaj padec napetosti na kablju in padec napetosti na bremenu. Koliko procentov padca napetosti je na kablju?

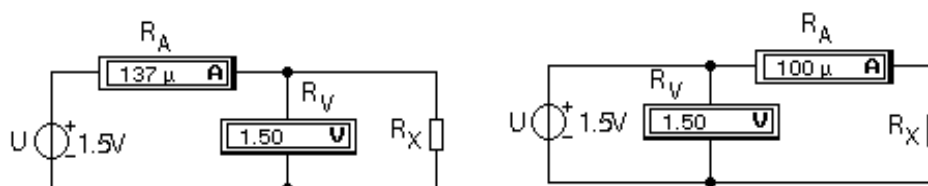
(Rešitev: $U_V \approx 7.4V$; $U_B \approx 212.6V$; $U_V\% \approx 3.4\%$)

77. Kolikšna je neznana upornost R_X , če ima ampermeter notranjo upornost $R_A=4\Omega$ in voltmeter notranjo upornost $R_V=40k\Omega$?



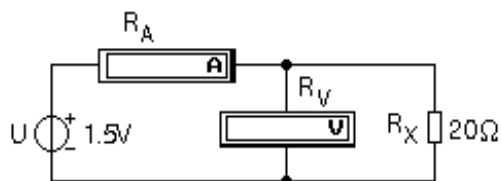
(Rešitev: $R_X=80\Omega$)

78. Kolikšna je neznana upornost R_X , če ima ampermeter notranjo upornost $R_A=4\Omega$ in voltmeter notranjo upornost $R_V=40k\Omega$?



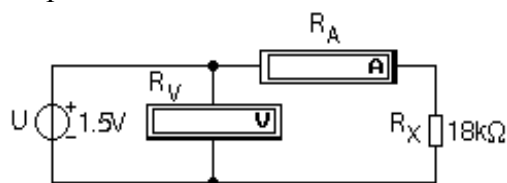
(Rešitev: $R_X=15k\Omega$)

79. Koliko kažeta ampermeter in voltmeter, če ima upor upornost $R_X=20\Omega$, ampermeter $R_A=4\Omega$ in voltmeter $R_V=40k\Omega$?



(Rešitev: $I_A=62.5mA$; $U_V=1.25V$)

80. Koliko kažeta ampermeter in voltmeter, če ima upor upornost $R_X=18k\Omega$, ampermeter $R_A=4\Omega$ in voltmeter $R_V=40k\Omega$?



(Rešitev: $I_A=83.3\mu A$; $U_V=1.5V$)

5. ELEKTRIČNA MOČ IN ELEKTRIČNO DELO

Električno moč in električno delo povezuje čas.

5.1. ELEKTRIČNA MOČ

Električna moč je premo sorazmerna z napetostjo in tokom.

$$P = U \cdot I \quad [W]$$

kjer je :

P [W]	... električna moč, ki jo merimo v vatih ($W=A \cdot V$)
U [V]	... električna napetost
I [A]	... električni tok

Če vstavimo v enačbo moči $U=R \cdot I$ in $I=U/R$, dobimo še dve obliki enačbe za moč:

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

Moč, ki ga daje vir, je enaka vsoti moči na porabnikih električnega vezja.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Primer

Kolikšna je električna moč P žarnice, če je napetost na žarnici $U=220V$ in tok skozi žarnico $I=0.5A$?

Rešitev:

$$P = U \cdot I = 220V \cdot 0.5A = 110W$$

Odgovor: Moč žarnice je 110W.

Naloga 43

Kolikšen tok steče skozi grelnik vode, katerega moč je 2.3kW in je priključen na napetost 230V?

Rešitev:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2300W}{230V} = 10A$$

Odgovor: Skozi grelnik teče 10A .

Naloga 44

Za upor 800Ω/0.5W izračunaj dopustno napetost in dopustni tok upora.

Rešitev:

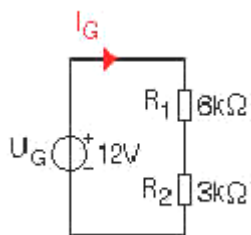
$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U_{\max} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{0.5W \cdot 800\Omega} = 20V$$

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R} = \frac{20V}{800\Omega} = 0.025A = 25mA$$

Odgovor: Upor 800Ω/0.5W ima dopustno napetost 20V in dopustni tok 25mA.

Naloga 45

Zaporedna vezava z upornostjo R₁=6kΩ in R₂=3kΩ je priključena na napetost vira U_G=12V. Izračunaj moči na uporih !



Rešitev:

$$I_G = I_1 = I_2 = \frac{U_G}{R_1 + R_2} = \frac{12V}{6k\Omega + 3k\Omega} = 1.3mA$$

$$P_G = U_G \cdot I_G = 12V \cdot 1.3mA = 16mW$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = (1.3mA)^2 \cdot 6k\Omega = 10.6mW$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = (1.3mA)^2 \cdot 3k\Omega = 5.3mW$$

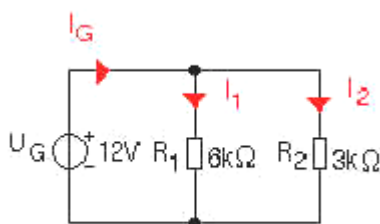
$$U_G = U_1 + U_2 \Rightarrow U_G \cdot I_G = (U_1 + U_2) \cdot I_G = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2$$

$$P_G = P_1 + P_2 \Rightarrow 16\text{mW} = 10.6\text{mW} + 5.3\text{mW}$$

Odgovor: Moč na upor R_1 je 10.67mW, na upor R_2 pa 5.33mW. Skupna moč je 16mW.

Naloga 46

Vzporedna vezava z upornostjo $R_1=6\text{k}\Omega$ in $R_2=3\text{k}\Omega$ je priključena na napetost vira $U_G=12\text{V}$. Izračunaj vse moči in pokaži, da je moč vira enaka vsoti moči na upor R_1 in R_2 .



Rešitev:

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

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{(12\text{V})^2}{6\text{k}\Omega} = 24\text{mW}$$

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{(12\text{V})^2}{3\text{k}\Omega} = 48\text{mW}$$

$$R_N = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6\text{k}\Omega \cdot 3\text{k}\Omega}{6\text{k}\Omega + 3\text{k}\Omega} = 2\text{k}\Omega$$

$$P_G = \frac{U_G^2}{R_N} = \frac{(12\text{V})^2}{2\text{k}\Omega} = 72\text{mW}$$

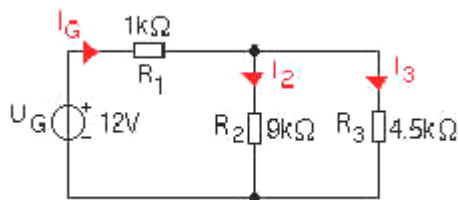
$$I_G = I_1 + I_2 \Rightarrow U_G \cdot I_G = U_G \cdot (I_1 + I_2) = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2$$

$$P_G = P_1 + P_2 \Rightarrow 72\text{mW} = 24\text{mW} + 48\text{mW}$$

Odgovor: Moč na upor R_1 je 24mW, na upor R_2 pa 48mW. Moč vira je enaka vsoti moči na upor R_1 in R_2 , to je 72mW.

Naloga 47

Sestavljena vezava z upornostjo $R_1=1\text{k}\Omega$, $R_2=9\text{k}\Omega$ in $R_3=4.5\text{k}\Omega$ je priključena na napetost vira $U_G=12\text{V}$. Izračunaj vse moči !



Rešitev:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{9\text{k}\Omega \cdot 4.5\text{k}\Omega}{9\text{k}\Omega + 4.5\text{k}\Omega} = 3\text{k}\Omega$$

$$R_N = R_1 + R_{23} = 1\text{k}\Omega + 3\text{k}\Omega = 4\text{k}\Omega$$

$$I = \frac{U}{R_N} = \frac{12\text{V}}{4\text{k}\Omega} = 3\text{mA} = I_1$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1\text{k}\Omega \cdot 3\text{mA} = 3\text{V} ; U_2 = U_3 = R_{23} \cdot I = 3\text{k}\Omega \cdot 3\text{mA} = 9\text{V}$$

$$P_G = \frac{U_G^2}{R_N} = \frac{(12\text{V})^2}{4\text{k}\Omega} = 36\text{mW}$$

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{(3\text{V})^2}{1\text{k}\Omega} = 9\text{mW}$$

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{(9\text{V})^2}{9\text{k}\Omega} = 9\text{mW}$$

$$P_3 = \frac{U_3^2}{R_3} = \frac{(9\text{V})^2}{4.5\text{k}\Omega} = 18\text{mW}$$

$$P_G = U_G \cdot I_G = (U_1 + U_2) \cdot I_1 = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_1 = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot (I_2 + I_3)$$

$$P_G = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 = P_1 + P_2 + P_3$$

$$36\text{mW} = 9\text{mW} + 9\text{mW} + 18\text{mW}$$

Odgovor: Moč na uporu R_1 je 9mW, na uporu R_2 tudi 9mW, na uporu R_3 pa 18mW. Moč vira je enaka vsoti moči na uporu R_1 , R_2 in R_3 , to je 36mW.

Naloga 48

Upor z upornostjo 1Ω ima moč $25W$. Napetost na uporu podvojimo. Kolikšna je sedaj moč na uporu?

Rešitev:

V začetku je napetost

$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{25W \cdot 1\Omega} = 5V$$

Ko napetost podvojimo, dobimo:

$$U = 2 \cdot 5V = 10V$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(10V)^2}{1\Omega} = 100W$$

Odgovor: Moč na uporu je sedaj $100W$. Če se napetost podvoji, se moč početverji.

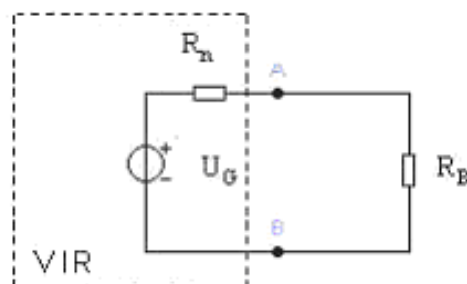
5.2. RAZPOLOŽLJIVA MOČ VIRA

Vir daje največjo moč bremenu, ko je upornost bremena enaka notranji upornosti vira in takrat pravimo, da sta breme in vir prilagojena.

$$R_B = R_n$$

kjer je:

$R_B [\Omega]$	... upornost bremena
$R_n [\Omega]$	... notranja upornost vira



Če je $R_B = R_n$, je moč na bremenu enaka moči na notranji upornosti vira, zato je moč bremena polovica moči, ki jo daje vir.

$$P_{B\max} = P_n = \frac{P_G}{2} ; \text{če je } R_B = R_n = \frac{R_N}{2}$$

kjer je:

$P_{B\max} [W]$	... največja moč bremena
$P_n [W]$	... moč na notranji upornosti vira
$P_G [W]$	... moč vira
$R_N [\Omega]$	... nadomestna ali skupna upornost

$$P_G = \frac{U_G^2}{R_N} = \frac{U_G^2}{R_n + R_B} \quad \text{moč vira}$$

$$P_{B \max} = \frac{P_G}{2} = \frac{\frac{U_G^2}{2 \cdot R_n}}{2} = \frac{U_G^2}{4 \cdot R_n}$$

$$P_{B \max} = \frac{U_G^2}{4 \cdot R_n} \quad \text{največja moč bremena}$$

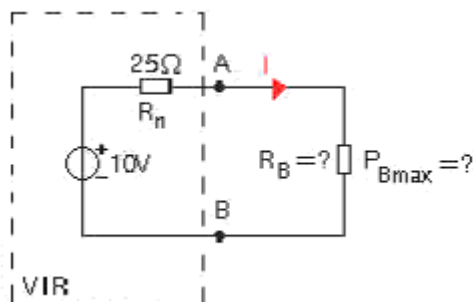
Izkoristek izvora η pa je definiran kot razmerje moči bremena in moči vira.

$$\eta\% = \frac{P_B}{P_G} \cdot 100\%$$

Izkoristek vira s prilagojenim bremenom je 50%.

Naloga 49

Pri kateri upornosti bremena je breme prilagojeno viru in kolikšna je takrat moč bremena?



Rešitev:

Breme je prilagojeno viru, ko sta si upornosti enaki , in takrat je tudi največja moč na bremenu.

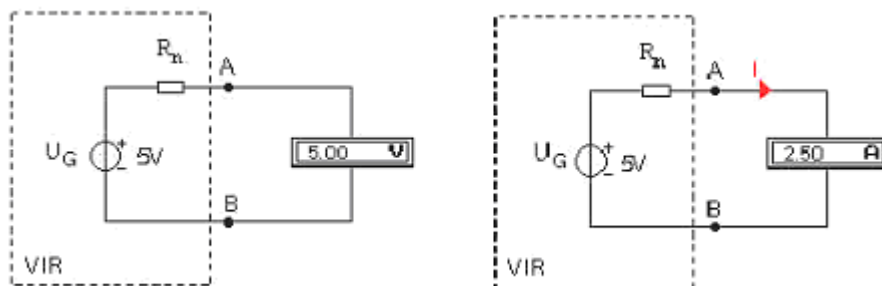
$$R_B = R_n = 25\Omega$$

$$P_{B \max} = \frac{U_G^2}{4 \cdot R_n} = \frac{(10V)^2}{4 \cdot 25\Omega} = 1W$$

Odgovor: Breme je prilagojeno viru pri upornosti 25Ω. Takrat je moč na bremenu 1W.

Naloga 50

Z voltmetrom izmerimo napetost neobremenjenega vira $U_G=5V$, z ampermetrom pa tok kratkega stika $I_K=2.5A$. Izračunaj notranjo upornost vira.



Rešitev:

Notranja upornost vira je razmerje napetosti neobremenjenega vira in toka kratkega stika.

$$R_n = \frac{U_G}{I_K} = \frac{5V}{2.5A} = 2\Omega$$

Odgovor: Notranja upornost vira je 2Ω .

5.3. ELEKTRIČNO DELO

Če je moč stalna (konstantna), je električno delo produkt električne moči in časa.

$$W = P \cdot t \quad [Ws] \quad , \quad P = \text{stalen}$$

kjer je:

W [Ws]	... električno delo, ki ima enoto vatsekunda ali joule
P [W]	... električna moč
t [s]	... čas

Vatsekunda je enota za električno delo. Ker je Ws majhna enota, v elektroenergetiki uporabljajo za merjenje električnega dela kWh (kilovatna ura).

Povezava med kWh in Ws je:

$$1 \cdot kWh = 1 \cdot 10^3 W \cdot 3.6 \cdot 10^3 s = 3.6 \cdot 10^6 Ws$$

Če vstavimo v enačbo električnega dela enačbe moči, dobimo:

$$W = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

V električnem vezju je električno delo, ki ga daje vir, enako vsoti električnih del na porabnikih električnega vezja.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$$

Primer

Žarnica 100W je dnevno priključena povprečno 4 ure. Izračunaj električno delo žarnice v 30 dneh.

Rešitev:

$$t = 30 \text{ dni} \cdot 4 \frac{h}{\text{dan}} = 120h$$

$$W = P \cdot t = 100W \cdot 120h = 12000Wh = 12kWh$$

Odgovor: Električno delo je 12kWh.

Naloga 51

Grelnik vode 1.5kW je priključen 2 uri na 220V. Izračunaj tok skozi grelnik vode, upornost grelnika in električno delo grelnika, opravljeno v 2 urah!

Rešitev:

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{1500W}{220V} \approx 6.82A$$

$$R = \frac{U}{I} \approx 32.27\Omega$$

$$W = P \cdot t = 1.5kW \cdot 2h = 3kWh$$

Odgovor: Tok je 6.82A, upornost grelnika je 32.27Ω in opravljeno električno delo 3kWh.

Naloga 52

Kolikšno delo nameri električni števec dnevno, če so porabniki vključeni takole:

- Žarnice s skupno močjo 800W po 4 ure dnevno
- Grelnik vode 1.5kW po 2 uri dnevno
- Kuhalnik 1.2kW po 3 ure dnevno
- Hladilnik 0.2kW po 4 ure dnevno
- Pralni stroj 2kW po 0.5 ure dnevno

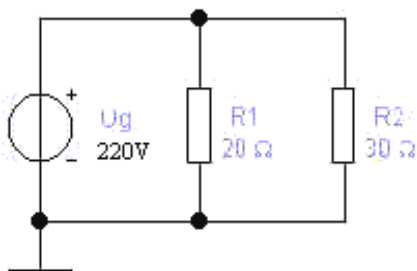
Rešitev:

$$W = W_Z + W_G + W_K + W_H + W_P = P_Z \cdot t_Z + P_G \cdot t_G + P_K \cdot t_K + P_H \cdot t_H + P_P \cdot t_P$$
$$W = 0.8kW \cdot 4h + 1.5kW \cdot 2h + 1.2kW \cdot 3h + 0.2kW \cdot 4h + 2kW \cdot 0.5h = 11.6kWh$$

Odgovor: Električni števec nameri dnevno 11.6kWh električnega dela.

Naloga 53

Vzporedno vezana porabnika $R_1=20\Omega$ in $R_2=30\Omega$ sta priključena na napetost $U=220V$. Izračunaj, koliko električne energije sprejmeta porabnika R_1 in R_2 v času 0.25 ure.



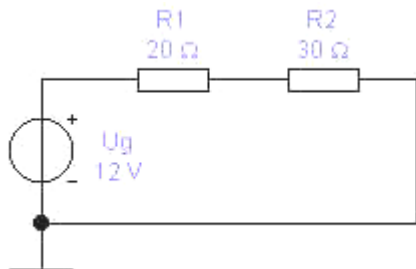
Rešitev:

$$W_1 = P_1 \cdot t = \frac{U^2}{R_1} \cdot t = \frac{(220V)^2}{20\Omega} \cdot 0.25h = 0.605kWh$$
$$W_2 = P_2 \cdot t = \frac{U^2}{R_2} \cdot t = \frac{(220V)^2}{30\Omega} \cdot 0.25h = 0.403kWh$$

Odgovor: V času 0.25 ure sprejme porabnik R_1 0.605kWh in porabnik R_2 0.403kWh električne energije.

Naloga 54

Zaporedno vezana porabnika $R_1=20\Omega$ in $R_2=30\Omega$ sta priključena na napetost $U=12V$. Koliko električne energije sprejme porabnik R_2 , če je porabnik R_1 sprejel $0.5kWh$ električne energije?



Rešitev:

$$W_1 = I^2 \cdot R_1 \cdot t \Rightarrow I^2 \cdot t = \frac{W_1}{R_1}$$

$$W_2 = I^2 \cdot R_2 \cdot t \Rightarrow I^2 \cdot t = \frac{W_2}{R_2}$$

$$\frac{W_1}{R_1} = \frac{W_2}{R_2} \Rightarrow W_2 = W_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = 0.5kWh \cdot \frac{30\Omega}{20\Omega} = 0.75kWh$$

Odgovor: Če je porabnik R_1 sprejel $0.5kWh$ električne energije, potem je porabnik R_2 sprejel $0.75kWh$ električne energije.

5.4. SPREMINJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električni porabniki spreminjajo sprejeto električno energijo v druge oblike energije.

$$W_e = W_k + W_i$$

kjer je :

W_e	električna energija
W_k	koristna energija
W_i	izgubna energija

Izkoristek električnega porabnika η nam pove, koliko električne energije se pretvori v koristno energijo.

$$\eta = \frac{W_k}{W_e} \quad \text{ali} \quad \eta\% = \frac{W_k}{W_e} \cdot 100\%$$

Ker je povezava med energijo in močjo samo v času, je izkoristek električnega porabnika η tudi

$$\eta = \frac{P_k}{P_e} \text{ ali } \eta\% = \frac{P_k}{P_e} \cdot 100\%$$

Koristna energija je manjša od električne energije, zato je izkoristek električnega porabnika med 0 in 1 (0% in 100%).

Primer

Elektromotor spreminja sprejeto električno energijo v mehansko in toplotno energijo. Izračunaj koristno mehansko energijo in izgubno toplotno energijo elektromotorja, če elektromotor sprejme 5kWh električne energije in če je izkoristek elektromotorja 0.85

Rešitev:

$$W_k = \eta \cdot W_e = 0.85 \cdot 5kWh = 4.25kWh$$

$$W_i = (1 - \eta) \cdot W_e = 0.15 \cdot 5kWh = 0.75kWh$$

Odgovor: Pri elektromotorju se pretvori 4.25kWh v koristno mehansko energijo in 0.75kWh v izgubno toplotno energijo.

Naloga 55

Žarnica 60W/230V spreminja sprejeto električno energijo v svetlobno in toplotno energijo. Izračunaj električno energijo, koristno svetlobno in izgubno toplotno energijo žarnice, če žarnica sveti 2 uri in je izkoristek žarnice 0.05.

Rešitev:

$$W_e = P_e \cdot t = 60W \cdot 2h = 120Wh$$

$$W_k = \eta \cdot W_e = 0.05 \cdot 120Wh = 6Wh$$

$$W_i = (1 - \eta) \cdot W_e = 0.95 \cdot 120Wh = 114Wh$$

Odgovor: V dveh urah žarnica spremeni 6Wh v svetlobno energijo in 114Wh v toplotno energijo.

Naloga 56

Izračunaj izkoristek električne peči, če je električna moč 2.8kW in koristna toplotna moč 2.7kW.

Rešitev:

$$\eta = \frac{P_K}{P_e} = \frac{2.7kW}{2.8kW} = 0.96 \quad \text{ali} \quad \eta\% = \frac{P_K}{P_e} \cdot 100\% = 96\%$$

Odgovor: Izkoristek električne peči je 0.96 .

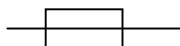
5.5. VAROVALKE

Varovalke so namenjene za varovanje električnih tokokrogov. Ko električni tok v tokokrogu postane prevelik in nevaren za instalacijo in naprave, prekine varovalka električni krog.

Varovalke delimo glede na način delovanja v taljive in avtomatske.

Pri taljivi varovalki se pri toku za katero je varovalka dimenzionirana, žička prežari in tako trajno prekine električni krog, dokler varovalke ne zamenjamo.

Pri avtomatski varovalki se pri toku za katero je varovalka dimenzionirana, sproži mehanizem za začasno izključitev varovalke in s tem električnega kroga, dokler varovalke ne sklenemo nazaj v električni krog.



Simbol taljive varovalke



Simbol avtomatske varovalke
(instalacijski odklopnik)

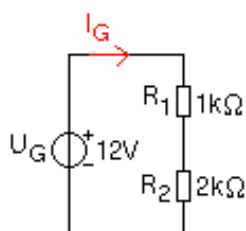
VAJE

81. Izračunaj tok skozi 100W žarnico, ki je priključena na napetost 230V.
(Rešitev: $I \approx 0.43\text{A}$)

82. Skozi 1Ω vodnik teče tok 6A. Kolikšna je moč vodnika?
(Rešitev: $P=36\text{W}$)

83. Za upor $1.8\text{k}\Omega/0.5\text{W}$ izračunaj dopustno napetost upora.
(Rešitev: $U_{\max}=30\text{V}$)

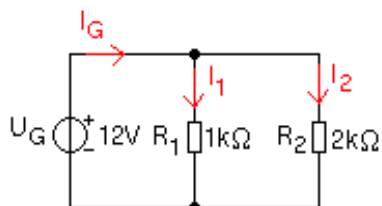
84. Zaporedna vezava z upornostjo $R_1=1\text{k}\Omega$ in $R_2=2\text{k}\Omega$ je priključena na napetost vira $U_G=12\text{V}$. Izračunaj vse moči in pokaži, da je moč vira enaka vsoti moči na uporu R_1 in R_2 .



(Rešitev: $P_G=48\text{mW}$; $P_1=16\text{mW}$; $P_2=32\text{mW}$)

85. Žarnico $12\text{V}/0.6\text{W}$ želimo priključiti na napetost 50V. Kolikšna mora biti upornost in moč predupora?
(Rešitev: $R_P=760\Omega$; $P_P=1.9\text{W}$)

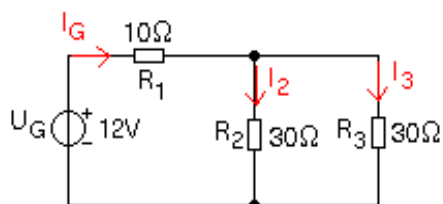
86. Vzporedna vezava z upornostjo $R_1=1\text{k}\Omega$ in $R_2=2\text{k}\Omega$ je priključena na napetost vira $U_G=12\text{V}$. Izračunaj vse moči in pokaži, da je moč vira enaka vsoti moči na uporu R_1 in R_2 .



(Rešitev: $P_G=216\text{mW}$; $P_1=144\text{mW}$; $P_2=72\text{mW}$)

87. Žarnica $12\text{V}/0.6\text{W}$ je priključena na napetost 12V. Izračunaj tok in moč upora 100Ω , če ga vzporedno vežemo žarnici.
(Rešitev: $I_R=0.12\text{A}$; $P_R=1.44\text{W}$)

88. Sestavljena vezava z upornostjo $R_1=10\Omega$, $R_2=30\Omega$ in $R_3=30\Omega$ je priključena na napetost vira $U_G=12V$. Izračunaj vse moči in pokaži, da je moč vira enaka vsoti moči na uporih R_1 , R_2 in R_3 .



(Rešitev: $P_G=5.76W$; $P_1=2.304W$; $P_2=P_3=1.728W$)

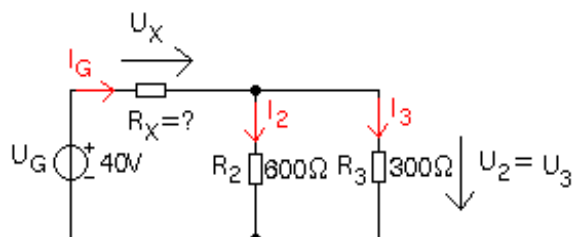
89. Iz prejšnje naloge izračunaj vse moči, če je napetost vira $U_G=24V$.

(Rešitev: $P_G=23.04W$; $P_1=9.216W$; $P_2=P_3=6.912W$)

90. Kako se spremeni električna moč porabnika, če napetost na porabniku potrojimo?

(Rešitev: moč na porabniku se poveja petkrat)

91. Določi upornost R_X tako, da bo na uporih R_2 moč $P_2=1.5W$.



(Rešitev: $R_X \approx 67\Omega$)

92. Izračunaj najmanjšo in največjo moč grelca, ki jo lahko dobimo z vezavo treh grelcev $R_1=4\Omega$, $R_2=3\Omega$ in $R_3=6\Omega$, če vezavo grelcev priključimo na napetost 24V.

(Rešitev: pri zaporedni vezavi je $P_{\min} \approx 44.31W$, pri vzporedni vzavi pa je $P_{\max}=432W$)

93. Na vir napetosti $U_G=24V$, ki ima notranjo upornost $R_n=16\Omega$ je priključeno breme. Pri kateri upornosti bremena je breme prilagojeno viru in kolikšna je takrat moč bremena?

(Rešitev: $R_B=16\Omega$; $P_{B\max}=9W$)

94. Na vir napetosti $U_G=15V$, ki ima notranjo upornost $R_n=15\Omega$, smo prilagodili breme. Izračunaj tok skozi breme, napetost bremena in moč bremena.

(Rešitev: $I=0.5A$; $U_B=7.5V$; $P_{B\max}=3.75W$)

95. Na vir napetosti $U_G=15V$, ki ima notranjo upornost $R_n=20\Omega$, je priključena zaporedna vezava dveh porabnikov R_1 in R_B . Kolikšna mora biti upornost R_B , da bo na njem največja moč in kolikšna je ta moč, če je $R_1=15\Omega$?

(Rešitev: $R_B=5\Omega$; $P_{B\max} \approx 0.7W$)

96. Izračunaj moč vira, če je moč prilagojenega bremena 5W.

(Rešitev: $P_G=10W$)

97. Z voltmetrom izmerimo napetost neobremenjenega vira $U_G=12V$, z ampermetrom pa tok kratkega stika $I_K=2A$. Izračunaj notranjo upornost vira.

(Rešitev: $R_n=6\Omega$)

98. Kolikšna je napetost neobremenjenega vira in notranja upornost vira, če smo ugotovili, da je breme prilagojeno viru pri $R_B=10\Omega$ in $U_B=10V$?

(Rešitev: $U_G=20V$; $R_n=10\Omega$)

99. Koliko galvanskih členov z napetostjo 1.5V in notranjo upornostjo 0.2Ω moramo vezati zaporedno, da prilagodimo vir in breme z upornostjo $R_B=2\Omega$?

(Rešitev: $n=10$)

100. Grelnik vode 1.5kW je dnevno priključen povprečno 2 uri. Izračunaj električno delo grelnika vode v 30 dneh.

(Rešitev: $W_G=90kWh$)

101. Žarnica 60W/220V je priključena 3 ure. Izračunaj tok skozi žarnico in sprejeto električno energijo žarnice v 3 urah.

(Rešitev: $I\approx 0.27A$; $W_Z=0.18kWh$)

102. Pralni stroj 3kW/220V je porabil 12kWh električne energije. Koliko časa je bil priključen?

(Rešitev: $t=4h$)

103. Kolikšno delo nameri električni števec v 30 dneh, če so porabniki vključeni takole:

- Žarnice s skupno močjo 0.6kW po 4 ure dnevno
- Grelnik vode 1.5kW po 2 uri dnevno
- Kuhalnik 1.2kW po 2 uri dnevno
- Zamrzovalnik 0.3kW po 3 ure dnevno
- Pralni stroj 2kW po 0.5 ure dnevno

(Rešitev: $W=9.7kWh$)

104. V 30 dneh je porabil 3kW pralni stroj 51kWh električne energije. Koliko časa je bil vključen v času 30 dneh.

(Rešitev: $t=17h$)

105. Vzporedno vezana porabnika $R_1=200\Omega$ in $R_2=400\Omega$ sta priključena na napetost $U=230V$. Koliko električne energije sprejme porabnik R_1 in R_2 v dveh urah?

(Rešitev: $W_1=0.264kWh$; $W_2=0.132kWh$)

106. Izračunaj kolikšno električno energijo sprejme pet vzporedno vezanih enakih žarnic v dveh urah? Žarnica ima nazivne vrednosti 60W/230V.

(Rešitev: 0.6kWh)

107. Zaporedno vezana porabnika $R_1=10\Omega$ in $R_2=40\Omega$, sta priključena na napetost $U=100V$. Koliko električne energije sprejme porabnik R_1 , če je porabnik R_2 porabil 1kWh električne energije?

(Rešitev: $W_1=0.25kWh$)

108. Skozi vodnik $R_V=0.5\Omega$ in porabnik $R_P=100\Omega$ teče tok 2.2A. Koliko električne energije sprejme ta vodnik in porabnik v času 0.25 ure?

(Rešitev: $W_V=0.605Wh$; $W_P=121Wh$)

109. Izračunaj mehansko energijo in toplotno energijo elektromotorja, če elektromotor sprejme 6kWh električne energije. Izkoristek elektromotorja $\eta=0.8$.

(Rešitev: $W_k=4.8kWh$; $W_i=1.2kWh$)

110. Kolikšno električno delo nameri električni števec elektromotorju, če elektromotor deluje z mehansko močjo 2.5kW dve uri? Izkoristek elektromotorja $\eta=0.8$.

(Rešitev: $W_e=6.25kWh$)

111. Kolikšna je svetlobna energija žarnice 100W/220V v času dveh ur, če je izkoristek žarnice 0.04?

(Rešitev: $W_k=8Wh$)

112. Kolikšna je izgubna energija črpalke $5\Omega/220V$ v času štiriindvajsetih ur, če je izkoristek črpalke 0.55?

(Rešitev: $W_i=104.544kWh$)

113. Izračunaj izkoristek električne peči, če v dveh urah sprejme 6kWh električne energije in odda 5kWh toplotne energije.

(Rešitev: $\eta=0.83$)

114. Izračunaj čas delovanja elektromotorja, če je števec nameril 10kWh porabljene električne energije. Mehanska moč elektromotorja je 2kW in izkoristek elektromotorja je 0.8.

(Rešitev: $t=4h$)

115. Žarnica 60W/220V ima svetlobni izkoristek 5%. Izračunaj toplotno delo žarnice v času štiri ure.

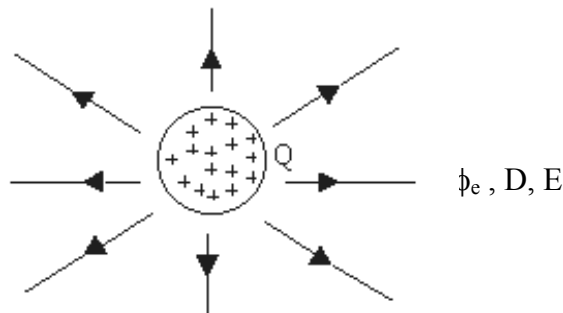
(Rešitev: $W_t=228Wh$)

116. Generator male hidroelektrarne pretvarja mehansko delo vode v električno delo. Izračunaj električno moč hidroelektrarne, če je mehanska moč 80kW in izkoristek 0.5.

(Rešitev: $P_e=40kW$)

6. ELEKTRIČNO POLJE

Prostoru okrog naelektrenih teles pravimo električno polje. To je najmočnejše v bližini naelektrenih teles, z razdaljo pa pada.



Električno polje okrog naelektrene krogle

Električno polje opisujemo:

Q [As]	elektrina
ϕ_e [As]	električni pretok
D [As/m²]	gostota električnega pretoka
E [V/m]	električna poljska jakost
F [N]	električna sila

Elektrine Q se naberejo na površini prevodnih teles in so izvor električnega polja.

Električni pretok ϕ_e si lahko predstavljamo kot navidezni pretok elektron.

$$\phi_e = Q \quad [C = As]$$

Gostota električnega pretoka D je električni pretok na enoto površine (površina telesa ali prostora).

$$D = \frac{\phi_e}{A} \quad \left[\frac{C}{m^2} \right]$$

Električna poljska jakost E je električna sila na enoto elektrine ali električna napetost na enoto razdalje. Smer električne poljske jakosti je enaka smeri silnic električnega polja.

$$E = \frac{F}{Q} \quad \left[\frac{N}{C} \right]$$

$$E = \frac{U}{d} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

Dielektričnost snovi ϵ je gostota električnega pretoka na enoto električne poljske jakosti.

$$\epsilon = \frac{D}{E} \quad \left[\frac{As}{Vm} \right]$$

Dielektričnost snovi zapišemo tudi:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

kjer je:

ϵ [As/(Vm)]	... dielektričnost snovi
ϵ_0 [As/(Vm)]	... dielektričnost praznega prostora ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ As/(Vm))
ϵ_r	... relativna dielektričnost snovi, ki je odvisna od snovi

Relativna dielektričnost snovi ϵ_r nam pove, kolikokrat je gostota električnega pretoka v snovi večja od gostote električnega pretoka v praznem prostoru pri isti električni poljski jakosti.

6.1. KAPACITIVNOST PREVODNIH TELES

Kapacitivnost je lastnost prevodnega telesa, da pod vplivom električne napetosti sprejme elektrino.

Kapacitivnost telesa je elektrina na enoto napetosti.

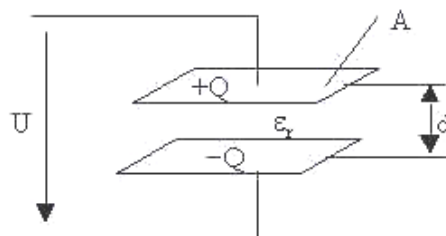
$$C = \frac{Q}{U} \quad \left[\frac{As}{V} = F = farad \right]$$

kjer je:

C [F]	kapacitivnost, ki jo merimo v faradih (F)
Q [As]	elektrina
U [V]	električna napetost

6.2. KAPACITIVNOST PLOŠČNEGA KONDENZATORJA

Ploščni kondenzator ima dve prevodni plošči in vmesni dielektrik. Če sta plošči pod napetostjo, je na ploščah elektrina, vmes pa električno polje. Za kondenzator je značilno, da ne prevaja enosmernega električnega toka.



Ploščni kondenzator

Kapacitivnost ploščnega kondenzatorja je

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad [F] \quad , \quad 1F = 1 \frac{As}{V}$$

kjer je:

C [F]	... kapacitivnost ploščnega kondenzatorja
ε_0 [As/(Vm)]	... dielektričnost praznega prostora ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ As/(Vm))
ε_r	... relativna dielektričnost snovi, ki je odvisna od snovi
A [m²]	... ploščina ene kovinske plošče
d [m]	... razdalja med ploščama

Kapacitivnost ploščnega kondenzatorja se povečuje, če se povečuje površina kovinske plošče in zmanjšuje razdalja med ploščama.

Naloga 58

Izračunaj kapacitivnost ploščnega kondenzatorja, ki ima površino kovinske plošče 1cm², razdaljo med ploščama 1mm in keramiko med ploščama z relativno dielektričnostjo 100. Dielektričnost praznega prostora je 8.85·10⁻¹²As/(Vm).

Rešitev:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot 100 \cdot \frac{10^{-4} m^2}{10^{-3} m} = 8.85 \cdot 10^{-11} F = 88.5 pF$$

Odgovor: Kapacitivnost kondenzatorja je 88.5pF .

Kolikšna je kapacitivnost ploščnega kondenzatorja, če povečamo ploščino kovinske plošče na 10cm² ; 100cm² ?

Odgovor: Kapacitivnost kondenzatorja je 885pF ; 8850pF .

6.3. ENERGIJA KONDENZATORJA

Če kondenzatorju izklopimo vir napetosti, ostane na njemu še vedno elektrina, napetost, energija, zato pravimo, da je kondenzator shranjevalnik energije.

Energijo kondenzatorja izračunamo po naslednji enačbi:

$$W_e = \frac{Q \cdot U}{2} \quad [Ws]$$

kjer je:

W_e [Ws]	... električna energija kondenzatorja
Q [C=As]	... elektrina na ploščah kondenzatorja
U [V]	... električna napetost med ploščama

Če upoštevamo enačbo $Q=C \cdot U$ oziroma $U=Q/C$, dobimo še dve uporabni obliki:

$$W_e = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q^2}{2 \cdot C} \quad [Ws]$$

Naloga 59

Kondenzator ima kapacitivnost $1\mu F$. Izračunaj energijo kondenzatorja, če je na njem napetost 10V.

Rešitev:

$$W_e = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{1\mu F \cdot (10V)^2}{2} = 50\mu Ws$$

Odgovor: Energija kondenzatorja je $50\mu Ws$.

6.4. PREBOJNA TRDNOST

Električna prebojna trdnost je enaka električni prebojni napetosti na enoto debeline izolanta.

$$E_p = \frac{U_p}{d} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

kjer je:

E_p [V/m]	... električna prebojna trdnost
U_p [V]	... prebojna napetost
d [m]	... debelina izolanta

Različni materiali imajo različno prebojno trdnost. Prebojne trdnosti so dane pri 20°C.

Izolant	E_p (V/m) · 10 ⁶
Zrak	3.3
Papir	10
Polivinil klorid	50

Prebojna trdnost je pomemben podatek, ker pri napetosti, ki je višja od prebojne napetosti, kondenzator prebije - uniči.

Naloga 60

Kolikšna je prebojna napetost 1mm debelega papirja? Prebojna trdnost papirja je 10MV/m

Rešitev:

$$U_p = E_p \cdot d = 10 \cdot 10^6 \cdot \frac{V}{m} \cdot 1 \cdot 10^{-3} m = 10 \cdot 10^3 V = 10 kV$$

Odgovor: Prebojna napetost je 10kV.

Naloga 61

Kolikšna mora biti razdalja med ploščama zračnega kondenzatorja, če je napetost na njem 220V? Prebojna trdnost zraka je 3.3MV/m.

Rešitev:

$$d = \frac{U_p}{E_p} = \frac{220V}{3.3 \cdot 10^6 \cdot \frac{V}{m}} = 66.67 \cdot 10^{-6} m \approx 67 \mu m$$

Odgovor: Razdalja med ploščama mora biti večja od $67 \mu m$.

6.5. VZPOREDNA VEZAVA KONDENZATORJEV

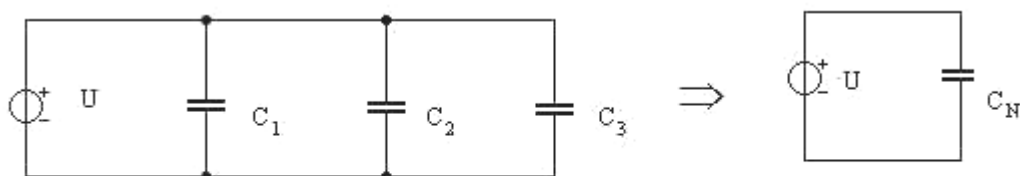
Če primerjamo veličine v enačbah, ki nastopajo v uporovnih in kondenzatorskih vezjih, tok skozi upor ustreza elektrini na kondenzatorju, prevodnost upora pa kapacitivnosti kondenzatorja.

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

$$Q = C \cdot U$$

Ker se pri vzporedni vezavi seštevajo tokovi, je **skupna elektrina vzporedne vezave kondenzatorjev enaka vsoti elektrin na ploščah kondenzatorjev**. Vsi kondenzatorji imajo enako napetost.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



Vzporedna vezava kondenzatorjev

Nadomestna vezava

Če uporabimo splošno enačbo $Q=C \cdot U$ in upoštevamo enakost napetosti, dobimo enačbo nadomestne kapacitivnosti vzporedne vezave kondenzatorjev.

$$C_N \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U = (C_1 + C_2 + C_3) \cdot U$$

$$C_N = C_1 + C_2 + C_3$$

Kapacitivnosti vzporedno vezanih kondenzatorjev se seštevajo.

To je podobno kot pri zaporedni vezavi uporov, kjer se upornosti seštevajo.

Iz slike vzporedne vezave kondenzatorjev se vidi, da se skupna površina kondenzatorja poveča, zato se skupna kapacitivnost poveča.

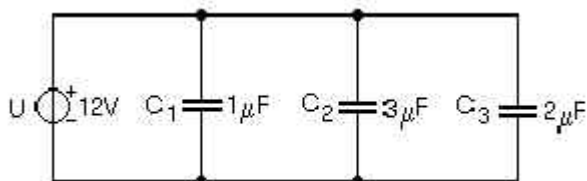
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

Pri vzporedni vezavi kondenzatorjev so elektrine v premem sorazmerju s kapacitivnostmi kondenzatorjev.

To pomeni, da dobi največjo elektrino tisti kondenzator, ki ima največjo kapacitivnost.

Naloga 62

Izračunaj nadomestno kapacitivnost in skupno elektrino vzporedne vezave kondenzatorjev, če je $U=12V$, $C_1=1\mu F$, $C_2=3\mu F$ in $C_3=2\mu F$.



Rešitev:

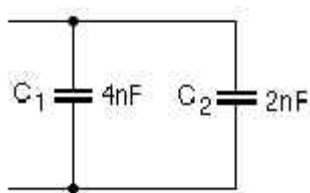
$$C_N = C_1 + C_2 + C_3 = 1\mu F + 3\mu F + 2\mu F = 6\mu F$$

$$Q = C_N \cdot U = 6\mu F \cdot 12V = 72\mu C = 72\mu As$$

Odgovor: Nadomestna kapacitivnost je $6\mu F$ in skupna elektrina je $72\mu As$

Naloga 63

Izračunaj elektrino Q_2 , če je $C_1=4nF$, $C_2=2nF$ in $Q_1=40nAs$.



Rešitev:

Najprej izračunamo nadomestno kapacitivnost: $C_N = C_1 + C_2 = 4\text{nF} + 2\text{nF} = 6\text{nF}$.
Ker je $Q = C U$, je napetost na kondenzatorju C_1 : $U_1 = Q_1 / C_1 = 40\text{nAs} / 4\text{nF} = 10\text{V}$.
Elektrina Q_2 pa je:

$$Q_2 = U_1 \cdot C_2 = 10\text{V} \cdot 2\text{nF} = 20\text{nAs}, \text{ ker je } U_2 = U_1$$

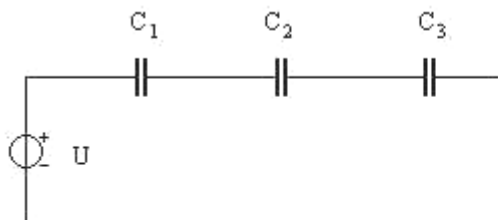
Odgovor: Elektrina Q_2 je 20nAs .

Enak rezultat dobimo iz razmerja:
$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{C_2}{C_1} = 40\text{nAs} \cdot \frac{2}{4} = 20\text{nAs}$$

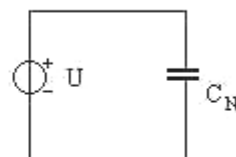
6.6. ZAPOREDNA VEZAVA KONDENZATORJEV

Priključena napetost je enaka vsoti napetosti na posameznih kondenzatorjih. Vsi kondenzatorji imajo enako elektrino (isti tok).

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$



Zaporedna vezava kondenzatorjev



Nadomestna vezava

$$\frac{Q}{C_N} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_N} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Če so kondenzatorji vezani zaporedno, je to podobno kot da so upori vezani vzporedno.

Iz slike zaporedne vezave kondenzatorjev se vidi, da se skupna razdalja plošč kondenzatorja poveča, zato se skupna kapacitivnost zmanjša.

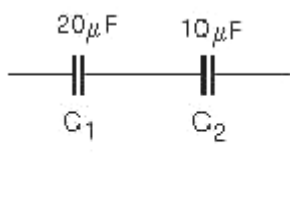
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

Pri zaporedni vezavi kondenzatorjev so napetosti v obratnem sorazmerju s kapacitivnostmi kondenzatorjev.

To pomeni, da dobi največjo napetost tisti kondenzator, ki ima najmanjšo kapacitivnost.

Naloga 64

Izračunaj napetost U_1 , če je $C_1=20\mu\text{F}$, $C_2=10\mu\text{F}$ in $U_2=6\text{V}$.



Rešitev:

$$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2$$

Elektrina Q_2 je

$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 10\mu\text{F} \cdot 6\text{V} = 60\mu\text{C}$$

Napetost U_1 je

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{60\mu\text{C}}{20\mu\text{F}} = 3\text{V}$$

Odgovor: Napetost U_1 je 3V.

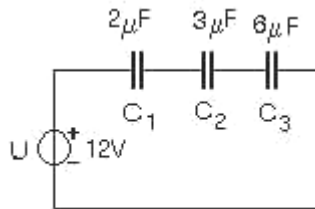
Drugi način:

Ker so napetosti v obratnem sorazmerju s kapacitivnostmi kondenzatorjev, je napetost U_1 za polovico manjša od napetosti U_2 .

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{C_2}{C_1} = 6\text{V} \cdot \frac{10}{20} = 3\text{V}$$

Naloga 65

Izračunaj nadomestno kapacitivnost, elektrino in napetosti na kondenzatorjih, če je $U=12V$, $C_1=2\mu F$, $C_2=3\mu F$ in $C_3=6\mu F$.



Rešitev:

$$\frac{1}{C_N} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2\mu F} + \frac{1}{3\mu F} + \frac{1}{6\mu F} = \frac{3+2+1}{6\mu F} = \frac{6}{6\mu F}$$

$$C_N = 1\mu F$$

$$Q = C_N \cdot U = 1\mu F \cdot 12V = 12\mu As$$

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{12\mu As}{2\mu F} = 6V$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{12\mu As}{3\mu F} = 4V$$

$$U_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{12\mu As}{6\mu F} = 2V$$

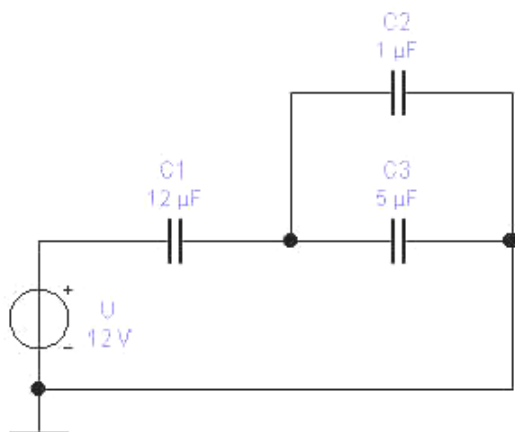
Odgovor: Nadomestna kapacitivnost je $1\mu F$, elektrina $12\mu As$, napetost na prvem kondenzatorju $6V$, na drugem $4V$ in na tretjem $2V$.

6.7. SESTAVLJENA VEZAVA KONDENZATORJEV

Sestavljena vezava kondenzatorjev združuje lastnosti in zakonitosti vzporednega in zaporednega kroga kondenzatorjev.

Primer

Izračunaj elektrine in napetosti na kondenzatorjih, če je $C_1=12\mu\text{F}$, $C_2=1\mu\text{F}$, $C_3=5\mu\text{F}$ in priključena napetost $U=12\text{V}$.

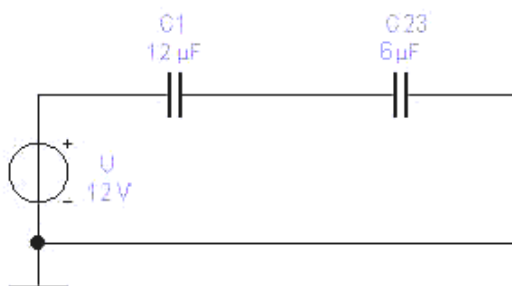


Rešitev:

Najprej izračunamo nadomestno kapacitivnost:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 1\mu\text{F} + 5\mu\text{F} = 6\mu\text{F}$$

$$C_N = \frac{C_1 \cdot C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{12\mu\text{F} \cdot 6\mu\text{F}}{12\mu\text{F} + 6\mu\text{F}} = 4\mu\text{F}$$



Elektrina, ki jo daje izvor napetosti, je:

$$Q = C_N \cdot U = 4\mu\text{F} \cdot 12\text{V} = 48\mu\text{As}$$

Ker je $Q_1=Q$ je napetost U_1

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{48\mu As}{12\mu F} = 4V$$

Napetost U_2 je enaka napetosti U_3 in jo izračunamo po enačbi:

$$U_2 = U_3 = \frac{Q}{C_{23}} = \frac{48\mu As}{6\mu F} = 8V$$

Do enake rešitve napetosti U_2 in U_3 pridemo s pomočjo II Kirchhoffovega zakona.

Elektrini Q_2 in Q_3 sta

$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 1\mu F \cdot 8V = 8\mu As$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 = 5\mu F \cdot 8V = 40\mu As$$

VAJE

117. Izračunaj kapacitivnost ploščnega kondenzatorja, ki ima površino kovinske plošče 1dm^2 , razdaljo med ploščama 1cm in keramiko med ploščama z relativno dielektričnostjo 1000. Dielektričnost praznega prostora je $8.85 \cdot 10^{-12}\text{As/(Vm)}$.

(Rešitev: $C=8.85\text{nF}$)

118. Zračni kondenzator ima kapacitivnost $1\mu F$. Izračunaj kolikšna je kapacitnost kondenzatorja, če vstavimo med plošči trd papir z relativno dielektričnostjo 8?

(Rešitev: $C=8\mu F$)

119. Kondenzator ima kapacitivnost $2.2\mu F$. Izračunaj energijo kondenzatorja, če je na njem napetost 220V .

(Rešitev: $W_e=0.05324\text{Ws}$)

120. Kondenzator s kapacitivnostjo $200\mu F$ je sprejel 1Ws energije. Izračunaj koliko elektronov se je nabralo na plošči kondenzatorja in na kakšno napetost je bil priključen?

(Rešitev: $Q=0.02\text{C}$; $U=100\text{V}$)

121. Razdalja med ploščama zračnega kondenzatorja je 1mm . Izračunaj prebojno napetost, če je prebojna trdnost zraka je 3.3MV/m !

(Rešitev: $U_p=3.3\text{kV}$)

122. Izračunaj nadomestno kapacitivnost in skupno elektrino vzporedne vezave kondenzatorjev, če je $U=10\text{V}$, $C_1=100\text{pF}$, $C_2=50\text{pF}$ in $C_3=150\text{pF}$.

(Rešitev: $C_N=300\text{pF}$; $Q=3\text{nC}$)

123. Vzporedna vezava kondenzatorjev s kapacitivnostmi $C_1=200\text{nF}$, $C_2=250\text{nF}$ in $C_3=500\text{nF}$ je priključena na napetost $U=10\text{V}$. Izračunaj elektrine na kondenzatorjih.

(Rešitev: $Q_1=2\mu\text{C}$; $Q_2=2.5\mu\text{C}$; $Q_3=5\mu\text{C}$)

124. Izračunaj elektrino Q_1 vzporedne vezave kondenzatorja, če je $C_1=20\text{nF}$, $C_2=10\text{nF}$ in $Q_2=500\text{nC}$. Kolikšna je priključena napetost?

(Rešitev: $Q_1=1\mu\text{C}$; $U=50\text{V}$)

125. Izračunaj kapacitivnost C_2 vzporedne vezave kondenzatorja, če je $C_1=100\mu\text{F}$, $Q_1=1\text{mC}$ in $Q_2=5\text{mC}$.

(Rešitev: $C_2=500\mu\text{F}$)

126. Izračunaj nadomestno kapacitivnost, elektrino in napetosti zaporedno vezanih kondenzatorjev, če je priključena napetost $U=10\text{V}$, $C_1=400\text{nF}$, $C_2=600\text{nF}$ in $C_3=240\text{nF}$.

(Rešitev: $C_N=120\text{nF}$; $Q=1.2\mu\text{C}$; $U_1=3\text{V}$; $U_2=2\text{V}$; $U_3=5\text{V}$)

127. Zaporedna vezava kondenzatorjev s kapacitivnostmi $C_1=6\mu\text{F}$, $C_2=12\mu\text{F}$ in $C_3=4\mu\text{F}$ je priključena na napetost $U=12\text{V}$. Izračunaj napetosti na kondenzatorjih.

(Rešitev: $U_1=4\text{V}$; $U_2=2\text{V}$; $U_3=6\text{V}$)

128. Izračunaj napetost U_2 zaporedne vezave kondenzatorja, če je $C_1=15\mu\text{F}$, $C_2=45\mu\text{F}$ in $U_1=6\text{V}$

(Rešitev: $U_2=18\text{V}$)

129. Izračunaj kapacitivnost C_2 zaporedne vezave kondenzatorja, če je $C_1=10\mu\text{F}$, $U_1=2\text{V}$ in $U_2=8\text{V}$.

(Rešitev: $C_2=2.5\mu\text{F}$)

130. Koliko $12\mu\text{F}$ kondenzatorjev moramo vezati zaporedno, da dobimo kapacitivnost $2\mu\text{F}$? (Rešitev: $n=6$)

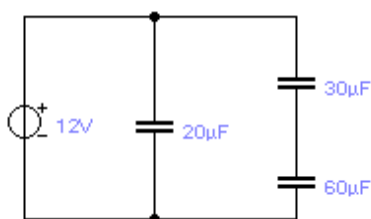
131. Zapiši enačbo nadomestne kapacitivnosti za zaporedno vezavo dveh kondenzatorjev. (Rešitev: $C_N=C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$)

132. Zaporedna vezava dveh kondenzatorjev je priključena na napetost $U=12\text{V}$. Izračunaj kapacitivnost C_1 , če je $C_2=12\mu\text{F}$ in $U_2=4\text{V}$.

(Rešitev: $C_1=6\mu\text{F}$)

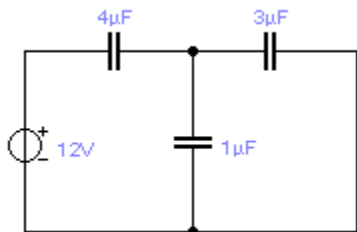
133. Na kolikšno napetost je priključena zaporedna vezava dveh kondenzatorjev, če je $C_1=3\mu\text{F}$, $C_2=15\mu\text{F}$ in $U_1=10\text{V}$? (Rešitev: $U=12\text{V}$)

134. Izračunaj elektrine in napetosti na kondenzatorjih, če je $C_1=20\mu\text{F}$, $C_2=30\mu\text{F}$, $C_3=60\mu\text{F}$ in priključena napetost $U=12\text{V}$.



(Rešitev: $Q_1=240\mu\text{C}$; $U_1=12\text{V}$; $Q_2=240\mu\text{C}$; $U_2=8\text{V}$; $Q_3=240\mu\text{C}$; $U_3=4\text{V}$)

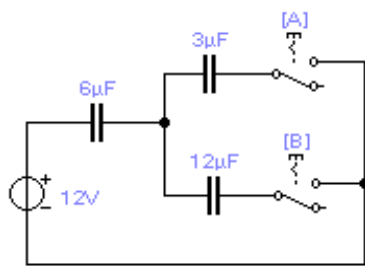
135. Izračunaj elektrine in napetosti na kondenzatorjih, če je $C_1=4\mu\text{F}$, $C_2=1\mu\text{F}$, $C_3=3\mu\text{F}$ in priključena napetost $U=12\text{V}$.



(Rešitev: $Q_1=24\mu\text{C}$; $U_1=6\text{V}$; $Q_2=6\mu\text{C}$; $U_2=6\text{V}$; $Q_3=18\mu\text{C}$; $U_3=6\text{V}$)

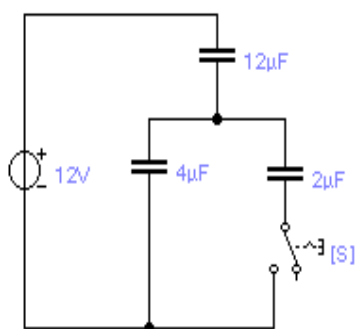
136. Izračunaj kolikšna je energija na kondenzatorju $C_1=6\mu\text{F}$, če je :

- a) sklenjeno samo stikalo A
- b) sklenjeno samo stikalo B
- c) sklenjeno stikalo A in B



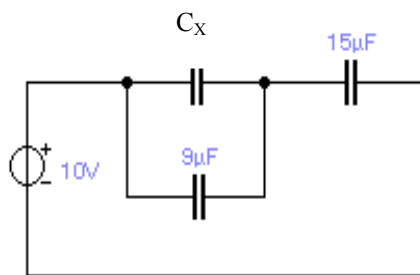
(Rešitev: a) $W_{e1}=48\mu\text{Ws}$; b) $W_{e1}=192\mu\text{Ws}$; c) $W_{e1}\approx 220\mu\text{Ws}$)

137. Vezava s kapacitivnostmi $C_1=12\mu\text{F}$, $C_2=4\mu\text{F}$ in $C_3=2\mu\text{F}$ je priključena na napetost 12V. Izračunaj spremembo elektrine na kondenzatorju C_2 , če stikalo S sklenemo.



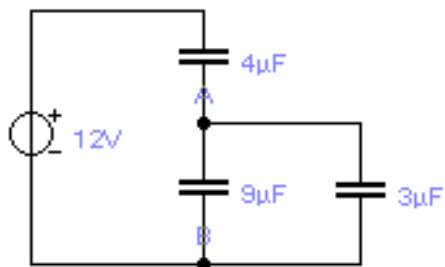
(Rešitev: $\Delta Q_2 = -4\mu\text{C}$)

138. Izračunaj kapacitivnost C_X , da bo na njem napetost 5V.



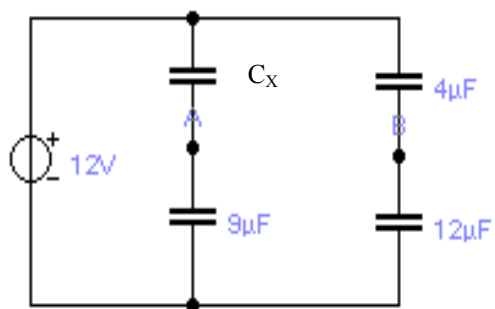
(Rešitev: $C_X=6\mu\text{F}$)

139. Kolikšna je napetost med točkama A in B ?



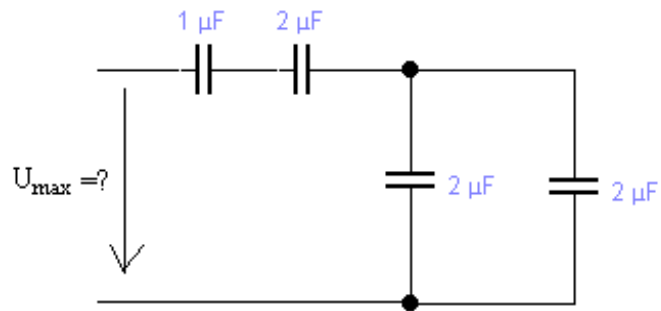
(Rešitev: $U_{AB}=3\text{V}$)

140. Kolikšna mora biti kapacitivnost C_X , da bo med točkama A in B napetost 0V ?



(Rešitev: $C_X=3\mu\text{F}$)

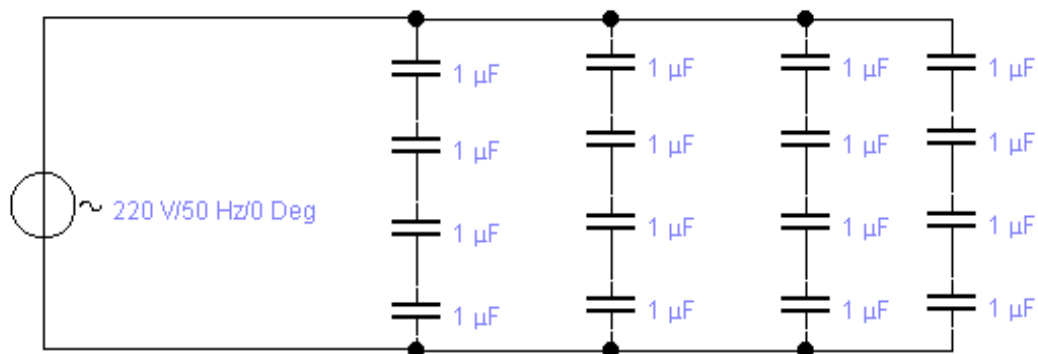
141. Nazivna napetost posameznega kondenzatorja je 110V. Kolikšna je lahko največja priključena napetost ?



(Rešitev: $U_{\max} = 192.5\text{V}$)

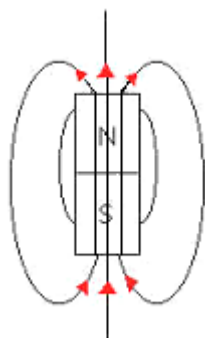
142. Nazivna vrednost posameznega kondenzatorja je $55\text{V}/1\mu\text{F}$. Kako bi moral vezati take kondenzatorje, da bi dobil vrednost $220\text{V}/1\mu\text{F}$?

Rešitev:

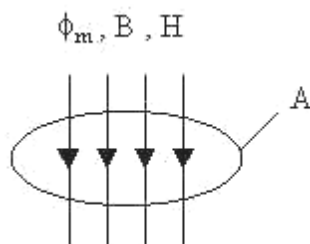


7. MAGNETNO POLJE

Prostor, v katerem delujejo magnetne sile, je magnetno polje. Magnetno polje ponazarjamo s silnicami. Silnice izvirajo iz severnega magnetnega pola in ponikajo v južnem magnetnem polu. Severni pol označimo s črko N (north), južni pa s S (south).



Če so silnice gostejše, je magnetno polje močnejše. Poznamo naravne in umetne magnete. Magneti so feromagnetne snovi.



Magnetno polje opisujemo z magnetnim pretokom ϕ_m , gostoto magnetnega pretoka B in z magnetno poljsko jakostjo H.

Gostota magnetnega pretoka B je magnetni pretok ϕ_m na enoto prereza A, ki stoji **pravokotno** na smer magnetnega pretoka.

$$B = \frac{\phi_m}{A} \quad \left[\frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

kjer je:

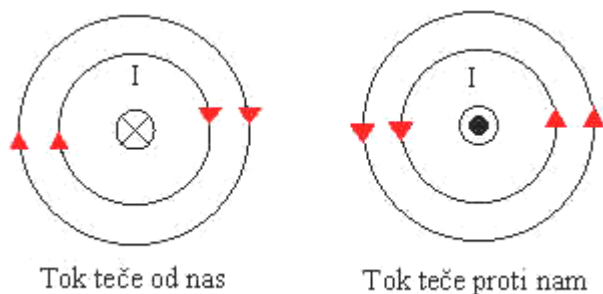
B [T]	... gostota magnetnega pretoka, ki ga merimo v teslih (po Nikoli Tesli)
ϕ_m [Vs]	... magnetni pretok
A [m²]	... prerez, ki stoji pravokotno na smer magnetnega pretoka

Magnetno polje lahko ustvarimo z električnim tokom:

Če teče po vodniku električni tok, se okoli njega ustvarja magnetno polje.

Smer magnetnih silnic določimo s pravilom desnega vijaka:

Če se smer napredovanja vijaka ujema s smerjo toka v vodniku, potem se smer vrtenja vijaka ujema s smerjo magnetnih silnic.



Simbol  pomeni vodnik, kjer teče električni tok stran od nas.
 Simbol  pomeni vodnik, kjer teče električni tok proti nam.

Magnetno veličino H in električno veličino I povezuje enačba

$$H = \frac{I \cdot N}{l} \quad \left[\frac{A}{m} \right]$$

kjer je:

H [A/m]	... magnetna poljska jakost zunaj vodnika
I [A]	... električni tok skozi vodnik
N	... $N=1$
l [m]	... dolžina magnetne silnice (obseg kroga)

Gostoto magnetnega pretoka B in magnetno poljsko jakost H v snovi povezuje permeabilnost snovi μ .

$$B = \mu \cdot H \quad \left[\frac{Vs}{m^2} \right]$$

kjer je:

B [Vs/m ² =T]	... gostota magnetnega pretoka v snovi
μ [Vs/(Am)]	... permeabilnost snovi
H [A/m]	... magnetna poljska jakost v snovi

Permeabilnost snovi je

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad \left[\frac{Vs}{Am} \right]$$

kjer je:

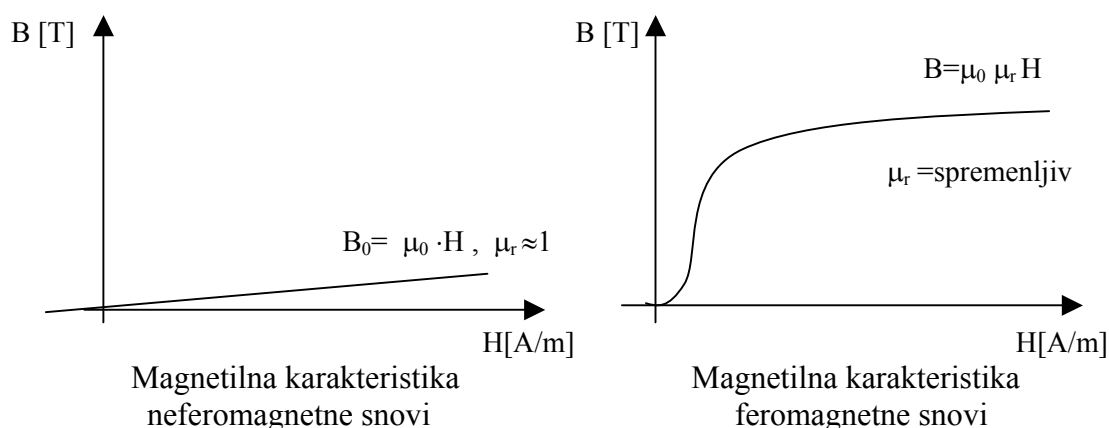
μ [Vs/(Am)]	... permeabilnost snovi
μ_0 [Vs/(Am)]	... permeabilnost praznega prostora $\{\mu_0=4\cdot\pi\cdot10^{-7} \text{ Vs/(Am)}\}$
μ_r	... relativna permeabilnost in je brez enote

Relativna permeabilnost snovi μ_r nam pove, kolikokrat je gostota magnetnega pretoka v snovi večja od gostote magnetnega pretoka v praznem prostoru pri isti magnetni poljski jakosti.

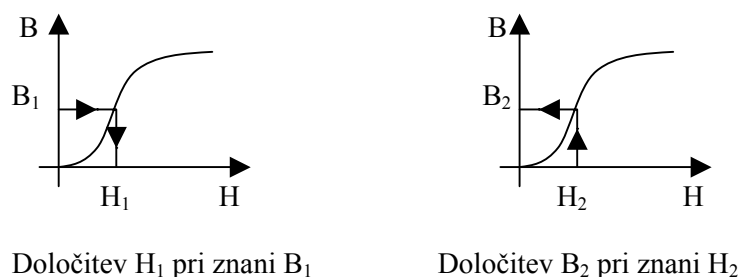
V neferomagnetnih snoveh določimo gostoto magnetnega pretoka iz enačbe $B_0=\mu_0 H$, ker se relativna permeabilnost snovi **ne spreminja** in je približno enaka $\mu_r=1$.

V feromagnetnih snoveh določimo gostoto magnetnega pretoka iz magnetilne karakteristike, ker se relativna permeabilnost snovi **spreminja**. V feromagnetnih snoveh je $\mu_r \gg 1$.

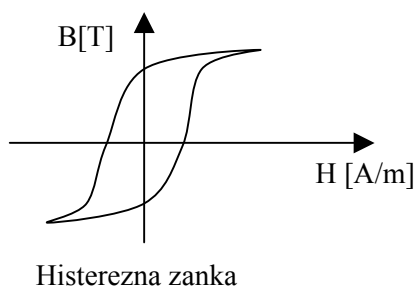
Graf, ki prikazuje odvisnost gostote magnetnega pretoka od magnetne poljske jakosti imenujemo magnetilna karakteristika snovi.



Ker se relativna permeabilnost v feromagnetni snovi spreminja določimo iz magnetilne karakteristike magnetno poljsko jakost pri znani gostoti magnetnega pretoka in obratno.



Če magnetimo feromagnetno snov v obeh smereh dobimo **histerežno zanko**.



7.1. INDUKTIVNOST IN ENERGIJA MAGNETNEGA POLJA

Induktivnost **L** je lastnost vodnikov, da z električnim tokom ustvarjajo magnetno polje.

Induktivnost je premo sorazmerna številu ovojev in magnetnemu pretoku ter obratno sorazmerno električnemu toku.

$$L = \frac{N \cdot \phi_m}{I} \quad [H = \text{Henry}] \quad \left[\frac{V \cdot s}{A} = H \right]$$

kjer je:

L [H]	... induktivnost
N	... število ovojev tuljave
ϕ_m [Vs]	... magnetni pretok
I [A]	... električni tok

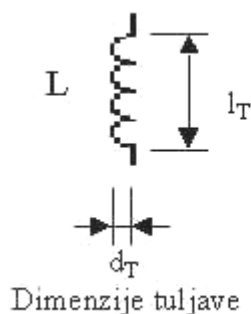
7.1.1. Induktivnost ravne tuljave

Induktivnost tuljave ima podoben pomen kot upornost upora ali kapacitivnost kondenzatorja. Induktivnost ravne tuljave je

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l_T} \quad [H]$$

kjer je:

L [H]	... induktivnosti ravne tuljave
μ_0 [Vs/(Am)]	... $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Vs/(Am) - permeabilnost praznega prostora
μ_r	... relativna permeabilnost snovi
N	... število ovojev tuljave
A [m²]	... ploščina ovoja tuljave
l_T [m]	... dolžina tuljave



$$A = \pi \cdot d_T^2 / 4$$

d_T = premer ovoja tuljave

Naloga 66

Izračunaj induktivnost zračne ravne tuljave, ki ima število ovojev 50, premer ovoja tuljave 10mm in dolžino tuljave 2.5cm. Permeabilnost praznega prostora $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Vs/(Am) .

Rešitev:

$$L = \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_T^2}{l_T} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{50^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0.01m)^2}{0.025m} \approx 10 \mu H$$

Odgovor: Induktivnost zračne ravne tuljave je 10μH.

Naloga 67

Izračunaj induktivnost ravne tuljave, če na železno palico premera 10mm in dolžine 2.5cm navijemo 50 ovojev. Permeabilnost praznega prostora $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Vs/(Am) , relativna permeabilnost železa pa naj bo od 250 do 25000 .

Rešitev:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_T^2}{l_T} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot 250 \cdot \frac{50^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0.01m)^2}{0.025m} \approx 2500 \mu H = 2.5mH$$

Odgovor: Induktivnost ravne tuljave je od 2.5mH do 250mH .

7.1.2. Energija magnetnega polja tuljave

Energija magnetnega polja tuljave je

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2} \quad [Ws]$$

kjer je:

W_m [Ws]	... energija tuljave
L [H]	... induktivnost tuljave
I [A]	... tok skozi tuljavo

Naloga 68

Tuljava ima induktivnost 0.1H. Izračunaj energijo magnetnega polja v tuljavi, če je tok skozi tuljavo 1A .

Rešitev:

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2} = \frac{0.1H \cdot (1A)^2}{2} = 0.05Ws$$

Odgovor: Energija magnetnega polja v tuljavi je 0.05Ws .

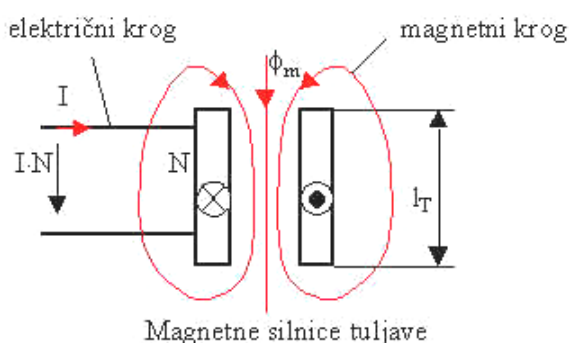
7.2. MAGNETNI UČINKI

Pomembna magnetna učinka sta **magnetna sila** in **indukcija električne napetosti**. Ta dva magnetna učinka izkoriščajo mnogi električni stroji in instrumenti.

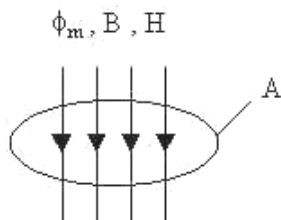
Da bi lažje razumeli magnetne učinke, si oglejmo magnetni krog tuljave.

7.2.1. Magnetno polje tuljave

Električni tok I skozi navitje tuljave ustvarja magnetno polje znotraj in zunaj tuljave. Magnetno polje opisujemo z magnetnim pretokom ϕ_m , gostoto magnetnega pretoka B in z magnetno poljsko jakostjo H .



Magnetne silnice znotraj tuljave so ravne črte, ki ponazarjajo magnetni pretok ϕ_m , gostoto magnetnega pretoka B ali magnetno poljsko jakost H .



$$B = \frac{\phi_m}{A} \quad \left[\frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

Gostoto magnetnega pretoka B in magnetno poljsko jakost H v snovi povezuje permeabilnost snovi μ .

$$B = \mu \cdot H \quad \left[\frac{Vs}{m^2} \right]$$

Permeabilnost snovi je

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad \left[\frac{Vs}{Am} \right]$$

Magnetni krog in električni krog tuljave povezuje enačba

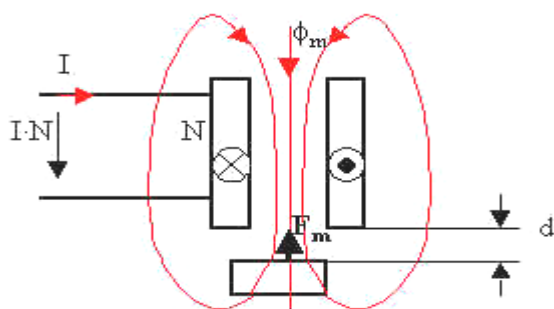
$$H = \frac{I \cdot N}{l_T} \quad \left[\frac{A}{m} \right]$$

kjer je:

H [A/m]	... magnetna poljska jakost znotraj tuljave
I [A]	... električni tok skozi navitje tuljave
N	... število ovojev tuljave
l_T [m]	... dolžina tuljave

7.2.2. Magnetna sila na feromagnetno telo

Ker tok skozi tuljavo ustvarja magnetno polje, je tuljava elektromagnet.



Na sliki je:

I·N [A]	... magnetna napetost
I [A]	... tok skozi navitje tuljave
N	... število ovojev tuljave
Φ_m [Vs]	... magnetni pretok skozi ovoje tuljave
F_m [N]	... magnetna sila na feromagnetno telo
d [m]	... razdalja med tuljavo in feromagnetnim telesom

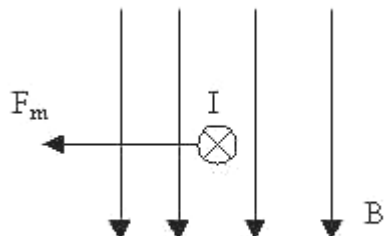
Če želimo izračunati magnetno silo na feromagnetno telo (silo, s katero prime magnet kos železa), naredimo to po enačbi:

$$F_m = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_0} \cdot A \quad [N]$$

Magnetna sila na feromagnetno telo je premo sorazmerno s kvadratom gostote magnetnega pretoka in prereza feromagnetnega telesa pravokotnega na magnetni pretok.

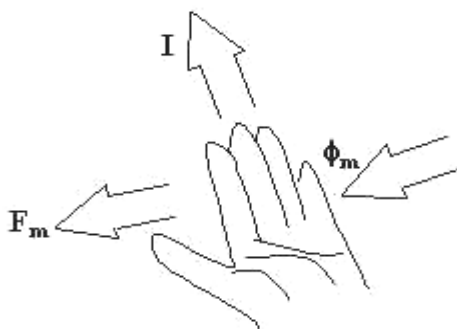
7.2.3. Magnetna sila na tokovodnik

Če skozi vodnik teče električni tok in je ta v magnetnem polju, potem na vodnik deluje magnetna sila.



Smer magnetne sile na vodnik določimo s pravilom leve roke, ki pravi:

Če magnetne silnice padajo v odprto dlan leve roke in prsti kažejo smer toka, potem iztegnjeni palec kaže smer magnetne sile na vodnik.



Velikost magnetne sile na vodnik je premo sorazmerna gostoti magnetnega pretoka, električnemu toku in dolžini vodnika v magnetnem polju, če je vodnik pravokotno postavljen na magnetne silnice.

$$F_m = B \cdot I \cdot l \quad [N]$$

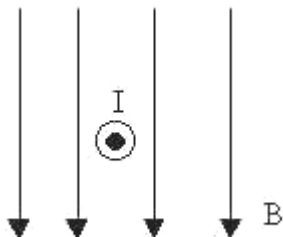
kjer je:

F_m [N]	... magnetna sila na vodnik
B [T]	... gostota magnetnega pretoka
I [A]	... električni tok vodnika
l [m]	... dolžina vodnika v magnetnem polju

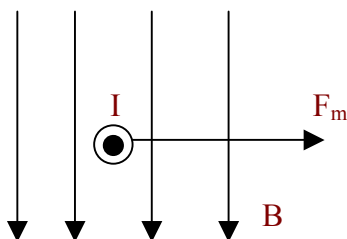
Če so magnetne silnice vzporedne vodniku, magnetne sile na vodnik ni.

Naloga 69

Določi smer magnetne sile na vodnik in izračunaj velikost magnetne sile na vodnik, če je 70cm vodnika v magnetnem polju 0.5T . Električni tok 2A v vodniku je pravokoten na magnetne silnice.



Rešitev:

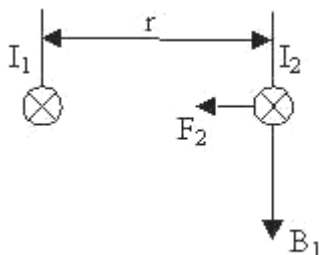


$$F_m = B \cdot I \cdot l = 0.5T \cdot 2A \cdot 0.7m = 0.7N$$

Odgovor: Velikost magnetne sile na vodnik je 0.7N.

7.2.4. Magnetna sila med vzporednima tokovodnikoma

Sedaj igra en vodnik vlogo, da ustvarja magnetno polje drugemu in obratno. Smer magnetnega polja, ki ga povzroča tok v vodniku, lahko določimo s pravilom desnega vijaka, smer magnetne sile na vodnik pa s pravilom leve roke.



Izpeljava:

Gostota magnetega pretoka B_1 , ki ga ustvarja električni tok I_1 je

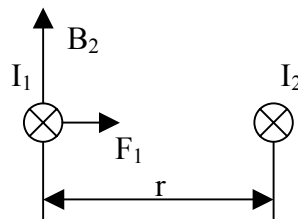
$$B_1 = \mu_0 \cdot \frac{I_1}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Magnetna sila na vodnik 2 pa je

$$F_2 = B_1 \cdot I_2 \cdot l = \mu_0 \cdot \frac{I_1}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot I_2 \cdot l \quad ali$$

$$F_2 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot l \quad [N]$$

To kar velja za vodnik 2, velja tudi za vodnik 1



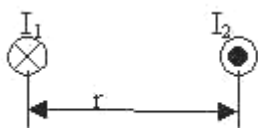
$$F_1 = B_2 \cdot I_1 \cdot l = \mu_0 \cdot \frac{I_2}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot I_1 \cdot l \quad ali$$

$$F_1 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot l = F_2 \quad [N]$$

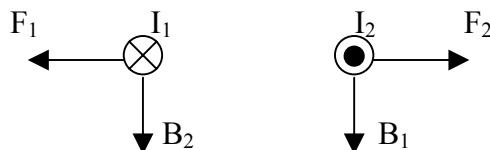
Iz enačbe magnetne sile F_2 in F_1 vidimo, da sta enačbi enaki, zato sta magnetni sili enako veliki. V našem primeru se vodnika privlačita, ker imata električna toka I_1 in I_2 isto smer.

Naloga 70

Nariši smer magnetne sile F_1 in F_2 !



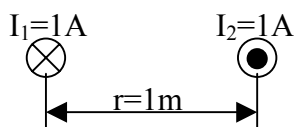
Rešitev:



Odgovor: Vodnika se odbijata , ker imata električna toka I_1 in I_2 nasprotno smer.

Dodatek:

Izračunaj velikost F_1 in F_2 , če sta električna toka po velikosti enaka 1 A . Medsebojna razdalja med vodnikoma je 1 m in dolžina vodnika v magnetnem polju je tudi 1 m.



Vodnika se odbijata , ker imata električna toka I_1 in I_2 nasprotno smer.
Velikost F_1 in F_2 pa je

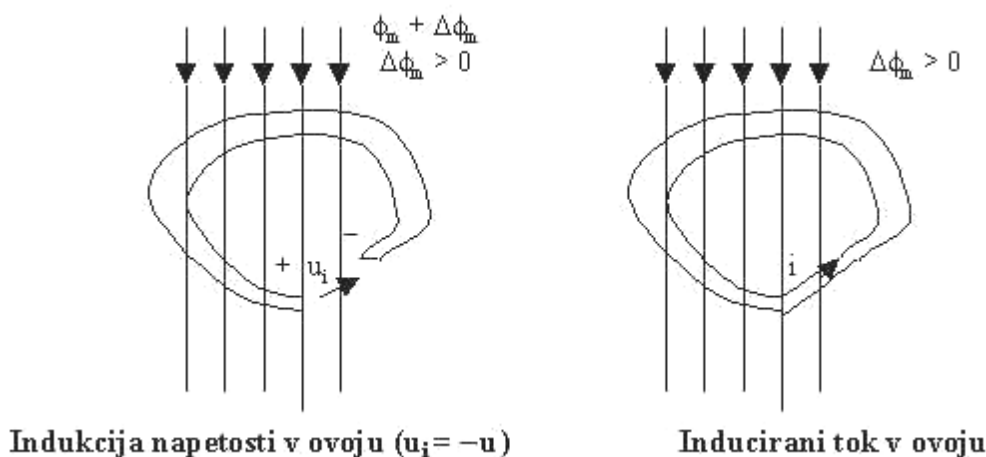
$$F_1 = F_2 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot l = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{1A \cdot 1A}{2 \cdot \pi \cdot 1m} \cdot 1m = 2 \cdot 10^{-7} N$$

Iz te naloge izhaja definicija za osnovno enoto toka 1 A (amper) .

7.2.5. Indukcija električne napetosti zaradi spremembe magnetnega pretoka

V vodniku, ovoju ali tuljavi nastanejo napetosti, če se nahajajo v spreminjajočem magnetnem polju.

Indukcijo električne napetosti zaradi spremembe magnetnega pretoka imenujemo tudi statična indukcija, ker se skozi **mirujoči ovoj** spreminja magnetni pretok.



Zaradi spremembe magnetnega pretoka skozi ovoj se v ovoj inducira napetost, ki požene tok. Smer inducirane napetosti določimo po Lenzovem pravilu.

Lenzovo pravilo:

Spreminjajoči se magnetni pretok inducira v ovojih električno napetost tako, da ta napetost požene tok, ki nasprotuje magnetnemu pretoku.

Velikost toka ali velikost inducirane napetosti bo v vodniku tem večja, čim hitreje se bo magnetni pretok spreminjal. Če spremembe magnetnega pretoka ni, potem tudi inducirane napetosti ni.

Inducirana napetost v enem ovojju je

$$u_{i1} = -\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad [V]$$

Inducirana napetost v tuljavi je

Faradayev zakon:

$$u_i = -N \cdot \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad [V]$$

kjer je:

ui [V]	... inducirana napetost
N	... število ovojjev
Δφm [Vs]	... sprememba magnetnega pretoka
Δt [s]	... sprememba časa
L [H]	... induktivnost
Δi [A]	... sprememba toka

Inducirana napetost je premo sorazmerna induktivnosti in spremembi električnega toka po času.

Primer

Izračunaj napetost na tuljavi, če je sprememba toka stalna in je 200mA/s . Induktivnost tuljave je 0.1H .

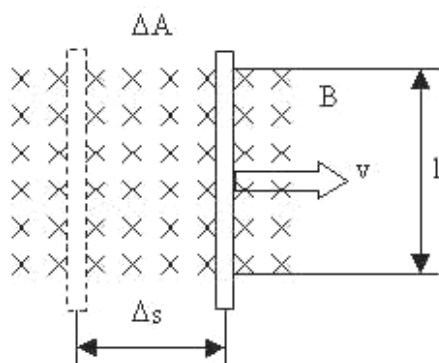
Rešitev:

$$U_L = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = 1\text{H} \cdot 200 \frac{\text{mA}}{\text{s}} = 200\text{mV} = 0.2\text{V}$$

Odgovor: Napetost na tuljavi je 0.2V .

7.2.6. Indukcija električne napetosti zaradi prečkanja magnetnega pretoka

Indukcijo električne napetosti zaradi prečkanja magnetnega pretoka imenujemo tudi **dinamična indukcija**, ker se giblje vodnik, ovoj ali tuljava skozi magnetno polje.



Gibajoči vodnik v magnetnem polju

Gibajoči vodnik v magnetnem polju opravi pot Δs . Produkt poti Δs in dolžine vodnika, ki je v magnetnem polju, je ploščina pravokotnika ΔA , skozi katerega se pretaka magnetni pretok.

$$\Delta A = \Delta s \cdot l$$

Ker se vodnik giblje, "čuti" spremembo magnetnega pretoka

$$\Delta \phi_m = B \cdot \Delta A$$

Inducirana napetost vodnika je

$$U_i = B \cdot l \cdot v \quad [V] \quad , \quad \text{inducirana napetost vodnika}$$

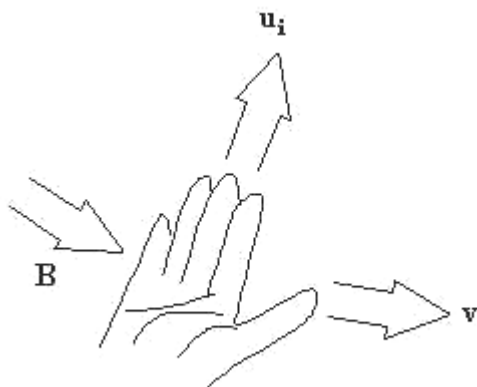
kjer je:

B [T]	... gostota magnetnega pretoka
l [m]	... dolžina vodnika v magnetnem polju
v [m/s]	... hitrost vodnika

Zgornja enačba velja, če so magnetne silnice pravokotne na dolžino in hitrost vodnika.

Smer inducirane toka določimo s pravilom desne roke, ki pravi:

Če magnetne silnice vstopajo v odprto dlan desne roke in iztegnjeni palec kaže smer gibanja vodnika, potem prsti kažejo smer inducirane toka.



Primer

Izračunaj električno napetost med koncema vodnika, če se vodnik dolžine 10cm giblje s hitrostjo 2m/s pravokotno na gostoto magnetnega pretoka 0.8T.

Rešitev:

$$U = B \cdot l \cdot v = 0.8T \cdot 0.1m \cdot 2 \frac{m}{s} = 0.16V$$

Odgovor: Električna napetost med koncema vodnika je 0.16V .

7.3. ZAKONITOSTI MAGNETNIH KROGOV - DODATEK

V magnetnih krogih so podobne zakonitosti kot v električnih krogih.

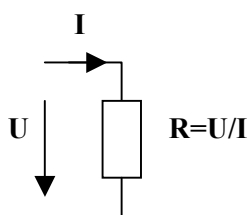
7.3.1. OHMOV ZAKON V MAGNETIKI

Magnetna upornost R_m je premo sorazmerna magnetni napetosti Θ in obratno sorazmerna magnetnemu pretoku Φ_m .

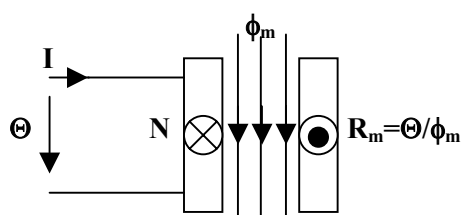
$$R_m = \frac{\Theta}{\Phi_m} \left[\frac{A}{V \cdot s} \right]$$

kjer je:

$R_m [A/V \cdot s]$	... magnetna upornost
$\Theta [A]$	... magnetna napetost
$\Phi_m [V \cdot s]$	... magnetni pretok



električna upornost upora



magnetna upornost tuljave

$$R_m = \Theta / \Phi_m = \Theta / (B \cdot A) = \Theta / (\mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot A) = \Theta / (\mu_0 \cdot \mu_r \cdot (\Theta / l) \cdot A)$$

$$R_m = l / (\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A)$$

Magnetna upornost je snovna geometrijska lastnost. V geometriji je zajeta dolžina in prerez.

$l [m]$... dolžina tuljave

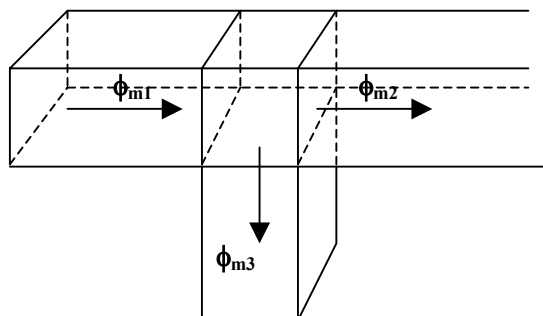
$A [m^2]$... prerez tuljave, pravokotno na magnetni pretok

Magnetna upornost feromagnetne snovi je nelinearna funkcija magnetne napetosti, zaradi spremenljive relativne permeabilnosti, zato se jo v magnetnih krogih ne podaja.

7.3.2. PRVI KIRCHHOFFOV ZAKON V MAGNETIKI

Prvi Kirchhoffov zakon vozlišča magnetnega pretoka pravi, da je pri poljubni zaključeni ploskvi, vsota vstopajočih magnetnih pretokov enaka vsoti izstopajočih magnetnih pretokov.

Primer



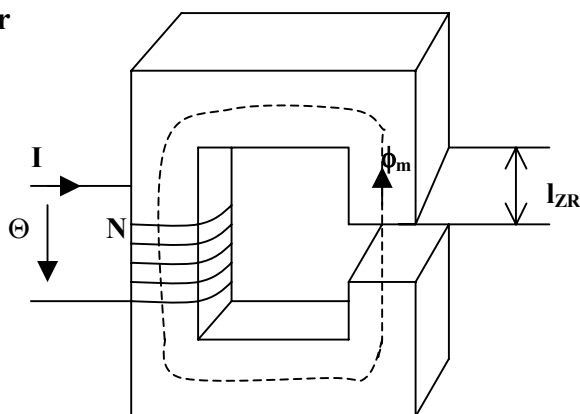
$$\Phi_{m1} = \Phi_{m2} + \Phi_{m3}$$

Φ_{m1} ... vstopajoči magnetni pretok
 Φ_{m2} , Φ_{m3} ... izstopajoča magnetna pretoka

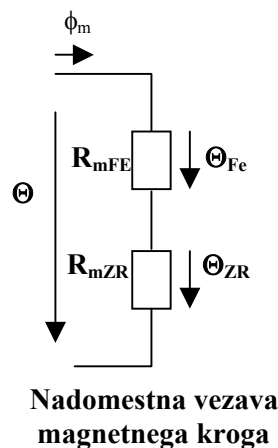
7.3.3. DRUGI KIRCHHOFFOV ZAKON V MAGNETIKI

Drugi Kirchhoffov zakon magnetne napetostne zanke pravi, da je v magnetnem krogu po poljubni zaključeni poti vsota gonilnih magnetnih napetosti enaka vsoti padcev magnetnih napetosti $H_i l_i$.

Primer



Magnetni krog z zračno režo



$$\Theta = \Theta_{Fe} + \Theta_{ZR}$$

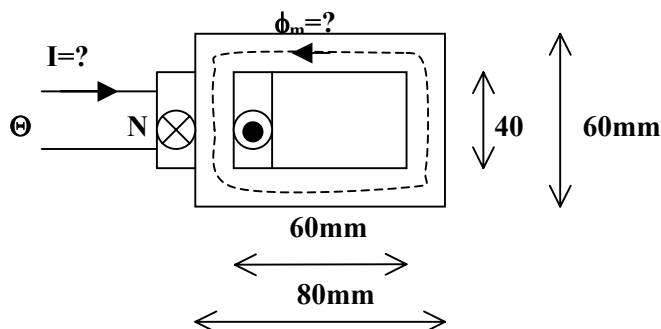
Θ ... gonilna magnetna napetost
 Θ_{Fe} ... magnetna napetost feromagnetnega jedra
 Θ_{ZR} ... magnetna napetost zračne reže

$$I \cdot N = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_{ZR} \cdot l_{ZR}$$

H ... magnetna poljska jakost
 l ... dolžina

Naloga 71

V zaključenem feromagnetnem jedru s konstantnim prerezom $A=2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ iz Si-Fe elektropločevine želimo ustvariti gostoto magnetnega pretoka $B=1.1\text{T}$. Kolikšen električni tok mora teči v navitju s $N=500$ ovoji in kolikšen bo magnetni pretok v jedru ?



Magnetni krog brez zračne reže

Rešitev:

Iz magnetilne karakteristike za Si-Fe elektropločevino odčitamo da je pri $B=1.1\text{T}$ magnetna poljska jakost $H=300\text{A/m}$ (glej zadnjo stran delovnega zvezka).

Iz slike izračunamo srednjo dolžino magnetne silnice $l_s = (60+80+40+60)\text{mm}=0.24\text{m}$

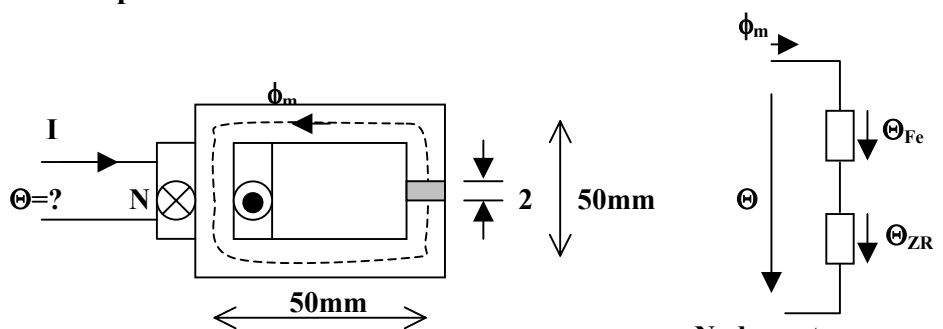
$$I \cdot N = H \cdot l_s \Rightarrow I = H \cdot l_s / N = 300\text{A/m} \cdot 0.24\text{m} / 500 = 0.144\text{A}$$

$$\Phi_m = B \cdot A = 1.1\text{T} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{s}$$

Odgovor: Električni tok v navitju je 0.144A , magnetni pretok v jedru je $2.2 \cdot 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{s}$

Naloga 72

V magnetnem krogu z zračno režo želimo ustvariti gostoto magnetnega pretoka $B=0.5\text{T}$. Izračunaj potrebno magnetno napetost, če je feromagnetno jedro iz Si-Fe elektropločevine.



Magnetni krog z zračno režo

Rešitev:

$$\phi_m = B \cdot A \Rightarrow B_{Fe} = B_{ZR} = 0.5 \text{ T}$$

$$\Theta = \Theta_{Fe} + \Theta_{ZR} = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_{ZR} \cdot l_{ZR}$$

$$B_{Fe} = 0.5 \text{ T} \Rightarrow \text{iz magnetilne karakteristike razberemo } H_{Fe} = 100 \text{ A/m}$$

$$l_{Fe} = (4 \cdot 50 - 2) \text{ mm} = 198 \text{ mm} = 0.198 \text{ m}$$

$$B_{ZR} = 0.5 \text{ T} \Rightarrow \text{iz enačbe } H_{ZR} = B_{ZR} / \mu_0 = 0.5 \text{ T} / (4\pi \cdot 10^{-7} \text{ As/(Vm)}) = 398 \cdot 10^3 \text{ A/m}$$

$$l_{ZR} = 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m}$$

$$\Theta = 100 \text{ A/m} \cdot 0.198 \text{ m} + 398 \cdot 10^3 \text{ A/m} \cdot 0.002 \text{ m} = 19.8 \text{ A} + 796 \text{ A} = 815.8 \text{ A}$$

Padec magnetne napetosti v feromagnetni snovi lahko primerjamo z električno napetostjo na vodniku.

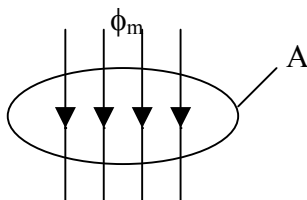
Padec magnetne napetosti v zračni reži lahko primerjamo z električno napetostjo na električnem porabniku.

$$\Theta_{ZR} \gg \Theta_{Fe} \Rightarrow \Theta \approx \Theta_{ZR} = H_{ZR} \cdot l_{ZR}$$

Odgovor: Potrebna magnetna napetost je 815.8 A

VAJE

143. Skozi prerez $A = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ se pretaka magnetni pretok $\phi_m = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}$. Izračunaj gostoto magnetnega pretoka.



(Rešitev: $B = 0.1 \text{ T}$)

144. Kolikšen je magnetni pretok, če je gostota magnetnega pretoka 0.5 T in prerez, skozi katerega se pretaka magnetni pretok, 1 cm^2 ?

(Rešitev: $\phi_m = 0.5 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}$)

145. Izračunaj magnetno poljsko jakost in gostoto magnetnega pretoka znotraj zračne tuljave, če skozi 5 cm dolgo tuljavo s 150 ovoji teče tok 1 A . Permeabilnost praznega prostora $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$

(Rešitev: $H = 3000 \text{ A/m}$; $B \approx 3.77 \text{ mT}$)

146. Izračunaj induktivnost zračne ravne tuljave, ki ima število obojev 40 , prerez ovoja tuljave pravokotno na magnetni pretok 5 cm^2 in dolžino 2 cm . Permeabilnost praznega prostora $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$.

(Rešitev: $L = 50.3 \mu\text{H}$)

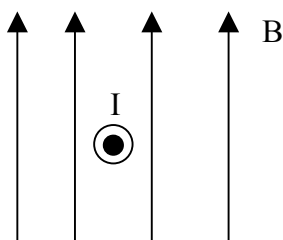
147. Tuljava ima induktivnost 0.1 H . Izračunaj magnetno energijo tuljave, če je tok skozi navitje tuljave 0.1 A !

(Rešitev: $W_m = 0.0005 \text{ Js}$)

148. Kolikšen je tok skozi ovoje tuljave z induktivnostjo 40mH, če je nakopičena magnetna energija tuljave 0.5Ws ?

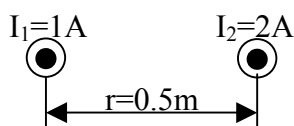
(Rešitev: $I=5A$)

149. Določi smer magnetne sile na vodnik in izračunaj velikost magnetne sile na vodnik, če je 1m vodnika v magnetnem polju 0.8T . Električni tok 1A v vodniku je pravokoten na magnetne silnice.



(Rešitev: smer magnetne sile kaže levo, velikost magnetne sile je 0.8N)

150. Izračunaj velikost F_1 in F_2 , če sta električna toka $I_1=1A$ in $I_2=2A$. Medsebojna razdalja med vodnikoma je 0.5m in dolžina vodnika v magnetnem polju je 1m.



(Rešitev: vodnika se privlačita, velikost magnetne sile je $8 \cdot 10^{-7} N$)

151. Kolikšna je inducirana napetost ovoja, če se v času od nič sekund do ene sekunde linearno spremeni magnetni pretok tuljave od $-10Vs$ do $10Vs$?

(Rešitev: $u_i = -20V$)

152. Kolikšna je inducirana napetost tuljave, če se v času od nič sekund do ene mili sekunde linearno spremeni tok tuljave od 10mA do $-10mA$? Induktivnost tuljave je 0.4H .

(Rešitev: $u_i = 8V$)

153. Izračunaj električno napetost med koncema vodnika, če se vodnik dolžine 50cm giblje s hitrostjo 2m/s

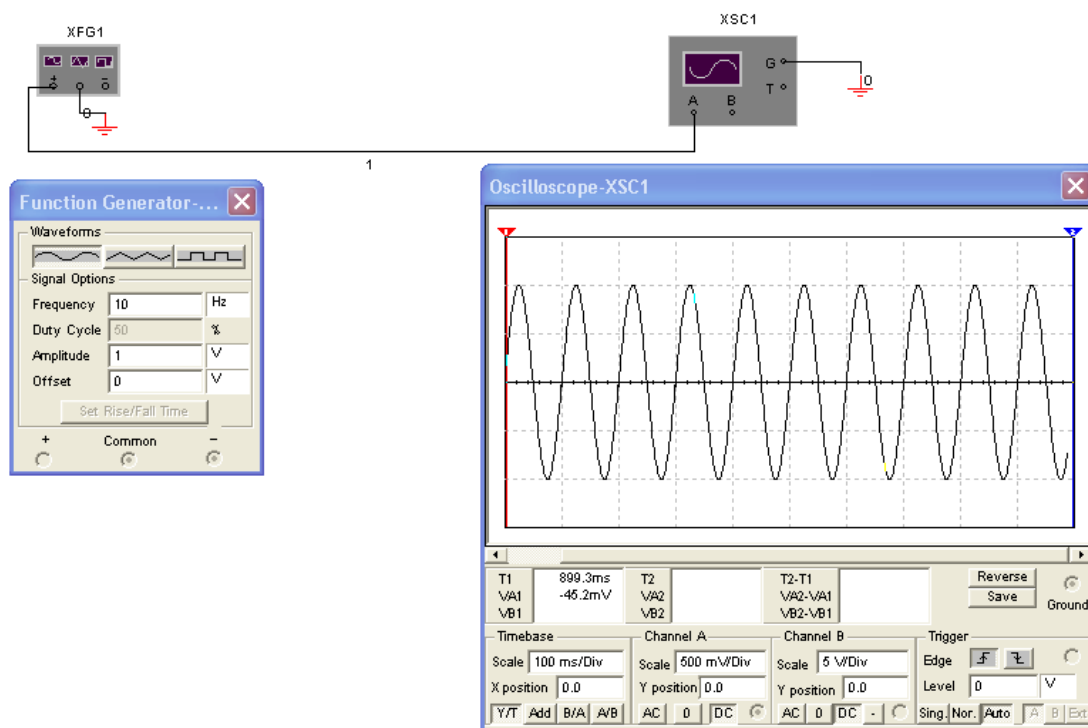
- a) pravokotno na gostoto magnetnega pretoka 1T
- b) vzporedno na gostoto magnetnega pretoka 1T.

(Rešitev: a) $U=1V$; b) $U=0V$)

8. OSNOVNI POJMI IZMENIČNIH ELEKTRIČNIH VELIČIN

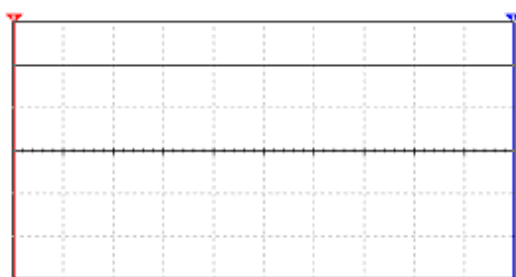
Izmeničnim veličinam, katerim se časovna odvisnost v enakih časovnih presledkih ponavlja, imenujemo periodične veličine.

Funkcijski generator je vir, ki nam daje sinusne, pravokotne in trikotne periodične veličine. Te veličine opazujemo na zaslonu osciloskopa.

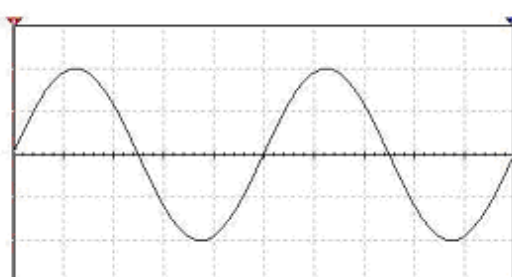


8.1. Oblike električnih veličin

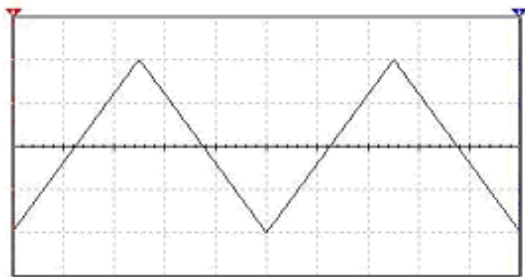
Električne veličine so lahko enosmerne in izmenične. Izmenične veličine so periodične ali neperiodične.



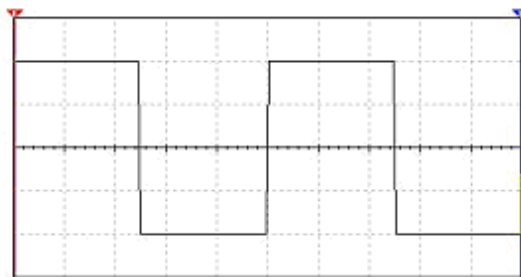
Enosmerna veličina



Sinusna izmenična veličina



Trikotna izmenična veličina



Pravokotna izmenična veličina

Narisane izmenične veličine so periodične.

8.2. Parametri sinusne izmenične veličine

Parametri sinusne veličine so: perioda, trenutna vrednost, maksimalna vrednost, srednja vrednost, efektivna vrednost.

8.2.1. Perioda T in frekvenca f

Čas, v katerem se časovni potek periodične veličine ponovi imenujemo perioda. Število period v eni sekundi imenujemo frekvenca. Frekvenco merimo v hertzih.

$$f = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{s} = Hz \right]$$

f[Hz] ... frekvenca

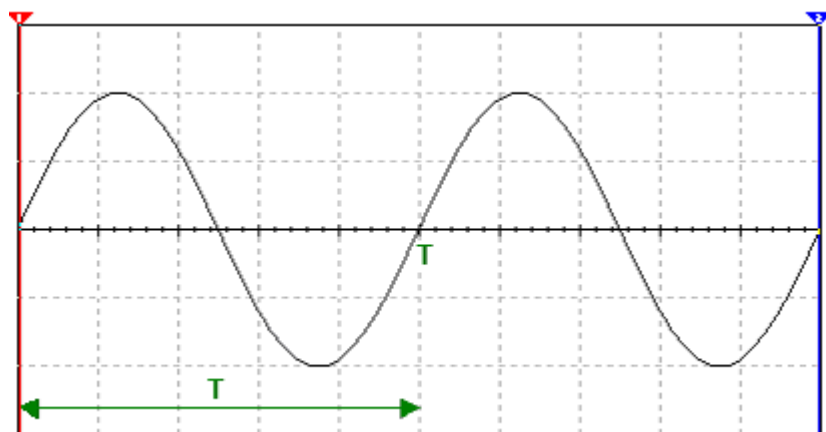
T[s] ... perioda

Krožna frekvenca je premo sorazmerna frekvenci.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \left[\frac{rad}{s} \right]$$

ω [rad/s] ... krožna frekvenca

f[Hz] ... frekvenca



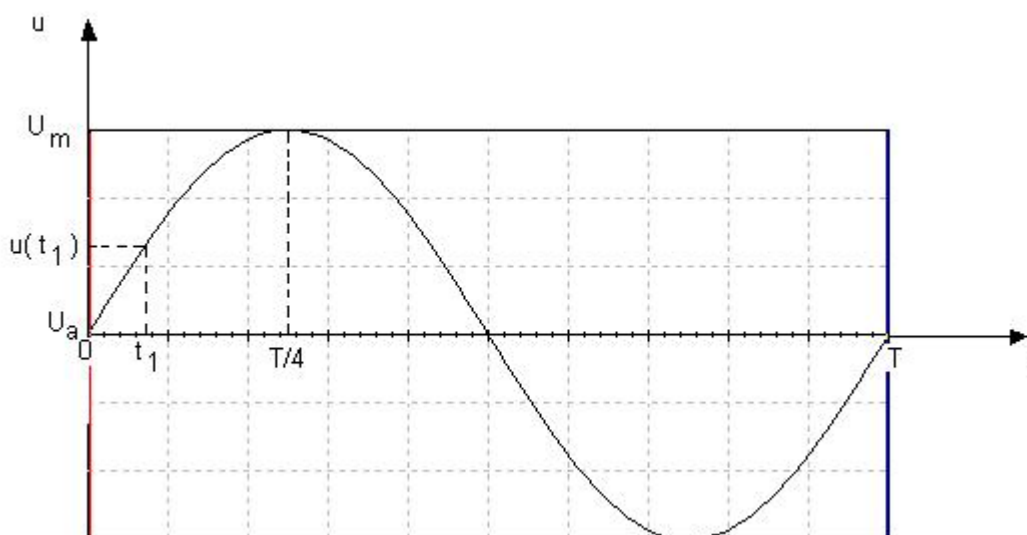
Perioda sinusne veličine

8.2.2. Trenutna, maksimalna in srednja vrednost sinusne veličine

Vrednosti periodičnih veličin v določenih trenutkih imenujemo trenutne vrednosti. Označujemo jih z malimi črkami.

Največji trenutni vrednosti periodične veličine pravimo maksimalna vrednost. Označujemo jo z veliko črko in indeksom 'm'.

Srednja vrednost sinusne veličine v času ene periode je enaka nič. Označujemo jo z veliko črko in indeksom 'a'.



Sinusna izmenična napetost

Na grafu pomenijo parametri:

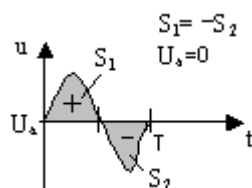
$T[s]$... perioda sinusne napetosti

$u(t_1) [V]$... trenutna vrednost napetosti v času t_1

$U_m [V]$... maksimalna vrednost napetosti v času $T/4$

$U_a [V]$... srednja vrednost napetosti v času ene periode, ki je enaka nič

Srednjo vrednost veličine izračunamo tako, da ploščino, ki jo oklepata krivulja veličine in časovna os v času ene periode, delimo s periodo.



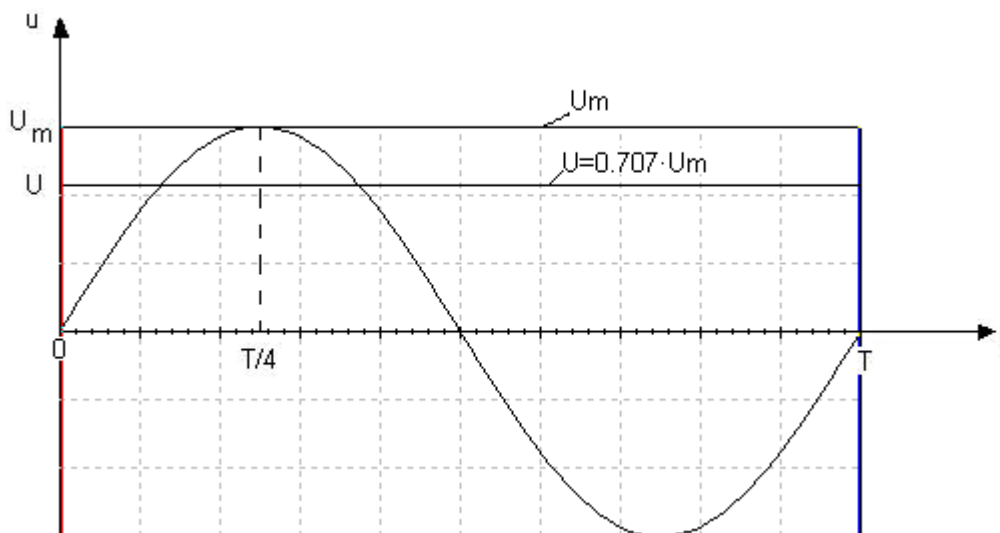
S_1 ... pozitivna ploščina v času 0 do $T/2$
 S_2 ... negativna ploščina v času $T/2$ do T

Srednja vrednost izmenične veličine v času ene periode je enaka nič, če je vsota pozitivne ploščine S_1 in negativne ploščine S_2 enaka nič.

$$U_a = (S_1 + S_2) / T = 0, \quad S_1 = -S_2$$

8.2.3. Efektivna vrednost sinusne veličine

Enosmerna veličina, ki opravi pri enakih pogojih enako delo kot izmenična veličina, imenujemo efektivna vrednost izmenične veličine. Efektivno vrednost označujemo z veliko črko brez indeksa.



Sinusna izmenična napetost

Na grafu pomenijo parametri:

$T[s]$... perioda sinusne napetosti

$U_m [V]$... maksimalna vrednost napetosti v času $T/4$

$U [V]$... efektivna vrednost napetosti v času ene periode, ki je enaka $0.707 \cdot U_m$

V izmeničnih krogih podajamo električna dela z efektivnimi vrednostmi napetosti in toka.

$$W = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

$W[Ws]$... električno delo izmeničnega toka

$U[V]$... efektivna vrednost napetosti

$I[A]$... efektivna vrednost toka

$R[\Omega]$... ohmska upornost porabnika

$t[s]$... čas

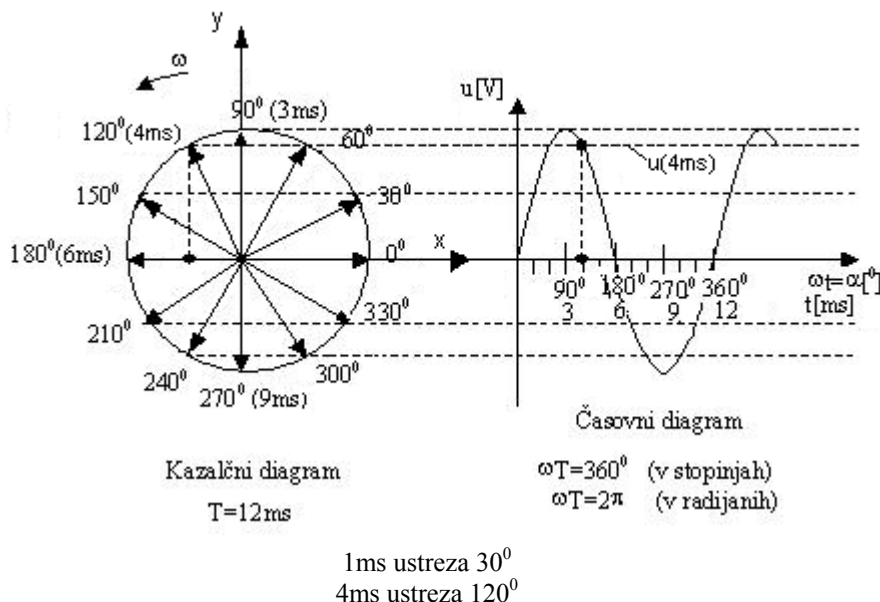
Efektivna vrednost je pri sinusni obliki za $\sqrt{2}$ - krat manjši od maksimalne vrednosti.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad ; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

V električnem omrežju je efektivna napetost 230V.

8.3. Kazalčni diagram

Sinusne veličine grafično prikažemo v kazalčnem diagramu ali v časovnem diagramu. Kazalci se vrtijo v krogu z enako krožno frekvenco ω v nasprotni smeri urinega kazalca.

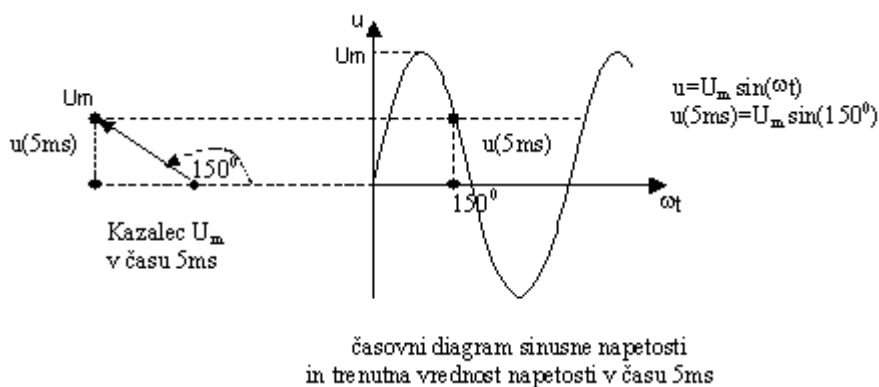


Projekcija vrtečega kazalca na y os v kazalčnem diagramu predstavlja trenutno vrednost sinusne veličine.

Primer:

Perioda sinusne napetosti $T=12\text{ms}$. Nariši kazalec napetosti U_m in trenutno vrednost napetosti u v času 5ms .

$$360^\circ/12\text{ms} = 30^\circ/1\text{ms} \Rightarrow \text{v času } 5\text{ms} \text{ imamo kot } 150^\circ$$



Čas obhoda kazalca predstavlja periodo T sinusne veličine.

V izmeničnih krogih rišemo kazalce v času $t=0$, ne pa v času $t=5\text{ms}$, kot je v zgornjem primeru.

8.3.1. Fazni premik

O faznem premiku lahko govorimo, če imamo dve sinusni veličini.

Sinusno veličino zapišemo splošno v obliki:

$$x(t) = X_m \cdot \sin(\alpha_t) = X_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha_0)$$

$x(t)$... trenutna vrednost sinusne veličine
 X_m ... maksimalna vrednost sinusne veličine
 α_t ... trenutni fazni kot sinusne veličine
 α_0 ... začetni fazni kot sinusne veličine

Če rišemo samo kazalce, jih rišemo v času $t=0$ z efektivnimi vrednostmi.

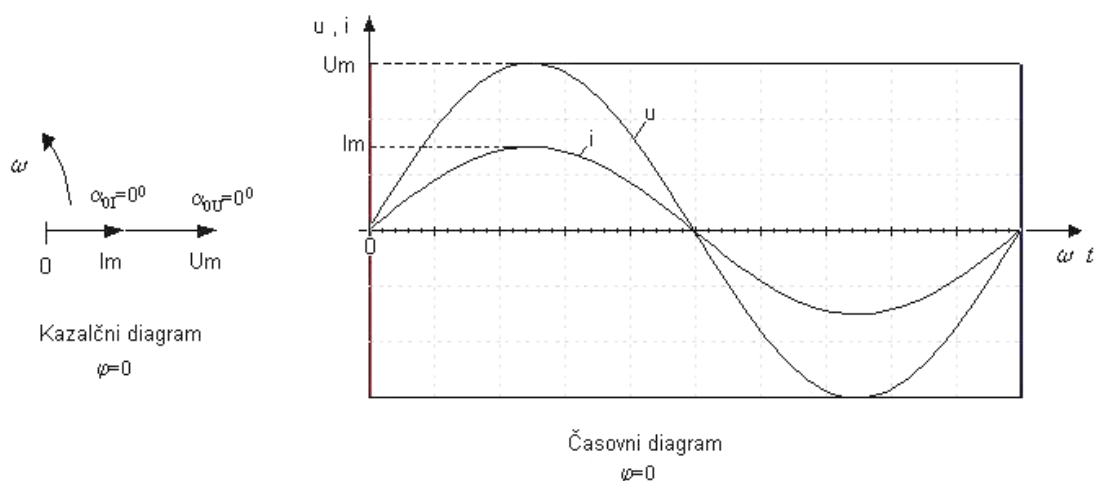
Iz kazalca lahko razberemo velikost (efektivno vrednost) in kot (začetni fazni kot).

Fazni kot je razlika začetnega kota napetosti in začetnega kota toka.

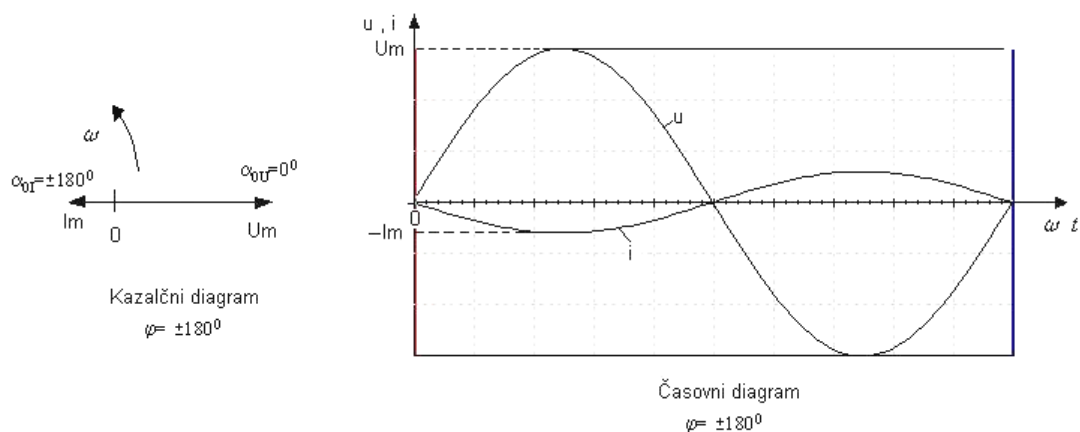
$$\varphi = \alpha_{0U} - \alpha_{0I}$$

$\varphi [^{\circ}]$... fazni kot
 $\alpha_{0U} [^{\circ}]$... začetni kot napetosti
 $\alpha_{0I} [^{\circ}]$... začetni kot toka

Dve veličini sta v fazi, kadar je fazni kot 0° .



Dve veličini sta v protifazi, kadar je fazni kot $\pm 180^{\circ}$.

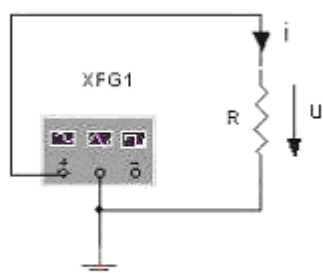


8.4. Preprosti izmenični krogi

Preprosti izmenični krog je električni krog z virom sinusne napetosti in čistim ohmskim, induktivnim ali kapacitivnim porabnikom.

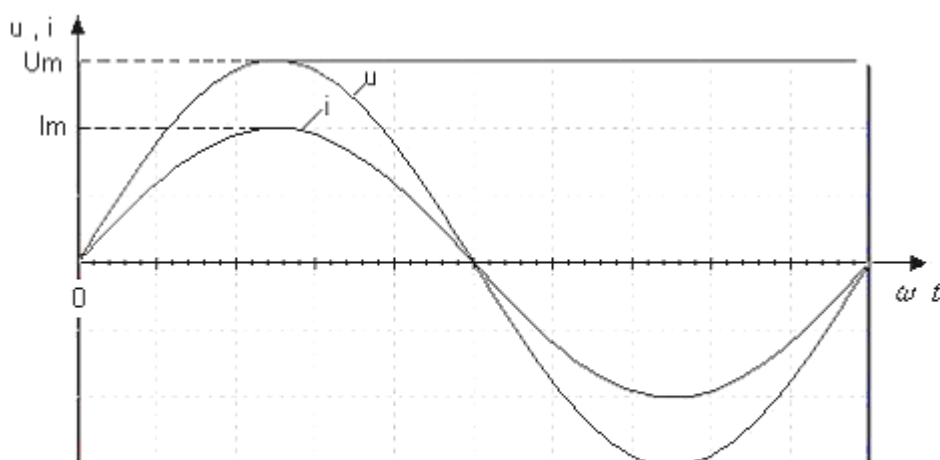
8.4.1. Idealni upor v izmeničnem krogu

Ohmska upornost je frekvenčno neodvisna upornost, zato je tudi tok neodvisen od frekvence. Tok skozi upor imenujemo delovni tok.

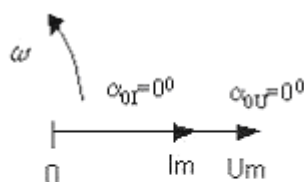


Vezava

Ohmska upornost ne povzroča faznega premika, zato sta tok in napetost upora v fazi. Fazne razmere upora prikažemo v časovnem in kazalčnem diagramu.



Časovni diagram
 $\varphi=0$



Kazalčni diagram
 $\varphi=0$

Sinusni izmenični tok povzroči na ohmski upornosti sinusni padec napetosti, ki je v fazi s tokom.

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad ; \quad U_m = R \cdot I_m$$

Delovna moč P upora je produkt efektivne napetosti U in efektivnega delovnega toka I .

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \quad [\text{ W }]$$

Delovna energija W upora je produkt delovne moči P in časa t .

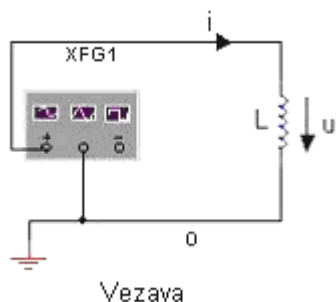
$$W = P \cdot t \quad [\text{ W} \cdot \text{ s }]$$

8.4.2. Idealna tuljava v izmeničnem krogu

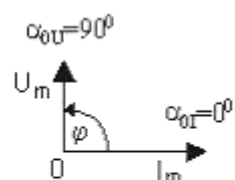
Induktivna upornost je frekvenčno odvisna upornost, zato je tudi tok odvisen od frekvence. Tok skozi tuljavo imenujemo jalovi tok.

Induktivna upornost X_L je premo sorazmerna krožni frekvenci ω in induktivnosti L .

$$X_L = \omega \cdot L \quad [\Omega]$$



Induktivna upornost povzroča v izmeničnem krogu zaostajanje toka za napetostjo. Fazne razmere tuljave prikažemo v kazalčnem in časovnem diagramu.

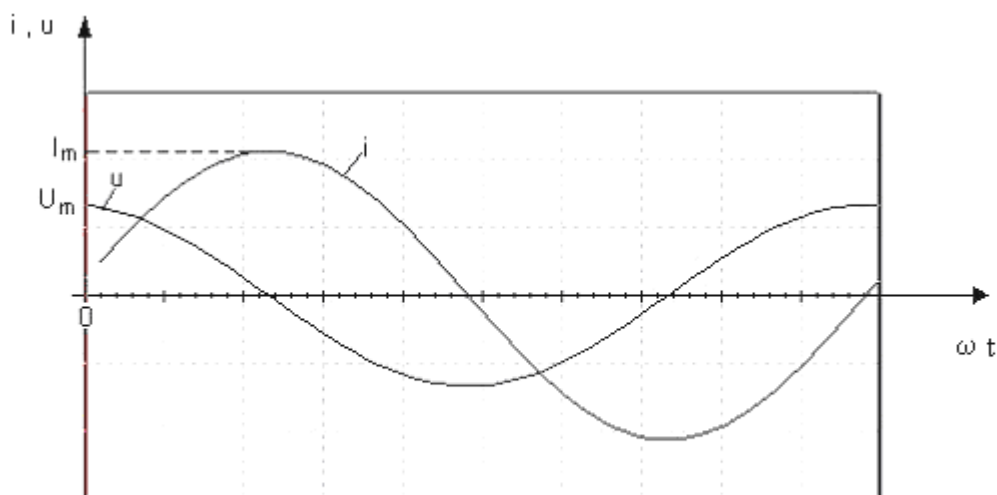


Kazalčni diagram
 $\varphi = 90^\circ$

Smer faznega kota rišemo od kazalca toka proti kazalcu napetosti. Fazni kot je pozitiven, če je smer faznega kota v nasprotni smeri gibanja urinega kazalca, oziroma, če napetost prehiteva tok.

Fazni kot idealne tuljave je $+90^0$.

$$\varphi = +90^0$$



Časovni diagram
 $\varphi=90^0$

Sinusni izmenični tok povzroča na induktivni upornosti padec sinusne izmenične napetosti, ki prehiteva tok za 90^0 .

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad ; \quad \alpha_{0I} = 0^0$$

$$u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^0) \quad ; \quad U_m = X_L \cdot I_m$$

Jalova moč Q tuljave je produkt efektivne napetosti U in efektivnega toka I .

$$Q = U \cdot I = X_L \cdot I^2 = \frac{U^2}{X_L} \quad [\text{var}]$$

Jalova energija W tuljave je produkt jalove moči Q in časa t .

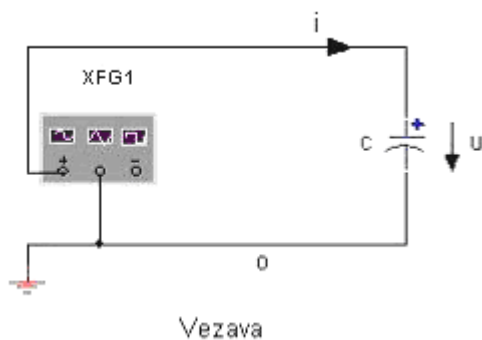
$$W = Q \cdot t \quad [\text{var} \cdot \text{s}]$$

8.4.3. Idealni kondenzator v izmeničnem krogu

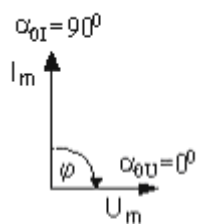
Kapacitivna upornost je frekvenčno odvisna upornost, zato je tudi tok odvisen od frekvence. Tok skozi kondenzator imenujemo jalovi tok.

Kapacitivna upornost X_C je obratno sorazmerna krožni frekvenci ω in kapacitivnosti C .

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad [\Omega]$$



Kapacitivna upornost povzroča v izmeničnem krogu prehitevanje toka za napetostjo. Fazne razmere kondenzatorja prikažemo v kazalčnem in časovnem diagramu.

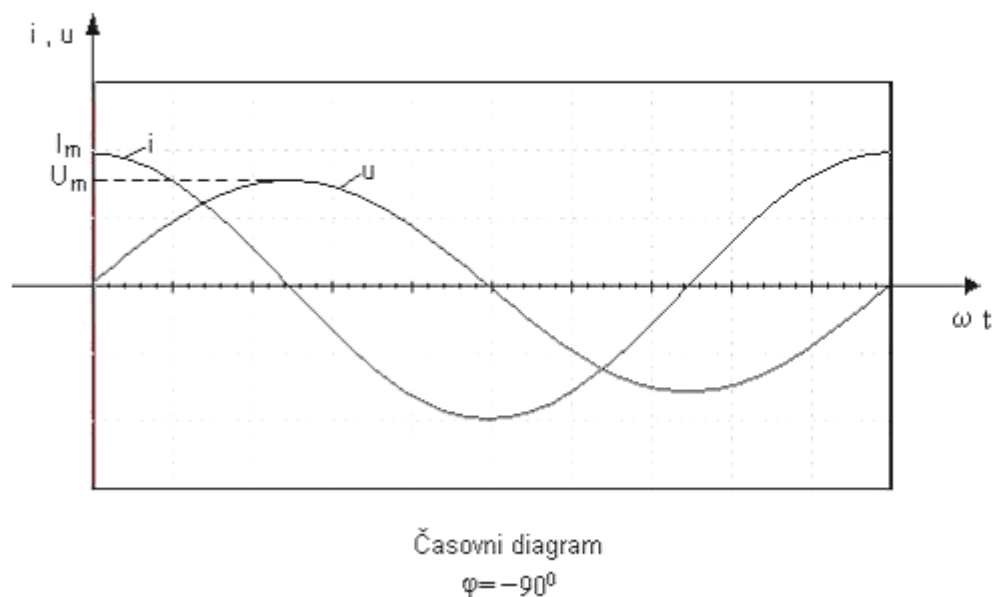


Kazalčni diagram

$$\varphi = -90^\circ$$

Fazni kot idealnega kondenzatorja je -90° .

$$\varphi = -90^\circ$$



Sinusni izmenični tok povzroča na kapacitivni upornosti padec sinusne izmenične napetosti, ki zaostaja za tokom za 90° .

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) \quad ; \quad \alpha_{0I} = 90^\circ$$

$$u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad ; \quad U_m = X_C \cdot I_m$$

Jalova moč Q kondenzatorja je produkt efektivne napetosti U in efektivnega toka I .

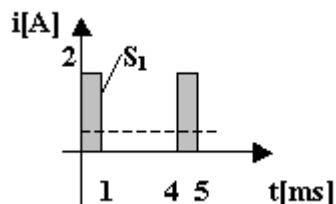
$$Q = U \cdot I = X_C \cdot I^2 = \frac{U^2}{X_C} \quad [\text{var}]$$

Jalova energija W kondenzatorja je produkt jalove moči Q in časa t .

$$W = Q \cdot t \quad [\text{var} \cdot \text{s}]$$

VAJE

154. Narisan je časovni potek toka.



Odčitaj oziroma izračunaj naslednje parametre:

- $T=$
- $f=$
- $I_m=$
- $I_a=$

155. Nariši časovni potek napetosti in toka ter kazalca U_m in I_m , če je $\alpha_{0U}=0^0$ in $\alpha_{0I}=90^0$

156. Upor $R=50\Omega$, je priključen na napetost $u=U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$. Maksimalna napetost $U_m=5V$ in frekvenca $f=1kHz$.

- Izračunaj periodo T , efektivno napetost U , maksimalni tok I_m , efektivni tok I , delovno moč P , delovno energijo W v času ene periode.
- Nariši časovni potek napetosti u in toka i , ter kazalca U_m in I_m .
- Kolikšen je fazni kot φ pri upor?

157. Tuljava z induktivnostjo $L=100mH$ je priključena na sinusni vir. Viru nastavimo maksimalno napetost $U_m=1V$ in frekvenco $f=50Hz$.

- Kolikšen je fazni kot φ ?
- Izračunaj induktivno upornost X_L in maksimalno vrednost toka I_m !
- Nariši kazalčni diagram toka in napetosti, če je začetni kot napetosti $\alpha_{0U}=90^0$
- Nariši časovni potek toka i_L in napetosti u_L .

158. Kondenzator s kapacitivnostjo $C=0.1\mu F$ je priključen na sinusni vir. Viru nastavimo maksimalno napetost $U_m=20V$ in frekvenco $f=50Hz$.

- Kolikšen je fazni kot φ ?
- Izračunaj kapacitivno upornost X_C in maksimalno vrednost toka I_m !
- Nariši kazalčni diagram toka in napetosti, če je začetni kot napetosti $\alpha_{0U}=0^0$
- Nariši časovni potek toka i_C in napetosti u_C .