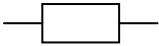

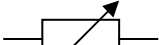












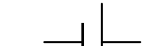


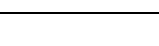
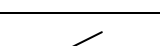
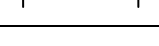
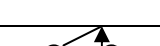
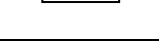
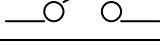


Tehniški Šolski Center Nova Gorica
STROJESLOVJE 2004/05
ELEKTRIČNI ELEMENTI

SIMBOL	POMEN SIMBOLA	SIMBOL	POMEN SIMBOLA
	Ohmska upornost, Upora		Ampermeter
	Spremenljiva upornost, Potenciometer		Voltmeter
	Grelo		Galvanometer
	Navitje (tuljava)		Transformator
	Induktivna upornost, Navitje		Generator
	Navitje s spremenljivo induktivnostjo		Motor
	Navitje z železnim jedrom		Žarnica
	Kapacitivna upornost, Kondenzator		Baterija
	Kondenzator s spremenljivo kapacitivnostjo		Galvanski člen, Akumulator
	Priključno mesto, Odcep, sponka		Tipka, stikalo
	Varovalka		Dvopolno stikalo
	Odvodnik prenapetosti		Ozemljitev

1 ura

Tehniški Šolski Center Nova Gorica
STROJESLOVJE 2004/05
ELEKTRIČNE VELIČINE IN MERSKI SISTEM ENOT

OSNOVNE ENOTE

VELIČINA	SIMBOL	ENOTE
Dolžina	l, L	m
Masa	m	kg
Čas	t	s
Električni tok	I	A
Termodinamična temperatura	T	K
Svetilnost	I	cd
Množina snovi	n	mol

IZPELJANE ENOTE

Površina	A, (S)	m ²
Frekvenca	f	Hz
Vrtljaji	n	s ⁻¹
Sila	F	N
Delo	W, A	J, Ws
Energija	W	J, Ws
Moč	P	W = J/s
Navidezna moč	S	VA
Jalova moč	Q	var
Električni naboj	q	As, C
Električna napetost	U	V
Električna upornost	R	Ω
Električna prevodnost	G	S
Kapacitivnost	C	F
Električna poljska jakost	E	V/m
Gostota električnega toka	J	A/m ²
Magnetna poljska jakost	H	A/m
Magnetni pretok	Φ	Vs, Wb
Gostota magnetnega pretoka	B	Vs/m ² , T
Temperatura	θ, (T)	°C (K)
Svetlobni tok	Φ	lm
Osvetljenost	E	lx

PREDPONE

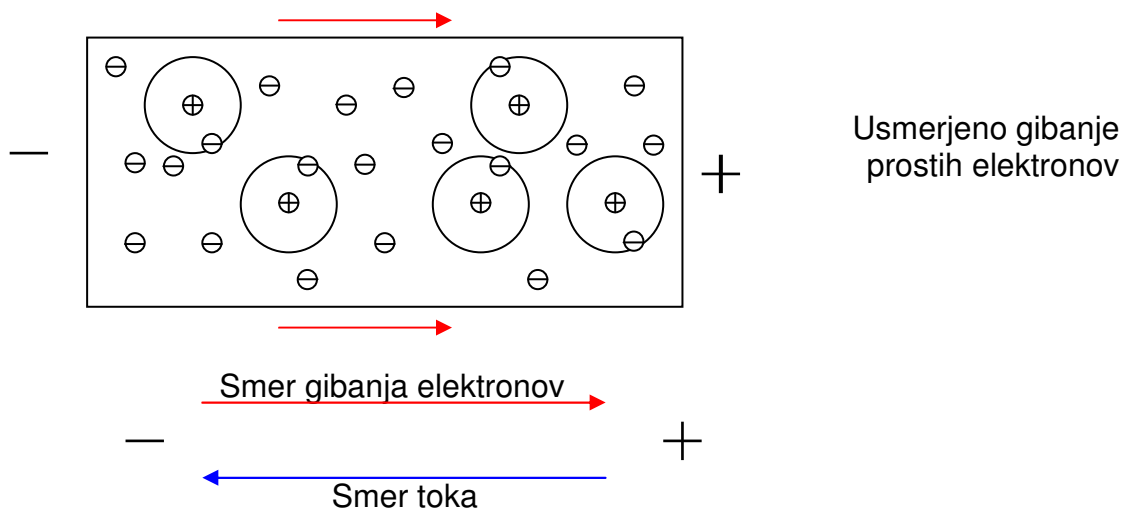
1 ura

FAKTOR	IME PREDPONE	SIMBOL
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hekto	h
10 ¹	deka	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	mili	m
10 ⁻⁶	mikro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹²	piko	p

Tehniški Šolski Center Nova Gorica
STROJESLOVJE 2004/05
ELEKTRIČNI TOK

I [A]

Izvor napetosti ločuje elektrine in tako ustvarja napetost. Če povežemo ločeni elektrini – dva različna električna potenciala, prosti elektroni oz. električni naboj z mesta višjega stečejo proti mestu nižjega potenciala. Prosti elektroni v snovi, na katero deluje zunanja električna sila, se pričnejo usmerjeno gibati.



Kjer so majhni krogci negativno nabiti elektroni (e-).

Usmerjeno gibanje prostih elektronov imenujemo električni tok (znak I).

Smer gibanja elektronov je od negativnega k pozitivnemu polu vira.

Tehnična smer toka pa je od pozitivnega k negativnemu polu vira.

Hitrost elektronov je samo nekaj milimetrov na minuto, hitrost gibanja elektrine pa je enaka svetlobni hitrosti. To si lahko predstavljamo kot cev (vodnik), v kateri je polno kovinskih kroglic (elektronov). Če en konec cevi dvignemo (napetost), se bodo skoraj istočasno vse kroglice pričele gibati.

$$Q = I \cdot t [1 C = 1 As]$$

Q – količina elektrine

in

$$J = I/A [A/m^2]$$

J – gostota toka

Poleg kovinskih prevodnikov, kjer so nosilci električnega toka elektroni, poznamo tudi tekočine, v katerih so nosilci ioni, ter pline, v katerih so nosilci elektroni in ioni.

2 ura

ELEKTRIČNA NAPETOST

U [V]

Proste elektrone moramo usmeriti z neko silo, da v vodniku steče električni tok.

Okoli negativnega, kakor tudi pozitivnega naelektrenega telesa v prostoru se pojavi posebno stanje prostora, ki ga imenujemo **električno polje**.

Elektroni se prično v kovinskem vodniku, ki povezuje obe telesi, premikati od negativnega k pozitivnemu telesu. Za elektron je negativno telo hrib, pozitivno pa dolina. Tako nastane pod vplivom teh električnih višinskih razlik, ki se pojavijo v kovinskem vodniku, električni tok.

Električna napetost je tisti pritisk, ki sili elektrone, da se premikajo vzdolž vodnikov. Pri tem moramo imeti neke vrste padca, ki ni viden, imenujemo ga električni potencial. **Razliko dveh višin, torej višjega in nižjega električnega potenciala imenujemo električno napetost (znak U).**

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

S tem, ko elektroni pritekajo na pozitivno naelektreno telo, se vedno bolj manjša »višinska razlika« oz potencialna razlika ali napetost. Ko je na obeh telesih enako število elektronov, se elektroni nehajo gibati, saj ni več potencialne razlike.

Trajne napetosti nam dajo viri električne energije, ki se imenujejo generatorji (praksa).

Enosmerni generator ima na izhodu napetosti dve sponki:

- pozitivno
- negativno

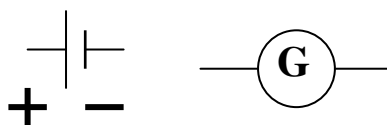
Enota za električno napetost in potencial je volt (znak V)

Volt je električna napetost med dvema točkama na homogenem kovinskem vodniku, v katerem teče konstanten električni tok 1 ampera, porabljena moč zaradi toka med dvema točkama pa je enaka 1 watt.

$$U = V_2 - V_1 (V)$$

Poznamo več vrst napetosti:

1. enosmerne (baterije, akumulatorji)
2. izmenične (generatorji) :
 - mala napetost : 6, 12, 24, 48, 60 V
 - nizka napetost : 110, 220, 380 V
 - srednja napetost : 10, 20 in 35 kV
 - visoka napetost : 110, 220, 380 kV



3 ura

ELEKTRIČNA UPORNOST **R [Ω]**

Prosti elektroni, ki se premikajo pod vplivom napetosti vzdolž vodnika skozi prostor med atomi, prihajajo pod vplivi posameznih atomov, ki jim spreminjajo smer njihove poti. S tem se zmanjša hitrost in količina elektronov, ki gre v časovni enoti skozi vodnik. Različne snovi se različno upirajo prehodu elektronov oziroma električnemu toku. Pravimo, da imajo različne snovi različno električno upornost. Električna upornost je snovna lastnost. Čim večjo električno upornost ima kak vodnik, tem manjša je njena prevodnost za električni tok in nasprotno. Kot smo že omenili, so dobri prevodniki električnega toka vse kovine, njihove zlitine in oglje.

Električna upornost pa ni odvisna samo od snovi, ampak tudi od dimenzij vodnika, v katerem je tok. Če je daljši vodnik, je več sočasnih izbijanj elektronov iz atomov, kar ima za posledico večjo upornost vodnika. Upornost je velika tudi pri vodniku, ki ima majhen prerez, ker se morajo elektroni bolj prerivati.

Električna upornost vodnika je odvisna od snovi iz katere je vodnik, njegove dolžine in prereza. Znak za električno upornost je R. Odvisnost upornosti od snovi podaja specifična upornost – znak ρ (ro). Splošna enačba za električno ali ohmsko upornost je :

$$R = (\rho \cdot l) / A (\Omega)$$

Kjer je :

ρ - specifična upornost [Ωm]

l – dolžina [m]

A – prerez [m^2]

Ohm je električna upornost vodnika, ki ni nosilec napetosti in v katerem stalna potencialna razlika 1 volta med njegovima koncema povzročata tok 1 ampera.

Kolikor večja je specifična upornost snovi (ρ), toliko manjša je specifična prevodnost snovi (λ) – lambda

ρ - ro specifična upornost vodnika, ki pove, kolikšno upornost ima vodnik dolžine 1 m in prereza 1mm^2 pri temperaturi okolice 20°C

Prevodnost je nasprotni pojem upornosti. Označimo jo z veliko črko G, merilna enota za prevodnost je siemens (simens) – znak S.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Siemens je električna prevodnost vodnika z električno upornostjo 1 ohma.
Razmerje med električno upornostjo (R) in električno prevodnostjo (G) je :

$$R = 1/G [\Omega] \text{ in } G = 1/R [S]$$

Obratna vrednost električne upornosti je električna prevodnost.
To velja tudi za razmerje med specifično upornostjo in prevodnostjo.

$$\rho = 1/\lambda [\Omega m] \text{ in } \lambda = 1/\rho [S/m]$$

$$\rho_{cu} = 0,018 \cdot 10^{-6} [\Omega m] \text{ in } \lambda_{cu} = 56 \cdot 10^6 [S/m]$$
$$\rho_{al} = 0,028 \cdot 10^{-6} [\Omega m] \text{ in } \lambda_{al} = 36 \cdot 10^6 [S/m]$$

ODVISNOST UPORNOSTI OD TEMPERATURE

Na vrednost upornosti vpliva tudi temperatura. Z njenim višanjem lahko pri določenih materialih upornost narašča (baker, aluminij), pri drugih pa pada (oglje) ter obratno. Vzrok za vpliv temperature na električno upornost je v toplotni energiji, ki jo sprejmejo atomi in povzroča njihovo tresenje ter s tem povečuje število trkov. Toplotna energija pa vpliva tudi na število prostih elektronov in s tem tudi na prevodnost (pri temperaturi 0 K pojav supraprevodnosti pri bakru). Ta pojav je pri vodih moteč, lahko pa ga uporabimo za merjenje temperature (NTK - upori, PTK – upori, odvisni od temperature).

$$\alpha_{cu} = 0,0039 [1/^{\circ}C]$$

$$\alpha_{al} = 0,0036 [1/^{\circ}C]$$

$$\text{ogljje} : \alpha = 0,00045 [1/^{\circ}C]$$

α – je pozitiven \longrightarrow upornost se s temperaturo večja

α – je negativen \longrightarrow upornost se s temperaturo manjša

$$\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_0 \text{ (npr. } 50^{\circ} - 20^{\circ} \text{)}$$

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$$

$$R_0 = 1 \Omega \text{ (pri } 20^{\circ} C \text{)}$$

$$\alpha = 0,0039 [1/^{\circ}C]$$

4-5 ura

RAČUNANJE ELEKTRIČNE UPORNOSTI

R_2 in R_3 sta vzporedna in R_1 je zaporeden

$$R_1 = 10 \Omega ;$$

$$R_2 = 60 \Omega ;$$

$$R_3 = 120 \Omega ;$$

$$U = 30 V$$

$$R_{23} = 40 \Omega ;$$

$$R = 50 \Omega ;$$

$$I = 0,6 A ;$$

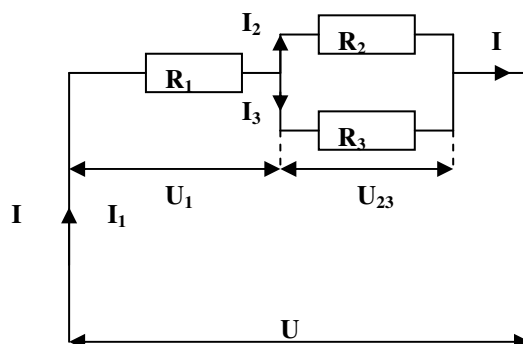
$$U_1 = 6 V ;$$

$$U_{23} = 24 V ;$$

$$I_2 = 0,4 A ;$$

$$I_3 = 0,2 A ;$$

$$I = 0,6 A$$



6 ura

Tehniški Šolski Center Nova Gorica
STROJESLOVJE 2004/05
OHMOV ZAKON

V električnem tokokrogu se sočasno pojavljajo vse tri do sedaj znane električne veličine:

- napetost
- tok
- upornost

med katerimi vladajo medsebojne odvisnosti. Če imamo na izvoru konstantno napetost in ga različno obremenimo, kar pomeni, da nanj priključimo porabnik z večjo ali manjšo upornostjo, lahko ugotovimo, da je jakost toka močno odvisna od upornosti bremena. Pri veliki upornosti tokokroga teče majhen tok, pri majhnih upornostih pa velik.

Jakost toka je obratno sorazmerna z upornostjo tokokroga.

Če opazujemo dogajanje v tokokrogu, ko pri konstantni upornosti spreminjamo napetost izvora, ugotovimo, da se ob višji napetosti večja tudi jakost toka, ob nižji pa se manjša. To pomeni, da je **jakost toka premo sorazmerna z višino napetosti v tokokrogu.**

Združitev obeh ugotovitev je **Ohmov zakon, ki pravi, da je jakost električnega toka v zaključnem električnem tokokrogu premo sorazmeren z napetostjo in obratno sorazmeren z upornostjo.**

$$I = U/R \text{ [} A = V/\Omega \text{] in } U = R \cdot I \text{ in } R = U/I$$

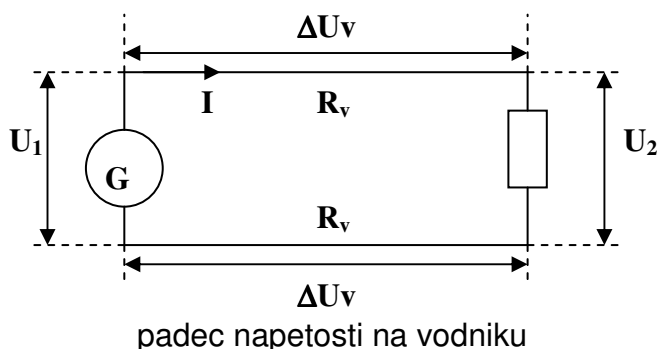
Iz enačbe vidimo, da v tokokrogu pri napetosti 1V in upornosti tokokroga 1Ω teče tok 1A.

7 ura

PADEC NAPETOSTI

Pri znani jakosti toka skozi porabnik ali upor R lahko s pomočjo Ohmovega zakona ugotovimo, kolikšna napetost se bo porabila na posameznih delih tokokroga

Napetost, ki se porabi, da teče tok skozi določeno upornost, imenujemo **padec napetosti**.



V električnih tokokrogih se srečujemo s koristnimi in nekoristnimi padci napetosti. Koristno se porabi napetost na vseh porabnikih. Nekoristni padci ali za nas izguba napetosti pa se pojavljajo na vodnikih, del pa že tudi na samem izvoru napetosti (idealni in realni izvor napetosti). Vendar pa brez izgube napetosti ni prenosa električne energije. Koristne padce napetosti označujemo z U , nekoristne pa z ΔU .

$$U = I \cdot R \text{ (V)}$$

$$\Delta U = I \cdot R_v \text{ (V)}$$

R_v – upornost vodnika

Zaradi padca napetosti je napetost na koncu voda (U_2) vedno nekoliko manjša kot pa na začetku (U_1). Velikost padca napetosti na vodniku ΔU_v je odvisna od upornosti vodnikov

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

R_v , spreminja pa se predvsem v odvisnosti od obremenitve voda. Dovoljen padec napetosti je določen s tehničnimi predpisi in ga navajamo v % ($\Delta u\%$).

Padec napetosti na vodu izračunamo po Ohmovem zakonu $\Delta U = 2 \cdot I \cdot R_v$ (2 – upoštevamo dovodni in odvodni vodnik, ki tvorita vod)

$$\Delta U = (2 \cdot \rho \cdot I \cdot l) / A = (2 \cdot I \cdot l) / (\lambda \cdot A) \text{ [V]}$$

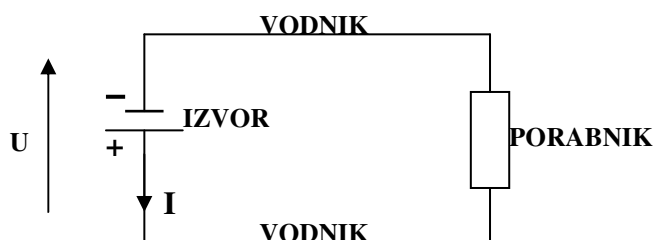
$$\Delta u\% = (200 \cdot I \cdot l) / (\lambda \cdot A \cdot U) \text{ [\%]}$$

8 ura

VEZAVE ELEKTRIČNIH PORABNIKOV

ELEKTRIČNI TOKOKROG

Enostaven električni tokokrog tvorijo izvor napetosti, vodnik električnega toka ter porabnik. Slednji postane pretvornik električne v drugo obliko energije (toplotno, svetlobno, mehansko, ...), saj energije ni mogoče porabiti.



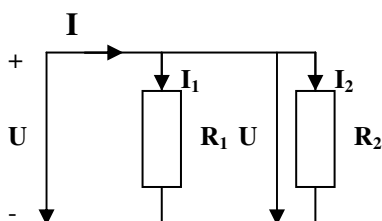
ZAKONITOSTI MEŠANIH VEZAV

Poleg enostavnih električnih tokokrogov zelo pogosto pa se pojavljajo tokokrogi z več porabniki in več izvori, ki so lahko med seboj različno vezani. Poznamo :

- vzporedno ali paralelno,
- zaporedno ali serijsko in
- mešano ali kombinirano vezavo.

VZPOREDNA VEZAVA PORABNIKOV

Pri vzporedni vezavi porabnikov je na vsakem porabniku enaka napetost in vsi porabniki obratujejo neodvisno drug od drugega, kar pomeni, da lahko posamezne porabnike tudi vklapljamemo in izklapljamemo.



S slike vidimo, da se tok I , ki priteče iz izvora, deli na tok I_1 in I_2 . I_1 teče skozi porabnik R_1 , tok I_2 pa skozi porabnik R_2 .

Po Ohmovem zakonu je velikost toka skozi posamezna porabnika pri enaki napetosti odvisna od upornosti porabnika.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

$$I_1 = U/R_1 \text{ in } I_2 = U/R_2 \text{ in } I_1/I_2 = R_2/R_1$$

Tok v posameznih vejah vzporedne vezave se deli obratno sorazmerno z upornostjo veje, kar pomeni, da skozi porabnik z manjšo upornostjo teče večji tok, skozi tistega z večjo upornostjo pa manjši.

Tok, ki priteka iz izvora, mora biti enak vsoti obeh delnih tokov.

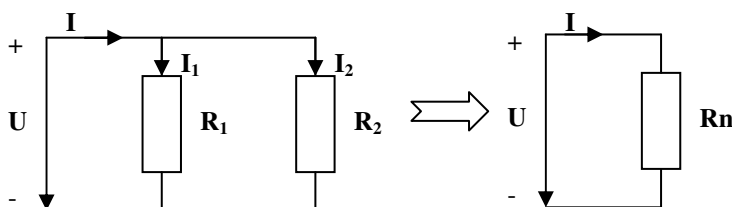
$$I = I_1 + I_2$$

I. KIRCHHOFFOV ZAKON ALI ZAKON VOZLIŠČA

Vsota vseh pritekajočih tokov v vozlišče je enaka vsoti odtekajočih tokov iz njega.

Če vzporedni vezavi dodajamo porabnike, velikosti skupnega toka narašča, kar pomeni, da električna prevodnost raste in je enaka vsoti prevodnosti posameznih vej.

Skupna ali nadomestna upornost vzporedno vezanih uporov je manjša od najmanjšega posameznega upora. Več vzporedno vezanih uporov lahko nadomestimo z nadomestnim uporom.



Električna prevodnost nadomestnega vezja:

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n \text{ in } 1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n \text{ in } I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Celotno moč vzporedno vezanih porabnikov dobimo tako, da seštejemo moči posameznih porabnikov

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

Oziroma z množenjem napetosti in skupnega toka

$$P = U \cdot I \text{ [W]}$$

Med tem je napetost na vseh porabnikih enaka

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

ZAPOREDNA VEZAVA PORABNIKOV IN II. KIRCHHOFFOV ZAKON

Zaporedno vezavo porabnikov uporabljamo redkeje. Njena slabost je, da ob poškodbi, izključitvi enega porabnika ali prekinitvi tokokroga tok ne teče skozi noben porabnik. Tako vezavo uporabljamo pri vezavah elektronskih elementov, lučk na novoletni jelki, reklamnih napisih in posameznih elementih električnega tokokroga (stikalo, dovodni vodnik, porabnik, odvodni vodnik).

Pri zaporedni vezavi porabnike vežemo drugega za drugim. Skozi posamezne porabnike teče, ne glede na njihovo upornost, **enak tok**, vendar pa je njegova velikost odvisna od

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

upornosti posameznih uporov. Z dodajanjem zaporedno vezanih porabnikov se tok manjša, kar pomeni, da se upornost tokokroga povečuje, njegova prevodnost pa zmanjšuje. Skupna ali pritisnjena napetost se mora porazdeliti na posamezne porabnike, in sicer v obliki padcev napetosti, katerih vsota na posameznih zaporedno vezanih porabnikih mora biti enaka pritisnjeni napetosti.

To je **zakon napetostne zanke ali II. Kirchhoffov zakon**.

Vsota napetosti izvorov v zaključenem električnem tokokrogu je enaka vsoti padcev napetosti na posameznih uporih.

$$\begin{aligned}R &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \\U &= U_1 + U_2 + \dots + U_n \\I_1 &= I_2 = I_n \\U_1/R_1 = U_2/R_2 &\iff U_1/U_2 = R_1/R_2\end{aligned}$$

Napetost se bo torej porazdelila premo sorazmerno z upornostjo. Pri večjih upornosti bo tudi padec napetosti večji in obratno. Zaporedno vezavo lahko tako uporabimo kot delilnik napetosti. Če želimo na določenem porabniku zmanjšati napetost, vežemo zaporedno s porabnikom upor določene velikosti – predupor.

Skupna moč zaporedno vezanih porabnikov je enaka vsoti moči posameznih porabnikov, če vsak porabnik dobi nazivno napetost. Če pa porabnik v zaporedni vezavi nimajo nazivne napetosti, moramo najprej preračunati njihove moči, nato pa jih lahko seštejemo.

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

9-10 ura

ELEKTRIČNA ENERGIJA IN MOČ

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Ena izmed oblik energije, ki se nahaja v naravi, je tudi električna. Zanj je značilno, da je prehodnega značaja, saj je namreč ne moremo shraniti. Na voljo nam je takrat, ko imamo izvor električne napetosti in zaključen električni tokokrog. Električni tok, ki teče v električnem tokokrogu, lahko opravlja neko delo – mehansko, toplotno, svetlobno, Velikost opravljenega dela je odvisna od jakosti električnega toka, višine napetosti ter časa opravljanja dela ali zapisano z enačbo:

$$W = U \cdot I \cdot t \quad [\text{VAs} = \text{Ws} = \text{J}]$$

Električno delo oziroma porabljen električna energija je premo sorazmerna z napetostjo, električnim tokom in časom, v katerem se opravlja.

Upoštevati pa je potrebno naravno zakonitost, da se energija ne more porabiti ali izničiti, temveč se samo spremeni v drugo obliko.

Mehansko delo 1 J opravimo, če dvignemo 1 N težko telo 1 m visoko – 1 J = 1 Nm.

Ker pa je osnovna enota v praksi premajhna, uporabimo večje:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$$

Če v osnovni enačbi za električno energijo upoštevamo Ohmov zakon, dobimo tri enakovredne enačbe:

$$W = U \cdot I \cdot t \quad \text{in} \quad W = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{in} \quad W = (U^2 \cdot t) / R$$

ELEKTRIČNA MOČ

Če želimo pri neki napravi ali stroju poznati njegovo sposobnost opravljanja dela, moramo vedeti, koliko dela lahko opravi na enoto časa.

Delo, opravljeno v časovni enoti, se imenuje moč.

Oznaka za električno moč je P, enota pa W.

$$P = W/t \text{ [Ws/s = W]}$$

Če uporabimo vse izraze za električno energijo, dobimo naslednje enakovredne izraze za moč:

$$P = U \cdot I \text{ in } P = I^2 \cdot R \text{ in } P = U^2/R$$

Ugotovimo lahko, da dva različna porabnika, npr. žarnica in elektromotor enakih moči opravita v enakem času enako delo. Razlika je samo v obliki opravljenega dela :

- žarnica – svetloba
- motor – mehansko delo

11 ura

MOČI RAZLIČNIH VEZAV PORABNIKOV

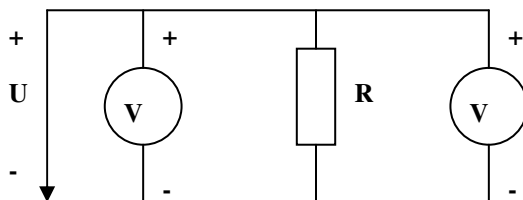
MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN

Zaznavanje in vrednotenje električnih veličin s človeškimi čutili je nemogoče in je lahko zelo nevarno. Ker pa želimo poznati velikost napetosti, jakost električnega toka, električno upornost, moč in energijo, uporabljamo merilnike, ki zaznavajo te veličine. Za merjenje posamezne veličine pa moramo poznati vrsto instrumenta, način priključevanja oziroma merilno metodo. S priključevanjem instrumentov v tokokroge ne smemo vplivati na prvotne lastnosti tokokroga, prav tako pa instrumenti ne smejo biti veliki porabniki električne energije.

MERJENJE ELEKTRIČNE NAPETOSTI

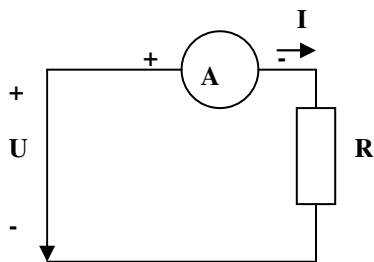
Za merjenje električne napetosti uporabljamo voltmeter. Priključimo ga vedno med dvema sponkama, med katerim želimo izmeriti potencialno razliko, najpogosteje na sponke porabnika ali izvora napetosti. Ker ga priključimo vzporedno, mora imeti voltmeter veliko notranjo upornost (od več 10kΩ do več MΩ). Pri priključevanju voltmetra moramo biti pozorni na vrsto in velikost napetosti, pri merjenju enosmernih napetosti pa na polariteto sponk.

Za merjenje napetosti, predvsem pa za ugotavljanje oblike napetosti oz. električnega signala pri elektroniki najpogosteje uporabljamo osciloskop.



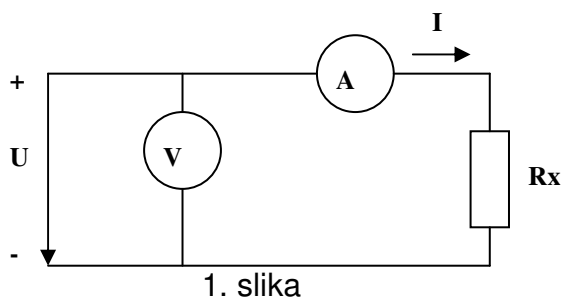
MERJENJE JAKOSTI ELEKTRIČNEGA TOKA

Električni tok merimo z ampermetrom. Tok, ki ga želimo izmeriti, moramo speljati skozi ampermeter, zato ga moramo vezati v tokokrog zaporedno s porabnikom in izvorom napetosti. Imeti mora zelo majhno notranjo upornost, da z njim ne oviramo pretoka elektrine. Pri priključevanju ampermetra moramo biti pozorni prav na vrsto in jakost toka ter na priključne sponke pri merjenju enosmernega toka.

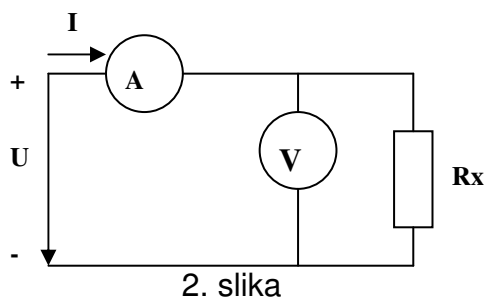


MERJENJE ELEKTRIČNE UPORNOSTI

Ker je električna upornost snovna geometrijska lastnost snovi, je ne moremo izmeriti direktno, ampak jo ugotavljamo z Ohmovim zakonom – $R = U/I$. Merimo tok skozi upor in padeč napetosti na upor. To je **UI – metoda**. Glede na vezavo voltmetra pred ampermetrom oziroma za njim, razlikujemo vezave, primerne za merjenje velikih oziroma majhnih upornosti.



1. slika



2. slika

Vezava ampermetra za merjenje po UI – metodi :

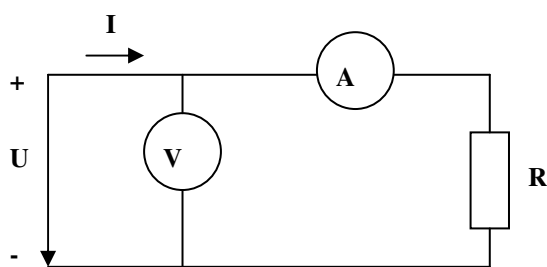
1. slika visoke Ohmske upornosti
2. slika nizke Ohmske upornosti

Neposredno pa merimo upornost z **ohmmetrom**. To je instrument, ki meri jakost toka skozi upor pri vgrajenem napetostnem izvoru (konstančna upornost). Skala instrumenta je umerjena v Ω in je obratna od ampermetrske.

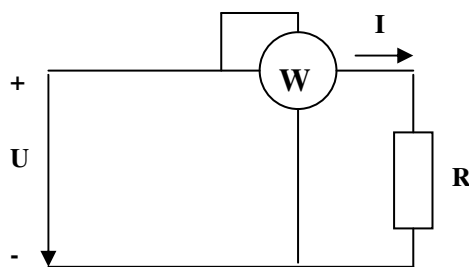
MERJENJE ELEKTRIČNE MOČI

Za merjenje električne moči lahko uporabimo posebni način, to je UI – metodo oziroma električni števec in uro, ali pa direktni način, to je s pomočjo merilnika moči – **wattmeter**. Pri posrednem načinu moramo izmeriti tok in napetost na porabniku, nato pa jo izračunamo po enačbi $P = U \cdot I$. (slika 1)

Neposredno pa merimo električno moč z wattmetrom. Za ta instrument je značilno, da sočasno meri tok in napetost in je odklon kazalca premo sorazmerna s produktom toka in napetosti. Zato ima ta instrument štiri priključne sponke – dve tokovni in dve napetostni. Pri priključevanju je potrebno zelo paziti na merilna območja. (slika 2)



1. slika



2. slika

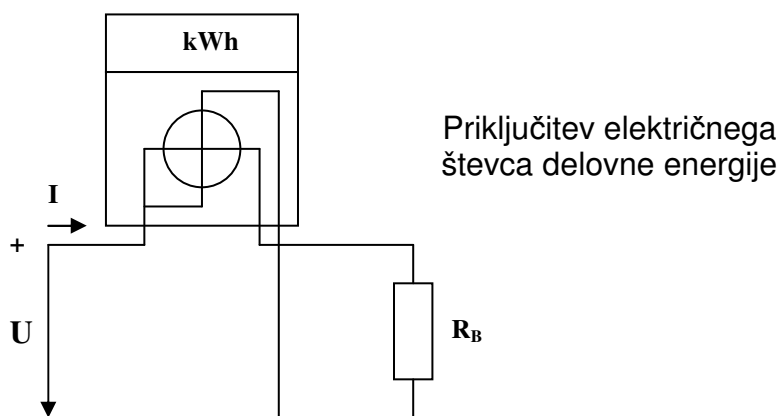
MERJENJE ELEKTRIČNEGA DELA

Za merjenje električnega dela ali porabljene električne energije lahko uporabimo :

- UI – metodo in uro ($W = U \cdot I \cdot t$),
- Wattmeter in uro ($W = P \cdot t$)
- Električni števec

Računsko lahko ugotovljamo velikost električnega dela, če se nobena električna veličina med merjenjem ne spreminja.

Električni števec je sestavljen iz napetostne in tokovne tuljave, ki z elektromagnetno silo delujeta na vrtljiv organ - aluminijasto ploščico, vezano na številčnico, ki šteje število vrtljajev. Odčitek na številčnici nam kaže kWh. V izmeničnih tokokrogih merimo električno delo z eno ali trifaznim števcem, z eno ali dvema številčnicami – eno ali dvotarifnim števcem.



ELEKTRIČNI INSTRUMENTI

Električne instrumente delimo glede na način odčitavanja merjene veličine na dve osnovni skupini, in sicer na analogne in digitalne. Analogne imajo kazalec in skalo, digitalni pa številčnico. Pri analognih je potrebna mehanska sila za odklon kazalca, zato pri teh instrumentih izkoriščamo elektromehanske pojave, ki jih bomo spoznali pri elektromagnetizmu. Digitalni instrumenti so v glavnem elektronski merilniki. Pri odčitavanju merjene veličine na njih ne potrebujemo posebnega predznanja, saj na številčnici direktno odčitamo merilni rezultat. Analogni instrumenti imajo lahko različne skale. Univerzalni, s katerimi lahko merimo več električnih veličin, pa imajo celo več skal.

Instrumenti imajo večinoma več merilnih območij.

Pri priključevanju inštrumenta mora biti preklopnik na največjem merilnem območju nato pa ga glede velikosti odklona kazalca zmanjšujemo.

12 ura

TOPLOTNI UČINKI ELEKTRIČNEGA TOKA

JOULOV ZAKON

Pri prehodu električnega toka skozi vodnik, se le segreje, pri čemer je količina ustvarjene toplote različna, kar je odvisno od snovi in prereza vodnika ter jakosti toka. Toplota se v vodniku pojavi zaradi prehoda električnega toka, ki povzroča trke med prostimi elektroni in atomi vodnika. Tako se kinetična energija elektronov (nosilcev električnega toka) delno ali v celoti prenaša na atome, s trki se povečujejo amplitude nihanja atomov, kar ima za posledico, da se dvigne temperatura vodnika. Istočasno se zaradi omenjenega nihanja zmanjša svobodni prostor med atomi, tako se zmanjša električna prevodnost vodnika, pravimo, poveča se njegova električna upornost.

Nastajanje toplote pri prehodu električnega toka skozi vodnik povzroča izgubo energije, poškoduje lahko izolacijo in povečuje električno upornost. Nasprotno pa v elektrotplotnih napravah ta pojav izrabljamo v koristne namene.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Fizik Joule je ugotovil, da večji tok močnejše segreje vodnik, da se pa ta tudi bolj segreje, če je njena upornost večja. Opazil je, da raste električna energija, v našem primeru toplota, s **kvadratom toka**. Energija je tem večja, čim dlje traja :

Če skozi vodnik teče tok I amperov ter je njegova upornost R ohmov, bo v t sekundah v tem vodniku zaradi električnega toka nastala toplota :

$$W = R \cdot I^2 \cdot t \quad [\text{VAs} = \text{Ws} = \text{J}]$$

KRATEK STIK IN VAROVALKE

Če povečamo jakost toka v vodniku, se dvigne tudi temperatura vodnika, ki povzroča hitrejše staranje in razpadanje izolacije. To velja za hišne inštalacije, kjer sta vodnika medsebojno izolirana z debelejšo ali tanjšo plastjo izolacije. Enako velja za nizkonapetostne in visokonapetostne kable, ki se polagajo v zemljo. Pri visoki temperaturi, ko so izolirani vodniki preobremenjeni, ko izolacija razpada, lahko pride do neposrednega stika obeh vodnikov ali do kratkega stika. Kratek stik, kot posledica preobremenitve ali stika golih vodnikov različnega potenciala, se lahko pojavi na porabnikih (žarnice, motorji, itd.), proizvajalcih električnega toka (generatorji) in prenosnih vodih (daljnovodi, kablovodi, nizkonapetostno omrežje, hišne inštalacije). Tok ima ugodnejšo pot na mestu kratkega stika, kjer tam praktično ni upornosti, kot skozi porabnik, ki ima vedno neko upornost. Mesto kratkega stika označimo na shemi z strelo. Ob kratkem stiku se upornost tokokroga bistveno zmanjša, kar ima za posledico, zaradi Ohmovega zakona, mnogokratno povečanje električnega toka. Vemo, da je toplota, ki jo proizvaja električni tok sorazmerna kvadratu toka, in katastrofa je neizbežna ; tok je lahko tako velik, da se vodniki stalijo in nastane požar.

Prevelika toplota nastane tudi takrat, ko je obremenjen s prevelikim tokom. Po tehniških predpisih za izvajanje elektroenergetskih instalacij v zgradbah je največja obremenljivost ali dovoljeni trajni toki izoliranih vodnikov (hkrati pa tudi največji dopustni toki taljivih varovalnih patron in enopolnih instalacijskih odklopnikov) za posamezne vrste in prereze (normirani – standardizirani) vodnikov navedena v razpredelnici.

Obremenljivost (dovoljeni trajni tok) izoliranih vodnikov in jakost varovalk

Prerezi vodnikov v [mm ²]		Dovoljeni trajni tok [A] (hkrati tudi nazivni tok varovalke)		
Cu	Al	I. skupina	II. skupina	III. skupina
0,75	-	-	10	16
1	-	10	16	20
1,5	2,5	16	20	25
2,5	4	20	25	35
4	6	25	35	50
6	10	35	50	63
10	16	50	63	80
16	25	63	80	100
25	35	80	100	125
35	50	100	125	160
50	70	125	160	200
70	95	-	200	225
95	120	-	225	260
120	150	-	260	300
150	185	-	300	350
185	240	-	350	430
240	-	-	430	500

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

V prvo skupino spadajo izolirani vodniki, položeni v izolacijske cevi, ki pripadajo enemu tokokrogu, vključno z morebitnimi zaščitnimi vodniki.

V drugo skupino spadajo :

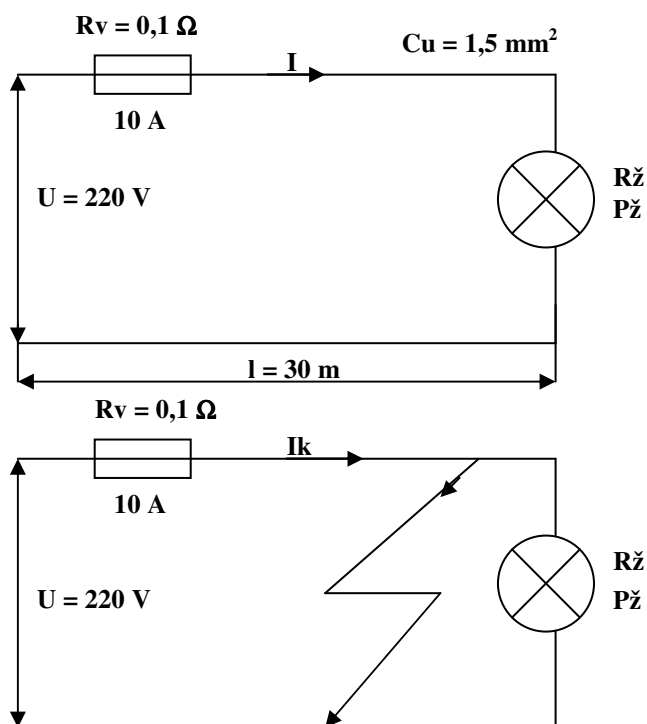
- cevni (oklopljeni) vodniki,
- vodniki, podobni kablju, ki niso položeni v cevi,
- več žilni vodnik, ki niso položeni v cevi,
- več žilni priključni prenosni vodniki.

V tretjo skupino spadajo :

- eno žilni izolirani vodniki, prosto viseči v zraku, pri čemer mora biti medsebojni razmik najmanj enak premeru izoliranega vodnika,
- eno žilni vezni vodniki v razdelilnih napravah,
- goli vodniki prereza do 50 mm^2 Cu ali 70 mm^2 Al.

Vse vrednosti so podane za temperaturo okolice do $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Najmanjši prerez stalno zaščiteno položenih vodnikov znaša $1,5 \text{ mm}^2$ za Cu in $2,5 \text{ mm}^2$ za Al.



$$R = (\rho \cdot l) / A \text{ (}\Omega\text{)} = (2 \cdot 30 \text{ m}) / (1,5 \text{ mm}^2 \cdot 56 \text{ S/m}) = 0,70 \Omega$$

$$I = 220 \text{ V} / (300 + 0,70) \Omega = 732 \text{ mA}$$

Iz razpredelnice vidimo, da je prerez $1,5 \text{ mm}^2$ dovolj velik za tako majhen tok, prenesel bi brez škode tudi 16 A, torej

$16 \text{ A} / 0,732 \text{ mA} = 22$ kratni tok, kakor smo ga pravkar izračunali.

Če se obe dovodni žici ob porabniku dotakneta, ni med njima praktično nobene upornosti. Stalna napetosti požene skozi obe žici tok kratkega stika :

$$I_k = U / R = 220 \text{ V} / 0,7 \Omega = 314,3 \text{ A} \text{ torej :}$$

$$314,3 \text{ A} / 0,732 \text{ mA} = 430 - \text{kratni tok, kot je prvotno tekkel v žicah.}$$

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Moč, ki se porabi v žicah pred kratkim stikom, je :

$$R = I^2 \cdot R = 0,732^2 \cdot 0,7 = 0,375 \text{ W}$$

Kratkostična moč, ki nastopi zaradi pojava kratkostičnega toka $I_k = 314,3 \text{ A}$:

$$P_k = I_k^2 \cdot R = 314,3^2 \cdot 0,7 = 69 \text{ kW}$$

Toplota, ki nastane zaradi tako velike moči, povzroči v 30 – metrski dvojni žici tako visoko temperaturo, da ni uničena samo izolacija žice, temveč se žica v celoti raztali. Seveda do takih velikih tokov ne pride. Med žarnicami, kjer je mesto kratkega stika, in elektrarno, ki daje napetost in moč, je velika razdalja, vmes obstaja električna upornost povezovalnih vodnikov, zmanjša se nevtralni tok kratkega stika, ki pa je še vedno dovolj velik, da povzroči veliko škodo.

Posledice kratkega stika preprečimo z varovalnimi napravami. Te varujejo električne instalacije pred prevelikim tokom in s tem posredno pred poškodbo ali popolnim uničenjem napeljave. Takim napravam pravimo varovalke, ki jih delimo na :

- avtomatske
- talilne ali navadna nizkonapetostna

V razpredelnici lahko odčitamo kolikšen dovoljeni trajni tok lahko teče skozi vodnik in kakšno varovalko vgradimo za varovanje.

TALILNA VAROVALKA

Sestava :

- podstavek – dno varovalke
- varovalni vložek (varovalna patron s taljivim elementom) – bela zunanost varovalke
- kapa varovalke – okrog varovalke
- velikostni vložek – med glavo varovalke
- dovodna sponka – v podstavku
- odvodna sponka – v podstavku

VAROVALKA

Sestava :

- spodnji kontakt
- kontrolna žica – na koncu je pripeta kontrolna značka
- taljiva žica
- kontrolna značka
- zgornji kontakt
- kremenčev pesek – v notranjosti pravokotnika z kontrolnimi žičkami
- porcelan

Podstavek varovalke je iz porcelana in je pritrjen na razdelilno ploščo.

Varovalni vložek ali varovalna patrona je okroglo, votlo porcelansko telo, v katerem je taljivi element (žica ali trak) in kremenčev pesek, ki prepreči nastanek električnega obloka ob prekinutvi taljive žice. Na varovalnem vložku je označeno, za katero napetost in za kolikšen tok je varovalka izdelana. Ta tok, ki ga imenujemo **nazivni tok** varovalke, je nekoliko manjši od največjega **dopustnega toka** za določeni prerez vodnika. Talilni tok varovalke je približno 1,4 do 1,6 kratni nazivni tok. Razlika med nazivnim in talilnim tokom je pri manjših prerezih večja, pri večjih pa manjša. Ta razlika je potrebna zaradi tega, ker mora varovalka prenesti za neki čas tudi tok, ki je večji kakor njen nazivni tok. Tako bomo varovali vodnik 6mm² z varovalko, ki ima nazivni tok 35 A. Pri tem toku varovalka še ne sme prekiniti tokokroga. Prekiniti pa ga mora vsaj takrat, ko naraste tok na 50 A.

Varovalka je zelo občutljiv del električne naprave, zato je ne smemo popravljati, še zlasti pa ne premostiti z debelo žico, ker na ta način mesto v instalaciji le ojačimo, namesto da bi ga oslabili.

13 ura

UPORABA ELEKTRIČNE TOPLOTE

Spoznali smo že, da pri prehodu električnega toka skozi vodnik nastaja toplota, kar pomeni izgubo energije. Ta pojav pa lahko tudi izrabimo v koristne namene v napravah, s katerimi segrevamo druge snovi.

Porabnike električne energije, ki dajejo električno toploto, danes uporabljajo v vseh panogah industrije in v gospodinjstvu. To so kuhalniki in štedilniki, likalniki, vodni grelniki, termoakumulacijske peči, električne talilne in segrevalne peči za razne vrste materialov, električne kalilne peči itd.

Glavni del elektro-toplote naprave je **grela**, ki je običajna žica z veliko električno upornostjo in pretvarja električno energijo v toplotno po Joulovem zakonu : $W = R \cdot I^2 \cdot t$ [VAs = Ws = J]. Iz grela prehaja toplota naravnost ali pa preko drugih snovi v predmet, ki ga je potrebno segreti.

Lastnosti žic ali trakov, iz katerih je sestavljeno grelo, so :

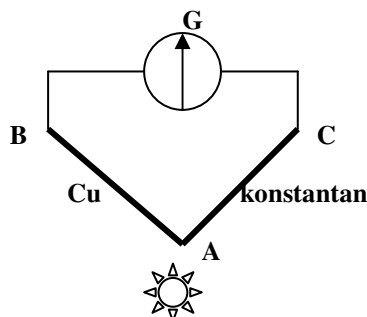
- žica mora imeti veliko specifično upornost,
- temperaturni koeficient α mora biti konstanten
- snov, iz katere je žica, mora prenesti visoke temperature, ne da bi se pri tem stalila,
- snov za grela mora biti odporna proti oksidaciji nad rdečim žarom, torej ko prične grelo žareti. Čiste kovine zelo rade oksidirajo nad rdečim žarom, oksid odpade in žica se stanjša.

Zato zlivajo primerne kovine v zlitine, njihov temperaturni koeficient se zmanjša na nič ali negativno vrednost, obenem pa naraste specifična upornost.

Visoke temperature merimo s termoelektričnimi termometri ali pirometri. Osnova pirometra je termoelektrični člen ali termoelement.

Če dvoje palic ali žic iz različnih kovin spojimo ali zvarimo (A) na drugem ločenem koncu (B in C) pa priključimo občutljiv električni merilnik napetosti (G), se bo po segrevanju mesta (A) pojavila na merilniku napetost, kar dokazuje, da teče električni tok. Ta tok imenujemo **termoelektrični tok**, ker ga povzroča toplota, napetost, ki ta tok požene, pa imenujemo termoelektrična napetost. Odvisna je od razlike temperatur zvara in prostih koncev iz različnega materiala in od vrste materiala obeh kovin. Tako zvarjenje žice ali palice imenujemo termoelemente.

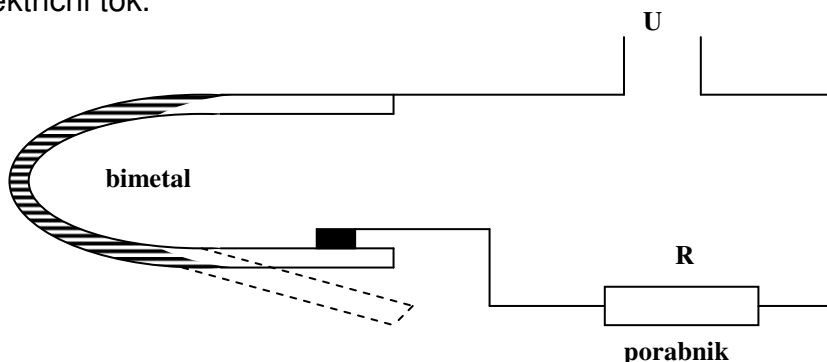
Termoelemente sestavljajo kombinacije kovin : baker-konstantan, železo-konstantan, kromnikelj-nikelj itd.



V praksi zelo uporabljajo **bimetalni regulator**, ki deluje na osnovi različnega toplotnega raztezka kovin. Dve kovini sta spojeni v paličico, ki je zvita v obliki črke U. Kovina, ki se močneje razteza, je na notranji strani. Ta bimetalni regulator priključimo na tok, ki dovaja električno energijo likalniku ali kakemu drugemu proizvajalcu električne toplote. Z naraščanjem temperature grelne naprave narašča raztezek obeh kovin, palica se odkloni in prekine preko kontakta dotok energije v grelno napravo. Ker je dotok energije prekinjen, se

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

prične naprava ohlajati, paličica se zopet povrne v prvotni položaj ter vklopi preko svojega kontakta električni tok.



Regulator je pogosto vezan z greli tako, da pri doseženi nevarni temperaturi ne izklopi dotoka celotne energije, temveč preklopi grela v tako vezavo, da se zmanjša električni tok in s tem dovod električne energije.

14 ura

DIMENZIONIRANJE VODNIKOV IN ZAŠČITA PRED PREVISOKO NAPETOST DOTIKA

DIMENZIONIRANJE VODNIKOV

Dimenzioniranje vodov, ki povezujejo porabnike z virom energije, je v pravilnem izboru prereza, ki omogoči najbolj gospodaren prenos energije. Prenos moramo opraviti z čim manjšimi izgubami energije ter minimalno porabo materiala za vodnike. Vodnike v prenosnih vodih dimenzioniramo glede na :

- mehansko trdnost,
- segrevanje vodnika in
- padec napetosti.

Vodnik mora imeti zadostno mehansko trdnost. Glede mehanske trdnosti predpisujejo elektrotehnični predpisi in normativi najmanjše prereze bakrenih in aluminijevih vodnikov, ki so dovoljeni za posamezne vrste vodnikov. V razpredelnici so naštet minimalni dopustni prerezi vodnikov (po JUS) glede na mehansko trdnost. Izračunati mehansko trdnost je potrebno le za vodnike prostih vodov. Glede na velikost razpetine, težo in povos nastopajo različne sile, ki jih morajo vodniki zdržati.

Minimalni prerezi vodnikov

Uporaba	Prerez vodnika v [mm ²]	
	Baker	Aluminij
Vodi za svetilke (GT/P, GT, P/L) in lahki gumijasti vodi (GG/L, GG/J, P/L in PP/L)	0,75	-
Vodi za trajno polaganje nad ometom ali pod njim	1,5	-
Izjemno za svetilke v stanovanjih brez vtičnic	1	-
Kablu podobni vodi (GO, PO, GG, PP) za trajno vidno polaganje	1,5	-
Vodi trajno položeni na zid, kakor tudi vodi instalacij na odprtem prostoru, za razpetine do 20 m	4	-
Prosto zračni vodi pod 1kV z razpetino do 45 m	6	16 (vrv)
Vsi drugi prosto zračni vodi (žica prereza samo do 16 mm ² in razpetine do 80 m. Za večje prereze se uporablja vrv)	10	25 (vrv)

Tehnični predpisi določajo glede **segrevanja** vodnikov dopustno tokovno obremenitev (zgornja razpredelnica), ki pri trajnem obratovanju ne sme biti prekoračena, ker bi se vodnik preveč segrel.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica **STROJESLOVJE 2004/05**

Padcev napetosti ne določajo posebnih predpisi, vodnike je treba dimenzionirati po predračunu. Tako dimenzioniran vodnik bo imel dovolj velik prerez tudi glede na maksimalni tok v vodniku.

Splošno velja, da dimenzioniramo kratke vode glede na segrevanje, dolge pa na padec napetosti. Pri kratkih vodih praktično ne pride v poštev padec napetosti, ampak samo jakost toka. Pri dolgih vodih pa moramo vzeti tolikšen prerez, da je padec napetosti v dopustnih mejah, vodnik je pa glede na tok, ki ga vodi, dovolj bogato dimenzioniran.

ZAŠČITA PRED PREVISOKO NAPETOSTJO DOTIKA

Zaradi okvare izolacije vodnikov lahko ohišja strojev ali drugi kovinski deli postroja, ki v normalnem obratovanju niso pod napetostjo, pridejo pod napetost, kar predstavlja nevarnost za osebe, ki se takega staja dotaknejo. Če se v takih premerih pojavi napetost dotika, ki je večja od 65 V, velja po naših predpisih, da je previsoka in nevarna. V mokrih prostorih ali pri delu na kovinskih ploskvah se dovoljena napetost dotika zmanjša na 24 ali 42 V. Z našimi predpisi je predvidenih osem varovalnih ukrepov pred visoko napetostjo dotika, ki jih lahko razdelimo v odvisnosti od načina delovanja na tri skupine :

I. Skupina – brez opreme za odklop toka okvare :

- zaščitno izoliranje (nevarnost previsoke napetosti dotika lahko preprečimo tako, da pokrijemo električni porabnik poleg delovne z dodatno, zaščitno izolacijo tako, da se ni mogoče dotakniti prevodnih delov, ki bi v primeru okvare obratovalne izolacije lahko prišli posredno ali neposredno pod napetost (npr. sesalec)).
- mala napetost (v zelo težkih delovnih okoliščinah, kjer je stopnja nevarnosti velika, kot so dela z električnimi napravami na kovinskih konstrukcijah, mokrih prostorih, je najbolj učinkovit zaščitni ukrep pred previsoko napetostjo dotika mala napetost (24 in 42 V). Upornost človeškega telesa je 2000 Ohmov, lahko te napetosti poženejo v njem tok 12 mA ali 24 mA, kar je pod mejo 50 mA, ki je lahko že smrtno nevarna (uporaba ločilnih TR)).
- zaščitna ločitev (pri tem varovalnem ukrepu galvansko ločimo tokokrog porabnika, na katerem želimo uporabiti zaščito pred previsoko napetostjo dotika, od tokokroga ostalega električnega omrežja s pomočjo transformatorjev za galvansko ločitev ali ločitev TR (napajanje največ s tokom 16 A, sekundarni tokokrog ne sme biti ozemljen niti zvezan z drugimi deli instalacije))

II. Skupina – z opremo za odklop toka okvare :

a) odklop z varovalkami

- zaščitna omejitev (zaščitna ozemljitev je zelo razširjena varovalni ukrep, uporablja se v omrežjih z ozemljeno nevtralno točko). Ločimo dva načina takega varnostnega ukrepa :
 - zaščitna ozemljila s posebnim ozemljilom (ta način je izveden tako, da se vsi kovinski deli, ki niso pod napetostjo v normalnem obratovanju, galvansko zvežejo z zemljo prek ozemljila (potek okvare : fazni vodnik – ohišje – zemlja – obratovalna ozemljitev – nevtralna točka TR – varovalka fazni vodnik))
 - zaščitna ozemljitev s skupnim ozemljilom (tu se uporabljajo razvejena vodovodna omrežja in kovinski plošči kablov nizkonapetostnega omrežja ali posebej vkopan železni pocinkan trak (valjanec) (potek okvare je podoben prejšnjemu))
 - ničenje (je kot varovalni ukrep zelo razširjen. Pri ničenju kovinska ohišja in ostali prevodne dele porabnika, ki niso v času obratovanja pod napetostjo, galvansko povežemo z nevtralnim vodnikom omrežja. Tu uporabimo nevtralni vodnik kot povratni vodnik za toke okvare (enofazni stik in zvezdišče TR mora biti ozemljeno))

b) odklop z zaščitnimi stikali

- zaščitna napetostna stikala (se pogosto uporablja kot dodatni varnostni ukrep pri ničenju ali zaščitni ozemljitvi, ko nimajo možnosti za izpolnitev nekaterih predpisanih

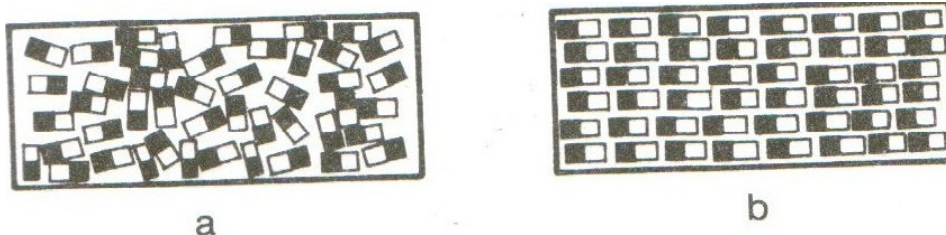
Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

pogojev. Tu se nadzira napetost na nevtralnem in zaščitnem vodniku (dovoljena oziroma maksimalna napetost je 65 V, ko preseže to vrednost stikalo odklopi))

- zaščitna tokovna stikala (deluje na principu bimetala, ki ima določeno vrednost toka, ki je 50 mA)
- III. skupina – z napravo za nadzorovanje stanja izolacije :
 - sistem zaščitnega vodnika (Ta se uporablja v sistemih električnih omrežij z izoliranim zvezdiščem, v katerih ni normalnih obratovalnih pogojih ozemljena nobena točka v omrežju. Vsi kovinski deli opreme in postrojov se vežejo na skupni zaščitni ozemljitveni vodnik. Upornost ozemljitve ne sme biti večji od 20 Ohmov (Tu nastanejo zelo majhni toki in zato je potrebna stalna uporaba kontrolnih naprav zaradi stanja omrežja))

ELEKTROMAGNETIZEM

Magnetizem ali magnetičnost je lastnost nekaterih snovi, da privlačijo telesa iz železa, nekaterih drugih kovin in njihovih zlitin. Snov, ki ima to lastnost, imenujemo magnet. Magneti so lahko naravni ali umetni. Naravni magnet je železna ruda, ki ji pravimo magnetovec ali magnetit (Fe_3O_4). Umetne magnete pa dobimo, če gladimo jekla z naravnim magnetom ali pa s pomočjo električnega toka. Pri učenju fizike smo spoznali, da je snov sestavljena iz atomov, ki so zgrajeni iz atomskega jedra in elektronov. Vsako usmerjeno gibanje elektronov je električni tok. Električni tok pa vzbuja okoli sebe magnetno polje. Če je kroženje elektronov okoli jedra takšno, da se magnetna polja posameznih atomov med seboj ne uničujejo, se vpliv tako sestavljenega magnetnega polja pokaže tudi zunaj snovi.



Snov je sestavljena iz ogromno majhnih magnetkov, kipa med seboj niso urejeni, da bi njihov vpliv ustvaril magnetno polje zunaj snovi. Če pa magnetni snovi približamo naravi ali umetni magnet se delci uredijo tako, da se medsebojno podpirajo in ustvarijo na zunaj magnetno polje. Čim močnejši je magnet, tem več osnovnih magnetkov se v snovi uredi, tem močnejše postane magnetno polje snovi. Močni magneti so železo, kobalt in nikelj. To so feromagnetne snovi. Umetni magneti, ki ohranijo svoj magnetizem so trajni ali permanentni magneti.

MAGNETNO POLJE

Če teče tok skozi vodnik, se delovanje toka ne opazi samo v vodniku, temveč tudi v prostoru okoli njega.

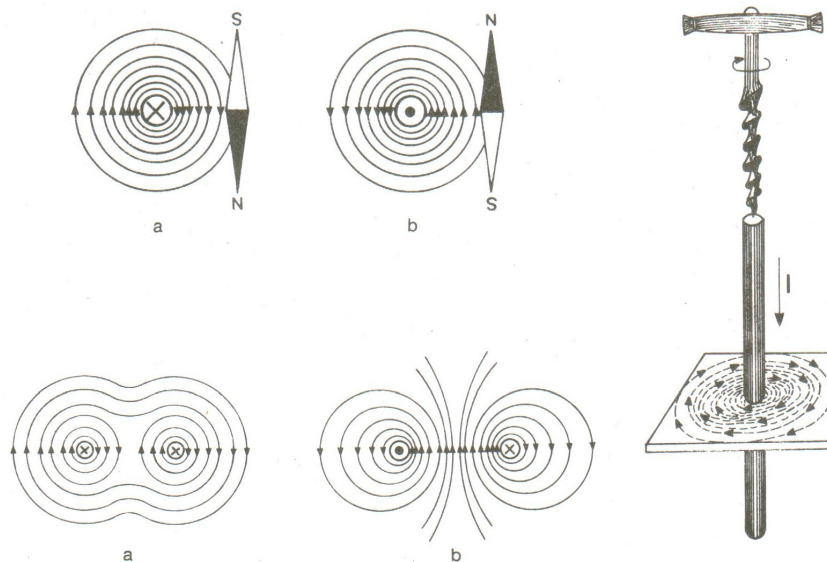
Prebodimo z vodnikom papir, na katerem imamo železne opilke. Če steče skozi vodnik električni tok, potem se pojavijo opilki urejeno (koncentrične kroge, ki so ob vodniku gostejše, dlje od vodnika pa redkejši). Te črte imenujemo magnetne silnice.

Magnetna igla, ki je postavljena blizu vodnika, skozi katerega teče tok, se postavi pravokotno na smer toka. Dogovorjeno je, da je smer delovanja magnetnih silnic tista, ki kaže v smeri severnega pola magnetne igle, če se ta nahaja v magnetnem polju.

Prostor okoli vodnika, skozi katerega teče električni tok se imenuje magnetno polje.

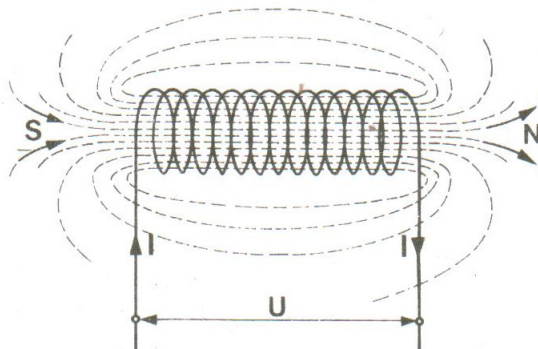
Tehniški Šolski Center Nova Gorica
STROJESLOVJE 2004/05

Magnetne silnice so nekaj navideznega, nam pa ponazarjajo magnetno polje. Tam kjer so silnice gostejše, je magnetno polje močnejše, tam kjer so redkejše, je polje šibkejše. Smer magnetnih silnic določimo s svederskim pravilom. Če desni sveder vrtimo v smeri, v katerega teče tok, tedaj se smer magnetnih silnic, ki so okoli vodnika, ujema s smerjo vrtenja svedra.



Če ležita vodnika vzporedno in če teče tok v obeh vodnikih v isto smer, je skupno magnetno polje med vodnikoma slabo (slika a). V ostalem delu prostora se magnetni polji vodnikov sešteva, pod vplivom magnetnih silnic, ki objemajo oba vodnika, se vodnika medsebojno privlačujeta.

Če pa tečeta toka vzporedno vodnikih v nasprotni smeri, se magnetne silnice zgostijo med vodnikoma, pojavi se močno vmesno magnetno polje, ki vodnika medsebojno odbija (slika b).



Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Magnetno polje je okoli tokovodnika vedno v sebi zaključeno, tudi tedaj, če vodnik ni raven, ampak zvit v enega ali več ovojev, v spiralo oziroma tuljavo. V tem primeru se magnetna polja posameznih delov tuljave seštevajo v neko skupno polje, ki ima obliko magnetnega polja navadnega paličastega magneta. Imenujemo ga elektromagnet.

Na zgornji sliki je narisano magnetno polje tuljave. V sredini je magnetno polje enakomerno. Pravimo da je polje homogeno. Homogeno magnetno polje ponazorimo s silnicami, ki potekajo med seboj vzporedno in v enakomerni razdalji. Silnice izstopajo na eni strani iz tuljave – severni pol, na drugi strani pa vstopajo – južni pol.

Vse zakonitosti, ki jih bomo navedli, izhajajo iz homogenega magnetnega polja, kjer je jakost magnetnega polja v vsaki točki polja ista.

OSNOVNE VELIČINE MAGNETNEGA KROGA

ϕ (fi) – magnetni pretok ali silnice [Wb = T·m²]

Weber je magnetni pretok skozi ravno površino 1 kvadratnega metra, ki je postavljena v homogeno magnetno polje z magnetno indukcijo 1 tesle, pravokotno na smer polja.

$$\phi = B \cdot A \text{ [Wb]}$$

B [T] – gostota magnetnega pretoka

A [m²] – površina skozi katero prehaja magnetni pretok

I·N – amperovi ovoji

Velikost magnetnega pretoka ϕ pa ni odvisna samo od amper-ovojev I·N, temveč tudi od snovi, v kateri se pojavi. Različne snovi imajo za magnetni pretok različno upornost. Zelo majhno magnetno upornost imajo feromagnetiki. Magnetna upornost je odvisna tudi od dolžine silnice l in prereza, skozi katerega prehaja magnetni pretok A.

$$R_m = l / (\mu \cdot A) \text{ [A/Wb]}$$

Imamo torej enake elemente kot pri električni upornosti, zato lahko napišemo Ohmov zakon magnetike :

$$I \cdot N = \phi \cdot R_m \text{ ali } \phi = (I \cdot N) / R_m$$

Pri električni upornosti smo spoznali specifično električno upornost ρ , v magnetizmu pa imamo permeabilnost ali magnetna specifična prevodnost. Oznaka je mala grška črka μ (mi). Čim večja je permeabilnost, tem lažje prehaja magnetni pretok skozi snov.

Permeabilnost μ sestavljata *absolutna permeabilnost* μ_0 ali permeabilnost praznega prostora in *relativna permeabilnost* μ_r .

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \text{ [Wb/Am = Vs/Am = H/m]}$$

kjer je :

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Wb/Am} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb/Am}$$

Relativna permeabilnost μ_r je število, ki nam pove kolikokrat je permeabilnost dolčene snovi večja od permeabilnosti praznega prostora (vakuuma). Glede na magnetno prevodnost ločimo vse novi na tri skupine :

- diamagnetike
- paramagnetike
- feromagnetike

Tehniški Šolski Center Nova Gorica **STROJESLOVJE 2004/05**

Za elektrotehniko so pomembni le feromagnetiki (železo, kobalt in nikelj in nekatere zlitine). Ti imajo tudi do nekaj 1000 krat večjo relativno permeabilnost od vakuuma oziroma zraka, katerega relativna permeabilnost je 1. Zaradi tega izdelujemo TR, generatorje in motorje iz železa, ker s tem omogočamo lažjo pot magnetnim silnicam. Diamagnetiki in paramagnetiki imajo relativno permeabilnost nekoliko večjo oziroma manjšo kot vakuum. Praktično pomeni, da imajo vse snovi razen feromagnetikov, relativno permeabilnost 1.

Gostota magnetnega pretoka ali magnetna indukcija je določena s površino (prerezom), skozi katero gre magnetni fluks.

Označimo jo z črko B. Enota je tesla, znak : T.

$$B = \phi/A \text{ [Wb/m}^2 = \text{Vs/m}^2 = \text{T]}$$

Tesla je magnetna indukcija homogenega magnetnega polja, v katerem na ravni vodnik dolžine 1 meter, skozi katerega teče tok 1 ampera in je postavljen pravokotno na smer polja, deluje sila 1 newton. (leva roka)

$$\text{[T = N/Am] ali [T = Wb/m}^2 \text{]}$$

Jakost magnetnega polja je število amper-ovojev, ki jih potrebujemo, da se magnetni pretok gostote B lahko razprostre v dolžini 1 m. To so ampere-ovoji na meter ; zaznamujemo jih s H.

$$H = (I \cdot N) / l \text{ [A/m]}$$

in odnos med gostoto in jakostjo magnetnega polja :

$$B = \mu \cdot H \text{ [T]}$$

kjer je :

H [A/m] – jakost magnetnega polja

I [A] – jakost toka skozi tuljavo

N – število ovojev tuljave

l [m] – dolžina magnetnih silnic

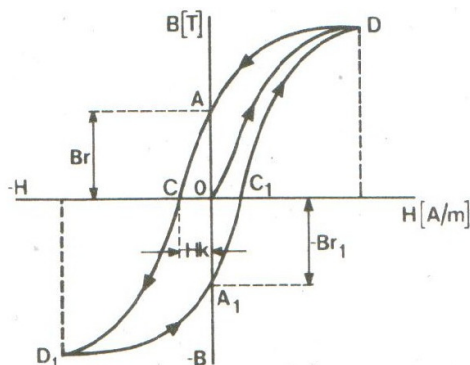
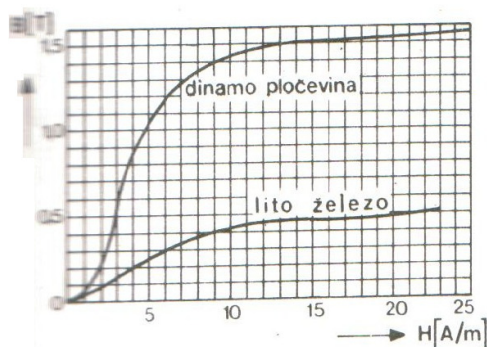
μ [Wb/Am] – magnetna permeabilnost snovi skozi katero potekajo magnetne silnice

MAGNETNI KROG (KRIVULJA MAGNETENJA)

Permeabilnost μ feromagnetikov ni stalna in se spreminja s spreminjanjem gostote magnetnega pretoka B. Ta sprememba nam postane razumljiva, če pomislimo na teorijo elementarnih magnetov, iz katerih so sestavljeni železo in njegove zlitine. V začetku magnetiziranja železa (feromagnetno-železno jedro je v tuljavi, skozi katero teče enosmerni tok) se usmerijo le tisti osnovni magnetiki, ki se radi usmerijo, z naraščanjem vzbujevalnih amperskih ovojev pa se usmerjajo trdovratnejši, dokler ne doseže železo tako imenovane magnetne nasiečnosti, ko tudi s povečanjem amper-ovojev ne dosežemo večje gostote magnetnega pretoka, ker so vsi elementarni magnetiki obrnjeni v isto smer.

V praksi uporabljamo magnetne krivulje, ki grafično pokažejo razmerje med amper-ovoji pri določeni gostoti magnetnega pretoka B, ki so potrebni, da se premaga 1 m dolžine magnetne upornosti. Te krivulje so za različne vrste železa in jekla različne.

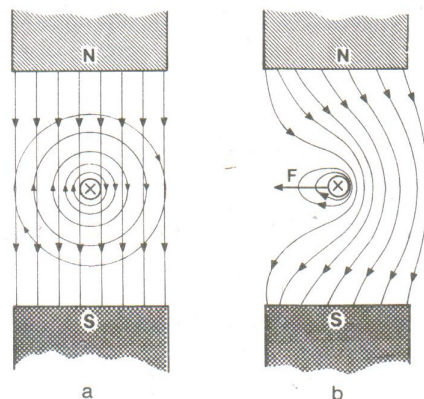
Te krivulje so pomembne za preračunavanje električnih strojev. Tovarne, ki izdelujejo železo in jeklo za elektromagnete, dodajajo tem izdelkom tudi diagrame magnetnih krivulj. Enačba $B = \mu \cdot H$ kaže, da so snovi, ki imajo konstantno permeabilnost (diamagnetiki, paramagnetiki), v diagramu podani s premico.



Če feromagnetno jedro (železo), ki se nahaja v tuljavi, želimo razmagnetiti, ko je že dosežena magnetna nasičenost (krivulja OD v točki D) in zmanjšujemo jakost toka v tuljavi, opazimo da se bo gostota B tudi zmanjšala. Vendar zmanjševanje gostote B poteka po krivulji DA, ne po krivulji DO, po kateri smo namagnetili železo. Ko vrednost toka pade na nič (točka A), jedro še vedno ostane magnetno, pravimo da je v železu ostal remanentni magnetizem (B_r), železo je postalo trajni magnet. Če želimo železo popolnoma razmagnetiti, moramo spremeniti smer toka skozi navitje, torej obrniti smer magnetnega polja, in ko mu povečamo jakost, pade krivulja do točke C, kjer doseže gostota B vrednost nič. Železo je razmagneteno, za to smo potrebovali poljsko jakost ($-H_k$), ki ji pravimo koercitivna magnetna poljska jakost ali koercitivna sila. Pri nadaljnjem povečanju jakosti magnetnega polja v negativni smeri, krivulja doseže vrednost D_1 , železno jedro je ponovno magnetno nasičeno. Če nato tok v tuljavi zmanjšujemo, dosežemo točko A_1 , to je remanentno gostoto, takrat prekinemo dovod toka v tuljavo. Ponovno spremenimo smer toka, ter ga povečujemo, dosežemo točko D in tako sklenemo krivuljo v tako imenovano histerezo zanko. Krivuljo OD imenujemo krivuljo prvega magnetenja ali deviška krivulja. Ta pojav, ki je značilen za magnetne materiale, imenujemo magnetna histereza. Zasedili ga bomo v električnih strojih (TR, generatorjih, motorjih, itd.). Feromagnetni materiali imajo različne histerezne zanke. Magnetno mehki materiali imajo ozko, magnetno trdi materiali pa široko histerezo zanko. Teoretično je dokazano, da je ploščina histerezne zanke sorazmerna količini toplote, ki jo oddaja feromagnetni material v času magnetiziranja. Pomeni, da je ploščina zanke neko merilo za izgube, ki jo imenujemo histerezne izgube ali izgube premagnetanja. Ker nam da čisto železo najozjajo zanko bomo dele električnih strojev, zaradi pojava premagnetanja, izdelovali iz bolj ali manj čistih želez (dinamo in transformatorska pločevina). Če pa hočemo, da bi železo ostalo trajno magnetno, mu moramo dodati razne primesi (ogljik, krom, kobalt, nikel itd.). Tako dobimo trde magnetne materiale z veliko koercitivno silo in remanentno gostoto (zvočniki, merilni instrumenti, dinamici biciklov itd.).

SILA NA VODNIK V MAGNETNEM POLJU

Magnetno polje deluje z določeno silo na vsak električni naboj, ki se giblje v magnetnem polju. V magnetno polje stalnega magneta (homogeno polje) obesimo vodnik, skozi katerega teče električni tok. Okoli vodnika se bodo spredle magnetne silnice (slika a), tokovodnik je postal magnet in ta magnet je v polju drugega magneta. Skupno magnetno polje je prikazano na sliki b. Magnetne silnice si prizadevajo, da bi bile čim krajše. Vodnik se premakne v smer redkejšega polja. Sila na vodnik deluje vedno od zgoščenega dela polja proti razredčenemu delu. To silo imenujemo Biot-Savartova ali tokovna sila.



Za tokovodnike, ki leže pravokotno na smer magnetnih silnic magneta, velja enačba za tokovno silo:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad [N]$$

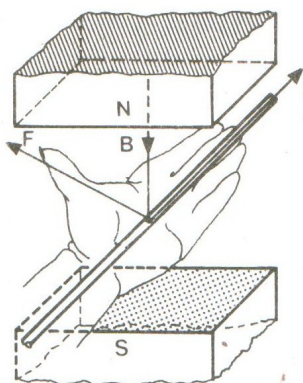
kjer je:

$B [T]$ – gostota magnetnega pretoka

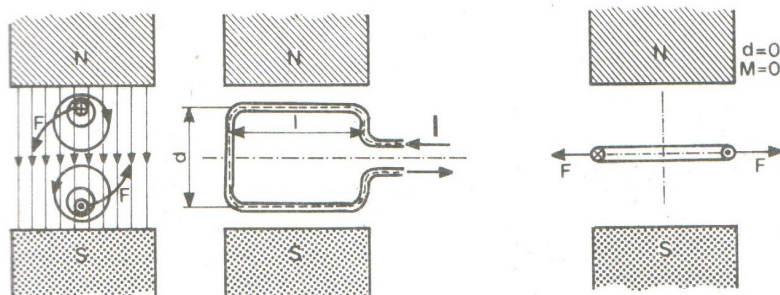
$I [A]$ – jakost električnega toka v vodniku

$l [m]$ – aktivna dolžina vodnika, ki leži v magnetnem polju magneta

Smer sile določimo po pravilu leve roke, ki pravi: če levo roko obrnemo tako, da nam magnetne silnice padajo pravokotno na dlan in teče električni tok v smeri iztegnjenih prstov, kaže na te štiri prste pravokotno stoječi palec smer sile.



V magnetnem polju se nahaja ovoj, ki se vrti okoli svoje osi. Skozi ovoj teče električni tok in ustvarja magnetno polje ovoja, ki na enih mestih slabi, na drugih pa jača osnovno magnetno polje. Ker magnetno polje želi iz področja močnejšega polja iztisniti vodnik v slabše polje, bosta na ovoj delovali dve paralelni nasprotno usmerjeni enaki sili. Ti ustvarjata s svojim delovanjem na ovoj vrtilni moment, ki se vrti okoli osi v smeri, ki ga določa pravilo leve roke.



$$M = F \cdot d \text{ [Nm]}$$

Kjer je:

M [Nm] Vrtilni moment,

F [N]..... Sila magnetnega polja na vodnik,

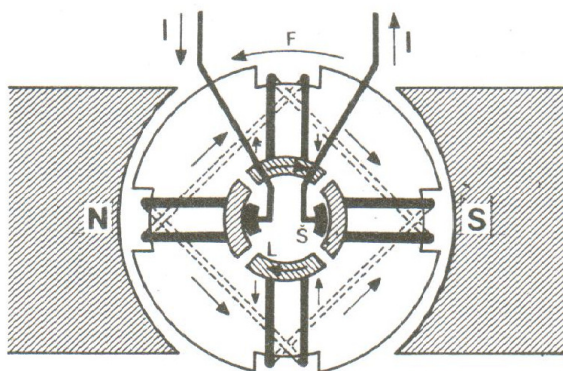
D [m]..... razdalja med vodnikoma v ovoju zanki

Sila F se določa po formuli $F = B \cdot I \cdot l$, kjer je l dolžina ovoja v magnetnem polju. Če namesto enega ovoja v magnetno polje položimo tuljavo z N ovoji, je sila :

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot N \text{ [N]}$$

PRINCIP DELOVANJA ELEKTROMOTORJA:

Elektromotorji delujejo na principu delovanja magnetnega polja ovoja, skozi katerega teče električni tok. Ovoj ne more samostojno delati kot elektromotor, kjer v vodoravni legi nima vrtilnega momenta ($d = 0$) in zato v tem položaju miruje. Da bi dosegli trajno delovanje elektromotorjev so razporejeni vodniki po celem obodu rotorja. S pomočjo posebne naprave (komutator ali kolektor) se spreminja dovod električnega toka vodnikom, da lahko magnetno polje vrtilni rotor vedno v isti smeri.

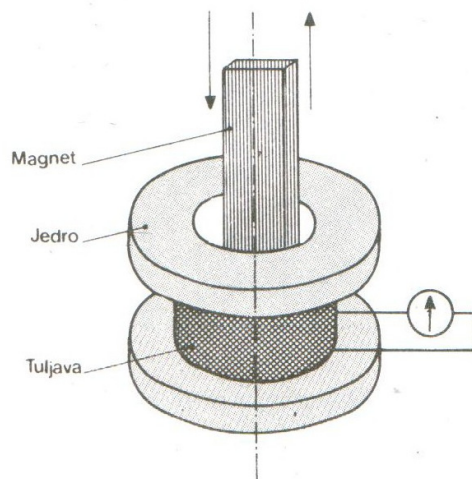


Slika 45

Drсна krtačka ali ščetka (Š) na sliki 45 dovaja tok tisti lameli (L) komutatorja, ki se trenutno nahaja v levem položaju, odvaja pa v istem trenutku z desne lamele. Zato je v levih vodnikih smer toka od nas, v desnih pa k nam. Po pravilu leve roke lahko določimo vrtilni moment. Na sliki 45 deluje vrtilni moment vedno v nasprotni smeri urinega kazalca. Da bi dosegli čim manjšo magnetno upornost in čim večji magnetni pretok, so vodniki na rotorju naviti okoli železnega jedra.

INDUKCIJA

V dosedanjih poglavjih smo govorili o električni napetosti kot znani količini, ki zaradi potencialne razlike sili proste elektrone v vodnikih, da se premikajo. Zanima nas pa nastanek te napetosti. V 3. Poglavju smo spoznali, da električni tok, ki teče po vodniku, vzbudi okoli vodnika magnetno polje. Vprašamo se, ali je mogoče tudi nasprotno, da magnetno polje vzbudi v vodniku električno napetost? Na to vprašanje so odgovoril že leta 1831 angleški fizik Faraday z zgodovinskim poskusom (slika 46) dokazal, da le sprememba jakosti magnetnega polja



Slika 46

V katerem se nahaja vodnik, inducira v tem vodniku napetosti. Na votlo železno jedro je navil tuljavo ter njen začetek in konec priklopil na galvanometer. (galvanometer je električni instrument za merjenje zelo majhnih tokov) V odprtino jedra je potisnil paličast magnet in ga vzdolž osi tuljave premikal gor in dol. Med premikom magneta se je galvanometer odklonil iz ničelnega položaja v levo in desno, odvisno od smeri gibanja magneta v tuljavi. Če pa je magnet miroval, v tuljavi ali izven nje, se galvanometer ni odklonil.

S tem poskusom je Faraday dokazal :

1. magnetno polje je povzročitelj nastanka električnega toka (če je sklenjen tokokrog tuljave);
2. v magnetnem polju se je akumulira določena energija, če te ni bi bilo, ne bi prišlo do pojava električnega toka, torej električne napetosti;
3. jakost toka je odvisna od hitrosti gibanja magneta glede na tuljavo, hitrosti, s katero se spreminja magnetno stanje tuljave;
4. jakost toka odvisna od moči magneta; pri močnejšem magnetu, se bo pri enaki hitrosti gibanja pojavil v tuljavi večji tok;
5. smer toka je odvisna od smeri gibanja magneta glede na tuljavo.

Če v tokokrogu teče električni tok, pomeni da je v tem tokokrogu neka elektromotorna sila. Pojav nastanka električne napetosti s pomočjo magnetnega polja imenujemo elektromagnetna indukcija. Na ta način ustvarjena napetost pa je inducirana napetost ali inducirana elektromotorna sila.

Na osnovi navedenih pojavov je Faraday postavil indukcijski zakon ki pravi:

Če vodnik premikamo v magnetnem polju tako, da reže magnetne silnice, se v vodniku pojavi (inducira) električna napetost.

Spremembo magnetnega polja enakega učinka dosežemo, (slika 46). Če magnetna palica miruje, premikamo pa jedro ob magnetni palici.

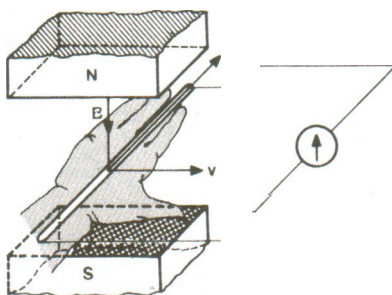
Elektromagnetna indukcija je lahko dinamična ali statična. Dinamična indukcija je posledica gibanja, kar pomeni gibanja palice (vodnika) v stalnem magnetnem polju, ki miruje ali pa mirovanje palice v spreminjajočem se magnetnem polju.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Statična indukcija nastopi zaradi časovne spremembe magnetnega pretoka, medtem ko vsi deli naprave mirujejo. Pojav dinamične indukcije uporabljamo pri izdelavi generatorjev za enosmerni in izmenični tok, medtem ko pojav statične indukcije pa pri gradnji transformatorjev.

Dinamična elektromagnetna indukcija :

V homogeno magnetno polje obesimo med pola stalnega magneta (sl. 47) bakreno palico, pravokotno na smer magnetnih silnic. Konca palice sta povezana z galvanometrom. Pri premikanju palice v magnetnem polju se pojavi v palici inducirana električna napetost, ki povzroči odklon galvanometra. Ta napetost je tem večja čim gostejše je magnetno polje, čim hitrejša je gibanje oziroma rezanje magnetnih silnic in čim daljši je vodnik v magnetnem polju, s tem da leži pravokotno na smer magnetnih silnic. V vodniku, ki leži zunaj magnetnega polja, se ne inducira napetost.



kjer je:

U_i [V] inducirana napetost,
 B [T] gostota magnetnega polja, ki ree vodnik (palico),
 v [m/s] hitrost rezanja magnetnega polja,
 l [m] dolžina vodnika, ki leži v magnetnem polju.

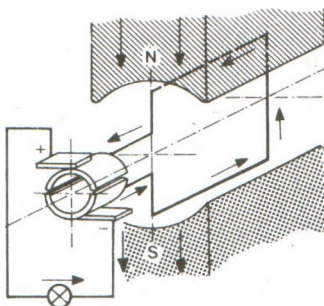
Smer inducirane napetosti oziroma smer induciranega toka, ki ga ta napetost poganja, določimo po pravilu desne roke (sl. 47):

Če obrnemo desno roko tako, da padajo magnetne stranice pravokotno na dlan, torej od severa k jugu, ter se palica premika v smeri., ki jo kaže iztegnjeni palec, kažejo jo iztegnjeni prsti smer inducirane napetosti..

Pri enakomernem gibanju vodnika v homogenem magnetnem polju se inducira v vodniku enosmerna napetost. Če hočemo dobiti izmenično napetost, ki se bo spreminjala po sinusnem zakonu, se mora vsaj ena izmed treh količin (B , v , l) spreminjati po sinusu.

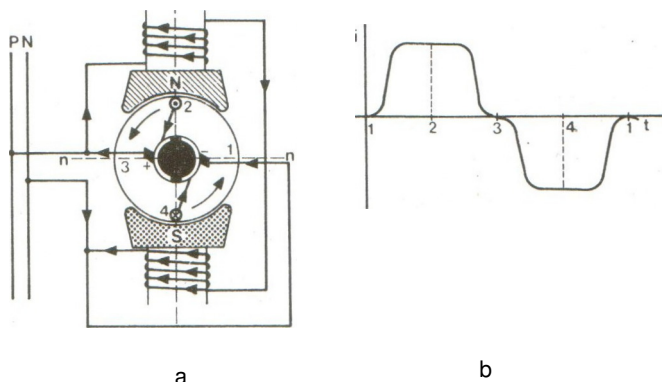
Princip elektrogeneratorja:

Generator je električni stroj, ki na osnovi elektromagnetne indukcije spreminja mehansko energijo v električno. Sestavljen je iz dveh delov: statorja - mirujočega dela stroja, z nalogo, da proizvaja močno magnetno polje, ki se sklone preko drugega dela stroja - rotorja, ki je vrteči se del stroja. Na osi rotorja je naprava za odvod proizvedenega toka v rotorju. Ta naprava se pri enosmernih generatorjih imenuje komutator ali kolektor, ki je sestavljen iz enega ali več parov lamel ali segmentov. Lamelle so med seboj in proti osi izolirane in vezane z zankami rotorja. Na lamelle je prislonjen par u enih učvrščenih drsnih ščetk, preko katerih potiska, proizvedena električna napetost generatorja, tok porabnikom v električno omrežje. Tisti del električnega stroja, v katerem se inducira napetost, imenujemo indukt. Rotor pri enosmernem generatorju ima funkcijo indukta.



Slika 48

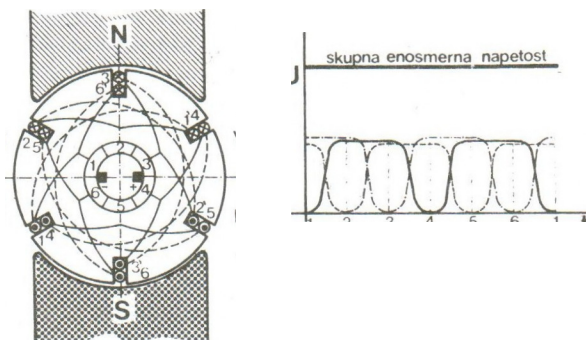
Na sl. 48 je prikazan osnovni model generatorja za enosmerni tok, ki se loči od generatorja za izmenični tok po tem, da sta konca zanke vezana na drsni obroč ki je razdeljen na dve lameli. Če se v homogenem magnetnem polju vrtil zanka se v njej inducira napetost $U_i = B \cdot v \cdot l$. Če se zanka vrtil v nasprotni smeri od urinega kazalca, se bo v njej, po pravilu desne roke, inducirala napetost, ki požene tok v smeri, ki je prikazan na sl. 48. Če komutatorja ne bi bilo, bi se smer inducirane napetosti spremenila, takoj ko bi zanka prešla horizontalno lego (spremeni se smer rezanja magnetnih silnic - ista stran zanke reže, pred horizontalno lego, silnice v levo, nato pa v desno). Na sl. 49 je shematski prikaz enosmernega generatorja, kjer vzbujamo magnetne, ki so vgrajeni na statorju, s tokom, ki ga proizvaja sam generator. Zanka, v kateri se inducira napetost, leži v dveh utorih rotorja, ki ima obliko železnega valja (sl. 49 a).



Slika 49

Pri vrtenju rotorja (indukta) se inducira v zanki, ki leži v legi 2-4 največja napetost, v legi 3-1 pa je inducirana napetost enaka nič (slika 49a). V naslednji legi zanke 4-2 se ponovno inducira največja napetost vendar je nasprotno usmerjena. Lega zanke 1-3 oz. 3-1 imenujemo tudi nevtralno cono ali nevtralno lego, ki je na sliki 49a z N-N. V nevtralni legi ležita ščetki, ki zamenjata segmenta v trenutku ko ni napetosti v zanki. Zaradi take ureditve ima pozitivna ščetka vedno zvezo s tisto palico zanke, ki se giblje v območju severnega pola magneta (N). Nasprotno velja za negativno ščetko zato se smer napetosti na sponkah ščetk ne spremeni.

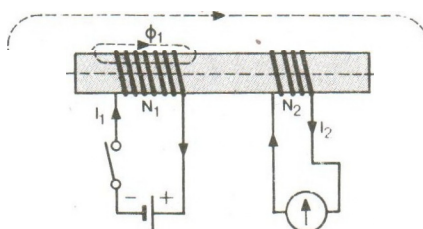
Usmerjena napetost na ščetkah generatorja ni enakomerna, zato izdelamo v rotorju več utorov, v katere vložimo palice, ki sklenjene sestavljajo navitje rotorja (sl. 50). Ker imamo v rotorju mnogo utorov, v vsakem je lahko več izoliranih palic, ki so vezane zaporedno, se v posameznih palicah inducirane napetosti seštevajo.



Palice posameznih zank ali tuljav leže krajevno premaknjene na rotorju, zato režejo magnetno polje statorja z določeno časovno premaknitvijo (sl. 50 b). Ker se posamezne inducirane napetosti seštevajo, dobimo kot rezultanto skupno enosmerno napetost, ki je v tem enakomirnejša, čim večje je število utorov, oziroma čim večje je število komutatorjevih lamel (sl. 50 b).

Statična indukcija:

Na železnem jedru sta naviti tuljavi (sl. 51). Na prvi tuljavi, imenujemo jo primarna tuljava, je preko stikala priključena baterija, na drugo tuljavo, imenujemo je sekundarno tuljavo, je priključen galvanometer, ki se iz nične lege lahko odkloni na obe strani.



Slika 51

Ko stikalo vključimo se kazalec galvanometra odkloni, takoj nato pa se povrne v izhodiščni položaj. Torej se je ob vklopu stikala v tokokrogu primarne tuljave pojavil tok, ki je okoli tuljave ustvaril magnetno polje. Velik del tega polja prehaja skozi drugo (sekundarno) tuljavo, kjer se inducira napetost, ki požene tok in odklon galvanometra. Pri stalno vklopljenem stikalu v tokokrogu primarne tuljave teče po njej enosmerni tok, ki pa v sekundarni tuljavi ne inducira napetosti. Če pa stikalo izključimo, se kazalec na galvanometru zopet odkloni v nasprotno smer, pomeni, da se je ponovno inducirala napetost v sekundarni tuljavi. Če se tok v primarni tuljavi stalno spreminja, potem se stalno spreminja tudi pretok skozi sekundarno tuljavo. Če je večje število ovojev tuljave, je večji tudi odklon galvanometra pri vklopu tipke v primarni tuljavi.

Če se neki magnetni pretok (fluks) spreminja se v vsakem ovoju okoli njega inducira električna napetost, ki je tem večja, čim hitreje se magnetni pretok spreminja. Navedeni način nastajanja inducirane napetosti imenujemo statična indukcija.

Za smer inducirane napetosti velja Lenzovo pravilo, ki pravi, da se ob spremembi toka v tuljavi inducira v njej napetost v smeri, ki je nasprotna smeri toka, ki to napetost povzroča. Inducirana napetost se upira vzroku svojega nastanka, torej spremembi toka.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica
STROJESLOVJE 2004/05

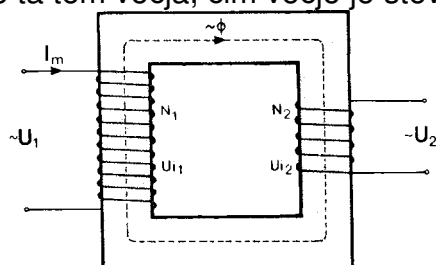
Če se tok v tuljavi večja, se inducirana napetost upira večanju toka oziroma obratno. Indukcijski zakon kot posledica spreminjanja magnetnega fluksa (za en ovoj) glasi:

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Predznak minus pomeni, da se inducirana napetost upira časovni spremembi magnetnega pretoka, ki je vzrok za njen nastanek.

Princip delovanja transformatorja:

Pojav statične elektromagnetne indukcije uporabimo pri električnem stroju, ki nima nikakih vrtečih se delov, to je transformator. Na železnem jedru sta naviti tuljavi N_1 in N_2 (sl. 52). Če primarno tuljavo N_1 priključimo na omrežje izmenične napetosti (131) steče skozi tuljavo izmenični tok I_m . Ta v primarni tuljavi vzbudi nihajoče magnetno polje ($I_m \cdot N_1$), ki spreminja svojo jakost in smer z enako frekvenco, kot jo ima pritisnjena napetost. Magnetni pretok (Φ) je sklenjen po železnem jedru skozi sekundarno tuljavo N_2 . Če na sponkah sekundarne tuljave N_2 merimo napetost, bo ta tem večja, čim večje je število ovojev tuljave N_2



Slika 52

Ta pojav imenujemo tudi vzajemno indukcijo izmeničnega tol.a. Izmenični magnetni pretok ne gre samo skozi tuljavo N_2 , temveč tudi skozi primarno tuljavo N_1 v kateri prav tako inducira izmenično napetost. Ta napetost, ki je vedno nasprotno usmerjena pritisnjeni napetosti, imenujemo napetost lastne indukcije, pojav pa lastna indukcija. Ko tuljavo priklopimo na izmenično napetost, se v tuljavi pojavi neka dodatna upornost, ki jo enosmerni tok nima. Napetost lastne indukcije in napetost, se porabi za premagovanje ohmske upornosti tuljave, morata biti v ravnotežju, v kateri niha magnetni fluks, pa induktivno upornost. Induktivnost tuljave srečamo v vseh izmeničnih tokokrogih, je osnovno-geometrijska lastnost tuljave in jo zapišemo z obrazcem :

$$L = \frac{\mu_o \cdot \mu_r \cdot A}{l} \cdot N^2 \text{ [H]},$$

Kjer pomeni :

L [H] induktivnost tuljave,

N število ovojev tuljave,

$\mu_o \left[\frac{Vs}{Am} \right]$ absolutna permeabilnost,

μ_r relativna permeabilnost,

A [m^2] prerez tuljave, v katerem je magnetni pretok,

l [m] dolžina silnice.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Osnovna lastnost tuljave je podana s permeabilnostjo, geometrijska lastnost pa s prerezom, dolžino in številom obojev tuljav. Induktivnost lahko definiramo kot merilo za velikost magnetnega pretoka, ki nastane zaradi toka v tuljavi. Izračunamo jo z ohmovim zakonom magnetike, ki je :

$$\frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l} = \frac{\Phi}{I \cdot N}$$

In vstavimo obrazec za induktivnost :

$$L = N^2 \cdot \frac{\Phi}{I \cdot N},$$

Dobimo:

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I} \text{ [H]}$$

Enota induktivnosti je henry (izg.: henri), znak : H.

Tuljava ima induktivnost 1H, če pri spremembi toka skozi tuljavo za 1A v času ene sekunde inducira v tuljavi napetost 1V

$$1 \text{ H} = \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = \frac{\text{Wb}}{\text{A}}$$

Henry(H) je sorazmerno velika enota, uporabljamo manjše enote :

$$0,001 \text{ H} = 10^{-3}\text{H} = 1 \text{ m H (milihenry)}$$

$$0,000\ 001 \text{ H} = 10^{-6}\text{H} = 1 \mu \text{ H (mikrohenry)}$$

Spreminjajoči se magnetni pretok ustvarja v tuljavi dodatno upornost, ki jo imenujemo induktivno upornost.

Induktivna upornost je odvisna ne samo od induktivnosti tokokroga, temveč tudi od frekvence magnetnega pretoka (fluksa) oziroma izmeničnega toka, ki zbudita magnetni fluks. Tudi induktivno upornost računamo kot ohmsko upornost v ohmih (Ω).

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L \text{ [\Omega]},$$

Kjer je :

X_L [Ω]..... induktivna upornost,

π Ludolfovo število (3,14),

f [Hz]frekvenca izmeničnega toka (število period v sekundi),

L [H] Induktivnost,

Ω [s^{-1}] Grška črka omega-kotna hitrost = $2 \pi f$

Induktivno upornost X_L imenujemo tudi reaktanca. Induktivna upornost povzroči kot vsaka upornost padec napetosti. Ta padec napetosti je zmnožek iztoka, ki teče skozi to upornost in upornosti same.

$$I \cdot X_L = I \cdot 2\pi f \cdot L$$

Induktivni padec napetosti je :

$$U_L = I \cdot 2\pi f \cdot L \text{ [V]}$$

Če se ponovno vrnemo na sl. 52 in nadaljujemo razmišljanje o delovanju transformatorja. Tok I_m , ki ga v primarni tuljavi N_1 pognala izmenična napetost U_1 , imenujemo tudi magnetilni tok, je zelo majhen saj se pritisnjeni napetosti U_1 upira velika inducirana napetost U_{i1} , ki je skoraj enaka U_1 .

Po indukcijskem zakonu inducira magnetni pretok v vsakem ovoju izmenično napetost U_0 [V] ($u_1 = 4,44 \cdot B \cdot A \cdot f$ – efektivnih voltov). Celotna inducirana napetost v primarnem navitju je $U_{i1} = u_0 \cdot N_1$ [V]. Ta napetost je nasprotno usmerjena kot napetost U_1 in je od nje toliko manjša, da njena razlika ($U_1 - U_{i1}$) požene tok I_m prek ohmske upornosti in induktivne upornosti primarnega navitja.

Magnetni pretok pa niha tudi skozi sekundarno navitje z N_2 ovoji, kjer prav tako inducira v vsakem ovoju napetost u_0 [V]. V sekundarnem navitju bo inducirana napetost $U_{i2} = u_0 \cdot N_2$ [V]. Če delimo enačbi za primarno in sekundarno napetost, dobimo :

$$\frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{u_0 \cdot N_1}{u_0 \cdot N_2} \quad \text{ali} \quad \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Lahko trdimo, da je U_1 približno enaka U_{i1} . V praznem teku transformatorja je $U_{i2} = U_2$. Zato lahko napišemo obrazec:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

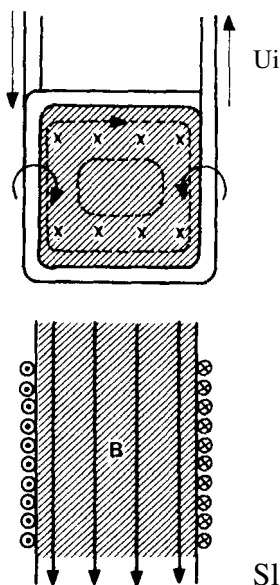
Razmerje med primarno in sekundarno napetostjo transformatorja je isto, kot razmerje med primarnim in sekundarnim številom ovojov. To razmerje imenujemo napetostno prestavo transformatorja :

$$p = \frac{N_1}{N_2}$$

Tam kjer imamo več ovojov tanke žice, je višja napetost (visokonapetostno navitje), nižja napetost pa je tam, kjer je navitje z manj ovoji debele žice (niskonapetostno navitje).

Vrtinčni toki; kožni efekt (skin efekt):

Pojav nihanja magnetnega pretoka v energetskih napravah ima za posledico nastanek dveh pojavov, ki povzročata elektrotehnikom velike nevšečnosti, to sta pojav vrtinčnih tokov in kožni pojav. Ko prehaja spreminjajoči se magnetni pretok po jedru transformatorja, inducira napetost tudi v samem železnem jedru. Inducirane napetosti lahko vzbude v železu zelo velike izmenične tokove, ki segrejejo železo do temperature, ki kvarno vpliva na železo samo in na izolacijo tuljav, ki so navite na železnem jedru. Ti toki imajo obliko vrtincev, zato jih imenujemo vrtinčni toki. Silnice magnetnega pretoka, v našem jedru na sl. 53, so enakomerno razporejene po

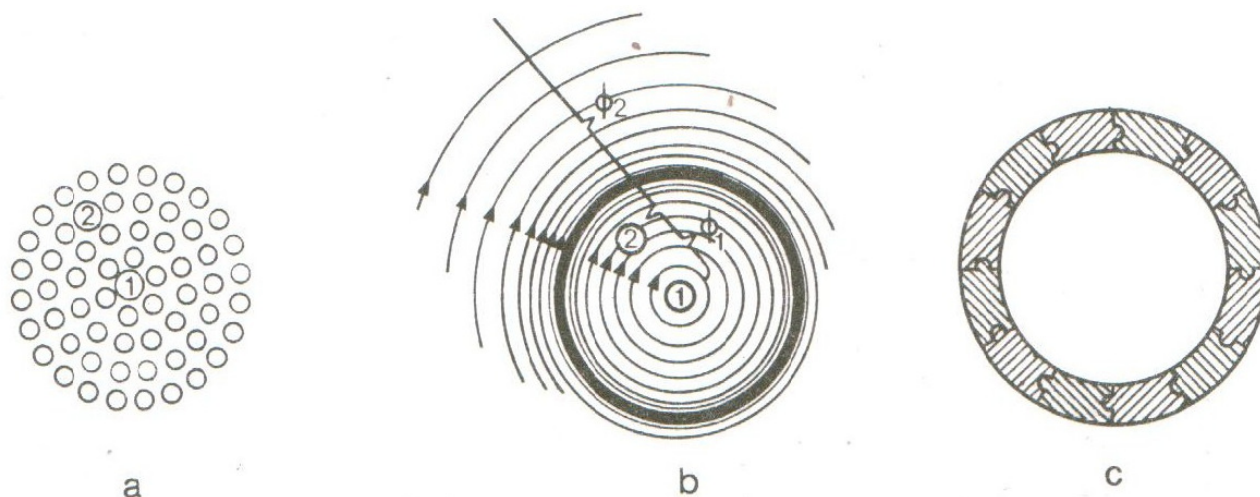


Slika 53

prerezu in z nihanjem ustvarijo vrtinčne toke. Če gledamo na prerez jedra v smeri silnic, bodo tekli vrtinčni toki v smeri vrtenja kazalca na uri, če pretok pojema. Ti vrtinčni toki pa ustvarijo, kot vsak tok, okoli sebe po pravilu svedra, magnetne silnice. Te silnice, ki jih je največ v sredini jedra-ustvarijo jih tam vsi vrtinčni toki-slabijo prvotni pretok, tako da je končna slika taka: v sredini ni magnetnih silnic, proti površju jedra se vedno bolj in bolj goste ter so na površju najgostejše. Da bi preprečili energijske izgube v električnih strojih zaradi pojava vrtinčnih tokov, imenujemo jih tudi izgube v železu, sestavljamo železno jedro iz pločevine ali lamel, pravimo, da ga lameliramo. Na ta način zmanjšamo vrtinčne toke, ker se upornost njihovega tokokroga zelo poveča. Za povečanje specifične upornosti dodamo železu, iz katerega izdelujemo lamele, majhen odstotek silicija. Debeline lamel (pločevin) znašajo 0,3, 0,35 ali 0,5 mm. Med pločevino vstavljamo svilen papir ali pa stične ploskve lakiramo, da preprečimo vrtinčnim tokom prehod iz plošče na ploščo. Izgub zaradi vrtinčnih tokov se ne da popolnoma odpraviti. Zato morajo proizvajalci strojev paziti, da imajo dobro hlajenje. S tem omogočijo obratovanje strojev z nazivno močjo (sicer bi se pregreli); tako se izboljša izkoristek električnega stroja.

Tehniški Šolski Center Nova Gorica STROJESLOVJE 2004/05

Proizvodnjo vrtničnih tokov pa koristno uporabljajo v metalurgiji, za segrevanje in taljenje železa. Te naprave delujejo po tako imenovanem indukcijskem načinu. Okoli posode, v kateri je železo, ki ga hočemo raztaliti, navijemo tuljavo, skozi katero spustimo visokofrekvenčni tok. V železu se inducirajo vrtnični toki, da se železo razžari in tudi raztopi. Kožni pojav ali skin efekt je tudi posledica časovno spreminjajočega se magnetnega fluksa. Vodnik okroglega prereza si zamislimo, da je sestavljen iz velikega števila tokovnih vlaken enakega prereza in enake ohmske upornosti (sl. 54 a). Če teče po vodniku enosmerni tok, teče po vsakem tokovnem vlaknu enako velik tok, kar pomeni, da je gostota toka po vsem prerezu vodnika enaka.



Slika 54

Če teče skozi vodnik izmenični tok, povzroči ta v vodniku samem in v okolici vodnika izmeničen magnetni fluks. Nihajoči magnetni fluks povzroči v vseh vlaknih vodnika iste dolžine induktivno upornost, ki je v posameznem vlaknu vodnika večja, če je večji magnetni fluks (čim večje je število magnetnih silnic), ki posamezno vlakno obdaja. Iz sl. 54 b vidimo, da srednje vlakno oklepa celotni magnetni fluks, druga tokovna vlakna pa oklepajo tem manjši fluksi, čim bližje so steni vodnika. Induktivna upornost ($X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$) srednjega vlakna je največja in najmanjša tistih vlaken, ki so ob steni vodnika. Ohmska upornost je za vsa vlakna enaka.

Polna upornost ali impedanca delnih vlaken vodnika, ki je sestavljena iz zaporedno vezane ohmske in induktivne upornosti vlaken, je največja v sredini in najmanjša ob vodnikovi steni. Posledica različne upornosti v prerezu vodnika, skozi katerega teče izmenični tok, je, da se tok preko prereza razdeli neenakomerno, v sredini je majhna gostota, ob površini pa velika. Tok je torej iz sredine zrinjen na površje. Čim večja je frekvenca toka in čim večji je prerez, tem bolj to opazimo. Pojav, da teče izmenični tok predvsem v zunanjih plasteh vodnika (v koži vodnika) imenujemo kožni pojav ali s tujko skin efekt. Ker je srednji del vodnika pri prenosu velikih, visoko frekvenčnih tokov neizkoriščen, sestavljajo vodnike iz posameznih žic, ki so med seboj izolirane in povezane v vrvi, tako da vsaka žica izmenjuje preteče enake dolžine v sredini in na površini vodnika. Žice so tako enakopravne in kožnega pojava ni. Kožnemu pojavu se izognemo tudi z izdelavo vodnikov v obliki cevi. Stene cevi sestavijo iz segmentnih trakov (54 c).