

JOVICA SPASIĆ



IZDELAVA ELEKTRIČNIH TOKOKROGOV

ENOSMERNI IN IZMENIČNI TOKOKROGI

**učno gradivo za 1. letnik programa
SPI električar**

Jovica Spasić

Izdelava električnih tokokrogov
Enosmerni in izmenični tokokrogi

Učno gradivo

Jovica Spasić

Izdelava električnih tokokrogov – Enosmerni in izmenični tokokrogi

Oblikovanje in prelom: Jovica Spasić
Fotografije, grafične priloge in risbe: Jovica Spasić
Kraj in leto izdaje: Ljubljana, 2012
Objava: spletna učilnica (PDF format)

Založnik: objava v spletni učilnici

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

621.3(075.3)(0.034.2)

SPASIĆ, Jovica

Izdelava električnih tokokrogov [Elektronski vir] : enosmerni in izmenični tokokrogi : učno gradivo za 1. letnik programa SPI elektrikar / Jovica Spasić. - El. knjiga. - Ljubljana : samozal., 2012

Način dostopa (URL): SVAROG

ISBN 978-961-276-592-7 (pdf)

264426752

Spasić, Jovica

Izdelava električnih tokokrogov; Enosmerni in izmenični tokokrogi

MATEMATIČNO PREDZNAVANJE (PONAVLJANJE)

V tem poglavju se bomo ukvarjali z nekaterimi tehničnimi prijemi, ki nam bodo olajšali izražanje in računanje elektrotehniških veličin. Predvsem so to dogovor o zaokroževanju, predpone, eksponentni zapis ter izražanje neznane veličine.

ZAOKROŽEVANJE

Zaokroževanje lahko poteka na različne načine glede na število upoštevanih decimalk ali na število mest. Zadnjo upoštevano vrednost lahko preprosto prepisemo, če za njo sledi vrednost manjša od 5. V nasprotnem zadnjo vrednost povečamo za ena.

Kot primer pogledjmo, kako lahko zaokrožimo decimalno število 12,3456789.

- ⇒ na 6 decimalk (8 mest) 12,345679
- ⇒ na 5 decimalk (7 mest) 12,34568
- ⇒ na 4 decimalke (6 mest) 12,3457
- ⇒ na 3 decimalke (5 mest) 12,346
- ⇒ na 2 decimalki (4 mesta) 12,35
- ⇒ na 1 decimalko (3 mesta) 12,3
- ⇒ brez decimalke (2 mesti) 12

V tem primeru je optimalna rešitev 12,3. Število smo okrajšali na tri mesta.

Dogovor: krajšanje zapisa na tri števke (mesta, cifre), pri čem se tretja števka ustrezno zaokroži.

Nekaj primerov:

- 123,989 \approx 124
- 99,24256 \approx 99,2
- 3,45454545 \approx 3,45
- 27,272727 \approx 27,3
- 315,54321 \approx 316
- 7,77777 \approx 7,78
- 56,111111 \approx 56,1

Domača naloga:

- 4,37925 \approx
- 437,2918 \approx
- 7,2456 \approx
- 89,6666666 \approx
- 99,898989 \approx
- 681,7365 \approx
- 33,6458 \approx

PREDPONE

Kadar imamo opravka z izredno majhnimi ali velikimi vrednostmi, lahko uporabimo krajši zapis, če znamo uporabljati predpone. Kot primer navedimo samo kapaciteto trdega diska, ki ga lahko kupiš v računalniški trgovini je 16 gigabajtov. Seveda je to lažje izgovorljivo kot 16 milijard bajtov. Moč nekaterih električnih naprav izražamo raje v kilovatih kot v tisočih vatov. Zla-

tarji obračunavajo maso zlata v miligramih in ne v tisočinah grama. V trgovini kupujemo pol drugi kilogram kruha in ne tisoč petsto gramov kruha.

Kdaj moramo poznati predpone?

1. Pred obravnavo nekega problema ali izračuna moramo predpone odpraviti in veličino izraziti v osnovni enoti in
2. Po obravnavi moramo rezultat obravnave ali izračuna zapisati s pomočjo predpone.

Predpone delimo v dve skupini. V eni skupini so predpone, ki poenostavljajo zapis velikih vrednosti in so nad osnovno enoto. To so kilo, Mega Giga Tera, Peta, Ekša, Zetta. V drugi skupni so predpone za vrednosti, ki so manjše od osnovne enote. To so mili, mikro, nano, piko, femto, ato in zepto.

Kaj nam nadomestijo te predpone?

Zetta	triljarda	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000
Ekša	trilijon	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
Peta	biljarda	10^{15}	1 000 000 000 000 000
Tera	bilijon	10^{12}	1 000 000 000 000
Giga	milijarda	10^9	1 000 000 000
Mega	milijon	10^6	1 000 000
kilo	tisoč	10^3	1 000
osnovna enota			
mili	tisočina	10^{-3}	0,001
mikro	milijoninka	10^{-6}	0,000 001
nano	milijardinka	10^{-9}	0,000 000 001
piko	bilijoninka	10^{-12}	0,000 000 000 001
femto	biljardinka	10^{-15}	0,000 000 000 000 001
ato	triljoninka	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001
zepto	trilijardinka	10^{-21}	0,000 000 000 000 000 000 001

Vaje: zaokroži vrednost na tri mesta in uporabi ustrezno predpono

223012578 $\Omega \approx$	0,00824631 V \approx
0,258914 A \approx	156464234 $\Omega \approx$
12745 W \approx	0,0000456722 F \approx

DN: zaokroži vrednost na tri mesta in uporabi ustrezno predpono

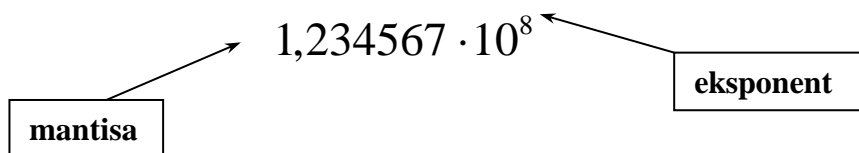
4169725,51568 W
 0,0000428356 F
 100956452 Ω
 0,00000023258 W
 0,00464512 A

Težji primeri:

12543 kW	0,00000025727649 mF
4456800000 kWh	42837944,42 nW
0,00004657 kV	0,00000077251 kA
465181,232 mA	

EKSPONENTNI ZAPIS

EkspONENTNI zapis je matematična oblika zapisa zelo velikih oziroma zelo majhnih vrednosti. Zapis je sestavljen iz dveh delov. Prve del je realno število, ki ga imenujemo mantisa, drugi pa je potenca z osnovo 10 in ustreznim eksponentom.



Z upoštevanjem dogovora o zaokroževanju je uporaba eksponentnega zapisa še lažja za večplastno računanje tj. posredno računanje neke veličine v dveh ali več korakih. Predvsem uporabljamo eksponentni zapis pri vpisovanju vrednosti v kalkulator. Le ta nam preveliki oziroma premajhni rezultat izpiše na zaslonu v obliki eksponentnega zapisa. Oglejmo si vse skupaj na naslednjih primerih.

Vaje: uporabi eksponentni zapis in zaokroži vrednost mantise na tri mesta:

$$\begin{aligned}
 223012578 \Omega &= \underline{\hspace{2cm}} \Omega \approx \underline{\hspace{2cm}} \Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, \\
 0,258914 \text{ A} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \approx \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \\
 12745 \text{ W} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} \approx \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} \\
 0,00824631 \text{ V} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \approx \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \\
 156464234 \Omega &= \underline{\hspace{2cm}} \Omega \approx \underline{\hspace{2cm}} \Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, \\
 0,0000456722 \text{ F} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ F} \approx \underline{\hspace{2cm}} \text{ F} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ F} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ F}.
 \end{aligned}$$

Domača naloga:

- 4169725,51568 W \approx
- 0,0000428356 F \approx
- 100956452 $\Omega \approx$
- 0,00000023258 W \approx
- 0,00464512 A \approx

Težji primeri:

- 12543 kW \approx
- 4456800000 kWh \approx
- 0,00004657 kV \approx
- 465181,232 mA \approx
- 0,00000025727649 mF \approx
- 42837944,42 nW \approx
- 0,00000077251 kA \approx

Dodatna naloga: Izračunaj

$$A = \frac{0,018 \cdot 10^{-6} \times 2 \cdot 10^4}{240} m^2$$

PREOBLIKOVANJE ENAČB

Preoblikovanje enačb je še en trd matematični oreh, ki marsikateremu bodočemu električarju beli možgane. Bistvo obračanja enačb je razlikovanje enočlenikov od faktorjev. Enočlenik zamenja predznak, če ga prestavimo na drugo stran enačaja med tem ko faktor zamenja stran v ulomku.

Primeri: izrazi vse neznane veličine

$$\begin{aligned} a + b + c &= d + e & \frac{abc}{def} &= \frac{gh}{ij} \\ a &= d + e - b - c & a &= \frac{defgh}{bcij} \\ b &= d + e - a - c & i &= \frac{defgh}{abcj} \\ c &= d + e - a - b \\ d &= a + b + c - e \\ e &= a + b + c - d \end{aligned}$$

DN: Izrazi neznane veličine a, b, c, d in e

$$\frac{a+b}{c} = de$$

Izrazi neznane veličine a, b, c in d

$$\frac{1-a}{1+b} = \frac{1}{c-d}$$

Izrazi neznane veličine a, b, c, d, e in f

$$\frac{a}{b} + c = 1 - \frac{de}{f}$$

UVOD

Svet v katerem živimo je močno odvisen od sodobnih pripomočkov, ki so odvisni od električne energije. Zato potrebujemo **ELEKTROTEHNIKO** - znanost ali vedo, ki se ukvarja s preoblikovanjem, prenosom in uporabo električne energije in električnih signalov.

Ker je elektrotehnika zelo širok pojem, je razdeljena na elektroenergetiko in elektroniko. Čeprav sta **elektroenergetika in elektronika** ločeni veji elektrotehnik, se vseeno močno prepletata. Z razvojem elektrotehnike se proces prepletanja še dodatno stopnjuje. S čem pa se ukvarjata ti veji pa si oglejmo v naslednjem odstavku.

Elektroenergetika je veja elektrotehnike, ki se ukvarja s preoblikovanjem, prenosom in uporabo električne energije.



Elektronika je veja elektrotehnike, ki se ukvarja s preoblikovanjem, prenosom in uporabo električnih signalov.

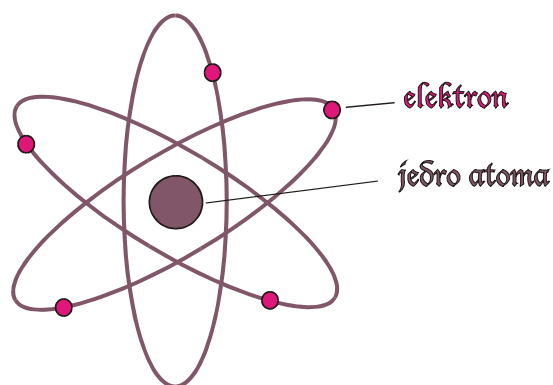
OSNOVNI POJMI ELEKTRIKE

Elektrika je elektrotehniški pojem, ki ga ne moremo meriti. Pod sabo združuje nekaj osnovnih pojmov, ki imajo svoje oznake, enote ter oznake enot. To so:

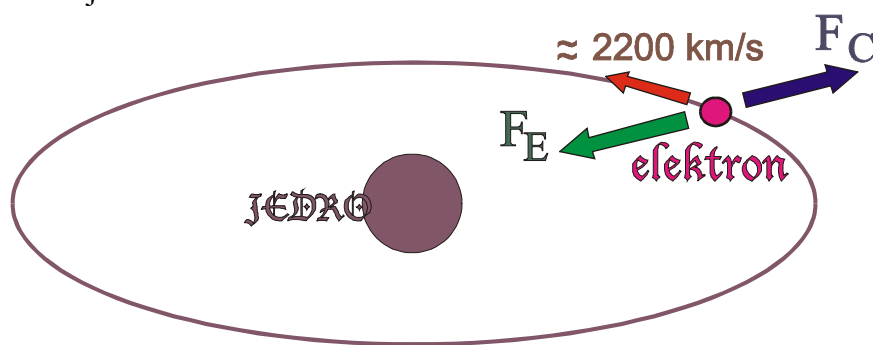
- elektrina
- električni potencial
- električna napetost
- električni tok
- električna upornost
- električna prevodnost

ELEKTRINA

Če želimo pojasniti veličino kot je elektrina (električni naboj), se moramo spustiti do najmanjših delcev snovi, atomov. Vemo, da je že nekaj časa prisoten Bohrov model atoma, okrog jedra s protoni in nevtroni krožijo po tirnicah elektroni..



Elektroni krožijo okrog jedra s precejšnjo hitrostjo ≈ 2200 km/s. Na nje deluje centrifugalna sila, ki ji nasprotuje neka druga sila. Zato elektroni ne iztirijo, zato pač krožijo nemoteno okrog jedra. Tej sili pravimo električna sila. Vzrok tej električni sili je elektrina. Elektrino nosita tako elektron kot proton.



Elektron je najmanjši nosilec negativne elementarne elektrine

$$Q_e = -e$$

Proton je najmanjši nosilec pozitivne elementarne elektrine:

$$Q_p = +e$$

Proton in elektron sta enako veliki raznoimenski elektrini. Zato se privlačita. Istoimenski elektrini (dva elektrona ali dva protona) se medsebojno odbijata.

Atom je električno nevtralen element, saj ima enako število elektronov v lupinah in protonov v jedru. Kaj se zgodi če atomu spremenimo število elektronov (protonov)? Ali je to mogoče? Atomu lahko spreminjamo le število elektronov. Lahko elektrone dodajamo ali pa jemljemo. S tem postane atom električno aktiven delec in ga imenujemo **ion**. Za ustvarjanje ionov potrebujemo ionizacijsko energijo. Nekatere snovi potrebujejo veliko ionizacijske energije, nekatere pa zelo malo ali nič. O teh snoveh bo več govora pri obravnavi električnega toka.

NOSILCI ELEKTRINE

Nosilci elektrine so: protoni, ioni (kationi in anioni) in elektroni.

Če je število pozitivne elektrine enako številu negativne elektrine pravimo da je snov električno nevtralna. Če pa se števili razlikujeta pravimo da je snov naelektrena. Elektrina je takrat določena s produktom razlike raznoimenskih elektrin in elementarno elektrino.

$$Q = \pm n \cdot e$$

n je celo število, ki pomeni razliko med številom protonov in elektronov; e je oznaka za elementarno elektrino.

OZNAKA IN ENOTA ZA ELEKTRINO

Elektrino označujemo z veliko tiskano črko Q , njeno enoto pa z veliko tiskano črko C (Coulomb) ali As (Ampersekunda). En Kulon elektrine je določen z ustreznim številom elementarne elektrine

$$6,25 \cdot 10^{18} e = 1C$$

Iz tega odnosa dobimo tudi absolutno vrednost električnega naboja elementarne elektrine (elektron, proton,...)

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

Primera: Koliko elektronov je nakopičenih v 13,9 nC elektrine?

(R: 86,9 mlrd)

V prevodnem telesu je nakopičenih 17,8 milijarde elektronov. Določi vrednost nakopičene elektrine v Coulombih!

(R:2,85 nC)

Domača naloga:

- 1) Kaj je elektrina?
- 2) Naštej vrste in lastnosti elektrine?
- 3) Naštej nosilce elektrine?
- 4) Kaj je ion?
- 5) Čemu je enaka elektrina iona?
- 6) Kaj potrebujemo za ionizacijo?
- 7) Kaj določa osnovno enoto za merjenje elektrine?
- 8) Kako označujemo elektrino in kako njeno enoto?
- 9) Kako imenujemo enoto za elektrino?

ELEKTRIČNA NAPETOST

Naelektrena telesa razpolagajo z neko energijo. Če približamo dve različno naelektreni telesi, bosta le ti poskušali uravnati svojo elektrino. Pojavi se težnja k vzpostavitvi ravnovesnega stanja, pojavi se **električna napetost**.

- ⇒ **Težnjo različno naelektrenih teles, da vzpostavijo ravnovesje imenujemo električna napetost**
- ⇒ **Za ustvarjanje električne napetosti je potrebno določeno delo s katerim ločujemo elektrino**

Električna napetost nastane med dvema različno naelektrenima telesoma (poloma). Pozitiven pol je tisti, ki ima več pozitivne elektrine (ali manj negativne)

Primeri:	Pozitivni pol	Negativni pol
	12 protonov	6 elektronov
	15 protonov	7 protonov
	4 elektroni	9 elektronov

Po definiciji je električna napetost razmerje med vloženim delom in pri tem ločeno elektrino

$$U = \frac{W}{Q}, \quad \left(\frac{J}{C} = V \right)$$

Napetost označujemo z veliko tiskano črko U, njeno enoto pa z veliko tiskano črko V. Enoto za el. napetost imenujemo Volt (Alessandro Volta). **En Volt električne napetosti dobimo, če z enim Joulom dela ločimo en Coulomb elektrine.**

Primeri: Kakšno napetost ustvarja naprava, ki s pomočjo 36 mJ dela loči 126 μ C elektrine?

(R: 286 V)

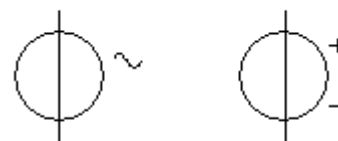
Koliko energije oziroma dela moramo vložiti v ločevanje 15 C elektrine, da ustvarimo 7,3 V električne napetosti.

(R: 110 J)

Viri (izvori, generatorji) električne napetosti

Izvori oziroma generatorji so naprave, ki omogočajo ločevanje elektrine in s tem ustvarjajo električno napetost.

Generator električne napetosti dejansko pretvarja vloženo energijo v električno. Glede na različne oblike energije (kemična, toplotna, magnetna, svetlobna elektromagnetna, mehanska) poznamo tudi različne izvedbe generatorjev.



Energija ločevanja	Naprava	Okvirna napetost
Kemična	galvanski člen, akumulatorska celica	1,5 V
Magnetna	generator, dinamo	mV - kV
Sončna	sončna celica	mV, V
Elektromagnetno valovanje	Antena	μ V
Toplotno	termočlen	mV
Mehanska (tlačna)	Kristal	mV - kV

Domača naloga:

- 1) Pojasni fizikalno bistvo električne napetosti!
- 2) Kako ustvarimo napetost?
- 3) Kaj je potrebno za nastanek električne napetosti?
- 4) Navedi oznako veličine, oznako enote in ime enote za električno napetost!
- 5) Dane vrednosti izrazi z ustrežno predpono: 12300 kV; 0,00000006157 V; 15000 mV!
- 6) Izračunaj napetost, ki jo ustvari energija 12 Joula pri ločevanju 2,6 mC elektrine.

VRSTE ELEKTRIČNIH NAPETOSTI

V praksi se uporabljajo enosmerne (DC) in izmenične (AC) napetosti. Enosmerne so tiste, ki ne spreminjajo velikosti in smeri. Za izmenične napetosti je značilno, da se njihova vrednost in smer nenehno spreminjata in sicer tako, da sta ploskvi, ki ju krivulja napetosti oklepa s časovno osjo enaki po obliki in površini. Če želimo simbolizirati vrsto električne napetosti, moramo dodati pod črko G v simbolu ravno črto (—) za enosmerno napetost oz. valovito (~) črto za izmenično napetost.

Električne napetosti so glede velikosti standardizirane. Za napetosti pod 100 V velja enoten standard za enosmerne in izmenične napetosti. Za napetosti nad 100 V so ločeni standardi za enosmerne in izmenične napetosti. Za določanje vrste napetosti in njene polaritete uporabljamo osciloskop ali tlivko.

ELEKTRIČNI POTENCIAL

Naelektrenost nekega pola izražamo z električnimi potenciali. Oznaka za potencial je velika tiskana črka V. Enota pa je Volt (V). To so relativne veličine, ki imajo svoj predznak in svojo velikost.

⇒ **Električni potenciali so veličine s katerimi izražamo potencialno energijo nekega telesa, pola ali točke v vezju na enoto nakopičene elektrine.**

S električnimi potenciali lahko izražamo električne napetosti in to kot razliko dveh potencialov.

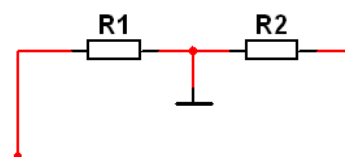
$$U = V_1 - V_2, [V]$$

pri čem je potencial V_1 večji od potenciala V_2 , če ni opredeljeno drugače.

Ničelni potencial (označujemo ga z V_0) je potencial zemlje (po dogovoru) in znaša 0 V.

Primeri:

- 1) Med vodnikoma 1 in 2 električne naprave je napetost $U_{21}=100$ V. Na kolikšnem potencialu je vodnik 2, če je vodnik 1 na potencialu -40 V? (60 V)
- 2) Med vodnikoma A in B je napetost 220 V, med vodnikoma B in C pa 380 V. Vodnik B je ozemljen. Določi vrednosti električnih potencialov vodnikov A, B in C! (220 V, 0 V, -380 V)
- 3) Potenciali točk A, B in C so $V_A=1,5$ V; $V_B=6$ V in $V_C=-9$ V. Kolikšna bosta potenciala V_A in V_C , če točko B izberemo za ničelni potencial? (-4,5 V; 0 V; -15 V)
- 4) Vhodna napetost 24 V. Pozitivni pol je na +6 V. Med uporoma je vezje ozemljeno. Na kakšnem potencialu je negativni pol izvora? (-18 V)



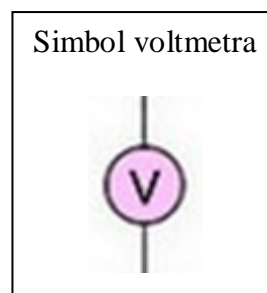
MERJENJE ELEKTRIČNE NAPETOSTI

V praksi so prisotni različni načini merjenja električne napetosti, od najbolj osnovnega ugotavljanja prisotnosti električne napetosti, orientacijskega merjenja, natančnega merjenja velikosti do ugotavljanja oblike električne napetosti.

Za ugotavljanje prisotnosti, vrste in oblike električne napetosti lahko uporabljamo tlivko (preizkuševalnik napetosti) ali osciloskop. Tlivka je enostavnejša, manjša in bolj primerna za terensko delo. Z njo lahko ugotovimo vrsto električne napetosti in polariteto. Za laboratorijsko delo lahko uporabimo osciloskop, ki nam omogoča vpogled v vrsto, polariteto, obliko in velikost napetosti. Velikost električne napetosti ugotavljamo s pomočjo voltmetra. To je merilni instrument s katerim lahko merimo napetosti o katerih vemo vsaj približno velikost (velikostni razred) in vrsto. Trenutno se uporabljajo analogni in digitalni voltmetri. Za široko uporabo v laboratorijih, servisih, delavnicah in izobraževalnih centrih so primernejši digitalni voltmetri, ker so cenejši in bolj vzdržljivi, njihova natančnost pa zadovoljiva.

Kaj moramo vedeti o delu z voltmetrom!

Pred priklopom voltmetra izberemo vrsto merjene napetosti in nastavimo merilno območje. Če orientacijske velikosti ne poznamo, nastavimo največje možno merilno območje. Ko smo prepričani o nastavitvah vrste in orientacijske velikosti napetosti, pristopimo k vezavi voltmetra. Pozitivno priključno sponko voltmetra vezemo na pozitivni pol ter negativno priključno sponko na negativni pol generatorja (porabnika). S tem zagotovimo voltmetru odjem obeh (višjega in nižjega) potencialov. Šele potem sledi vklop napetosti. Če to ni mogoče, je potrebno postaviti vmes stikalo.



Pri izbiri voltmetra moramo paziti na notranjo upornost voltmetra. Dobri voltmetri imajo zelo visoko notranjo upornost. Pri teoretični razlagi uporabljamo idealni voltmeter z neskončno upornostjo.

Domača naloga:

1. Kako lahko ugotovimo vrsto električne napetosti?
2. Pri kateri napetosti moramo paziti na polariteto?
3. Kaj je voltmeter?
4. Kako lahko ugotovimo obliko izmenične napetosti?



Slika 7: Voltmeter

ELEKTRIČNI TOK

Kaj je električni tok in kakšni so pogoji za njegov obstoj?

⇒ Električni tok je po definiciji pretok elektrine v nekem času.

$$I = \frac{Q}{t} \left[\frac{C}{s} = A \right]$$

⇒ Enota za električni tok je Amper



Primer: Pri preskoku iskre je v času 15 μ s steklo 158 nC elektrine. Določi velikost električnega toka, ki je tekel v tem času. (10,5 mA)
 Akumulatorska baterija NiMH sprejme 2400 mAh elektrine. Koliko časa se mora baterija polniti s tokom 1,6 A. (R: 1,5 h)

Za trajno prisotnost električnega toka potrebujemo stalni vir električne napetosti in prevodno snov s katero povežemo oba pola izvora ali generatorja.

Za električni tok je pomembna tudi snov po kateri teče. Tip snovi je odvisen od števila prostih (gibljivih) nosilcev elektrine:

- ⇒ Snovi, ki močno ovirajo električni tok imenujemo **izolanti**
- ⇒ Snovi po katerih električni tok teče skoraj neovirano imenujemo **prevodniki**.
- ⇒ Snovi po katerih električni tok včasih teče včasih pa ne (odvisno od dovedene električne energije) so **polprevodniki**

Električne tokove razlikujemo:

- ⇒ glede na vrsto (enosmerni in izmenični)
- ⇒ glede na nosilce elektrine (elektronski in ionski)
- ⇒ glede na smer (pozitivni in negativni).

UČINKI ELEKTRIČNEGA TOKA

⇒ **Električni tok ima toplotne, svetlobne, magnetne in kemične učinke.**

Na ugotovljenih učinkih električnega toka temelji delovanje cele vrste električnih naprav, ki jih uporabljamo na področju elektroenergetike. Toda v isti panogi so najpogostejši negativni učinki električnega toka kot so segrevanje vodnikov in naprav, požari v električnih omrežjih, elektrokorozija, ...). Električni tok je nevaren tudi za živo bitje katerega telo je skoraj 2/3 sestavljeno in prevodnih tekočin. Učinki so lahko **fiziološki, toplotni in kemični**. Poznamo pa tudi pozitivne učinke električnega toka na človeško telo, ki jih večinoma uporabljajo v medicini.

Pozor! Kaj je smrtno nevarno?

- ⇒ **Po življenje nevarna jakost električnega toka je lahko tudi manjša od 50 mA.**
- ⇒ **Napetost, ki lahko požene skozi človeško telo nevaren električni tok je 65V**

Razmisli: Kako bi bilo smotrno zavarovati človeka pred škodljivimi učinki električnega toka?

Nekaj učinkov električnega toka določene jakosti:

TOK (mA)	UČINKI	POSLEDICE
2	Rahli dražljaji mišic	Brez posledic
10 ... 25	Močnejše krčenje mišic in povišanje krvnega pritiska	Praktično nenadzorovane, sunkovite aktivnosti mišičnega ustroja. Meja izpuščanja vodnika.
20 ... 80	Zelo močno, popolnoma nenadzorovano krčenje mišic (tudi srčne)	Slabost, bolečine v mišicah in kosteh, tudi ustavitev krvnega obtoka
80 ... 5000	Nenadzorovano trepetanje srca že po desetinki sekunde	Zastoj srca in smrt
Nad 5000	Zastoj srca in močne opekline	Smrt, že zaradi opeklin

Ponavljanje:

Primer: **Na akumulator z napetostjo 12V, ki je napolnjen z elektrino 30Ah, priključimo električni porabnik 12V/1,2A. Koliko elektrine ostane v akumulatorju po treh urah delovanja porabnika?** (R: 26,4 Ah)

Koliko prejme akumulator, če ga polnimo 26 ur s tokom 750 mA? (R: 19,5 Ah)

Domača naloga:

Odgovori na vprašanja:

- 1) Kaj je električni tok?
- 2) Od česa je odvisen električni tok?
- 3) Kako je definirana enota za električni tok? Določi še njeno oznako in ime.
- 4) Kako je definiran tok 1 A?
- 5) Zapiši v Amperih tok 2000 μA ; 27 nA; 0,05 kA.
- 6) Katere snovi imenujemo prevodniki (polprevodniki, izolanti). Naštej primere!
- 7) Pojasni tehnično smer električnega toka.

Reši naloge:

- 1) Katodni top osciloskopa pošlje v 8 nanosekundah 260 tisoč elektronov proti zaslonu. Kakšen tok ustvarja s tem?
- 2) Akumulator sprejme 220 kC elektrine. V kakšnem času bo akumulator poln, če ga polnimo s tokom 4 A?
- 3) Udar strele traja 740 ms. Koliko elektrine steče v tem času če se je pojavil tok 184 kA?

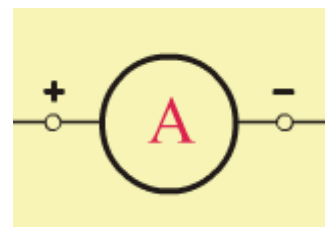
MERJENJE ELEKTRIČNEGA TOKA

V praksi so prisotni različni načini merjenja električnega toka, od najbolj osnovnega ugotavljanja njegove prisotnosti, orientacijskega merjenja, natančnega merjenja velikosti do ugotavljanja vrste in oblike električnega toka.

Velikost električnega toka ugotavljamo s pomočjo ampermetra. To je merilni instrument s katerim lahko merimo električne tokove o katerih vemo vsaj približno velikost (velikostni razred) in vrsto. Trenutno se uporabljajo analogni in digitalni ampermetri. Za široko uporabo v laboratorijih, servisih, delavnicah in izobraževalnih centrih so primernejši digitalni ampermetri, ker so cenejši in bolj vzdržljivi, njihova natančnost pa zadovoljiva.

Kaj moramo vedeti o delu z ampermetrom!

Pred priklopom ampermetra izberemo vrsto merjenega toka in nastavimo merilno območje. Če orientacijske velikosti ne poznamo, nastavimo največje možno merilno območje. Ko smo prepričani o nastavitvah vrste in orientacijske velikosti toka, pristopimo k vezavi ampermetra. Prekinemo tokokrog in vstavimo ampermeter tako, da vhodno priključno sponko vežemo na stran generatorja izhodno priključno sponko pa na stran porabnika. S tem zagotovimo ampermetru tok, ki teče skozi porabnik. Šele potem sledi priklop. Če to ni mogoče, je potrebno postaviti vmes stikalo.



Pri izbiri ampermetra moramo paziti na notranjo upornost instrumenta. Dobri ampermetri imajo zelo majhno notranjo upornost. Pri teoretični razlagi uporabljamo idealni ampermeter brez upornosti.

Odčitavanje merjene vrednosti je zelo pomembno opravilo, če imamo opravka z razširjenim merilnim območjem. Takrat nastopajo vrednosti, kot so konstanta števca, razdelek, maksimalni odklon in podobno. V tem primeru se merjenega toka ne da odčitati neposredno, temveč ga moramo izračunati. Temu se ne da izogniti niti pri delu z osciloskopom.

Konstanta skale (k) je podatek, ki nam pove, koliko je vreden en razdelek na skali merilnega instrumenta. Število vseh razdelkov na skali označujemo z veliko tiskano črko N , število razdelkov, ki ga doseže kazalec pa z malo tiskano črko n . Oznaka MO je rezervirana za merilno območje.

$$k = \frac{MO}{N} \left[\frac{A}{\text{razd}} \right]$$

$$I = nk \quad [A]$$

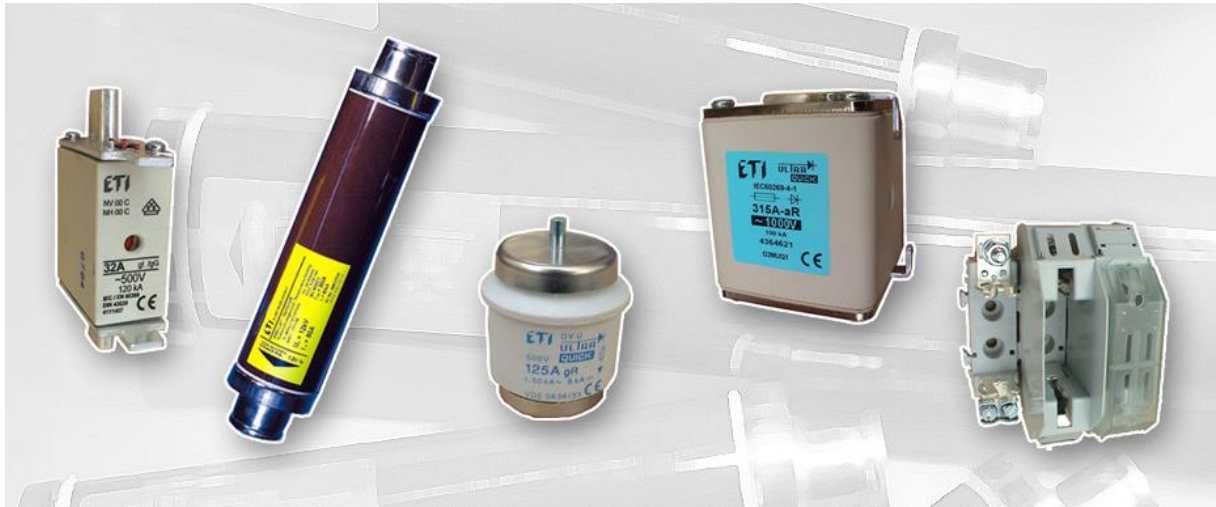
Legenda:

MO	merilno območje
N	število razdelkov na skali
n	odklon kazalca
k	konstanta skale

Primeri:

- 1) Merilni obseg ampermetra je 45 Amperjev. Koliko kaže instrument, če se je kazalec odklonil do 23 razdelka od 70 možnih?
(R: $I=14,8 \text{ A}$)
- 2) Na instrumentu z merilnim območjem 360 mA smo izmerili električni tok v velikosti 126 mA. Do katerega razdelka se je odklonil kazalec, če ima skala 80 razdelkov?
(R: do 28. razdelka)

Varovanje in zaščita oseb in naprav pred električnim udarom



Zaščitni elementi za varovanje oseb in naprav so:

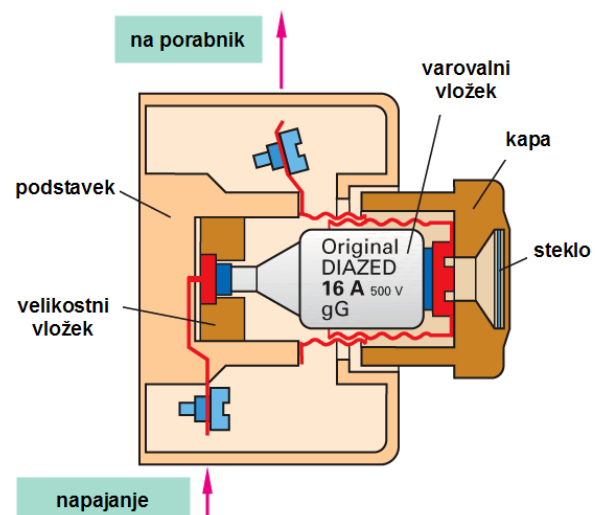
- Niskonapetostne varovalke:
 - Neozed talilne varovalke,
 - Diazed talilne varovalke,
- Visokoučikovne talilne varovalke,
- Instalacijski odklopniki,
- Zaščitna stikala.



Niskonapetostne varovalke.

- ❖ Na osnovi taljenja enega ali več talilnih vodnikov izklopi tokokrog.
- ❖ Izklopni čas odvisen od prekoračitve nazivnega toka.
- ❖ Običajen čas izklopa 5ms.

Niskonapetostne varovalke oziroma talilni vložki tipa D so namenjene za uporabo v stanovanjskih, poslovnih in industrijskih inštalacijah in veljajo za najbolj zanesljivo zaščito pred preobremenitvami in kratkostičnimi tokovi v električnih inštalacijah ter



krmilnih in signalnih tokokrogih. Proizvajalec (ETI) znotraj programa D ponuja pet velikosti talilnih vložkov D, standardne keramične in novejšje plastične podstavke talilnih vložkov ter ves potreben pribor. Razlikujemo NEOZED in DIAZED varovalke in talilne vložke.



Neozed talilne varovalke.

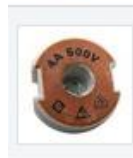
- ❖ Namenjene za varovanje izmeničnih tokokrogov
- ❖ Za izmenične napetosti do 380V



Velikostni vložki ali velikostni obroči

Diazed talilne varovalke.

- ❖ Namenjene za varovanje izmeničnih tokokrogov v industriji, stavbah, stanovanjskih prostorih.
- ❖ Za izmenične napetosti do 500 V.
- ❖ Za izmenične tokove do 63 A.



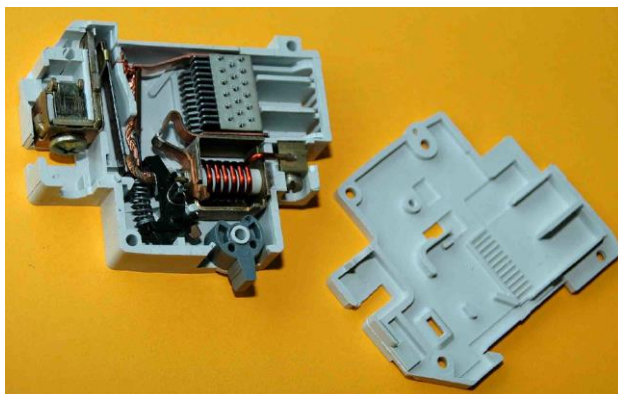
Visokoučikovne talilne varovalke.

- ❖ Za varovanje električnih omrežij.
- ❖ Od 2 do 1250 A.
- ❖ Kratkostična zmogljivost 10 kA.



Instalacijski odklopniki

- ❖ Majhna enopolna zaščitna stikala.
- ❖ Za zaščito pred preobremenitvami, kratkimi stiki.
- ❖ Za tokove do 32 A in napetosti do 380 V.



Zaščitna stikala.

- ❖ Tripolna močnostna nizkonapetostna stikala.
- ❖ Za zaščito generatorjev, transformatorjev.
- ❖ Za zaščito elektromotorjev, kablov, vodov.



Električna upornost (R) in električna prevodnost (G)

Po medatomske kristalni strukturi vodnika potujejo elektroni (gibljivi nosilci elektrine). Atomi in ioni v kristalni strukturi niso čisto pri miru temveč nihajo okrog svoje izhodiščne lege. Elektroni se pri svojem gibanju zaletavajo v te mirujoče delce in to predstavlja električno upornost. S tem imenom označujemo oviranje pretoka elektrine na njeni poti. Električno upornost označujemo z veliko tiskano črko R. Enoto za upornost imenujemo Ohm (beri Om) in ima za oznako veliko grško črko omega (Ω).

- ⇒ **Električni tok je na svoji poti oviran. Ta pojav imenujemo električna upornost.**
- ⇒ **V energetiki je upornost nezaželena, med tem ko je v elektroniki upornost nena-domestljiva lastnost.**

Element z upornostjo kot prevladujočo lastnostjo imenujemo upor. Simbol za upor je pravokotnik z dvema priključnima sponkama in oznako za upornost. V praksi je zastopan celi spekter različnih upornosti – od najmanjših ($\approx \mu\Omega$) pa do največjih ($\approx G\Omega$). Tam, kjer je upornost nezaželena oz. negativna lastnost, uporabljamo električno prevodnost.

- ⇒ **Električna prevodnost je veličina, ki je obratno sorazmerna električni upornosti. Označujemo je z veliko tiskano črko G. Enoto za prevodnost imenujemo Siemens.**

$$G = \frac{1}{R}, \quad \left(\frac{1}{\Omega} = S \right)$$

Primeri:

- 1) Določi prevodnost električnih naprav, ki imajo upornost 4 Ω , 140 Ω , 4,5 k Ω , 287 k Ω oziroma 7,46 M Ω !
(R: 250 mS; 7,14 mS; 2,22 μ S; 3,48 μ S)
- 2) Določi upornost porabnika s prevodnostjo 34,7 μ S, 19,8 S, 1,4 kS in 544 kS!
(R: 28,8 k Ω ; 50,5 m Ω ; 714 $\mu\Omega$; 1,84 $\mu\Omega$)

DN: Odgovori na vprašanja

- 1) Kaj je električna upornost?
- 2) Kaj omogoča in kaj povzroča električna upornost?
- 3) Kaj je električni upor in čemu rabi?
- 4) Kaj je električna prevodnost?
- 5) Kako sta medsebojno odvisni električna upornost in električna prevodnost?
- 6) Navedi enoto in oznako enote za električno upornost.
- 7) Določi enoto in oznako enote za električno prevodnost.
- 8) Določi prevodnost porabnika z upornostjo 24Ω .
- 9) Določi upornost porabnika s prevodnostjo 375 nS
- 10) Zapiši v najprimernejši obliki naslednje vrednosti:
 - $0,00000213 \Omega$
 - $31000 \text{ k}\Omega$
 - $0,0206 \text{ M}\Omega$.
- 11) Zapiši v najprimernejši obliki naslednji vrednosti
 - $314000 \mu\text{S}$
 - $0,00000000000023 \text{ S}$.

Upornost (R_V) in prevodnost (G_V) vodnika

V elektrotehniki deluje večina naprav na osnovi prevajanja električnega toka skozi vodnike. Zato je dobro poznavati upornost oziroma prevodnost vodnikov.

- ⇒ **Upornost vodnika je snovno geometrijska lastnost. Odvisna je od snovi iz katere je izdelan vodnik oz. od njene specifične upornosti ter od dolžine in preseka.**
- ⇒ **Specifična upornost je upornost neke snovi določena pod strogimi pogoji (1 meter dolžine, 1 m^2 preseka in 20° C temperature. Oznaka za specifično upornost je grška črka ρ , oznaka enote pa Ωm .**

Enačba po kateri računamo upornost vodnika se glasi:
$$R_V = \rho \frac{l}{A} (\Omega)$$

Pri dimenzioniranju daljnovodov pa uporabljajo prevodnost vodnikov. Ob upoštevanju obratne sorazmernosti z električno upornostjo dobimo enačbo:

$$G_V = \gamma \frac{A}{l} (\text{S})$$

- ⇒ **Specifična prevodnost je obratno sorazmerna specifični upornosti. Oznaka veličine je grška črka γ , merimo pa jo v S/m .**

Podatki o specifični upornosti oziroma specifični prevodnosti najpogosteje uporabljanih snovi so zbrani v strokovni literaturi, kot so elektrotehniški priročnik, priročniki o tehnoloških materialih in drugo. Nekaj podatkov si oglejmo v naslednji razpredelnici

Preglednica 1

Snov	Specifična upornost (Ωm)	Specifična prevodnost (S/m)
Srebro	$16,1 \cdot 10^{-9}$	$62 \cdot 10^6$
Baker	$17,9 \cdot 10^{-9}$	$56 \cdot 10^6$
Zlato	$22,7 \cdot 10^{-9}$	$44 \cdot 10^6$
Aluminij	$28,6 \cdot 10^{-9}$	$35 \cdot 10^6$
Cink	$59,9 \cdot 10^{-9}$	$16,7 \cdot 10^6$
Medenina	$69,9 \cdot 10^{-9}$	$14,3 \cdot 10^6$
Železo	$100 \cdot 10^{-9}$	$10 \cdot 10^6$
Platin	$106 \cdot 10^{-9}$	$9,4 \cdot 10^6$
Kositer	$110 \cdot 10^{-9}$	$9,1 \cdot 10^6$
Konstantan	$500 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^6$

Primeri: Izračunaj upornost srebrne žice dolžine 23,2 metra in preseka $1,5 \text{ mm}^2$! (249 m Ω)

Izračunaj dolžino žice iz Konstantana, premera 0,3 mm, ki jo potrebujemo za izdelavo upora z upornostjo 2,5 Ω . (R: 35,3 cm)

Izračunaj prevodnost srebrne žice dolžine 23,2 metra in preseka $1,5 \text{ mm}^2$! (4,01 S)

Domača naloga:

Odgovori na vprašanja!

- 1) Od česa je odvisna upornost vodnika?
- 2) Kako je določena specifična upornost?
- 3) Kaj merimo v enotah Ωm ?
- 4) Kaj merimo v enotah Ω ?
- 5) Kaj merimo v enotah S?
- 6) Kaj merimo v enotah S/m?
- 7) Kako je upornost odvisna od dolžine in preseka vodnika?

Reši naloge!

- 8) Določi upornost aluminijskega daljnovoda dolžine 3 x 2,7 km in preseka 16 mm^2 . (R:14,5 Ω)
- 9) Koliko metrov bakrene žice preseka $0,8 \text{ mm}^2$ potrebujemo za izdelavo 500 uporov z upornostjo 50 Ω ?
- 10) Iz katere snovi je narejen vodnik dolžine 200 m, preseka $1,4 \text{ mm}^2$ in upornosti 2,29 Ω ?

Temperaturna odvisnost upornosti

Specifične upornosti so izmerjene pri sobni temperaturi (20°C), zato so upornosti vodnikov primerne za dimenzioniranje in primerljive pri tej temperaturi. Električni vodniki pa so pogosto izpostavljeni ekstremnim delovnim temperaturam. Zato je dobro vedeti kako so vodniki in njihova upornost odvisni od spremembe temperature.

Na spreminjanje upornosti snovi (vodnika) pri spreminjanju temperature okolice vplivata dva dejavnika:

- ⇒ **Z naraščajočo temperaturo narašča intenzivnost nihanja atomov; s tem se zožuje med atomski prostor in s tem povečuje upornost**
- ⇒ **Z naraščajočo temperaturo (to lahko razumemo kot dovajanje toplotne energije) se povečuje število prostih nosilcev elektrine, kar zmanjšuje upornost**

Kako se bo obnašala snov in s tem vodnik, ki je narejen iz te snovi, je odvisno od tega, kateri dejavnik ima močnejši vpliv. V primeru, da prevlada prvi dejavnik, bo upornost vodnika z naraščajočo temperaturo naraščala. V nasprotnem primeru, če prevlada drugi dejavnik, bo upornost padala (naraščala bo prevodnost).

- ⇒ **Snovi, katerih upornost narašča z naraščajočo temperaturo, imajo pozitivni temperaturni koeficient upornosti (TKU). Kot primer navedimo PTK (PTC) upore.**
- ⇒ **Snovi, katerih upornost upada z naraščanjem temperature imajo negativni TKU. Kot primer navedimo NTK (NTC) upore.**

Za lažje primerjanje temperaturnih odvisnosti upornosti snovi in možnosti računanja pri različnih temperaturah, je za posamezno snov izmerjena sprememba upornosti (ΔR) pri osnovni upornosti 1Ω in pri spremembi temperature (1K). S tem dobimo temperaturni koeficient upornosti (α), ki ga merimo v Kelvinih na minus prvo (K^{-1}).

Temperaturni koeficienti upornosti za različne snovi so zbrani v fizikalnih in elektrotehniških priročnikih, ki navajajo snov in TKU. Nekaj podatkov navaja tudi spodnja razpredelnica.

Snov	TKU α (K^{-1})
Volfram	+0,0041
Platina	+0,004
Srebro	+0,004
Baker	+0,0039
Aluminij	+0,0036
Konstantan	$\pm 0,00004$
Oglje	-0,00045

Enačbi za računanje spremembe upornosti

Sprememba upornosti:

$$\Delta R = R_{20} \cdot \Delta \vartheta \cdot \alpha$$

Upornost pri določeni temperaturi:

$$R_{\vartheta} = R_{20} + \Delta R$$

Primer: Izračunaj upornost žarnice z volframovo žico pri delovni temperaturi 900° C, če je njena upornost pri sobni temperaturi 300 Ω. (Rešitev: $R_{900}=1382 \Omega$ ali 1,38k Ω)

Domača naloga:

Odgovori na vprašanja

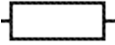
- 1) Navedi vzroka za temperaturno odvisnost upornosti.
- 2) Opiši temperaturni koeficient upornosti.
- 3) Naštej snovi s pozitivnim temperaturnim koeficientom upornosti.

Reši naloge:


- 1) Bakreno navitje elektromotorja ima pri sobni temperaturi upornost 30 Ω. Določi spremembo upornosti in upornost navitja pri delovni temperaturi 80 °C! (R: 37,02 Ω)
- 2) Aluminijsko navitje transformatorja ima pri 20 °C upornost 5 Ω. Kakšna je delovna temperatura navitja, če je med delovanjem transformatorja upornost navitja narasla na 6 Ω? (R: 75,6°C)
- 3) Ogleni plastni upor ima pri 20 °C upornost 1 kΩ. Kolikšna je upornost upora pri 100° C? (R: 964Ω)

Električni upor

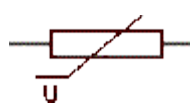


Splošni simbol za električni upor po mednarodnem standardu IEEE je .

Uporabljajo se še naslednji simboli:

 ... splošni simbol (druga oblika po ANSI standardu)

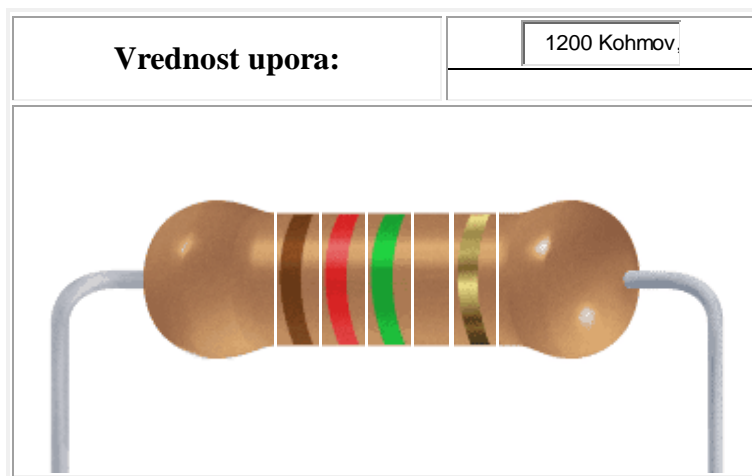
 ... spremenljivi upor z drsnim kontaktom

 ... napetostno odvisni upor, varistor in še druge oblike.

Električni upor je elektrotehniški element, kateremu je električna upornost osnovna lastnost. V praksi srečujemo različne izvedbe teh elementov. Vsi imajo enoten način označevanja z **barvno kodo**. Nazivne vrednosti (vrednosti uporov) in tolerance upornosti uporov so označene z barvnimi obročki. Seveda je možno upore označevati tudi s črkami, vendar je način označevanja z barvnimi obročki bolj uveljavljen. Označevanje je izvedeno z barvnimi obročki na površini upora. (<http://www.okaphone.nl/calc/upornik.shtml>)

Na samem elementu so barvni obročki. Vsak od štirih (tudi treh ali petih) obročkov ima določen pomen.

Rjava ▼ Rdeca ▼ Zelena ▼ Zlata ▼

Vrednost upora:	1200 Kohmov
	

Posebnost je tudi označevanje upornosti na električnih shemah. Če poleg vrednosti upora ni oznake, gre za upornost v Ohmih ($330 = 330\Omega$). Če je pripisana črka E, gre tudi za upornost v Ohmih ($5E6$ ($5\Omega 6$) $\equiv 5,6\Omega$ ter $E1 \equiv 0,1\Omega$). Če je pripisana črka k, gre za predpono kilo ($4k7 \equiv 4,7\text{ k}\Omega$). Oznaka M pomeni predpono mega ($2M2 \equiv 2,2\text{ M}\Omega$). Ta sistem označevanja se uporablja tudi, ko pišemo vrednosti na upore. Ker je pisanje na upore tehnično zahtevno, in ker je čitljivost tudi vprašljiva, je v uporabi standardiziran prej omenjeni barvni ključ za določanje vrednosti uporov.



BARVA	A	B	C	D	E (TOLERANCA)
ČRNA	0	0	0	$\times 10^0$ ($\times 1\Omega$)	-
RJAVA	1	1	1	$\times 10^1$ ($\times 10\Omega$)	$\pm 1\%$
RDEČA	2	2	2	$\times 10^2$ ($\times 100\Omega$)	$\pm 2\%$
ORANŽNA	3	3	3	$\times 10^3$ ($\times 1\text{k}\Omega$)	-
RUMENA	4	4	4	$\times 10^4$ ($\times 10\text{k}\Omega$)	-
ZELENA	5	5	5	$\times 10^5$ ($\times 100\text{k}\Omega$)	$\pm 0,5\%$
MODRA	6	6	6	$\times 10^6$ ($\times 1\text{M}\Omega$)	$\pm 0,25\%$
VIJOLIČNA	7	7	7	-	$\pm 0,1\%$
SIVA	8	8	8	-	$\pm 0,05\%$
BELA	9	9	9	-	-
ZLATA	-	-	-	$\times 10^{-1}$ ($\times 0,1\Omega$)	$\pm 5\%$
SREBRNA	-	-	-	$\times 10^{-2}$ ($\times 0,01\Omega$)	$\pm 10\%$
ni barve	-	-	-	-	$\pm 20\%$

Delitev uporov

Upore delimo na dve veliki skupini: na *linearne* in na *nelinearne*. O prvih govorimo, če je odvisnost med tokom skozi upor in padcem napetosti na njem linearna; to pomeni, da npr. dvakratno povečanje toka povzroči tudi dvakratno povečanje padca napetosti na njem. Pri nelinearnih uporih to ne drži. Lastnosti teh uporov niso ravne (linearne), temveč bolj ali manj ukrivljene.

Linearni upori

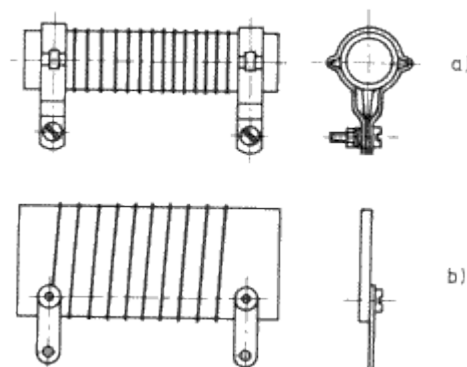
Po načinu izdelave se linearni upori delijo na *masne, plastne in žične*.

Masni upori so narejeni iz keramične cevke, v katero je vtisnjen valjast vložek iz uporovne mase. Na obeh koncih valja sta vanjo potisnjeni priključni žički. Ta vrsta upora ni pogosta in se zaradi frekvenčne neodvisnosti uporablja skoraj izključno v visokofrekvenčni tehniki.

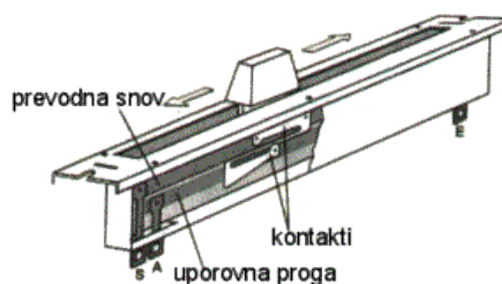


Plastni upori so predvsem zaradi razmeroma preprostega in cenenejšega postopka izdelave najbolj razširjen tip upora. Tudi ta uporablja keramično podlago, na katero je vžgana ogljena uporovna plast. Ker ima precej nizko upornost, vanjo z diamantnim brusom, vrežejo spiralo, s čimer dobijo uporovno plast, ki je ovita okrog keramičnega nosilca, dolžina dobljene spirale pa zelo natančno določa upornost upora.

Pri *žičnih uporih* je telo upora keramična cevka, na kateri je enoplastno navitje uporovne žice. Na obeh koncih sta kovinski objemki, ki sta obenem tudi priključni sponki. Upornost teh uporov je nizka, uporabljajo pa se predvsem pri večjih tokovih. Zaradi visoke dopustne temperature se uporabljajo kot upori za velike moči, zaradi stabilne upornosti pa za merilne naprave.



Posebna izvedba upora je *potenciometer*. Ta upor ima poleg priključnih sponk na obeh koncih uporovne plasti, še tretjo sponko, povezano z drsnikom, ki se giblje po uporovni plasti. Različne upornosti dobimo med enim koncem uporovne plasti in drsnikom. Gibanje drsnika po uporovni plasti je lahko vzdolžno in krožno. Po načinu, kako se spreminja upornost s pomikom drsnika, razlikujemo linearne in funkcijske potenciometre. Pri slednjih se upornost najpogosteje spreminja logaritmčno. Potenciometer, pri katerem je



namesto vrtljivega gumba nastavljivi drsni kontakt je nastavitveni ali trimerski potenciometer. Uporaba potenciometrov je zelo raznovrstna. Uporabljajo se kot elementi, prek katerih elektronska vezja umerjamo, krmilimo, jim spreminjamo delovanje in podobno.



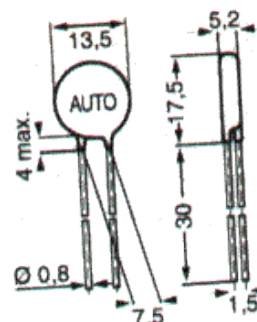
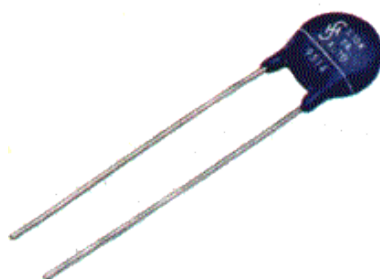
Trimerski potenciometer

Nelinearni upori

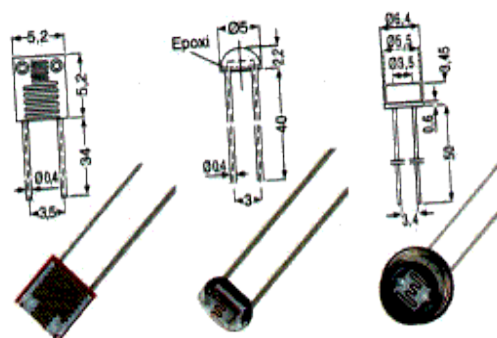
Temeljna značilnost teh uporov je odvisnost upornosti od napetosti in toka ter od drugih fizikalnih veličin. Upornost teh uporov se lahko spreminja pod vplivom svetlobe (fotoupori), toplote (termistorji), električne napetosti (varistorji) in podobno. Fizikalni princip spreminjanja upornosti fotouporov, termistorjev in varistorjev sloni na lastnosti nekaterih snovi, ki jim z majhno spremembo svetlobe, temperature ali napetosti lahko izdatno spreminjamo število prosto tavajočih elektronov in s tem njihovo upornost. Takim snovem pravimo polprevodniške snovi. Najbolj znana predstavnika tovrstnih snovi, ki jih uporabljamo v elektroniki, sta germanij in silicij.

Največkrat bomo srečali *termistorje*. Tok v električnem krogu s termistorjem je odvisna od temperature. Če upornost z naraščajočo temperaturo raste potem je to PTK (PTC) upor, če pa upornost z naraščajočo temperaturo pada je NTK (NTC) upor. Termistorji se uporabljajo za merjenje temperature, za temperaturno kompenzacijo, regulacijo in stabilizacijo.

Varistorji ali VDR upori so upori, pri katerih upornost pada z rastočo napetostjo na uporu. Uporabljajo se za stabilizacijo napetosti in napetostno zaščito.



Fotoupori (LDR) so svetlobno občutljivi upori. Izdelani so iz polprevodnikov, ki se jim pri večanju osvetlitve zmanjšuje upornost. Ker se število premečnih elektronov in vrzeli v polprevodniku iz katerega je narejen z večanjem osvetlitve povečuje, raste z osvetlitvijo tudi prevodnost, upornost fotoupora pa upada. Fotoupori se odlikujejo z veliko občutljivostjo in so ceneni, so pa uporabni samo za razmeroma počasne svetlobne spremembe. Uporabljamo jih kot svetlobne senzorje v enostavnih vezjih za indikacijo ali za meritev svetlobe v fotografiji, v varnostnih napravah in podobno.



Merjenje električne upornosti

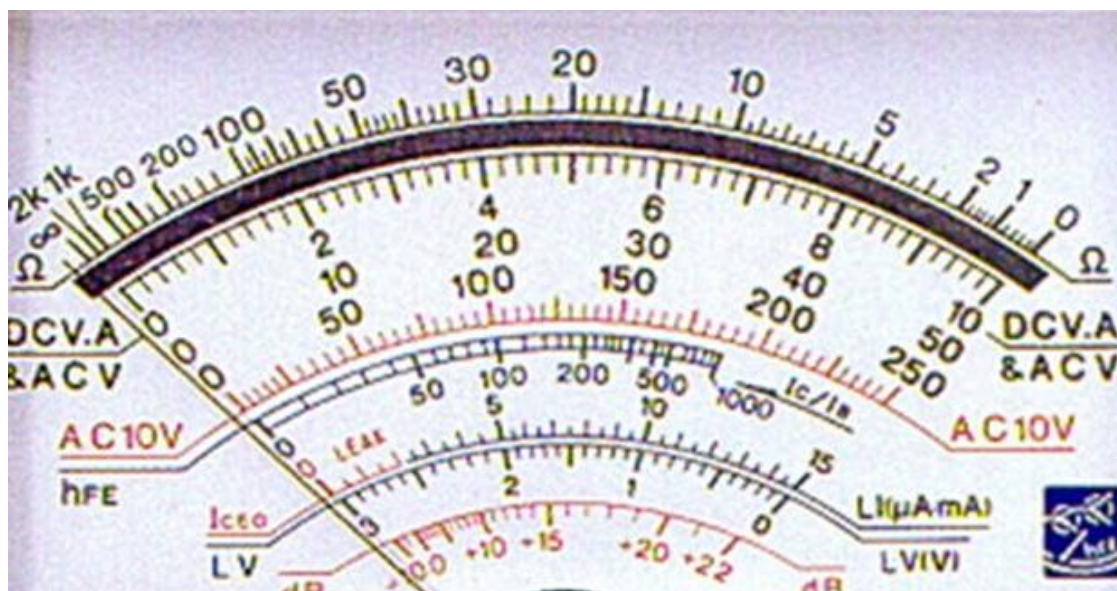
V praksi so prisotni različni načini merjenja električne upornosti, od merjenja z analognim ali digitalnim instrumentom kot neposrednim načinom merjenja do posrednega načina merjenja z ampermetrom ali drugim merilnim instrumentom.

Velikost električnega toka ugotavljamo s pomočjo ampermetra. To je merilni instrument s katerim lahko merimo električne tokove o katerih vemo vsaj približno velikost (velikostni razred) in vrsto. Trenutno se uporabljajo analogni in digitalni ampermetri. Za široko uporabo v laboratorijih, servisih, delavnicah in izobraževalnih centrih so primernejši digitalni ampermetri, ker so cenejši in bolj vzdržljivi, njihova natančnost pa zadovoljiva.

Kaj moramo vedeti o delu z ohmmetrom!

Pred priklopom ohmmetra izberemo merilno območje. Če orientacijske velikosti ne poznamo, nastavimo največje možno merilno območje. Ko smo prepričani o orientacijski velikosti merjene upornosti, pristopimo k vezavi ohmmetra. Merjenec izločimo iz tokokroga tako, da odklopimo vsaj eno priključno sponko. Preverimo napajanje ohmmetra. Analogni ohmmetri potrebujejo za delovanje vir napetosti. Moramo se prepričati, da je baterija v dobrem stanju, tako, da kratko sklenemo priključni sponki instrumenta. Kazalec se mora maksimalno odkloniti. Namreč, skala je postavljena tako, da je upornost 0Ω na skrajnjem desnem koncu skale. Ohmmeter je namreč ampermeter s skalo umerjeno v Ohmih. Posledično je skala nelinearna.

Simbol



Primer:

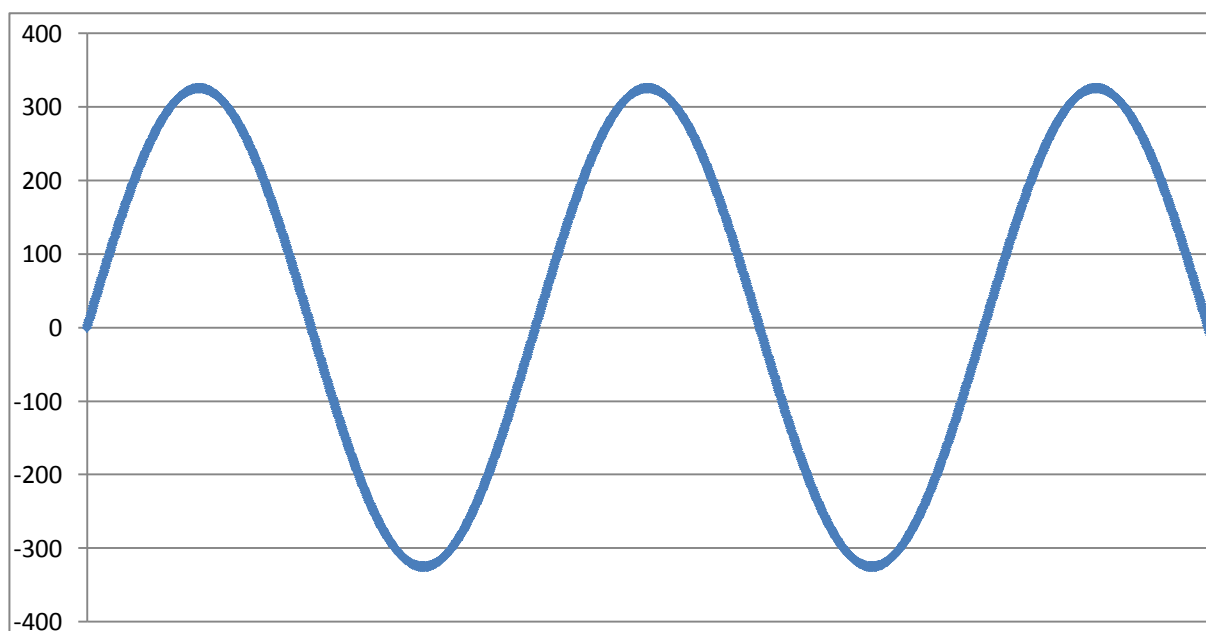
- 1) Koliko kaže kazalec ohmmetra na sliki?

(R: neskončno)

OSNOVNE VELIČINE V IZMENIČNEM TOKOKROGU

V izmeničnih tokokrogih se pojavljajo različne vrednosti izmenične veličine. Najpomembnejše so trenutna vrednost, maksimalna vrednost, efektivna vrednost in srednja vrednost. V vseh oblikah lahko obravnavamo električno napetost, električni tok ali električno moč.

Za razumevanje izmeničnih veličin je potrebno imeti nekaj matematičnega predznanja. Potrebna znanja najdemo v sinusni funkciji. Razlog se skriva pri preoblikovanju izmeničnega signala. Edino izmenični signal sinusne oblike je možno v transformatorju preoblikovati v nov signal enake oblike. Signali drugih oblik se pri transformaciji deformirajo. Do sinusne oblike signala pridemo z vrtilnim magnetnim poljem. Potrebna znanja bomo pridobili v poglavju "Magnetno polje".



Sicer, v izmeničnih tokokrogih so napetost, tok in moč kazalci ali vektorji, to je veličine, ki nenehno spreminjajo svojo velikost in smer.

Maksimalna vrednost izmenične veličine

Maksimalna vrednost napetosti, toka ali moči je najvišja možna vrednost, ki se lahko pojavi v času delovanja. Označujemo jo z veliko pisano črko veličine in indeksom "max".

$$U_{\max}, \quad I_{\max}, \quad P_{\max}$$

Srednja vrednost izmenične veličine

Srednja vrednost izmeničnega signala je v praksi manj zastopana od prejšnjih. Predvsem je uporabna pri periodičnih signalih to je, pri signalih, ki se po neki zakonitosti ponavljajo v določenih časovnih presledkih, pri izmeničnih pa je enaka 0. Veličine označujemo z velikimi pisanimi črkami in indeksom "sr" ali "av".

$$U_{sr}, I_{sr}, P_{sr} \text{ ali } U_{av}, I_{av}, P_{av}$$

Efektivna vrednost izmenične veličine

Efektivna vrednost izmeničnega signala je tista vrednost, ki je po učinku enakovredna enosmernemu signalu.

Za sinusni signal velja:

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}, [V]$$

Trenutna vrednost izmenične Veličine

Trenutna vrednost izmeničnega signala je določena z enačbo:

$$u(t) = U_{\max} \sin(2\pi ft), [V]$$

Primer: Kakšno je trenutna vrednost omrežne napetost 230V / 50Hz v času 3 ms, 7 ms, 12 ms in 18 ms od začetka?

Pri tem pomenijo deli zapisa naslednje:

- $u(t)$... trenutna vrednost napetosti
- U_{\max} ... maksimalna vrednost napetosti
- U_{ef} ... efektivna vrednost napetosti
- \sin ... kotna funkcija
- f ... frekvenca
- ω ... krožna frekvenca ali krožna hitrost
- t ... čas

Krožna frekvenca je veličina, ki jo dobimo iz navadne frekvence $\omega = 2\pi f$ (s^{-1}).

Primer: Določi maksimalno in trenutno vrednost napetosti $240\mu s$ po vklopu generatorja, ki proizvaja napetost z efektivno vrednostjo 230V.

Obliko signala lahko spremljamo s pomočjo osciloskopa. Ekran osciloskopa je razdeljen na razdelke z navpičnimi in vodoravnimi črtami.

V vodoravni smeri lahko odčitamo čas tako, da število razdelkov pomnožimo s časovno konstanto baze. Iz odčitane časa lahko določimo periodo in tudi frekvenco signal.

$$T = \frac{1}{f} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$$

V navpični smeri lahko odčitamo vrednost napetosti tako, da število razdelkov, ki jih doseže signal pomnožimo s konstanto občutljivosti na katero je osciloskop trenutno nastavljen.

V obeh primerih si lahko pomagamo s potenciometri za odmik signala iz izhodiščne lege. Z njimi lahko postavimo začetek signala v poljubno točko in lažje odčitamo želeno vrednost.

Primeri:

- 1) Izračunaj efektivno vrednost napetosti z maksimalno vrednostjo 325V. (R: 230 V)
- 2) Izračunaj maksimalno vrednost izmeničnega toka z efektivno vrednostjo 14,1 mA. (R: 19,9 mA)
- 3) Visokonapetostni daljnovod dopušča maksimalne napetosti do 110 kV. Kolikšna je efektivna napetost? (R: 230V; 19,9mA; 77,8kV)
- 4) Določi krožno frekvenco omrežne napetosti! (R: 314 s^{-1})

LASTNOSTI IN ZAKONITOSTI ELEKTRIČNIH KROGOV

Kaj je električni krog?

⇒ **Električni krog je sklenjena prevodna pot po kateri teče električni tok.**

V praksi srečujemo električne kroge vsepovsod. Zaradi velikega števila jih delimo v določene skupine glede na enake ali podobne lastnosti.

⇒ **Poznamo enostavne, vzporedne, zaporedne in sestavljene električne kroge.**

ENOSTAVNI ELEKTRIČNI KROG

Krog, v katerem je na izvor električne napetosti priključen en sam porabnik imenujemo *enostavni električni krog*. Porabnik in izvor povežemo tako, da ločeno povežemo pozitivni priključni sponki in ločeno negativni sponki obeh. Pri tem se nam zastavlja vprašanje, katere veličine srečujemo v električnem krogu.

V enostavnem električnem krogu (izvor električne napetosti, vodniki in porabnik) lahko opazujemo tri električne veličine: električno napetost, električni tok in električno upornost.

Električna napetost in upornost sta že vnaprej določeni med tem, ko se v odvisnosti od njih oblikuje električni tok. Eksperimentalno lahko dokažemo odvisnost toka od napetosti in upornosti tako, da eno od obeh veličin spreminjamo med tem ko je druga vrednost konstanta.

Odvisnost električnega toka od napetosti

Če povečujemo napetost vira (pri konstantni upornosti) in opazujemo kaj se dogaja s tokom skozi porabnik, lahko ugotovimo, da tok narašča premo sorazmerno z napetostjo. Izpolni preglednico in nariši diagram odvisnosti toka od napetosti. Za porabnik smo izbrali upornost $R = 470 \Omega$.

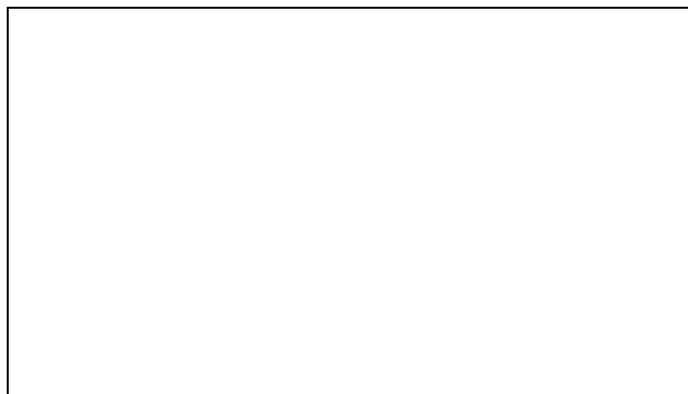
U (V)	I (mA)
0	
3	
6	
9	
15	
25	



Odvisnost električnega toka od upornosti

Če povečujemo upornost porabnika (pri konstantni napetosti) in opazujemo kaj se dogaja s tokom skozi porabnik, lahko ugotovimo, da tok pada obratno sorazmerno z upornostjo v danem električnem krogu. Izpolni preglednico in nariši diagram odvisnosti toka od napetosti. Za izvor smo izbrali enosmerno napetost $U = 15 \text{ V}$.

R (Ω)	I (mA)
22	
47	
100	
150	
220	



Natančni odnos med omenjenimi tremi veličinami določa temeljni zakon elektrotehnike ali **Ohmov zakon**:

\Rightarrow *V danem električnem krogu je električni tok premo sorazmeren z električno napetostjo izvora in obratno sorazmeren z električno upornostjo porabnika.*

$$I = \frac{U}{R} [A]$$

Iz definicijske enačbe za Ohmov zakon lahko izpeljemo enačbe za ostale veličine: napetost, upornost in prevodnost.

Primeri:

- 1) Vhodno bakreno navitje transformatorja ima pri delovni temperaturi upornost $8 \text{ k}\Omega$. Določi tok, ki teče skozi vhodno navitje transformatorja, če je priključen na omrežno napetost! (R: 28,8 mA)
- 2) Določi upornost porabnika z nazivnimi podatki $60 \text{ V} / 87 \text{ mA}$. (R: 690 Ω)
- 3) Spajkalnik Weller ima upornost 340Ω in skozi njega teče tok $16,8 \text{ mA}$. Na kakšno napetost smo ga priključili? (R: 5,71 V)
- 4) Skozi daljnovod s prevodnostjo $2,4 \text{ S}$ teče tok 12 kA . Kakšen je padec napetosti na daljnovodu? (R: 5 kV)

UI karakteristika

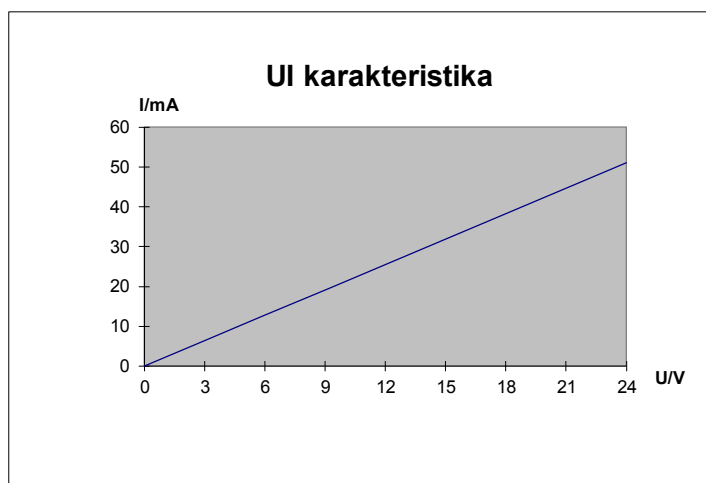
V elektrotehniki je odvisnost toka od napetosti pogosto zahtevana in uporabljena prvina. Razen opisno, je vedno zaželen tudi slikovni prikaz. V tem primeru uporabljamo pravokotni koordinatni sistem z neodvisno (vodoravno) in odvisno (navpično) osjo. Neodvisna veličina je električna napetost in jo nanašamo na vodoravno os medtem, ko je odvisna veličina električni tok, nanašamo pa ga na navpično os.

⇒ UI karakteristika je slikovni prikaz odvisnosti električnega toka od napetosti.

UI karakteristiko vrišemo v koordinatni sistem s pomočjo podatkov, ki smo jih dobili z meritvami ali pa računsko s pomočjo Ohmovega zakona.

Primer: Nariši UI karakteristiko ohmskega upora z upornostjo 470Ω .

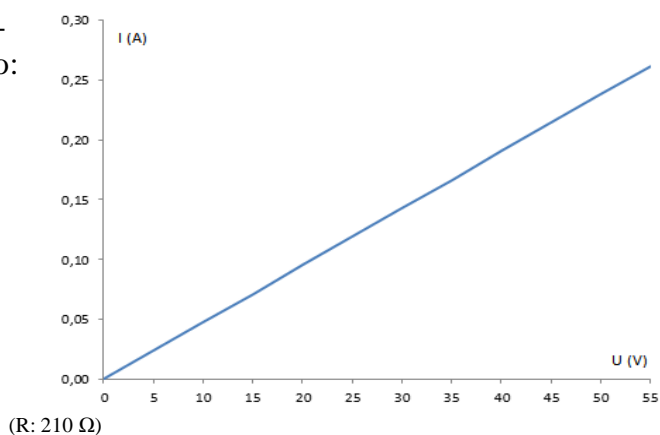
U (V)	I (mA)
0	0
3	6,38
6	12,8
9	19,1
15	31,9
25	53,2



⇒ **Naklon premice je odvisen od velikosti upora. Večja je upornost upora manjši je naklon (strmina) premice.**

Domača naloga: Nariši UI karakteristiki uporov z upornostjo 300Ω in 500Ω v isti koordinatni sistem (na hrbtni strani).

Določi upornost porabnika z UI karakteristiko:



VZPOREDNI (PARALELNI) ELEKTRIČNI KROG

Kako dobimo vzporedno vezavo?

- ⇒ Vzporedno vezavo dobimo tako, da vsem porabnikom povežemo vhodne sponke v eno skupno točko in vse izhodne sponke v drugo skupno točko. Če takšno vezavo povežemo na izvor ali generator električne napetosti (vhodne sponke porabnikov na pozitivni pol generatorja ter izhodne sponke porabnikov na negativni pol generatorja) dobimo vzporedni električni krog.

Lastnosti vzporednega električnega kroga:

- ◆ Vsi porabniki so priključeni na isto napetost
- ◆ Tokovi na različnih porabnikih so različni
- ◆ Delovanje porabnikov je neodvisno
- ◆ Tok vezave je enak vsoti tokov skozi posamezne porabnike
- ◆ Prevodnost vezave se večja, če večamo število priključenih porabnikov
- ◆ Upornost vezave se manjša, če večamo število priključenih porabnikov
- ◆ Upornost vezave je manjša od najmanjše posamezne upornosti v vezavi
- ◆ Prevodnost vezave je večja od največje posamezne prevodnosti v vezavi

V vzporednem električnem krogu se tok, ki ga generator ali izvor pošilja v vezje deli na posamezne porabnike. Za porabniki se spet vsi tokovi združijo in tečejo proti negativnemu polu generatorja ali izvora. Mestu, kjer se tokovi združujejo, razdružujejo ali oboje hkrati imenujemo **tokovno vozlišče**. To lastnost je prvi ugotovil nemški fizik Kirchhoff. Zato imenujemo to zakonitost **Zakon tokovnega vozlišča** ali **1. Kirchhoffov zakon**.

- ⇒ **Vsota vseh v tokovno vozlišče pritekajočih tokov je enaka vsoti vseh iz vozlišča odtekajočih tokov (ali: Vsota vseh pritekajočih in odtekajočih tokov v nekem vozlišču je enaka nič).**

Primer: Določi vrednost in smer neznanega toka v vozlišču v katerem pritekata tokova 5A in 4A ter odtekajo tokovi 2A, 6A in 1A.

Nadomestna prevodnost vzporedne vezave

- ⇒ Nadomestna prevodnost vzporedne vezave je enaka vsoti prevodnosti posameznih vzporedno vezanih porabnikov.

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n \quad (S)$$

Nadomestna prevodnost vzporedne vezave je večja od največje posamezne prevodnosti porabnikov v vzporedni vezavi.

Primer: Izračunaj nadomestno prevodnost vzporedne vezave štirih porabnikov z upornostmi 750 Ω, 1,2 kΩ, 600 Ω in 800 Ω. (5,08 mS)

Nadomestna upornost vzporedne vezave

⇒ Nadomestna upornost vzporedne vezave je enaka obratni vrednosti vsote obratnih vrednosti upornosti posameznih vzporedno vezanih porabnikov.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \quad (\Omega)$$

Nadomestna upornost vzporedne vezave je manjša od najmanjše upornosti posameznih porabnikov v vezju.

Primer: Na napetost 24 V je priključena vzporedna vezava štirih porabnikov z upornostmi 20 Ω, 30 Ω, 40 Ω in 50 Ω. Določi tok v vezje, vse vejne tokove, nadomestno upornost in nadomestno prevodnost. R: (3,08A;1,2A;800mA;600mA;480mA;7,79Ω;128mS)

Upornost porabnika želimo znižati iz 30 na 20. Določi vrednost upora, ki bi ga vzporedno vezali k porabniku! R: (60Ω)

Deljenje toka

Tokovi se v tokovnem vozlišču, ki je sestavni del vzporedne vezave delijo. Zato vzporedni vezavi rečemo tudi tokovni delilnik.

⇒ **V tokovnem delilniku se tokovi delijo premo sorazmerno pripadajočim prevodnostim oziroma obratno sorazmerno pripadajočim upornostim.**

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Tokovne delilnike uporabljamo takrat, ko želimo odvečni tok speljati mimo porabnika. Velikokrat tokovne delilnike uporabljamo za razširitev merilnega območja ampermetra (souple ali shunt). V drugih primerih se delilnik tokov uporablja v elektronskih vezjih, ki nam za enkrat niso znana.

Primer: Ampermetru z merilnim območjem 600 mA in notranjo upornostjo 22 mΩ želimo razširiti merilno območje na 8 A. Določi vrednost potrebnega soupora. (R: 1,78 mΩ)

Ampermetru z merilnim območjem 600 mA in notranjo upornostjo 22 mΩ smo dodali soupor z upornostjo 1,24 Ω. Za koliko Amperov smo razširili merilno območje ampermetra? (R: 10,6 mA)

Pogostokrat se v vzporedni vezavi znajde več enakih porabnikov, na primer razsvetljava ulice, razsvetljava objekta, napajanje skupine enakih naprav kot so bankomati, parkomati, avtomati za hrano in podobno. Takrat velja, da imajo vsi takšni porabniki enako prevodnost oziroma uporabnost.

$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = G_n = G_0 \quad \text{ali} \quad R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R_0$$

Z upoštevanjem pravila za računanje nadomestne prevodnosti, pridemo do poenostavljene enačbe:

$$G = nG_0 \quad (S)$$

ali do poenostavljene enačbe za nadomestno upornost:

$$R = \frac{R_0}{n} \quad (\Omega)$$

Primeri: Ulična razsvetljava šteje 30 svetilk. Vsaka ima upornost 20Ω . Določi nadomestno upornost in nadomestno prevodnost vezave. (R: 1,5 S; 667 m Ω)

V ulično razsvetljava je povezano 80 uličnih svetilk, ki omrežje obremenjujejo z električnim tokom 160 A. Določi prevodnost posamezne svetilke, če je vezava priključena na napetost 400 V. (R: 5 mS)

Izračunaj nadomestno prevodnost devetih vzporedno vezanih porabnikov z upornostjo 300Ω . (R: 30 mS)

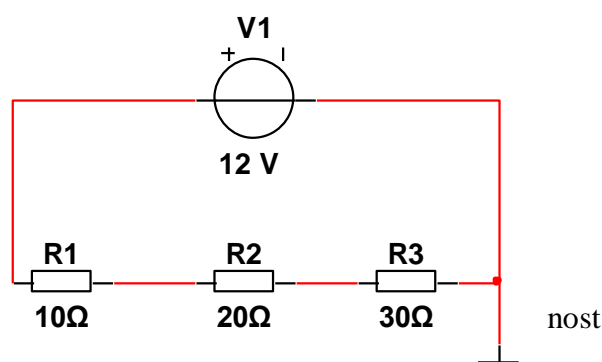
ZAPOREDNI (SERIJSKI) ELEKTRIČNI KROG

Kako dobimo zaporedno vezavo in kako zaporedni električni krog?

- ⇒ Zaporedno vezavo dobimo tako, da na izhodno sponko prvega porabnika vežemo vhodno sponko naslednjega.
- ⇒ Če vhodno sponko prvega zaporedno vezanega porabnika vežemo na pozitivni pol generatorja in izhodno sponko zadnjega na negativni pol generatorja dobimo zaporedni električni krog.

Lastnosti zaporednega električnega kroga:

- ◆ Skozi vse porabnike teče isti tok
- ◆ Na različnih porabniki so različni padci napetosti
- ◆ Delovanje porabnikov je medsebojno odvisno
- ◆ Napetost generatorja se razdeli na posamezne porabnike
- ◆ Z večanjem števila zaporedno vezanih porabnikov se večja nadomestna upornost in manjša prevodnost
- ◆ Z večanjem števila zaporedno vezanih porabnikov se manjša tok skozi vezje
- ◆ Nadomestna upornost je večja od največje posamezne upornosti v vezavi
- ◆ Nadomestna prevodnost je manjša od najmanjše posamezne prevodnosti v vezavi



V zaporednem električnem krogu se napetost generatorja ali izvora razdeli na posamezne porabnike. Napetost, ki ostane na posameznem porabniku imenujemo padec napetosti.

V zaporedni vezavi srečujemo zaključene sisteme napetosti in padcev napetosti, ki jih imenujemo **napetostne zanke**. Tudi s tem se je ukvarjal nemški fizik Kirchhoff. In prišel je do ugotovitve, ki jo danes poznamo pod imenom **Zakon napetostne zanke** ali **2. Kirchhoffov zakon**. Ta se glasi:

- ⇒ **Vsota vseh napetosti izvorov v napetostni zanki je enaka vsoti vseh padcev napetosti v isti zanki** (ali: **Vsota vseh napetosti izvorov in padcev napetosti na porabnikih v neki napetostni zanki je enaka nič**).

Primer: Zapiši pripadajočo enačbo za zgornji primer (glej sliko) v obeh možnih oblikah Zakona napetostne zanke.

Nadomestna upornost zaporedne vezave

⇒ Nadomestna upornost zaporedne vezave je enaka vsoti upornosti posameznih zaporedno vezanih porabnikov

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

Če primerjamo upornosti, ki so prisotne v zaporednem električnem krogu, ugotovimo:

⇒ Nadomestna upornost vezave je večja od največje posamezne upornosti v vezavi.

Nadomestna prevodnost zaporedne vezave

⇒ Nadomestna prevodnost zaporedne vezave je enaka obratni vrednosti vsote obratnih vrednosti prevodnosti posameznih zaporedno vezanih porabnikov

$$G = \frac{1}{\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \dots + \frac{1}{G_n}}$$

Podobno kot nadomestna upornost vzporedne vezave je tudi nadomestna prevodnost zaporedne vezave manjša od najmanjše prevodnosti v vezavi.

Primer: Na izvor napetosti 24V je priključena zaporedna vezava štirih porabnikov z upornostmi 20Ω, 30Ω, 40Ω in 50Ω. Določi nadomestno upornost in nadomestno prevodnost, tok v vezje in vse padce napetosti. R: (140Ω, 7,14mS, 171mA, 3,43V, 5,14V, 6,86V, 8,57V)

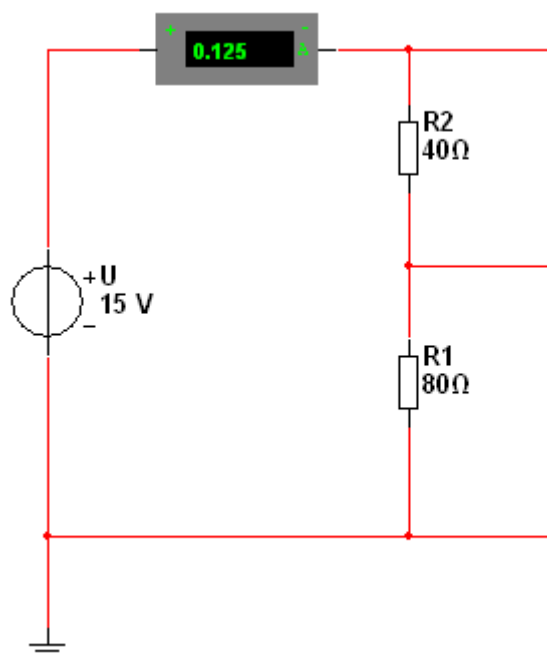
V zaporedni vezavi so trije porabniki z upornostmi 30Ω, 40Ω in 50Ω. Na tretjem porabniku smo izmerili padec napetosti 6 V. Določi napetost izvora na katerega je vezava priključena ter tok, ki teče skozi vezje. R: (14,4V, 120mA)

Deljenje napetosti

Napetosti se v napetostni zanki (sestavni del zaporednega električnega kroga) delijo. Zato zaporedni vezavi rečemo tudi napetostni delilnik.

⇒ V napetostnem delilniku se napetosti delijo premo sorazmerno pripadajočim upornostim oziroma obratno sorazmerno pripadajočim prevodnostim.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{G_2}{G_1}$$



Napetostne delilnike uporabljamo takrat, ko želimo odvečno napetost speljati mimo porabnika. Velikokrat napetostne delilnike uporabljamo za razširitev merilnega območja voltmetra (predupor) ali pa prilagoditev porabnika na preveliko napetost izvora.

Primer: Z voltmetrom z merilnim območjem 60 V in notranjo upornostjo 40 kΩ želimo meriti napetosti do 400 V. Izračunaj vrednost predupora, ki ga moramo vezati k voltmetru.

R: (227kΩ)

Na koliko bomo povečali merilno območje voltmetra (merilno območje 10 V, notranja upornost 40 kΩ), če mu dodamo predupor z upornostjo 1,2 MΩ?

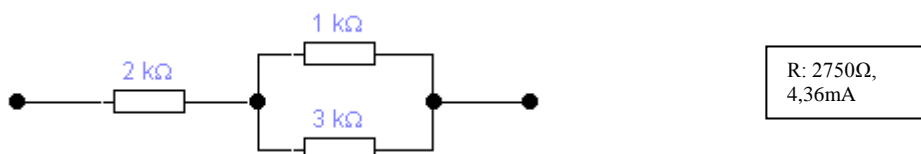
R: (310V)

SESTAVLJENI ELEKTRIČNI KROG

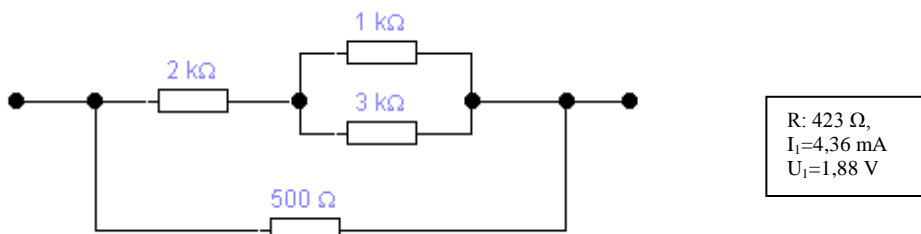
⇒ Sestavljeni električni krog združuje lastnosti enostavnega, vzporednega in zaporednega električnega kroga

V naprej je nemogoče napovedati vrstni red računanja vejnih tokov in zračnih napetosti razen prvih treh veličin. Med nje štejemo nadomestno upornost, nadomestno prevodnost in tok, ki teče v vezje.

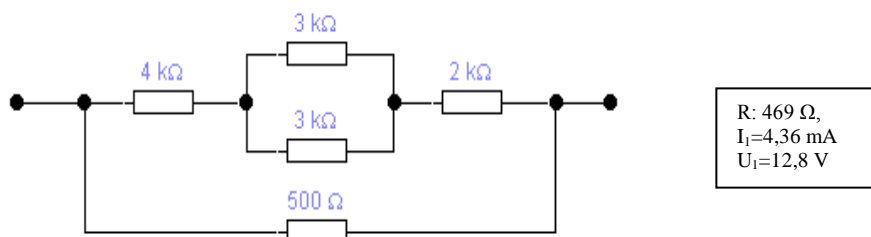
Primeri: Določi neznane veličine v danem vezju pri napajalni napetosti 12 V:



Določi neznane veličine v danem vezju pri napajalni napetosti 12 V:

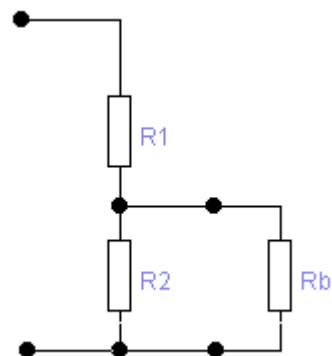


Določi napetost in tok na upor z vrednostjo 2 kΩ pri napajalni napetosti 24 V.



Obremenjen delilnik napetosti

Delilnik napetosti je sicer zgrajen na osnovah zaporedne vezave in še le z njegovo obremenitvijo imamo opravka s sestavljenim električnim krogom. Slabost delilnika napetosti je v tem, da se napetost na izhodu zmanjša, če delilnik napetosti obremenimo. Temu se izognemo tako, da pri ustvarjanju delilnika napetosti upoštevamo upornost bremena katerega je delilnik namenjen (izdelava "na zalogo" ni v praksi).



Izhodna napetost neobremenjenega delilnika napetosti:

$$U_{izh} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{vh}$$

Izhodna napetost obremenjenega delilnika napetosti:

$$U_{izo} = \frac{R_{2b}}{R_1 + R_{2b}} \cdot U_{vh} \quad \text{pri tem je:} \quad R_{2b} = \frac{R_2 \cdot R_b}{R_2 + R_b}$$

Primer: Delilnik napetosti s podatki $U_{vh}=12 \text{ V}$, $R_1=4,22 \text{ k}\Omega$ in $R_2=6,8 \text{ k}\Omega$ obremenimo s porabnikom z upornostjo $6 \text{ k}\Omega$. Za koliko Voltov se zmanjša izhodna napetost delilnika napetosti? (R: 2,24 V)

Na katero napajalno napetost je priključen delilnik napetosti ($R_1=4,22 \text{ k}\Omega$ in $R_2=6,8 \text{ k}\Omega$), če je obremenjen z bremenom z upornostjo $14,7 \text{ k}\Omega$ in je napetost na bremenu $8,385 \text{ V}$. (R: 16 V)

ELEKTRIČNO DELO IN MOČ

Električne naprave so namenjene opravljanju koristnega dela. Pri tem preoblikujejo električno energijo v toplotno, mehansko, svetlobno ali drugo obliko energije. Nekatere naprave delo opravijo v krajšem oziroma daljšem času, kar je odvisno od njihove moči in učinkovitosti. V sklopu "Električno delo in moč" bomo spoznali dva pojma, ki razkrivajo delovanje električnih naprav.

ELEKTRIČNO DELO

Z električnim delom imamo opravka takrat, ko električno energijo pretvarjamo v neko drugo obliko energije (toplotno, svetlobno, mehansko, kemično, ...).

⇒ Električno delo opravljajo električne naprave kadar pod vplivom električne napetosti prenašajo elektrino

$$W = Q \cdot U \quad [Ws]$$

Vemo, da je po definiciji za električni tok elektrina enaka produktu toka in časa. Zato lahko zgornjo enačbo preuredimo v

$$W = U \cdot I \cdot t \quad [Ws]$$

⇒ Električne naprave opravljajo električno delo takrat, kadar določeni čas pod vplivom električne napetosti teče električni tok

NALOGA: Z upoštevanjem Ohmovega zakona in razmerja med upornostjo in prevodnostjo, lahko zapišemo še več enačb za opravljeno električno delo. Zapiši te enačbe!

Enoto za električno delo imenujemo **Wattsekunda**, oznaka enote je **Ws**. Le ta je relativno majhna enota. Večinoma uporabljamo **kWh** (kilovatne ure).

Primeri:

- 1) Kolikšno električno delo opravi naprava z nazivnimi podatki 230V/450mA, v enem mesecu (30 dni), če dela povprečno 4 ure na dan. (R:12,4 kWh)
- 2) V družini so kupili električno kosilnico z nazivnimi podatki 230 V/6,52 A. Koliko ur košnje bodo lahko opravili s kosilnico, če so ji namenili 16 kWh dela? (R: 10,7 h)
- 3) Skozi električni grelec z upornostjo 11Ω teče tok 20A. Določi električno delo, ki ga grelec opravi v 24 urah delovanja. (R:106 kWh)

- 4) Koliko dela opravi polprevodniški element, ki je pod napetostjo 3,7 V in tokom 260 mA v 27 minutah dela? Koliko časa mora obratovati isti element, da opravi eno kWh električnega dela.

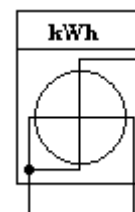
(R:1,56 kWh, 1040 h)

Merjenje električnega dela

Električno delo lahko merimo posredno ali neposredno. Pri posredni metodi uporabljamo merilne instrumente za merjenje drugih veličin, za tem pa električno delo izračunamo na osnovi ustreznih enačb. Pri neposrednem merjenju električnega dela uporabljamo merilni instrument, ki obravnava in prikaže merjeno veličino.

NEPOSREDNO MERJENJE ELEKTRIČNEGA DELA

Neposredno merjenje električnega dela lahko opravimo s pomočjo števca kilovatnih. Na sliki zraven je prikazan simbol števca kilovatnih ur.



V praksi so v uporabi različne izvedbe števecov kilovatnih ur. Predvsem ločimo izvedbe glede na princip delovanja (elektromehanski, elektronski), glede na število faz (enofazni, dvofazni in trifazni) in glede na število tarif (enotarifni in dvotarifni).

Števec kilovatnih ur deluje na učinku magnetne sile. Magnetno polje, ki ga ustvari tok skozi števec obrača vrtljivo ploščo, le ta pa obrača številčnico. Določeno število vrtljajev plošče (izraženo s konstanto števca) je potrebno, da števec zazna eno kilovatno uro električnega dela. Neko opravljeno električno delo določamo na osnovi razlike med začetnim in končnim očitkom števil na številčnici.



Primer: Na začetku meseca smo odčitali stanje na števcu 23154 kWh. Kakšno bo stanje na koncu meseca (30 dni), če s števcem merimo delo varilnega stroja z nazivnimi podatki 230 V/6 A, ki povprečno dela 16 ur na dan.
(R:23816 kWh)

- Vprašanja:**
- 1) Naštej gradnike števca kilovatnih ur!
 - 2) Naštej tri kriterije za razvrščanje števecov kWh
 - 3) Koliko priključnih sponk ima števec kilovatnih ur?
 - 4) Kaj nam pove konstanta števca?



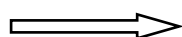
Vrednotenje električnega dela

Električno delo se opravlja pri preoblikovanju električne v druge oblike energije. Pri tem se električna energija pojavlja kot blago s svojo tržno vrednostjo. V večini primerov števeci kilovatnih ur služijo prav v te namene. Z njihovo pomočjo elektro distributerji zaračunavajo stroške za dobavljeno električno energijo. Osnovno vrednost opravljenega električnega dela (dobavljene električne energije) dobimo, če opravljeno električno delo (izraženo v kWh) pomnožimo z vrednostjo ene kilovatne ure v tolarjih.

$$V = W \cdot v \text{ (eur)}$$

Izračun je nekoliko zapletenejši, če se odjem registrira z dvotarifnim števcem. Takrat je potrebno narediti ločena izračuna za višjo in nižjo tarifo. Končno vrednost dobimo z vsoto obeh posameznih vrednosti:

$$V_1 = W_1 v_1 \text{ (eur)}$$



$$V = V_1 + V_2 \text{ (eur)}$$

$$V_2 = W_2 v_2 \text{ (eur)}$$



Domača naloga:

- 1) Izračunaj strošek opravljenega električnega dela v tvojem gospodinjstvu v času 24 ur. Upoštevaj trenutno veljavne cene za kWh!
- 2) V tovarni plastičnih mas so na začetku meseca novembra vgradili nov trifazni enotarifni števec kWh z začetnim stanjem 0. Kakšno je stanje na števcu na koncu meseca, če je v času obratovanja tekel povprečni tok 143 A, 16 ur na dan?
(R: 15,8 MWh)
- 3) Poišči fotografijo števca kWh in jo nalepi v zvezek (na list).

Cenik dobave električne energije (15.06.2012)

Vrsta oskrbe	Mesečno nadomestilo (EUR)	Dodatek za OVE (EUR/kWh)	Energija VT (EUR/kWh)	Energija MT (EUR/kWh)	Energija ET (EUR/kWh)
Osnovna oskrba	0,70	-	0,07315	0,05044	0,06583
Zelena oskrba	0,70	0,01	0,07315	0,05044	0,06583

Cena z DDV

Vrsta oskrbe	Mesečno nadomestilo (EUR)	Dodatek za OVE (EUR/kWh)	Energija VT (EUR/kWh)	Energija MT (EUR/kWh)	Energija ET (EUR/kWh)
Osnovna oskrba	0,84	-	0,08778	0,06053	0,07900
Zelena oskrba	0,84	0,012	0,08778	0,06053	0,07900

Cene za električno energijo so praviloma določene za večjo (VT) in manjšo dnevno tarifo (MT) oziroma enotno dnevno tarifo (ET). Čas večje in manjše dnevne tarife določa Akt o določitvi metodologije za obračunavanje omrežnine in metodologije za določitev omrežnine in kriterijih za ugotavljanje upravičenih stroškov za elektroenergetska omrežja, (Ur. l. RS, št. 121/05). Enotna dnevna tarifa velja vsak dan 24 ur.

Faktor ure (učinkovita raba energije) je ne glede na količino dnevne porabe kWh enak 1,00.

ELEKTRIČNA MOČ

Električna moč izraža zmogljivost električne naprave in električnega toka, da opravita električno delo v nekem času. Označujemo jo z veliko tiskano črko P in merimo v Watih (W).

⇒ Električna moč je po definiciji določena z velikostjo opravljenega električnega dela v enoti časa

$$P = \frac{W}{t}, \quad \left[\frac{Ws}{s} = W \right] \quad \Longrightarrow \quad P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$$

Z znanjem o električnem delu lahko zapišemo enačbo za električno moč tudi drugače

$$P = U \cdot I, \quad [V \cdot A = W]$$

NALOGA: Z upoštevanjem Ohmovega zakona in razmerja med upornostjo in prevodnostjo, lahko zapišemo še več enačb za električno moč. Zapiši te enačbe!

V praksi je v uporabi cel spekter predpon vezanih na enoto moči. Tako srečujemo moči v razponu od nW do GW (na primer: rtv antene, mikrofoni, nelinearni elementi, upori, svetila, gospodinjski aparati, grelna telesa, elektromotorji, električne lokomotive in elektrarne).

Primeri:

1. Skozi navitje elektromagneta, ki je priključen na napetost 230V, teče tok 7,2A. Določi električno moč elektromagneta! (1,66 kW)
2. Določi električno moč porabnika z upornostjo 14 Ω in tokom 15 A. (3,15 kW)
3. Žarnico z nazivnima podatoma 24V/40W želimo priključiti na izvor napetosti 40V. Izračunaj moč predupora s katerim bi omogočili priključitev žarnice na želeno napetost! (26,7 W)
4. Žarnico z nazivnimi podatki 230V/75W smo pomotoma priključili na napetost 115V. S kakšno močjo bo žarnica svetila? (18,8 W)
5. Določi moč na uporu 2 kΩ pri vhodni napetosti 24 V! (288 mW)

Naloga: Naštej nekaj električnih naprav pri vas doma in navedi njihovo moč

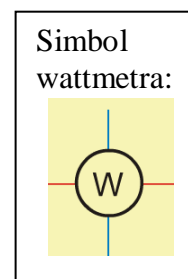
ELEKTRIČNA NAPRAVA	MOČ (W, kW)

Merjenje električne moči

Električno moč lahko merimo neposredno in posredno.

Večinoma moč merimo neposredno z merilnim instrumentom, ki je umerjen v Wattih. Imenujemo ga wattmeter. Ima 4 priključne sponke (dve napetostni in dve tokovni) in dve merilni območji na kateri moramo biti pozorni. V nobenem trenutku ne sme nobena veličina preseči izbranega merilnega območja. Včasih imajo wattmetri samo tri priključne sponke oziroma skupno vhodno sponko. Takrat mora biti nakazana vrsta vezave (s tokovno ali z napetostno napako).

Včasih uporabljamo tudi posredno metodo merjenja električne moči. V tem primeru merimo druge električne veličine ter električno moč izračunamo. To je možno narediti na dva načina:



1. UI METODA

Prvemu načinu pravimo (že znano) **UI metoda** merjenja moči. Z ampermetrom in voltmetrom izmerimo tok in napetost, moč pa izračunamo po enačbi $P = U \cdot I$. Če želimo meriti po UI metodi, moramo vezati istočasno ampermeter in voltmeter. To lahko storimo na dva načina:

- vezava s tokovno napako in
- vezava z napetostno napako.

Ko merimo po UI metodi, se merjene veličine ne smejo spreminjati. V nasprotnem lahko rečemo, da UI metoda omogoča merjenje trenutnih moči. Druga možnost je da uporabimo števec kWh in uro. Tudi v tem primeru moč izračunamo.

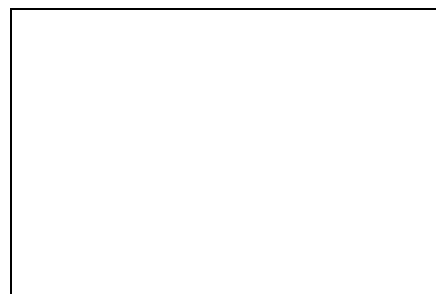
Naloga: Nariši vezavo s tokovno in vezavo z napetostno napako.

--	--

2. METODA S ŠTEVCEM kWh IN URO

Ta metoda je pogosta v energetiki in je priročna za merjenje moči porabnikov, ki jih ne smemo odklopiti od napajanja, števec kWh pa je že prisoten v omrežju. Tej metodi lahko pripišemo merjenje povprečnih moči porabnikov.

Naloga: Nariši vezavo števca kWh (upoštevaj meritev časa) za posredno merjenje moči.



Moč vezave porabnikov

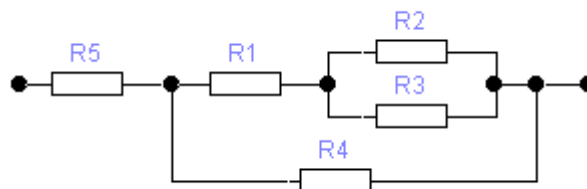
Ne glede na tip vezave (vzporedna, zaporedna ali sestavljena) je moč vezave enaka vsoti dejanskih moči posameznih porabnikov v vezavi. Le pri vzporedni vezavi je dejanska moč enaka nazivni moči porabnika in je moč vezave enaka vsoti nazivnih moči porabnikov, saj je le pri tej vezavi zagotovljena nazivna napetost.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n, \quad [W]$$

Zaporedno (ali poljubno) vezani porabniki nikakor nimajo zagotovljene nazivne napetosti, če je celotna vezava priključena na nazivno napetost.

Primeri:

- 1) Določi moč treh vzporedno vezanih žarnic z nazivnimi podatki 230V/60W, 230V/75W in 230V/100W.
- 2) Določi moč treh zaporedno vezanih žarnic z nazivnimi podatki 230V/60W, 230V/75W in 230V/100W.
- 3) Določi moč vezave treh žarnic z nazivnimi podatki 230V/60W, 230V/75W in 230V/100W, v vezavah na desni.
- 4) Izračunaj moč porabnika R_4 v vezju na sliki zraven (napajalna napetost je 12 V, vrednosti vseh uporov pa 1,4 k Ω).
- 5) Izračunaj moč zaporedne vezave štirih porabnikov z upornostmi 1,2 k Ω , 800 Ω , 1,6 k Ω in 2,1 k Ω , če je priključen na napetost 5 V!



SPREMINJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električne naprave pretvarjajo električno energijo v druge oblike energije. Pri tem se večji del vložene energije pretvori v koristno in manjši del v izgubno energijo.

$$W_e = W_k + W_i$$

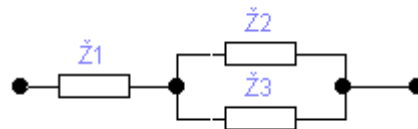
Kot uporabnike električne napetosti nas najbolj zanima razmerje med koristno in vloženo energijo. Temu pravimo izkoristek.

⇒ **Izkoristek je razmerje med koristno in vloženo energijo, delom ali tudi močjo.**

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

Primeri:

- 1) Na oba načina izrazi izkoristek električne naprave, ki opravi 12,7 kWh dela v času, ko števec kWh zabeleži odjem 16,5 kWh električne energije. (0,77, 76,9%)
- 2) Elektromotor opravi 8,4 kWh dela v šestih urah in pri izkoristku 83%. Izračunaj velikost električnega toka, ki teče skozi elektromotor, če je priključen na omrežno napetost! (7,33 A)
- 3) Kolikšno delo nameri števec kWh, če elektromotor z delovno močjo 2kW in 80% izkoristkom deluje s polno močjo 40 ur?



- 4) Elektromotor z delovno močjo 1200 W pretvori 170 kWh električne energije v 5 dnevih. Določi izkoristek elektromotorja! (84,7 %)
- 5) Za varjenje tekočega metra kovinske ograje potrebujemo 1,8 kWh dela. Koliko električnega dela bo pokazal števec kilovatnih ur za varjenje 260 metrov ograje, če delo opravimo z varilnim aparatom s 74 % izkoristkom? Koliko električne energije se bo pretvorilo v izgubno?
- 6) Elektromotor poganja črpalko, ki v času ene izmene opravi 122 kWh mehanskega dela. Izračunaj velikost dobavljene električne energije, ki je potreba za opravljanje dela, če je izkoristek elektromotorja 82% črpalke 89 %.

Toplotno delo električnega toka

Elektroni potujejo skozi snov (vodnik, navitje, priključki, ...) z določeno hitrostjo. Zato imajo neko kinetično energijo. Na poti naletijo na mirujoče delce snovi (atomi, ioni). Ob trkih se kinetična energija spremeni v toplotni. To je glavna lastnost vodnikov in električnih naprav, ki pretvarjajo električno energijo v toplotno. Te naprave imenujemo **električni uporovni grelci**. Poznamo še električne grelce, ki delujejo na osnovi mikro valovanja toda, o njih kdaj drugič.

Ugotovimo, od česa je odvisna veličina toplotnega dela. Potrebno toplotno delo je odvisno od mase snovi, ki jo segrevamo, spremembe temperature in specifične toplote.

$$W = m \cdot c \cdot \Delta \mathcal{G}, \quad [J, Ws]$$

Maso izražamo v kilogramih, spremembo temperaturo v Kelvinih (lahko računamo tudi v stopinjah Celzija). Specifično toplotno izražamo v vatnih sekundah električnega dela, ki je potrebno da kilogram dane snovi segrejemo za en Kelvin. V strokovni literaturi najdemo razpredelnice z ustreznimi podatki in se jih zato ne učimo na pamet.

Primeri:

- 1) Koliko toplotnega dela potrebujemo za segrevanje 80 litrov destilirane vode iz 20° C na 65° C. Izračunaj koliko energije potrebuje električni uporovni grelec z izkoristkom 87%, za opravljanje tega dela in določi moč grelca, ki bi bil zmožen opraviti to delo v pol drugi uri.
(4,19kWh, 4,82kWh, 3,21kW)
- 2) Električni potopni grelec z močjo 500 W segreje 1 liter vode ($c=3820Ws/kgK$) v 8 minutah iz 10°C na 60°C. Izračunaj izkoristek grelca.
(79,6 %)

Toplotno delo električnega toka se v praksi pojavlja tudi v negativnem smislu. Zaradi toplotnega dela se segrevajo, tudi prekomerno, vse električne naprave in napeljave. Naprave lahko hladimo z ustreznimi hladilnimi telesi in ventilatorji med tem, ko pri vodnikih in napeljavah moramo poskrbeti za pravilno dimenzioniranje. V pomoč nam je veličina, ki izraža jakost električnega toka na enoto preseka – gostota električnega toka.

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

Primeri:

- 1) Izračunaj minimalno in maksimalno gostoto električnega toka v vodniku s presekom 1,5 mm², če po njem tečejo tokovi od 13 A do 20 A. (8,67A, 13,3A)
- 2) Izračunaj jakost električnega toka, ki lahko teče po vodniku s presekom 0,75 mm², če je dopustna gostota električnega toka 12 A/m². (9μA)

Mehansko delo električnega toka

Za pretvorbo električne energije v mehansko skrbijo elektromotorji. V njih se v prvi fazi električna energija pretvori v magnetno. Zaradi privlačnih sil dveh elektromagnetov (trajnega in elektromagneta) pride do vrtenja rotorja v magnetnem polju statorja in do pretvarjanja magnetne energije v mehansko. Elektromotor lahko na ta način opravlja mehansko delo, ki se koristi za premočrtno gibanje v vodoravni, poševni ali navpični smeri. Lahko mehansko delo koristimo tudi pri enakomernem pospešenem gibanju.

V praksi moramo poznati veličino mehanske energije, ki je potrebna za opravljanje nekega mehanskega dela. Na osnovi tega se odločamo o lastnostih električne naprave, ki bo zmožna omenjeno mehansko delo opraviti v danem času.

Pri enakomernem gibanju v vodoravni smeri je mehanska energija odvisna od sile na določeni poti.

$$W = F \cdot s \quad [Nm, Ws]$$

Pri navpičnem gibanju je veličina mehanske energije premo sorazmerna masi bremena, ki ga premikamo, gravitacijski sili in spremembi višine.

$$W = m \cdot g \cdot \Delta h \quad [Nm, Ws]$$

Primeri:

- 1) Kakšno mehansko delo opravi gradbeno dvigalo, ki strešno kritino z maso 1600 kg dvigne na vrh 8 metrov visoke stavbe. Izračunaj električno energijo, ki je potrebna za delo gradbenega dvigala z 48 % izkoristkom. Kakšno moč mora imeti elektromotor dvigala, da breme prenese v poldrugi minuti? (2,96 kW)
- 2) Vodna črpalka z izkoristkom 79% prečrpa v rezervoar 0,267 m³ vode v sekundi iz globine 26 metrov. Koliko električne energije moramo zagotoviti za 24-urno nemoteno delovanje črpalke? (2,11 MWh)

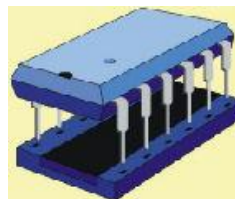
- 3) Kakšno mehansko moč ima vodna črpalka, ki prečrpa 120 litrov vode v minuti v rezervoar na vrhu 80-metrške stolpnice? Koliko električne energije moramo zagotoviti črpalki za nemoteno enomesečno povprečno delo 4 ure na dan pri izkoristku 74 %.
(1,6kW, 2,16kW, 259 kWh)
- 4) Dvigalo z močjo 26 kW opravi dvig kontejnerja na 14 metrov višji krov ladje v 75 sekundah. Izračunaj maksimalno maso kontejnerja. Koliko električne energije potrebuje dvigalo pri 82 % izkoristku.
(1,95 MWh, 13,9 t, 2,38 MWh)

ELEKTRIČNO POLJE

Električno polje je prostor med dvema različno naelektrenima telesoma v katerem delujejo električne sile.

⇒ **Izvor električnega polja je mirujoča elektrina**

Primeri uporabe: LCD/LED/OLED/AMOLED zasloni, polprevodniški elementi, elektronski vžig, odklonski sistemi v katodni cevi, svečke za avtomobilske motorje.



Potek električnih sil (električnega polja) nakazujemo s silnicami električnega polja. To so navidezne črte in krivulje, ki izstopajo pravokotno iz pozitivne elektrode in vstopajo tudi pravokotno v negativno elektrodo. Vmes potekajo silnice po najkrajši možni poti.

- Naloga:** Nariši nekaj potekov značilnih električnih polj!
- Polje osamljene krogle (točkaste elektrine).
 - Polje med dvema vodnikoma.
 - Polje med vodnikom in zemljo.
 - Polje med ravnima vzporednima ploščama.

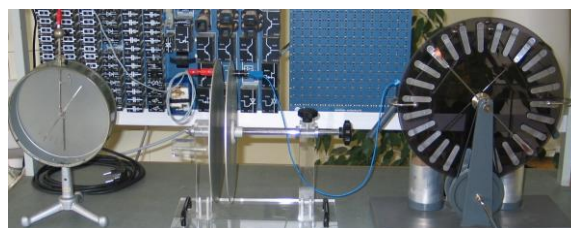
Prevodna snov v električnem polju

Na preprost način smo ustvarili električno polje. S pomočjo influenčnega generator smo ločili negativno in pozitivno elektrino. Negativno je prevzel influenčni generator med tem, ko se je pozitivna elektrina (vrzeli) nakopičila na prvi plošči kondenzatorja. Električno polje med ploščama kondenzatorja je na drugo, vzporedno, ploščo nakopičilo negativno elektrino. Posledično so v elektroskopu ostale nakopičene vrzeli in se je gibljivi kazalec elektroskopa odklonil.

Poskusimo z dvema dejanjema:

- 1) Kaj se zgodi, če influenčni generator ustavimo?
- 2) Kaj se zgodi, če pri delujočem generatorju odklopimo elektroskop

(Rešitev: kazalec elektroskopa pade na nič; kazalec ostane odklonjen)



Kaj se zgodi, če v električno polje med dvema vzporednima ploščama "potopimo" izolirano prevodno ploščo: izolirana prevodna (kovinska) plošča ne vpliva na električno polje, saj to "vidi" skozi ploščo (skiciraj).

Veličine v električnem polju

Električno polje je širši pojem, ki se ne da izmeriti in ga zato opisujemo z ustreznimi veličinami:

- Jakost električnega polja (E)
- Električni pretok (Φ_{el})
- Gostota električnega pretoka (D)

Predvsem je jakost električnega polja tista veličina, ki zadošča našemu nivoju razumevanja. Gostota pretoka in pretok sta veličini, ki sta zanimivi za poglobljeno teoretično obravnavo električnega polja in jih dijaki spoznajo na 5 stopnji izobraževanja.

Jakost električnega polja

V električnem polju deluje na naelektrene delce električna sila. Ta električna sila na enoto elektrone je enaka jakosti električnega polja.

$$E = \frac{F}{Q}, \left(\frac{N}{C} \right)$$

Primer: Kolikšna sila deluje na elektron v elektronskem žarku osciloskopa med preletom skozi električno polje odklonskih plošč, če je razdalja med ploščama 5 mm pri jakosti električnega polja med ploščama 20 N/C

V praksi je bolj prikladna odvisnost jakosti električnega polja od priključene napetosti (U) in razdalje med poloma (d).

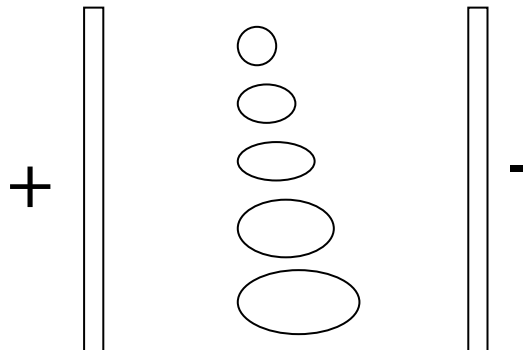
$$E = \frac{U}{d}, \left(\frac{V}{m} \right)$$

Primer: Na obeh straneh papirja debeline 0,2 mm imamo neparjeno tanko plast kovine. Določi jakost električnega polja (E) med kovinskima površinama, če sta priključeni na napetost 12 V. (R: 60 kV/m)

Odklonski sistem ustvarja električno polje z jakostjo 16 kV/m pri razdalji 0,6 cm. Izračunaj velikost priključne napetosti. (R: 96 V)

Neprevodna snov v električnem polju

Če se neprevodna snov ali izolant znajde v električnem polju se njeni atomi polarizirajo oziroma postanejo električni dipoli. Atomi nekaterih snovi se pri določeni jakosti električnega polja bolj polarizirajo nekaterih pa manj. Polariziranost atomov neke snovi je odvisna od snovne lastnosti dane snovi. To snovno lastnost imenujemo **dielektričnost**.



Dielektričnost je snovna lastnost, ki nam pove kako zunanje električno polje vpliva na dano snov. Če so pri določeni jakosti električnega polja atomi neke snovi bolj polarizirani, je dielektričnost te snovi manjša. Vpliv se pozna tudi v obratni smeri. Dobri dielektriki krepijo električno polje v katerem se nahajajo.

Dielektričnost neke snovi lahko dobimo le računsko s pomočjo naslednje enačbe:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \left(\frac{As}{Vm} \right)$$

ε_0 - absolutna dielektričnost je dielektričnost praznega prostora (vakuuma) in ima vrednost

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left(\frac{As}{Vm} \right)$$

ε_r - relativna dielektričnost je faktor brez enote, ki določa koliko krat je dielektričnost snovi večja od absolutne dielektričnosti. Definirana je za vse pomembnejše snovi, podatke za najbolj značilne dielektrike ter nekaj zanimivih snovi najdemo v strokovni literaturi. Zbrani so in zapisani v ustreznih preglednicah, nekaj pa jih je prikazanih v preglednici na desni.

Snov	ε_r
Zrak	1,0006
Papir	1,6..2
transformatorsko olje	2,2
Polistiren	2,5
PVC (polivinilklorid)	4,5
Neopren	4,5
Porcelan	5..7
Steklo	5..10
Titanoksid	100
posebne keramike	>500

Primeri: Določi dielektričnost polivinilklorida (PVC) z relativno dielektričnostjo 4,5.
($3,98 \cdot 10^{-11}$ As/Vm)

Kakšna je relativna dielektričnost snovi z dielektričnostjo $5,75 \cdot 10^{-9}$ As/Vm.
(650)

Električni preboj

Če neprevodno snov podvržemo učinkom tujega električnega polja, pride po **polarizacije** atomov te snovi. Z drugimi besedami pride do odmika pozitivnih in negativnih delcev atoma snovi. Takšnemu atomu, ki ima izražena naelektrena delca rečemo **električni dipol**, procesu v katerem nastajajo ti delci pa **dielektrična polarizacija**.

Električno polje v elektrotehniko ustvarjamo s pomočjo električne napetosti. Z njenim prekomernim povečanjem se prekomerno povečuje tudi jakost električnega polja in polarizacija atomov neprevodne snovi v tem polju. V nekem trenutku postanejo zunanje električne sile močnejše od električnih sil v atomih, ki omogočajo kroženje elektronov okrog jedra. Zato pride do množičnega ločevanja elektronov od jedra. Ta proces ustvari prevodno pot po kateri elektroni iz pozitivne elektrode preskočijo na negativno. Temu pravimo **električni preboj** (po navadi viden v obliki iskre s prostim očesom).

Napetost pri kateri pride do električnega preboja pravimo **prebojna napetost**, od nje pa je odvisna tudi **prebojna trdnost izolanta**. Oznakam omenjenih veličin pri preboju dodamo indeks p.

$$E_p = \frac{U_p}{d}, \left(\frac{V}{m} \right)$$

Vprašanja: Zakaj postavljamo na strehah objektov koničaste strelovode?

Zakaj imajo nekateri vodniki večplastno izolacijo?

Primeri: Določi najmanjšo razdaljo med vzporednima kovinskima ploščama, priključenima na napetost 4 kV, če ju hočemo izolirati s polistirolom s prebojno trdnostjo 100 MV/m.

Določi prebojno napetost v ozračju med nevihto, če se je sprožila strela na razdalji 400 m pri električni poljski jakosti 16 kV/m.

Kapacitivnost

Kapacitivnost je lastnost električno prevodnih teles, da pod vplivom električne napetosti kopičijo (shranjujejo) elektrino. Kapacitivnost je večja, če pri manjši napetosti nakopičimo več elektrine. Razmerje med količino sprejete elektrine in nastalega potenciala se imenuje kapacitivnost telesa. Merilo kapacitivnosti električno prevodnih teles je elektrina na enoto napetosti, ki je povzročila naelektrjenje.

$$C = \frac{Q}{U}, \left(\frac{C}{V} = \frac{C^2}{J} = F \right)$$

Enoto za kapacitivnost imenujemo Farad (F). V praksi je to velika enota, zato uporabljamo ustrezne predpone (mili, mikro, nano in piko).

Primer: Kolikšno elektrino sprejme električna naprava s kapacitivnostjo 220 pF, če jo priključimo na enosmerno napetost 60 V? (Q=13nC)

V praksi najdemo kapacitivnost kot pozitivno in seveda tudi negativno lastnost. V elektroniki namenoma izzovemo kapacitivnost. Z njeno pomočjo spreminjamo fazni kot signala, preprečujemo enosmernim signalom napredovanje v nezaželene dele tokokroga, spreminjamo frekvenco nihajnega kroga, ... Nezaželena kapacitivnost je tista, ki povzroča izgube v napravah, pri ohmskih uporih, v navitju transformatorja, ...

⇒ **Elektrotehniški element, kateremu glavna in prevladujoča lastnost je kapacitivnost imenujemo električni kondenzator**

Simbol za električni kondenzator ponazarja njegovo zgradbo. Na tržišču najdemo različne izvedbe kondenzatorjev (folijski, elektrolitski, plastni, zračni, varicap dioda, ...)



Folijski kondenzator



Ploščati keramični kondenzator



Elektrolitski kondenzator



Kondenzator je elektrotehniški element, ki ima v naprej določeno kapacitivnost. Le ta je snovno geometrijska lastnost (podobno smo opredelili upornost vodnika ali upora).

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} [F]$$

⇒ **Kapacitivnost kondenzatorja je premo sorazmerna dielektričnosti snovi med ploščama in površini plošč ter obratno sorazmerna z razdaljo med ploščama.**

Primeri: Določi kapacitivnost kondenzatorja s površino plošč 100 cm^2 , razdaljo med ploščama $0,5 \text{ mm}$, če je med ploščama dielektrik z relativno dielektričnostjo 1000 .
(R: 177 nF)

Kolikšno površino mora imeti zračni kondenzator s kapacitivnostjo 1 F , če je debelina zračne reže $0,5 \text{ mm}$?
(R: $56,4 \text{ km}^2$)

Kondenzator s kapacitivnostjo $470 \mu\text{F}$ ima površino plošč 20 cm^2 in med ploščama dielektrik titanoksid. Določi razdaljo med ploščama kondenzatorja.

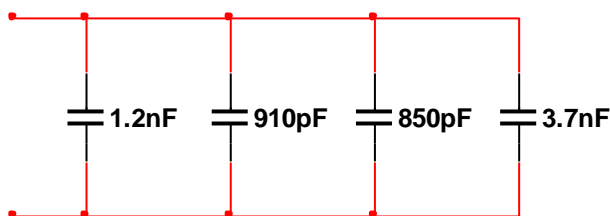
Kapacitivnost vzporedne, zaporedne in sestavljene vezave kondenzatorjev

Vzporedna vezava omogoča vsem kondenzatorjem enako napetost in se obenem povečuje elektrina, ki jo vezava lahko nakopiči. Zato je nadomestna kapacitivnost večja z večjim številom vzporedno vezanih kondenzatorjev.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

- ⇒ Nadomestna kapacitivnost vzporedne vezave je enaka vsoti kapacitivnosti posameznih vzporedno vezanih kondenzatorjev. Vzporedna vezava sprejme več elektrine, kot jo sprejme vsak posamezni kondenzator iz vezave.
- ⇒ Nadomestna kapacitivnost je večja od največje posamezne kapacitivnosti v vezavi.

Primer: Izračunaj nadomestno kapacitivnost vzporedne vezave kondenzatorjev na sliki!



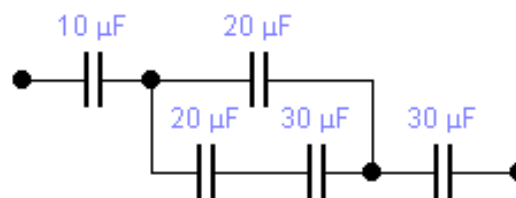
Zaporedna vezava navidezno poveča razdaljo med ploščama, zato se njena kapacitivnost zmanjša.

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

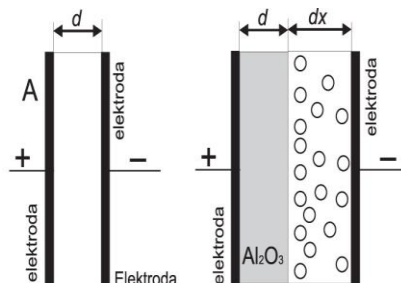
- ⇒ Nadomestna kapacitivnost zaporedne vezave kondenzatorjev je enaka obratni vrednosti vsote obratnih vrednosti kapacitivnosti posameznih zaporedno vezanih kondenzatorjev.
- ⇒ Nadomestna kapacitivnost zaporedne vezave je manjša od najmanjše kapacitivnosti zaporedno vezanih kondenzatorjev

Sestavljena vezava kondenzatorjev združuje vse lastnosti vzporedne in zaporedne vezave.

Primer: Določi kapacitivnost vezave in izračunaj koliko elektrine nakopiči pri napetosti 60V.
(R: 6,08 μF)

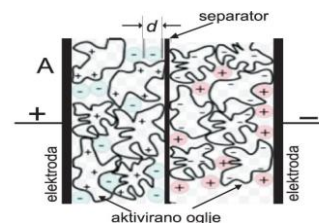


Novosti



Ultrakondenzatorji so izjemen tehnološki dosežek. Njihova uporaba bo omogočila mnoge tehnične rešitve. Poleg industrije bodo tudi amaterji lahko izkoristili mnoge možnosti pri njihovi uporabi.

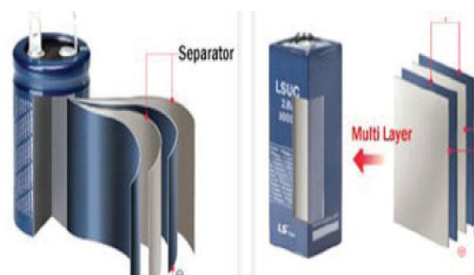
Razvoj kondenzatorjev traja že preko sto let, ki se kaže predvsem v izboljševanju lastnosti ter zmanjševanju izmer ob povečevanju kapacitivnosti. Do sedaj smo imeli po naravi dve vrsti kondenzatorjev in sicer elektrostatične

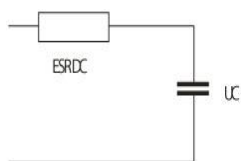


in elektrolitske. V zadnjih desetih letih so je razvila tehnologija kondenzatorjev izredno velikih kapacitivnosti, ki so tudi dobili novo ime - ultrakondenzatorji. Vzemimo klasičen nizkonapetostni elektrolitski kondenzator v usmerniku velike kapacitete 10.000 mF in ultrakondenzator primerljivih izmer, ki ima kapaciteto reda 5.000 F.

Razmerje kapacitivnosti omenjenih vzorcev kaže ob enakem volumnu ogromno prednost ultrakondenzatorja s faktorjem 500.000.

Kapacitivnosti ultrakondenzatorjev so v razponu med 5 do 5.000 F. Te so tako velike, da jih kot kondenzatorje v elektronskih vezjih skoraj ne moremo uporabljati. Kot osnovna uporaba se kaže v hranjenju električne energije. Uporabljeni so že za neprekinjeno napajanje raznih elektronskih naprav, hranjenje energije pri sončnih in vetrnih centralah ter celo pri pogonu električnih vozil.





Sedanji ultrakondenzatorji so močno omejeni z nizko maksimalno napetostjo, ki je od 2,5 do 3 V, pri čemer trenutno nič ne kaže na njeno znatno povečanje. Večje napetosti dosežemo z zaporedno vezavo več kondenzatorjev. Kondenzator kapacitivnosti 5.000 F napetosti 2,7 V omogoča hranjenje 5 Wh (vatnih ur), kar je približno primerljivo energiji dveh baterij LR6 (ca 6 Wh). Primerjavo bi lahko naredili z akumu-

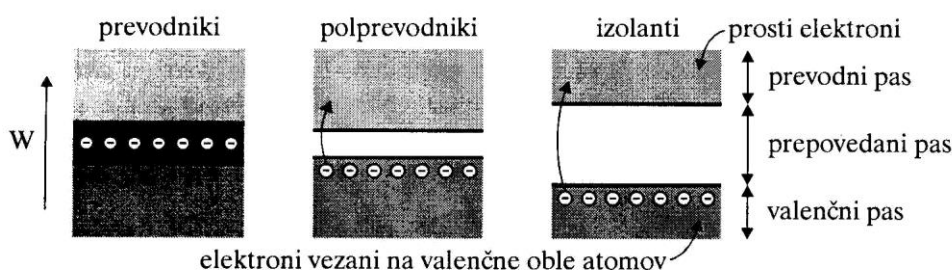
latorji in ugotovili, da ultrakondenzatorji še niso zelo konkurenčni po ceni in množini shranjene energije na kilogram teže. Ultrakondenzatorji se odlikujejo z zelo nizko notranjo upornostjo pod 1 mOhm, ker proces ne temelji na kemičnih procesih. Iz tega sledi, da lahko ultrakondenzator napolnimo in izpraznimo v nekaj sekundah pri zelo velikih močeh. Pri akumulatorjih je notranja upornost vsaj za en velikostni razred večja in tudi polnjenje traja dolgo. Omenimo lahko še njihovo ekološko sprejemljivost, ker zanje ne potrebujemo nobenih kritičnih kovin (na primer litij, nikelj,..) in jih je preprosto reciklirati, kar ne velja za večino baterij in akumulatorjev.

Industrijski razvoj ultrakondenzatorjev traja že dobro desetletje in njihove lastnosti nenehno izboljšujejo, tako, da upravičeno pričakujemo njihovo uveljavitev kot eno odločilno komponento tehničnega razvoja našega desetletja.

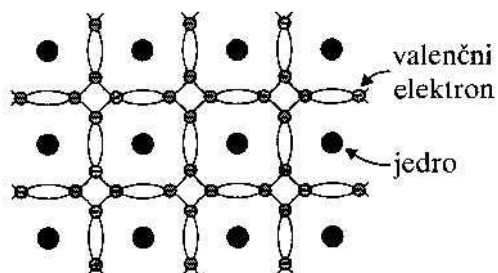
NELINEARNA ELEKTRONIKA

Polprevodniki

Prevodnost snovi je odvisna od števila gibljivih nosilcev električnega naboja ali elektrine. Število prosto gibljivih delcev je pa odvisno od širine prepovedanega pasu, ki se nahaja med prevodnim in valenčnim energijskim pasom. Prevodniki nimajo prepovedanega pasu, saj se prevodni in valenčni pas prekrivata. Pri polprevodnikih je ta pas ozek med tem, ko je pri izolantih precej širok. Širina prepovedanega pasu obenem določa potrebno ionizacijsko energijo s katero ustvarjamo gibljive nosilce elektrine



Atomi polprevodniških snovi imajo na zunanji lupini (obli) 4 elektrone. Pravimo jim štirivalentni. Ti atomi ustvarijo monokristalno strukturo, kjer so v neposredni bližini atoma še štirje sosedni atomi s katerimi si atom »posoja« elektrone iz zunanje lupine. Tako ima vsak atom v zunanji lupini 8 elektronov v štirih kovalentnih vezeh. To zagotavlja trdnost elektronov v lupinah in slabšo prevodnost pri višji temperaturi ter izolativne lastnosti pri nižjih temperaturah. Elementi, ki imajo takšne lastnosti so silicij, germanij in ogljik ter nekatere kemične spojine (GaAs, GaN, GaP,...).



Električne lastnosti čistega silicija dosežemo z dopiranjem (injiciranjem) atomov primesi, ki nimajo štirih temveč pet ali tri elektrone v zunanji lupini. Z dopiranjem pet-valentnih atomov ustvarjamo N-tip polprevodnika medtem, ko P-tip polprevodnika dobimo, če dopiramo v silicijev substrat tri-valentne atome.

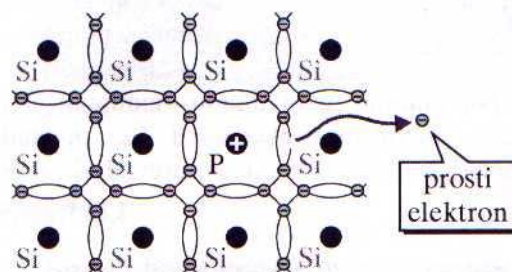
N-tip polprevodnika

15
P

33
As

51
Sb

Ko se ustvarja kristal polprevodnika, se lahko namesto atomov silicija umestijo petvalentni atomi druge snovi (primesi: fosfor, arzen, antimon). Štirje elektroni se povežejo v kovalentno vez z elektroni okoliških atomov silicija, peti pa ostane prost. Ker ima zelo majhno vezalno energijo, se zelo hitro odtrga od atoma. Več atomov primesi odda več elektronov in se s tem močno poveča prevodnost polprevodnika.



Novi prosti elektroni predstavljajo negativno elektrino. Zato ta tip polprevodnika označujemo z veliko tiskano črko **N**. Atome primesi, ki »darujejo« proste elektrone imenujemo **donorji**.

⇒ V n-tipu polprevodnika so elektroni večinski nosilci elektrine in vrzeli manjšinski nosilci elektrine.

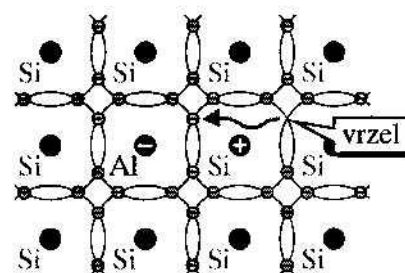
P-tip polprevodnika

13
Al

31
Ga

49
In

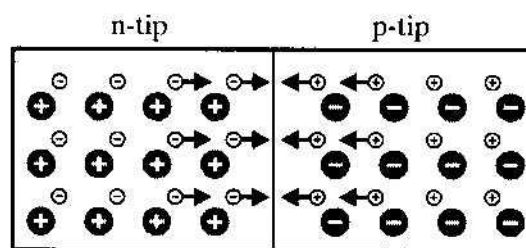
Polprevodnik tipa P ustvarimo če čistemu siliciju dopiramo trivalentne atome (aluminij, galij in indij) s samo tremi atomi v zunanji lupini. Četrti elektron silicija nima para s katerim bi ustvaril kovalentno vez. Na njegovem mestu nastane vrzel. Toda že pri sobni temperaturi to mesto zapolni prosti elektron iz okolice in se pojavi vrzel na tistem mestu od kod je elektron priletel. Na ta način se selijo vrzeli kot pozitivni nosilci elektrine. Zato ta tip polprevodnika označujemo z veliko tiskano črko **P**. Atomom primesi pravimo **akceptorji**, polprevodniku, ki jih vsebuje pa **p-tip** polprevodnika.



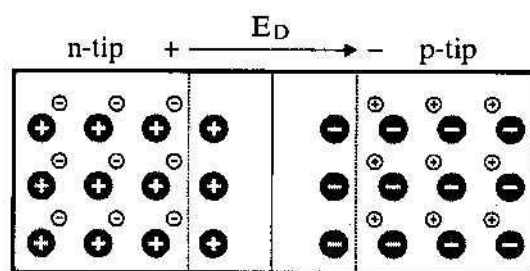
⇒ V p-tipu polprevodnika so vrzeli večinski nosilci elektrine in elektroni manjšinski nosilci elektrine.

PN spoj

Mejo med področjema z različno koncentracijo donorjev in akceptorjev imenujemo PN spoj. Ta nastane, če združimo P-tip in N-tip polprevodnika. Ko sta oba koščka polprevodnikov daleč narazen je koncentracija večinskih nosilcev elektrine enaka. V trenutku združitve pride do prestopanja vrzeli in elektronov na nasprotno stran. Na strani odtekanja elektronov ostanejo negibljivi pozitivni ioni,



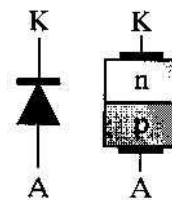
na strani odtekanja vrzeli pa negibljivi negativni ioni. To ustvari dve različno naelektreni plošči. Električno polje med njima ima takšno smer, da zavira nadaljnji pretok elektrine. Področje v katerem ni gibljivih nosilcev elektrine imenujemo **zaporna plast** (osiromašeno področje).



DIODA

Polprevodniška dioda je najstarejši polprevodniški element. Temelji na PN spoju.

Najpogosteje srečamo usmerniške diode toda, to še zdaleč ni edina vrsta diode. Slika desno prikazuje simbol in zgradbo diode.

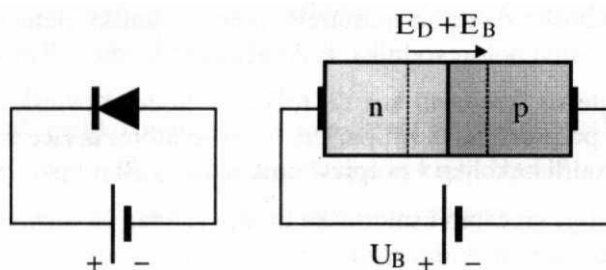


V praksi je označena katoda diode s pikico, s simbolom ali barvno črto.

Delovanje diode

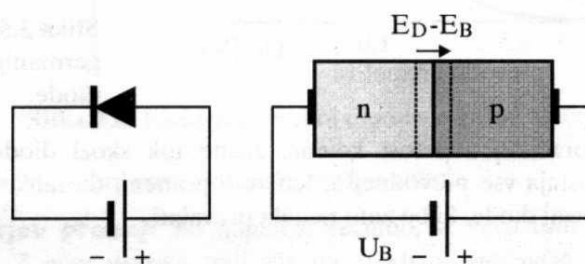
Diodo lahko ponazorimo z enosmerno ulico ki, prepušča promet samo v prevodni smeri, v zaporni smeri pa ne. Ali diodo krmilimo v zaporni ali prevodni smeri je odvisno od smeri priključene napetosti.

Če na diodo priključimo napetost tako, da je katoda na pozitivnem, anoda pa na negativnem potencialu, bo priključna napetost okrepila električno polje zaporne plasti. V tem primeru dioda ne bo dovoljevala pretoka elektrine oz. električni tokokrog bo prekinjen.



Pri zaporni priključeni napetosti vseeno teče skozi diodo majhen tok, ki je temperaturno zelo odvisen. Pravimo mu tok nasičenja.

Če anodo priključimo na pozitivno sponko vira (generatorja), katoda pa na negativno si bosta električno polje zaporne plasti in električno polje zunanega vira nasprotovali. V danem trenutku (če povečujemo napetost) se bosta obe električni polji izničili, kar pomeni, da ni več nobene ovire za pretok elektrine. Z nadaljnjim povečevanjem priključne napetosti pa se ustvarijo vsi pogoji za pretok elektrine. Zato tok skozi diodo skokovito narašča. Takšnemu priključevanju diode pravimo prevodna smer.



Tok skozi diodo začne skokovito naraščati, ko dosežemo napetost kolena. Pri germanijevih diodah je to 0,3V, pri silicijevih diodah 0,7V in pri GaAs (galijev arzenid) diodah 1,2V.

Pri delovanju diode moramo biti pozorni na priključno napetost v zaporni ali prevodni smeri, saj jo preveliki tok lahko uniči.

Lastnosti diod

Diode imajo nekaj značilnih polprevodniških lastnosti, kot so prebojna napetost, kapacitivnost, diferencialno upornost ali pa preklopne lastnosti.

Do električnega preboja diode pride če povečujemo napetost v zaporni smeri. S povečevanjem napetosti se povečuje električno polje v zaporni plasti PN spoja in s tem do polarizacije snovi. Ko snov ne zdrži več, pride do preboja in do pretoka elektronov iz N-tipa polprevodnika v P-tip polprevodnika. Dopustna maksimalna vrednost napetosti v zaporni smeri je dosti večja od dopustne maksimalne napetosti v prevodni smeri.

Do električnega preboja in s tem do uničenja diode pride lahko iz dveh vzrokov:

Zenerjev preboj: zaradi premočnega električnega polja, ki nastane kot vsota difuzijskega električnega polja in polja, ki ga ustvari generator ($E_D + E_G$) pride do trganja vezi med elektroni in jedri. Odtrgani elektroni ustvarijo prevodno pot skozi polprevodnik.

Plazovita ionizacija: če en sam elektron v gibanju, ki ga podvržemo močnemu električnemu polju, dobi zadostno hitrost (in s tem kinetično energijo) in se zaleti v mirujoči atom. Ob tem trku se sprosti energija, ki zadošča za ionizacijo atoma. Zdaj že dva atoma nadaljujeta z ionizacijo in ustvarita še dva elektrona. S vsakim trkom se število elektronov podvoji, kar pripelje do močnega porasta gibljivih nosilcev elektrine in do električnega toka v zaporni smeri.

Kapacitivnost diode se pojavi pri višjih frekvencah ali pa pri hitrih preklopih. Poznamo difuzijsko kapacitivnost in spojno kapacitivnost. **Difuzijska** kapacitivnost se pojavlja, če napetost izvora priključimo v prevodni smeri, znaša pa nekaj nF. **Spojna** kapacitivnost nastane, če napetost priključimo v zaporni smeri. Čim večja je zaporna napetost tem širše je osiromašeno področje in manjša je spojna kapacitivnost. Njena vrednost je v razredu pF.

Dioda je nelinearni element, kateremu se upornost spreminja glede na priključno napetost. Ločimo statično in dinamično (ali diferencialno) upornost. Statična upornost je razmerje med priključeno enosmerno napetostjo in enosmernim tokom, ki teče skozi diodo. Diferencialna upornost diode je enaka razmerju trenutnih vrednosti napetosti in toka.

$$r = \frac{u}{i} \quad \text{ali} \quad r = \frac{U_T}{I_D} = \frac{25mV}{I_D}$$

Primer: Izračunaj diferencialno upornost diode v prevodni smeri pri toku $I_D = 200mA$!

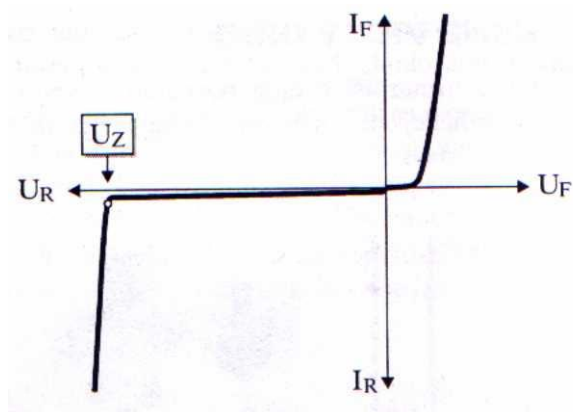
Pri naglih prehodih iz prevajanja v zaporo in obratno je zelo pomemben preklonni čas diode. Dioda ima v obeh načinih delovanja svojo kapacitivnost, ki poskrbi da tudi po preklopu teče tok še nekaj časa.

Vrste diod

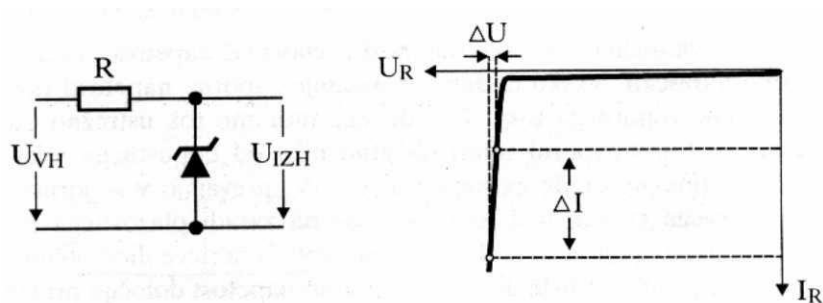
V praksi srečujemo različne vrste in izvedbe diod. Nekaj najbolj uporabljanih bomo v nadaljevanju obravnavali podrobneje.

Zenerjeva ali prebojna dioda

Uporabne so v zaporni smeri in to pri napetostih, ki presegajo prebojno napetost diode. Pri navadni diodi pomeni presežena prebojna napetost tudi njeno trajno poškodbo. To se ne zgodi pri zenerjevih diodah. Ko presežemo zenerjevo napetost začne tok v zaporni smeri hitro naraščati. Prebojne diode za napetosti do 5V izkoriščajo učinek zenerjevega preboja, nad to napetostjo pa uporabljajo učinek plazovite ionizacije.



Prebojno napetost določajo z ustreznim dopiranjem v mejah med 1,8V in 200V.



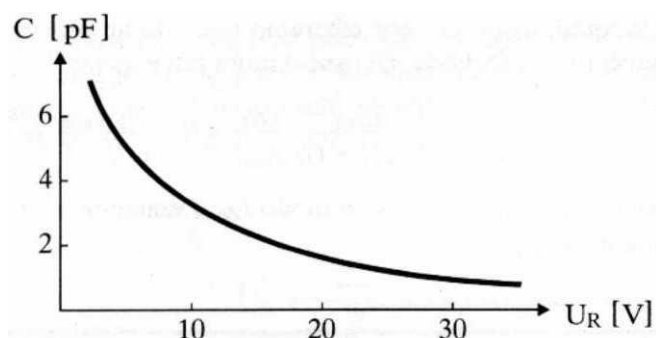
Prebojne diode najpogosteje uporabljamo za stabilizacijo napetosti. Krmiljenje je v tem primeru tudi v zaporni smeri nekaj nad zenerjevo napetostjo. Za stabilizacijo potrebujemo upor in prebojno diodo. Če se vhodna napetost U_{VH} preveč poveča, pride do preboja. Zato skozi diodo steče večji tok, kar povzroči večji padec napetosti na upor R . Na izhodnih sponkah vezja (U_{IZH}) se napetost že spet zmanjša na prvotni nivo.

Kapacitivna (varicap) dioda

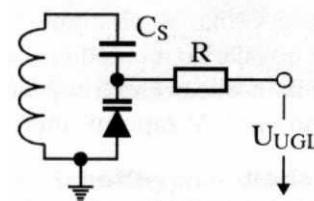


Dioda ima zaporno plast, ki vzdržuje difuzijsko električno polje E_D . To električno polje se še bolj okrepi, če na diodo priključimo napetost v zaporni smeri.

Osiromašeno področje med dvema polprevodnikoma ima vlogo dielektrika med dvema prevodnima ploščama, kar je značilno za kondenzatorje. Z višanjem napetosti v zaporni smeri se osiromašeno področje (beri dielektrik) širi oziroma se spojna kapacitivnost manjša. Vemo, da je kapacitivnost kondenzatorja obratno sorazmerna z razdaljo med ploščama. V praksi najdemo varicap diode s kapacitivnostjo 0,1 do 10pF.



Varicap diodo uporabljamo povsod tam, kjer želimo z napetostjo spreminjati kapacitivnost v vezju. Najpogosteje uporabljamo spremenljivo kapacitivnost v LC nihajnem krogu, ki služi za izbiro frekvence. Uporabne so tudi za generiranje višjih harmonskih komponent v množilnikih frekvence



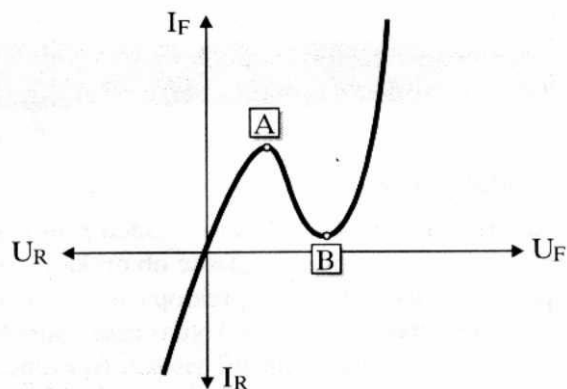
Tunelska dioda



Tunelske diode so diode z izjemno visoko dopiranimi polprevodniškima področjema, velikim številom gibljivih nosilcev elektrine in ozko zaporno plastjo. Če na diodo priključimo napetost v zaporni smeri prihaja do prehajanja (tuneliranja) nosilcev elektrine zaradi njihovega ogromnega števila. Že pri nizkih priključnih napetosti v zaporni smeri teče velik tok.

Če priključimo napetost na tunelsko diodo v prevodni smeri steče velik tok že pri majhni napetosti. Tunelska dioda nima izražene napetosti kolena. Tok narašča do določene vrednosti napetosti potem pa dioda zaide v področje negativne upornosti (točka A). Tam se pri naraščajoči napetosti tok manjša zaradi negativne upornosti (do točke B). Od točke B pa tok že spet strmo narašča.

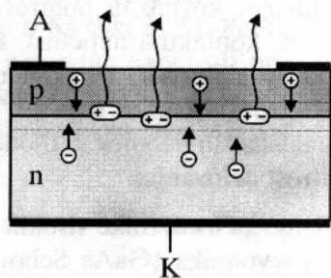
Tunelska dioda nima značilnih zapornih lastnosti, zato jo uporabljamo kot hitro stikalo. V zaporni smeri je uporabljamo pod imenom backward dioda, ker tu nima zapornih lastnosti – za detektorje, usmernike,...



Svetleča (LED) dioda



Svetleča dioda (light emitting diode) priključujemo na izvor napetosti v prevodni smeri. Dioda spreminja električno energijo v svetlobno. Večinski nosilci elektrine prehajajo preko pn-spoja in se rekombinirajo. Pri tem se vračajo iz prevodnega v valenčni pas in oddajajo energijo. Valovna dolžina oddanega valovanja je odvisna od velikosti energije, ki se med rekombinacijo sprosti. Silicij ne oddaja elektromagnetnega valovanja iz vidnega spektra. Polprevodnik GaAs oddaja infrardeče valovanje, GaAsP med valovanje med rdečo in rumeno barvo ter GaP valovanje med rdečo in zeleno barvo. Barva oddane svetlobe je odvisna od širine zaporne plasti – širša plast višja je frekvenca in nižja valovna dolžina elektromagnetne energije iz vidnega spektra. Led diode uporabljamo večinoma za kontrolne lučke, kot sestavne dele številskih prikazovalnikov ter v optičnih spojnikih (optocoupler).

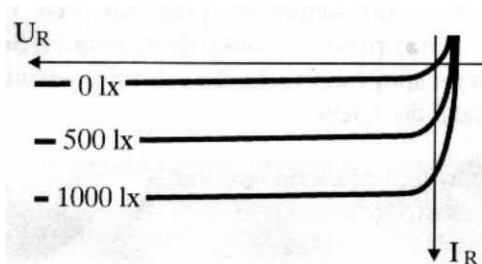


V novejšem času je uporaba LED diod razširjena na razsvetljavo (žarometi v avtomobilski industriji, dekorativna razsvetljava, razsvetljava bivalnih prostorov).

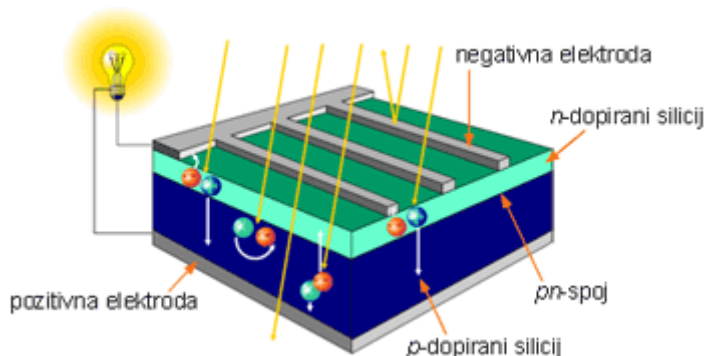
Fotodioda



Z osvetlitvijo PN-spoja dovedemo zadostno količino energije nekaterim elektronom. Le ti preskočijo iz valenčnega v prevodni pas in ustvarijo električni tok v zaporni smeri. Difuzijski tok ni velik, toda zadosten je da z njim vklopimo kakšno drugo vezje. Najpogosteje so v rabi silicijeve fotodiode, ker imajo večjo površino PN-spoja (zaporne plasti). Navzven jih ločimo po odprtini skozi katero prihaja svetloba.



Podobno fotodiodi deluje tudi sončna celica. Zaradi električnega polja, ki vlada v zaporni plasti, stečejo elektroni, ki se v tem področju odtrgajo iz valenčnega pasu v N-tip polprevodnika. Prav tako stečejo vrzeli v P-tip polprevodnika. To povzroči negativen električni potencial na katodi in pozitiven potencial na anodi. Če sklenemo preko bremena tokokrog steče električni tok. Sončna celica je narejena tako, da je njen PN spoj čim večji. Zaseda celotno površino celice v dolžini 5 do 7,5 cm.



Sončna celica (tudi **fotovoltaična celica**) je naprava, ki sončne fotone (sončno energijo) s pomočjo elektronov pretvori v električno energijo. Sončna celica je zgrajena iz tankih plasti P in N tipa polprevodnika. N tip dobijo tako, da v čisti silicijev kristal dodajo primesi (1:106) 5-valentnih elementov (As, P ali Sb). P tip pa tako, da v čisti silicijev kristal dodajo primesi 3-valentnih elementov, najpogosteje indija).

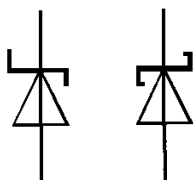
Ena od teh plasti – običajno N je debela okoli 0,5 mm, druga pa le nekaj μm . Ob stiku obeh plasti nastane tako imenovana potencialna baterija (prepovedano območje). Prevodniški elektroni in vrzeli se namreč gibljejo in ob meji prehajajo tudi na drugo stran. Prej je bila snov električno nevtralna zdaj pa je zaradi gibljivih nabojev, ki so odsotni na elektrena in ozek pas ob meji je na strani P negativen na strani N pa pozitiven. Med njima je nastalo električno polje. Zato da lahko fotoni prederjo prepovedano območje, kjer izbijajo vezane elektrone, mora biti plast zelo tanka. Tako se med plastema pojavi napetost – dobili smo generator napetosti, ki sončno svetlobo direktno spremeni v elektriko.



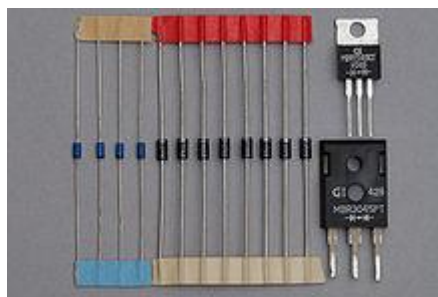
Schottkyjeva dioda

Sestavljena je iz spoja med kovino in N-tipom polprevodnika. Takšen spoj se zaradi različne koncentracije elektronov obnaša podobno kot PN-spoj. Zaporna plast je tanka, ker pa prevladujejo sami elektroni, je hitrost delovanja velika. Schottkyjevo diodo uporabljamo v vezjih, kjer so potrebni zelo hitri preklopi in majhno koleno v prevodni smeri ($< 0,5\text{V}$). Imajo visoke prebojne napetosti ($U_{\text{rm}} > 800\text{V}$). Uporabljajo se v digitalnih integriranih vezjih – Schottky tehnologija.

Simbol Schottkyjeve diode:



Praktični primeri:



Laserska dioda

Laserske diode spuščajo ozek snop svetlobe – laser skozi odprtino ohišja. Obstaja zelo velika nevarnost oslepitve, če je žarek usmerjen v oči!!!



Pri tej laserski diodi gre za ALGaInP lasersko diodo z indeksno valovno dolžino, z nizkim pragovnim in obratovalnim tokom. Laserska dioda je zaprta v standardnem 5,6 mm ohišju.

Področja uporabe: - optični informacijski sistemi,
- kazalci snemalnih naprav (EC kamera),
- merilna tehnika,
- telekomunikacije, prenos informacij s svetlobo po optičnih kabljih.

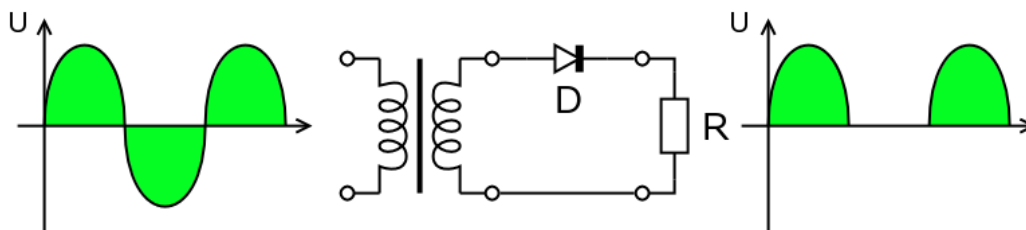
Usmerniki z diodami

Diode so zelo primerni elementi za gradnjo usmerniških vezij. Primarna lastnost diode je prevajanje električnega toka samo v eno smer. Ker tok usmerjajo jim pravimo usmerniške diode. Poznamo polvalne in polnovalne diodne usmernike.

Polvalni usmerniki

Dioda prepušča tok samo v eno smer. Na izhodnih sponkah ne dobimo izmenične napetosti temveč samo polperiode v prevodni smeri diode. Ker ni izmenjevanja polaritete (spreminjanja smeri), pravimo, da je napetost usmerjena, čeprav valovi. Pri tem govorimo največkrat o efektivni vrednosti U . Pri usmerjeni napetosti pa nas zanima tudi srednja vrednost napetosti U_{SR} . Pri polvalnem usmerjanju dobimo srednjo vrednost iz maksimalne po naslednji enačbi:

$$U_{SR} = \frac{U_M}{\pi}$$



Primer: Izračunaj vrednost enosmerne napetosti na izhodu polvalnega usmernika, če je na izhodu iz transformatorja efektivna vrednost izmenične napetosti 12 V! Kakšno zaporno napetost U_M mora zdržati dioda?

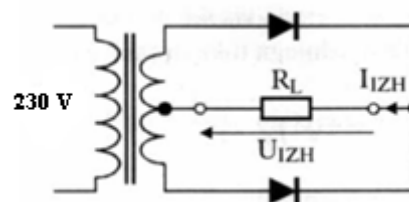
Polnovalni usmerniki

Polnovalni usmerniki izkoriščajo obe polperiodi izmeničnega signala – pozitivno in negativno. Zato je izkoristek takšnega usmerjanja dvakrat večji, pa tudi utripanje usmerjene napetosti je manjše. Poznamo dva polnovalna principa usmerjanja:

- polnovalno usmerjanje s transformatorjem s sredinskim odcepom,
- mostično polnovalno usmerjanje.

Polnovalni usmerniki z odcepom

Ideja je v tem da vsaka polperioda ima svojo tirnico tako, da tok pride do porabnika preko iste vhodne sponke. V tem primeru je na porabniku dvakrat večja vrednost srednje napetosti U_{SR} kot v primeru polvalnega usmerjanja. Seveda moramo upoštevati polovično vrednost maksimalne napetosti U_{MP} .

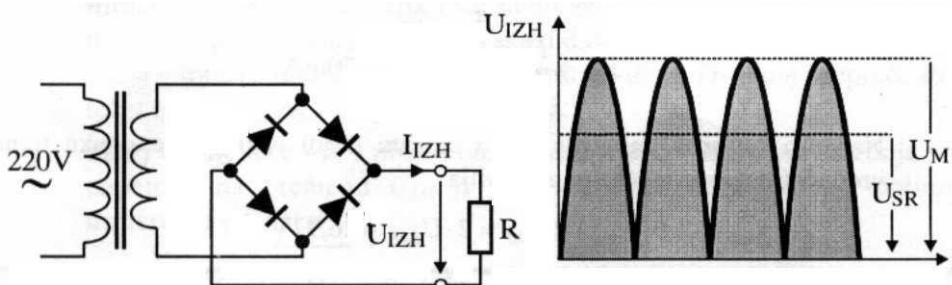


$$U_{SR} = 2 \frac{U_{MP}}{\pi} [V] \quad \text{ali} \quad U_{SR} = \frac{U_M}{\pi} [V]$$

Primer: Kolikšno napetost mora imeti sekundarno navitje transformatorja s sredinskim odcepom, da bo na izhodu polnovalnega usmernika $U_{SR}=12V$? Kakšne napetosti morata vzdržati diodi? (R:26,6 V;37,7 V)

Mostično polnovalno usmerjanje

Z mostičnim polnovalnim usmernikom dosežemo polnovalno usmerjanje brez uporabe sredinskega odcepa na transformatorju. Sestavljen je iz štirih usmerniških diod, vezanih v mostično vezje ali (Gretzovo vezje) kot kaže slika



Delovanje lahko spremljamo v dveh delih. Prvič bo polariteta napajalne napetosti taka, da bo tok tekel skozi lihi diodi (1 in 3). Drugič se bo polariteta zamenjala in bo napajalna napetost poganjala tok skozi diodi 2 in 4. Ne glede na smer napajalne napetosti bo tok skozi porabnik vedno tekel v isti smeri. Spreminjal bo edino velikost.

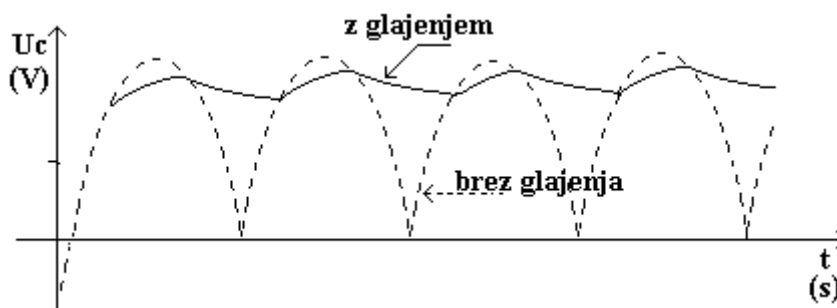
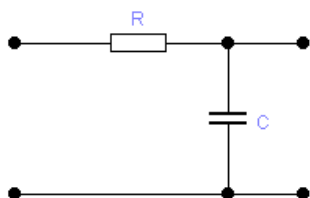
$$U_{SR} = 2 \frac{U_M}{\pi}$$

Napetost na izhodu mostičnega usmernika je podobna napetosti na usmerniku z odcepom le, da sedaj upoštevamo maksimalno napetost v celoti in ne več polovično.

Primer: Izračunaj napetost in tok na bremenu polnovalnega mostičnega usmernika, ki je obremenjen z uporom 20Ω . Kolikšno zaporno napetost morajo zdržati diode? Napajalna napetost je $220V/12V$.
(R:10,8V;540mA;16,97V)

Glajenje napetosti in valovitost

Usmernik izmenično napetost samo usmeri. To pomeni, da sedaj signal ne spreminja smeri, zato pa spreminja svojo velikost od nič do maksimalne vrednosti. Zato je potrebno to napetost zgladiti. V ta namen uporabljamo RC člen. V času ko je napetost iz usmernika večja od napetosti



na kondenzatorju je na izhodnih sponkah napetost, ki jo vsiljuje usmernik. Ko napetost iz usmernika začne upadati se kondenzator prazni in vzdržuje napetost v določenih mejah. Kako hitro se kondenzator polni ali prazni je odvisno od časovne konstante RC vezja.

$$\tau = R \cdot C$$

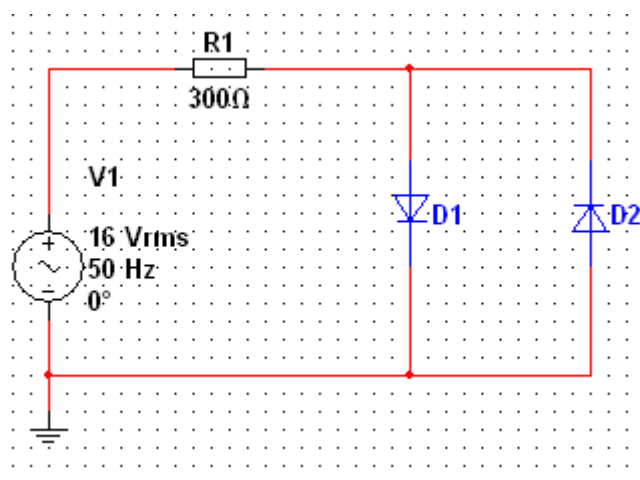
Ta mora biti pravilno izbrana. Če je prevelika, se kondenzator počasi prazni in s tem vzdržuje napetost toda, se kondenzator v času naraščanja napetosti ne uspe napolniti (naelektriti). Če je časovna konstanta majhna se sicer kondenzator hitro napolni toda, tudi hitro izprazni. Lahko pa namesto upora postavimo diodo, ki ima majhno diferencialno upornost v primerjavi z upornostjo bremena.

Primer: Izračunaj kapacitivnost kondenzatorja C, da bo časovna konstanta RC vezja 7 ms pri upornosti 200Ω .
(R:35 μ F)

Diode pri omejevanju napetosti

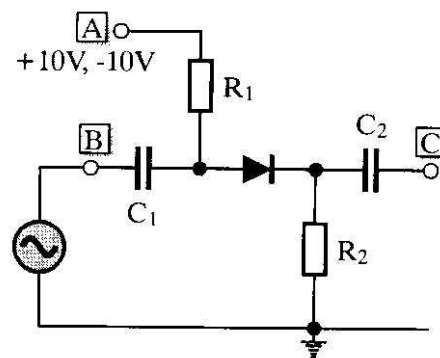
Do poškodbe in uničenja vezja lahko pride zaradi napačne (pri enosmernih napetostih) priključitve, inducirane napetosti v vodih ali praznjenja kondenzatorja. Z ustrezno vezavo diod lahko to preprečimo.

Kot kaže slika desno je napetost izvora omejena na $\pm 0,7\text{V}$ pri silicijevih diodah ali $\pm 0,3\text{V}$ pri germanijevih diodah. Z zaporedno vezavo enosmernih izvorov k diodam lahko spreminjamo zgornjo in spodnjo mejo omejitve.



Dioda kot analogno stikalo

Diodo lahko uporabimo tudi kot stikalo za izmenične signale. Če je signal dovolj majhen, ga bo dioda spustila samo takrat, kadar bo nanjo pritisnjena enosmerna napetost v prevodni smeri. Dioda, ki opravljajo funkcijo krmljenja imenujemo signalne diode.



Preizkušanje diod

Delovanje diode preizkušamo z digitalnim merilnikom. Preklopnik za izbiro meritev postavimo na merilno območje označeno s simbolom diode. Če diodo vežemo v prevodni smeri (plus na anodi in minus na katodi) se na zaslonu izpiše vrednost med 500 in 800 mV (ali med 0,5 in 0,8 V) za silicijevo diodo oziroma okrog 0,2 V (ali 200 mV) za germanijevo diodo.

Kadar diodo priključimo v zaporni smeri se na prikazovalniku digitalnega merilnega instrumenta pokaže oznaka "1."

Tudi z analognim merilnim instrumentom se da na podoben način preizkusiti diodo. Če merilni instrument nima posebnega merilnega področja, uporabimo področje za merjenje upornosti.

Označevanje diod

Poznamo dva načina označevanja diod:

- evropski način označevanja temelji na oznaki skupine črk (dveh ali treh črk) in skupine številke (dveh ali treh številke). Prva črkovna oznaka opredeljuje osnovni substrat (črka A pomeni germanij, črka B pomeni silicij). Druga črka označuje vrsto diode po uporabnosti (Y za usmerniške diode, Z za zenerjeve diode, P za foto diode, Q za LED diode, A za hitro stikalo). Trimestna številka, ki sledi črkam je zaporedna številka brez posebnega pomena. Izjema so zenerjeve diode, pri katerih številka pomeni enosmerno prebojno napetost v mV.
- ameriški način označevanja diod temelji na oznaki 1N, ki se uporablja pri skoraj vseh diodah. Tej oznaki sledi zaporedna številka.



Naloga 1: Pojasni pomen oznak za diode BY627, AA143 (desno zgoraj), BAT82, BAL74, BYF284 (desno spodaj), PBY264.



Naloga 2: Poišči nekaj silicijevih diod in navedi ter pojasni njihove oznake!

Naloga 3: Poišči nekaj germanijevih diod in navedi ter pojasni njihove oznake!

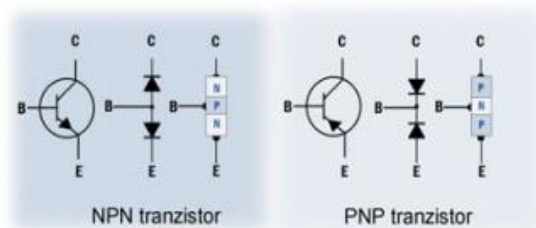
Naloga 4: Poišči merilni instrument za preverjanje diod in pojasni njegovo delovanje

TRANZISTOR

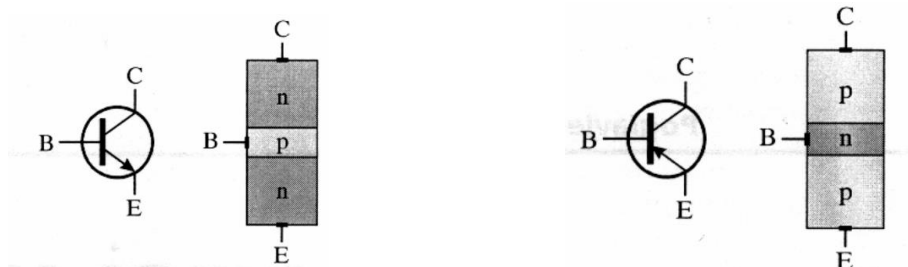
Leta 1947 sta ameriška fizika Bardeen in Brattain razvila polprevodniški element, ki ima tri izmenično različne plasti polprevodnika. Krajše, razvila sta tranzistor. Osnovna lastnost tega elementa je, da je tok skozi prvi PN spoj, ki je priključen v zaporni smeri odvisen od toka skozi drugi PN spoj, ki je priključen v prevodni smeri. Tok v slednjem je lahko dosti manjši od toka skozi prvi PN spoj.

Bipolarni tranzistor

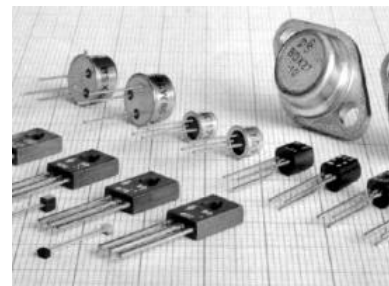
Bipolarni tranzistor (polno ime: bipolar junction transistor s kratico BJT) dobimo z združitvijo treh plasti polprevodnika. Pri dveh tipih polprevodnikov dobimo tudi dve možni izvedbi bipolarnega tranzistorja. Na vsako plast polprevodnika je pritrjena po ena priključna sponka. Zato ima tranzistor 3 priključne sponke, ki jih imenujemo emitor (E), baza (B) in kolektor (C). S smerjo puščice na emitorju ločimo tudi simbola *pnp* in *nnp* tranzistorja. Prvemu je puščica obrnjena proti elementu, drugemu pa stran od elementa.



⇒ Poznamo dve izvedbi bipolarnih tranzistorjev: *pnp* in *nnp*



Tranzistor je zaprt v ohišje različnih oblik in izvedb. Poznamo plastična in kovinska ohišja, okrogla in ploščata. Pri močnejših tranzistorjih je ohišje oblikovano tako, da se nanj lahko pritrdi hladilno telo, ki preprečuje pregrevanje tranzistorja.

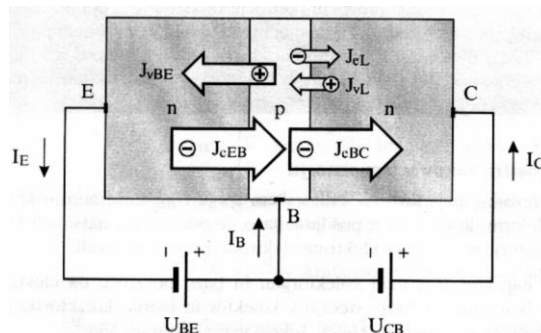


Primarna funkcija tranzistorja je odvisna od področja uporabe. V elektroniki je to ojačenje signala na vhodu. V digitalni tehniki ga uporabljamo najpogosteje kot stikalo ali pa kot negator.

Delovanje bipolarnega tranzistorja

Tranzistor je aktiven takrat ko je emitorski spoj priključen v prevodni smeri, kolektorski pa v zaporni smeri. Le takrat elektrina, ki steče iz emitorja v bazo, nadaljuje svojo pot v kolektor, ker jih privleče zaporno priključena napetost kolektorskega spoja.

Glede na tri priključne sponke poznamo tudi tri tokove (I_B - bazni tok, I_E - emitorski tok in I_C - kolektorski tok) in tri napetosti (U_{BE} - napetost med bazo in emitorjem, U_{CE} - napetost med kolektorjem in emitorjem ter U_{CB} - napetost med kolektorjem in bazo).



Tranzistor lahko obračamo glede na izbiro skupne sponke. Ojačevalnik ima dve vhodni sponki in dve izhodni sponki, tranzistor pa ima tri priključne sponke. Zato je ena sponka skupna za vhod in izhod. Možne so tri orientacije:

- orientacija s skupno bazo
- orientacija s skupnim emitorjem in
- orientacija s skupnim kolektorjem

Najpogosteje je v uporabi orientacija s skupnim emitorjem. Takrat je razmerje tokov (po 1. Kirchhoffovem zakonu):

$$I_E = I_B + I_C [A]$$

Ko govorimo o ojačenju tranzistorja, predvsem imamo v mislih tokovno ojačenje oziroma razmerje med izhodnim in vhodnim tokom. V orientaciji s skupnim emitorjem je izhodni tok kolektorski, vhodni pa bazni tok. Faktor β je kratkostični tokovni ojačevalni faktor med izhodom in vhomom, faktor α pa je kratkostični ojačevalni faktor med izhodno in skupno sponko.

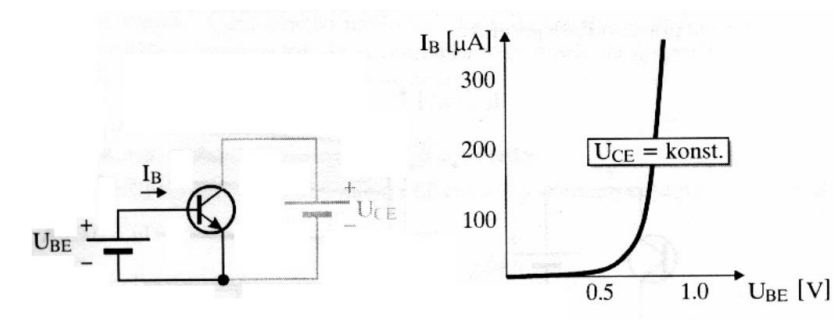
$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \qquad \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Faktor tokovnega ojačenja β se razlikuje od tranzistorja do tranzistorja (tudi dva tranzistorja istega tipa nimata enakega faktorja). V praksi se srečujemo z vrednostmi okrog 100.

- Primeri:** Izračunaj tokova I_C , I_B ter faktor β če sta $I_E=10\text{mA}$ in $\alpha=0,99!$ Tranzistor je v orientaciji s skupnim emitorjem. (9,9 mA; 0,1 mA; 99)
- Izračunaj tok I_B ter faktorja α in β , če sta tokova $I_C=15\text{mA}$ in $I_E=15,2\text{mA}$! (0,2 mA; 0,0987; 75)
- Kolektorski tok je 36 mA, tokovno ojačenje β ima vrednost 98. Izračunaj velikost baznega in emitorskega toka ter vrednost tokovnega ojačenja α . (367 μA ; 36,4 mA)

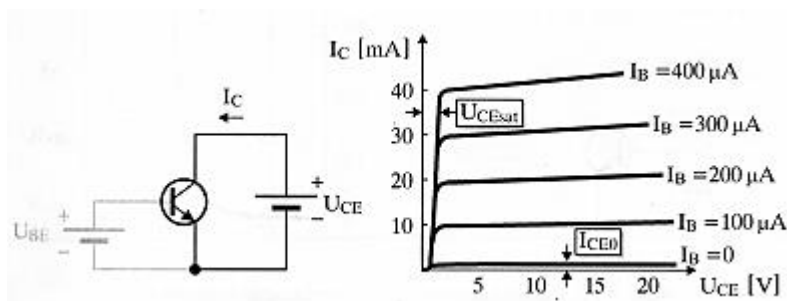
Vhodna karakteristika bipolarnega tranzistorja

Izberimo NPN tranzistor v orientaciji s skupnim emitorjem. Na vohodu je PN spoj krmiljen v prevodno smer, zato je UI karakteristika podobna karakteristiki diode. V tem primeru je vhodna napetost U_{BE} vhodni tok pa I_B .



Izhodna karakteristika bipolarnega tranzistorja

S pomočjo izhodne karakteristike ugotavljamo odvisnost izhodnega, kolektorskega toka I_C od izhodne napetosti U_{CE} . Dejansko pa je izhodni tok odvisen od baznega toka I_B kar je razvidno iz izhodne karakteristike.



Iz izhodne karakteristike je razvidno, da je izhodni tok I_C za približno 100-krat večji izhodni tok od vhodnega. Razlog je seveda ojačenje.

Ojačenje tranzistorja

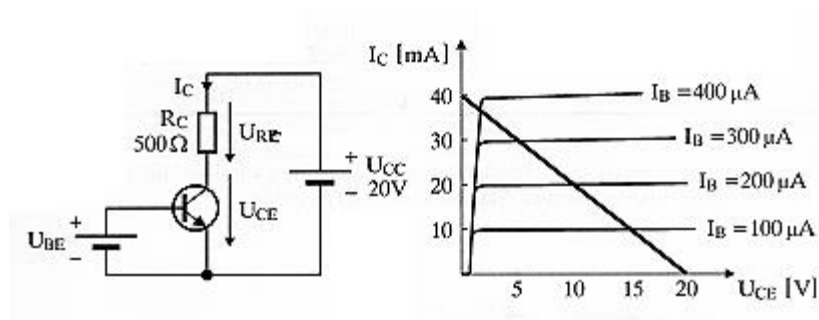
Pri tranzistorju poznamo tokovno in napetostno ojačenje. Obe ojačenji sta tudi odvisni od orientacije. Tokovno ojačenje v orientaciji s skupnim emitorjem računamo po enačbi:

$$A_I = \frac{i_{IZH}}{i_{VH}} = \frac{i_C}{i_B} = h_{fe}$$

Podobno tokovnemu, tudi napetostno ojačenje računamo kot razmerje izhodne in vhodne napetosti: $A_U = \frac{u_{IZH}}{u_{VH}}$.

Delovna premica in delovna točka

Na izhod tranzistorja priključimo breme, ki je lahko navaden ohmski upor, vhod naslednje oja-



čevalne stopnje, rele in podobno. Ko na izhodni strani priključimo breme, bo kolektorski tok I_C na njem ustvaril padec napetosti. Če bo tranzistor bolj odprt, bo lahko tekel večji tok in na bremenu bo manjši padec napetosti. Če tranzistor zapiramo, se bo izhodni tok manjšal s tem pa tudi padec napetosti na bremenu. Krivuljo po kateri se spreminja tok skozi breme lahko vrišemo v izhodno karakteristiko tranzistorja.

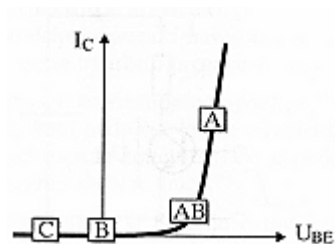
Če spreminjamo breme oz. njegovo upornost, potem se spreminja tudi nagib delovne premice. Vsem premicam je skupna samo točka na abscisni osi oziroma, ko je tranzistor zaprt.

Po delovni premici se premika delovna točka tranzistorja. Le ta definira vrednost toka in napetosti na tranzistorju, ko na vhodu ni nobenega signala.

Razredi ojačenja

Tranzistor v orientaciji s skupnim emitorjem lahko koristimo kot ojačevalnik. Poznamo štiri razrede ojačenja: A, AB, B in C razred ojačenja.

V razredu A je delovna točka vhodnega dela postavljena v linearnem delu vhodne karakteristike, toda ojačenje ni preveliko. V razredu AB je delovna točka spuščena v koleno vhodne karakteristike v prevodni smeri. V tem primeru je ojačenje že večje toda negati-

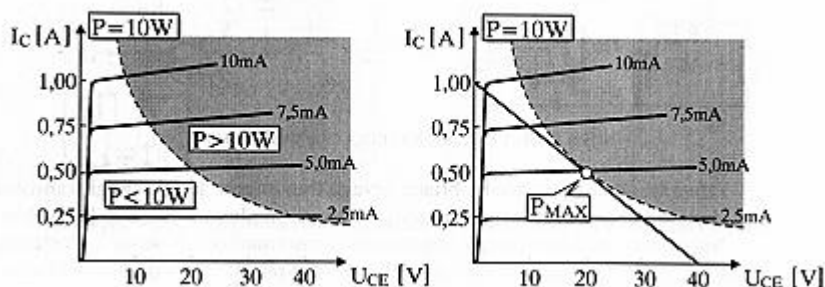


vna polperioda je popačena. V razredu B je delovna točka postavljena v koordinatno izhodišče, kar ojačenje še okrepi, toda tudi popačenja. Največjega ojačenja (pa tudi popačenja) je zmožen razred C, ki postavi delovno točko v zaporni smeri vhodne karakteristike.

Močnostni ojačevalnik

Močnostni ojačevalniki so ojačevalniki z veliko močjo na izhodu ter z velikimi signali, ki so blizu izkrmiljenju (izhodni signal ima največjo možno amplitudo). V takšni situaciji postanejo najpomembnejši dejavniki:

- največji dopustni tok
- prebojne napetosti spojev
- omejitve moči zaradi segrevanja



Izgubno električno moč vrišemo v izhodno karakteristiko kot krivuljo $P = U_{CE} \cdot I_C$.

V osenčenem področju je moč večja od dovoljene. Če se delovna točka nahaja v osenčenem področju se tranzistor prekomerno segreva in ga lahko poškodujemo.

Pomemben podatek pri močnostnih tranzistorjih je **izkoristek ojačenja moči**.

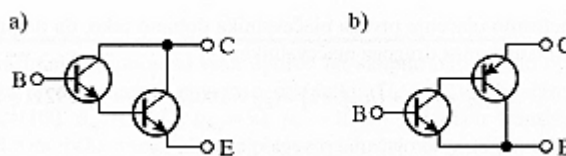
Definiran je kot razmerje med koristno močjo na bremenu in srednjo močjo, ki jo proizvaja vir napajanja. Pove nam, koliko električne moči, ki jo mora proizvajati generator, porabi breme.

$$\eta = \frac{P_B}{P_G}$$

Pri največjem možnem teoretičnem izkrmiljenju, kjer ima izhodni signal amplitudo od 0 V od U_{CC} , dobi breme samo 25% moči. Ostala moč se porablja na tranzistorju za njegovo segrevanje. Zato lega delovne točke na sredini delovne premice ni najbolj primerna za močnostne ojačevalnike.

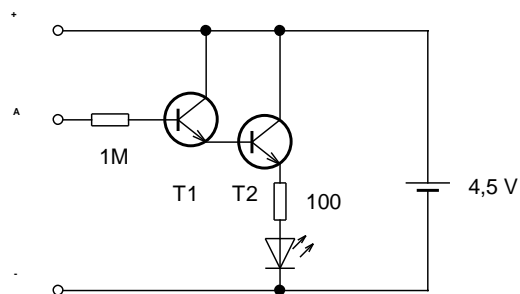
V praksi poznamo tudi močnostne integrirane ojačevalnike, ki so sestavljena iz več stopenj z večjim številom tranzistorjev. Tovarniško so že opremljeni s ploščico za pritrditev hladilnih reber za hitrejše hlajenje.

Povezava dveh tranzistorjev v kaskado je tudi priljubljena v praksi. Imenujemo jo Darlingtonovo vezje. Skupno ojačenje obeh tranzistorjev je enako zmnožku posameznih ojačenj.



$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$$

Če v kaskado vežemo dva tranzistorja z ojačenjem 100, dobimo skupno ojačenje 10000.



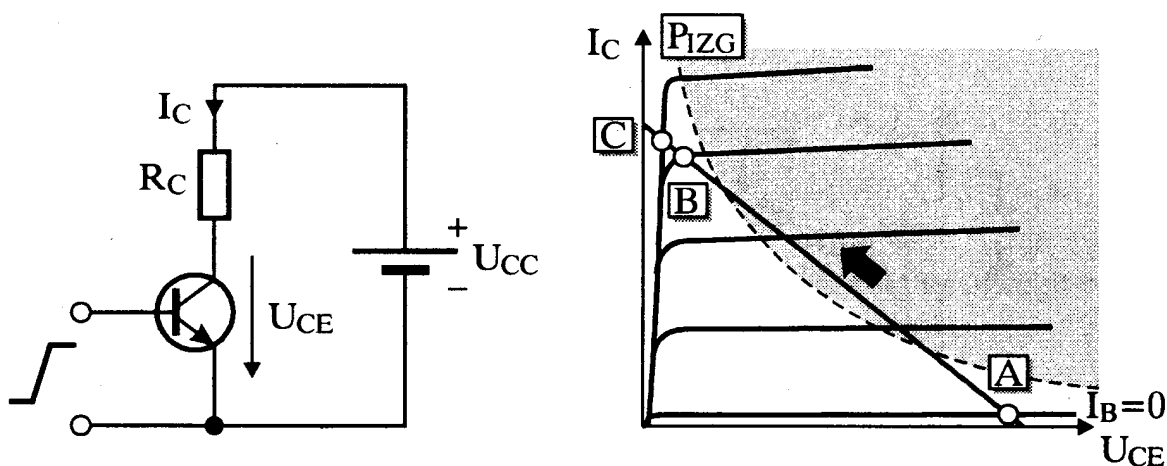
Tranzistor z oznako BC547C je primeren za to vezje. Črka C pomeni največje ojačenje toka – okrog 500.)

Tranzistor kot stikalo

Tranzistor uporabljamo pogosto tudi v digitalni tehniki kot preklopno stikalo z dvema stacionarnima stanjema: odprto in zaprto stanje. Pri tem sta zelo pomembna dva podatka:

- poraba moči pri preklopu in
- preklopni čas.

Poraba električne moči je v obeh stacionarnih stanjih zelo majhna. Ko je tranzistor zaprt, je vsa napajalna napetost med kolektorjem in emitorjem. Zato je kolektorski tok zanemarljiv. Ko pa tranzistor prevaja, je kolektorski tok skozenj maksimalen, padec napetosti pa približno enak napetosti nasičenja oz. zelo majhen. Največ moči porabi tranzistor ob prehodu iz enega stacio-



arnega stanja v drugo oz. na sredini delovne premice, ker tam delovna premica seka območje največje dopustne izgubne moči P_{IZG} .

Unipolarni tranzistor

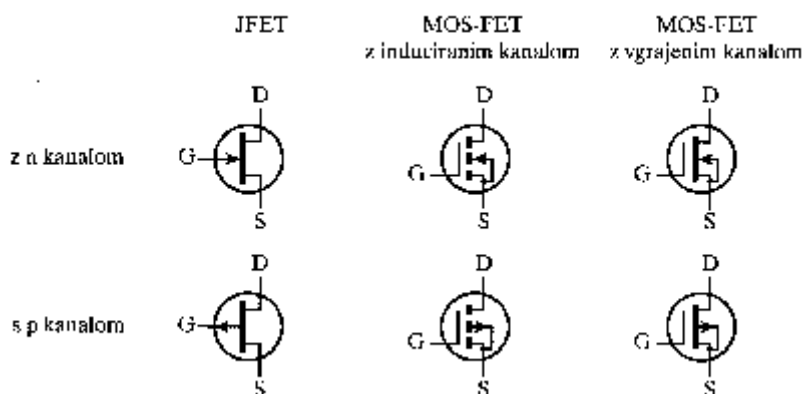


Imenujemo jih tudi tranzistorji z učinkom električnega polja (FET – field effect transistor). Beseda unipolarni zaznamuje električni tok, ki je sestavljen le iz večinskih nosilcev elektrine. Ta tok teče skozi polprevodniški kanal, ki ima dva priključka: izvor S (source) in ponor D (drain). Vhodni priključek s katerim krmilimo tok skozi tranzistor imenujemo vrata G (gate).

Poznamo dve izvedbi FET tranzistorja:

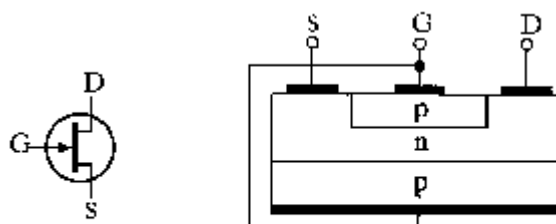
- Spojni fet (JFET – junction FET),
- FET z izoliranimi vrati (IGFET – insulated gate FET)

Slednjega pogosteje imenujemo MOSFET (metal-oksidi-polprevodnik FET), poznamo pa jih v izvedbi z induciranim in vgrajenim kanalom.

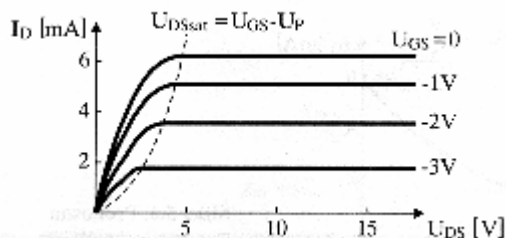
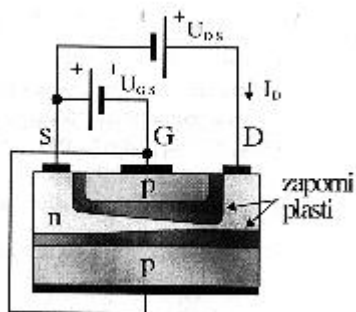


Spojni tranzistor z učinkom električnega polja (JFET)

Tranzistor sestoji iz kanala zgrajenega iz P ali N tipa polprevodnika, ki je nameščen v nasprotni tip polprevodnika. Če na vходу ni priključene napetosti je tranzistor 'odprt'. Z večjo negativno napetostjo (zaporna napetost) na vходу tranzistorja se prevodni kanal zožuje, njegova upornost narašča in s tem preprečuje pretok elektrine (električni



tok) od izvora proti ponoru. Napetost U_{DS} na izhodu iz tranzistorja priključimo v prevodni smeri. Naraščanje te napetosti tudi povzroča zoževanje kanala. V enem trenutku se kanal zadrigne in izhodni tok I_D neha naraščati. V bistvu je delovanje tega tranzistorja nasprotje delovanju bipolarnega tranzistorja, ki je odpiralni med tem, ko je unipolarni zapiralni tranzistor.



Napetost U_{DSat} predstavlja mejo nasičenja (zadrgnitve). Levo od te meje izkoriščamo spremenljivo upornost, desno pa ojačenje tranzistorja. Tudi JFET uporabljamo v treh različnih orientacijah: s skupnim izvorom, s skupnim ponorom ter s skupnimi vrata. Če kratko sklenemo vrta in izvor JFET tranzistorja, bo le ta deloval kot dioda.

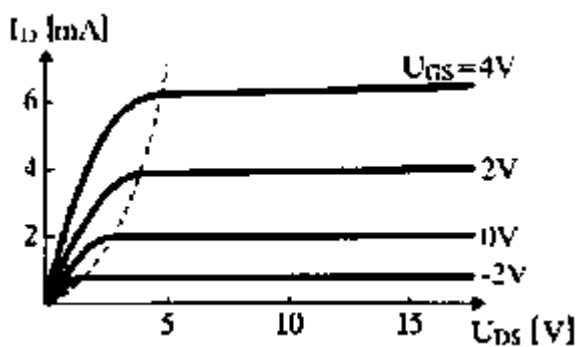
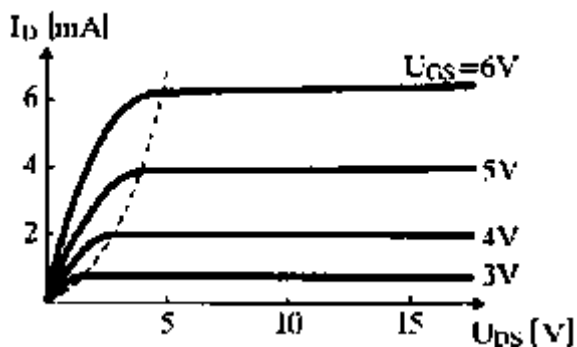
MOSFET tranzistor

Dodatek MOS k imenu tranzistorja izvira iz zgradbe G (vrata) priključne sponke (metal- oxyd-semiconductor). Kovinska priključna sponka je narejena iz Aluminija, pod njo je plast Silicijevega dioksida SiO_2 potem pa še polprevodnik. Ta oblika zagotavlja kapacitivne lastnosti tega priključka. Ko MOS kondenzator priključimo na električno napetost, se pojavi električno polje, ki privabi negativno elektrino pod plast oksida.

Po načinu delovanja razlikujemo dva tipa MOSFET tranzistorjev:

- MOSFET z induciranim kanalom
- MOSFET z vgrajenim kanalom

Zgradba vhodnega priključka določa zelo visoko vhodno upornost (10^{12} do $10^{14} \Omega$). Tanka plast dielektrika ima svojo slabo lastnost – statična elektrika je zelo nevarna za tranzistor. Že statična elektrika roke je lahko usodna za delovanje teh tranzistorjev. Po delovanju je MOSFET z induciranim kanalom bolj podoben delovanju bipolarnemu kot unipolarnemu tranzistorju med tem, ko je MOSFET z vgrajenim kanalom nekje vmes.



Označevanje tranzistorjev

Poznamo dva načina označevanja tranzistorjev:

- **evropski način** označevanja temelji na oznaki skupine črk (dveh ali treh črk) in skupine števil (dveh ali treh števil). Prva črkovna oznaka opredeljuje osnovni substrat (črka A pomeni germanij, črka B pomeni silicij). Druga črka označuje glavno funkcijo oziroma funkcionalnost (C – nizkofrekvenčni tranzistor majhne moči; D – nizkofrekvenčni močnosni tranzistor; F – visokofrekvenčni tranzistor in drugo). Trimestna številka, ki sledi črkam je zaporedna številka brez posebnega pomena. Včasih se oznaka konča z dodatno črko, ki označuje posebno lastnost: ojačenje, šumno število (primer: BC107B).
- **ameriški način** označevanja diod temelji na oznaki 2N, ki se uporablja pri skoraj vseh tranzistorjih. Tej oznaki sledi zaporedna številka (primer: 2N3055).

Primer 1:



BFG135A
NPN 15V 150mA $f=2\text{GHz}$
SOT223

Primer 2:



BF199
NPN TV ZF 550MHz
TO92



Primer 3:



BC141/16
NPN-60V 1A
TO39

Preizkušanje tranzistorjev

Tranzistorje najenostavneje preizkušamo z digitalnim instrumentom na merilnem območju za preizkušanje diod in s pomočjo priročnih tabel:

Merjenje PNP tranzistorja		
Potencial sponke	Prikaz instrumenta	Komentar
-B, +C	.500-.800	prepustna smer
-B, +E	.500-.800	prepustna smer
+B, -E	1.	neprepustna smer
+B, -C	1.	neprepustna smer
-C, +E	1.	neprepustna smer
+C, -E	1.	neprepustna smer

Merjenje NPN tranzistorja		
Potencial sponke	Prikaz instrumenta	Komentar
+B, -C	.500-.800	prepustna smer
+B, -E	.500-.800	prepustna smer
-B, +E	1.	neprepustna smer
-B, +C	1.	neprepustna smer
-C, +E	1.	neprepustna smer
+C, -E	1.	neprepustna smer

MAGNETNO POLJE

Magneti so telesa, ki privlačijo nekatere snovi kot so železo, kobalt, nikelj in njihove zlitine. Skupno ime za takšne snovi je feromagnetne snovi ali krajše magnetne snovi. V prostoru okrog magneta delujejo na feromagnetne snovi magnetne sile. Ta prostor imenujemo magnetno polje.

Od oblike magneta in razporeditve njegovih polov je odvisna oblika magnetnega polja, katerega ponazarjamo z magnetnimi silnicami. Magnetne silnice so navidezne črte (krivulje), ki izstopajo pod pravim kotom iz severnega magnetnega pola, izberejo najkrajšo pot proti južnemu magnetnemu polu, kjer vstopajo tudi pravokotno in se nato skozi magnet zaključijo.

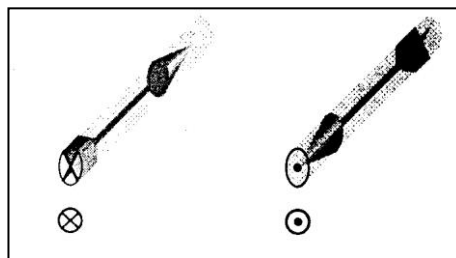
Magnete delimo na naravne (Zemlja, samorodno železo, železovi oksidi) in umetne. Slednje delimo na trajne in elektromagnete.

MAGNETNE LASTNOSTI ELEKTRIČNEGA TOKA

Električni tok teče po vodnikih in ustvarja magnetne učinke. Pravimo da je električni tok povzročitelj magnetnega polja. V praksi srečujemo vodnike v treh različnih oblikah:

- ravni vodnik
- zanka
- tuljava

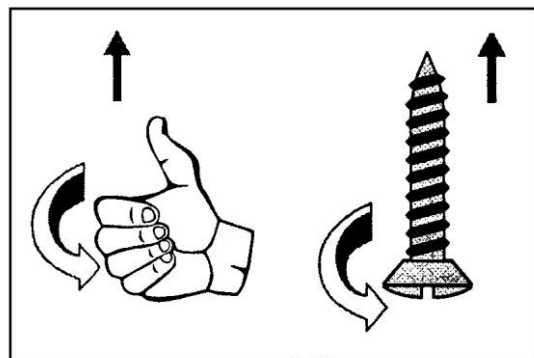
Pri označevanju smeri toka uporabljamo simboliko puščice, kot kaže slika desno.



Magnetne lastnosti ravnega tokovodnika

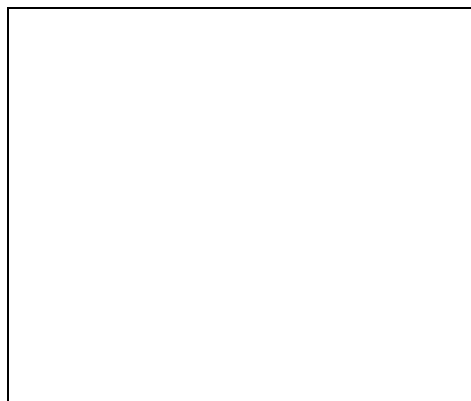
Okrog vodnika skozi katerega teče električni tok, se ustvari magnetno polje, ki se širi v obliki koncentričnih krogov. Silnice v celoti potekajo skozi neferomagnetno snov, zato magnet nima izraženih magnetnih polov.

⇒ **Smer silnic magnetnega polja okrog ravnega tokovodnika določamo s pomočjo pravila desnega vijaka (palca desne roke)**



Če desni vijak postavimo ob vodnik tako, da konica kaže v smeri električnega toka in ga zavrtimo tako da napreduje v isti smeri, nam smer vrtenja nakaže smer silnic magnetnega polja (vriši v prazno polje).

Če palec desne roke položimo ob vodnik v smeri električnega toka, nam rahlo upognjeni prsti desne roke nakazujejo smer silnic magnetnega polja.



Magnetne lastnosti tokovne zanke

Tokovna zanka skozi katero teče električni tok je elektromagnet z izraženimi magnetnimi poli. Je močnejši magnet od ravnega tokovodnika.

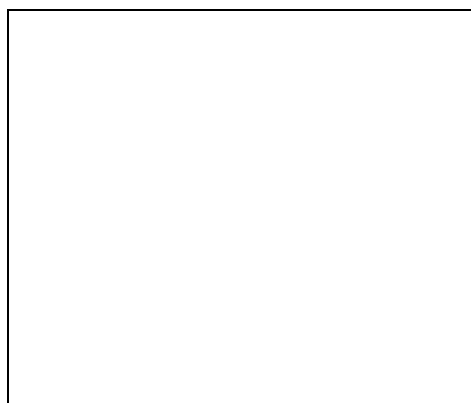
⇒ Če desni vijak (palec desne roke) uporabimo na isti način kot prej, lahko ugotovimo smer magnetnega polja zanke.



Magnetne lastnosti navitja (tuljave)

Tuljav je še močnejši magnet od predhodnih dveh. Velikost magnetnega polja je odvisna tudi od števila ovojev v tuljavi.

⇒ Če desni vijak (palec desne roke) uporabimo na isti način kot prej, lahko ugotovimo smer magnetnega polja navitja (tuljave).



Magnetne lastnosti snovi

Če v notranjost tuljave skozi katero teče električni tok, postavimo kos plastike, se lastnosti tuljave kot elektromagneta ne bodo spremenile. Če pa v notranjost tuljave postavimo feromagnetno jedro se bo njeno magnetno polje občutno okrepilo. Iz tega lahko sklepamo, da so nekatere snovi dovzetne do tujega magnetnega polja, nekatere pa ne. Tiste snovi, ki močno krepijo tuje magnetno polje vsebujejo Veissova območja. To so večje skupine elementarnih magnetkov, ki so enako usmerjeni. Neferomagnetne snovi teh območij nimajo. Ob vplivu zunanjega magnetnega polja se Veissova območja obrnejo v smeri polja in ga s tem močno krepijo.

- ⇒ Snovi delimo na feromagnetne in Neferomagnetne.
- ⇒ Feromagnetne snovi delimo na mehkomagnetne in trdomagnetne
- ⇒ Neferomagnetne snovi delimo na paramagnetne in diamagnetne

Feromagnetne snovi so mehkomagnetne, če se Veissova območja po umiku zunanjega magnetnega polja obrnejo in usmerijo nazaj v prvotno smer. V nasprotnem so to trdomagnetne feromagnetne snovi. Značilno je, da se ta proces (vračanje območij v prvotno lego) ne izvrši v popolnosti. V mehkomagnetnih snoveh ostane nekaj magnetizma med tem, ko se trdomagnetne snovi le nekoliko razmagnetijo.

Med neferomagnetnimi snovmi razlikujemo paramagnetne snovi, ki rahlo krepijo tuje magnetno polje od diamagnetnih, ki rahlo zavirajo tuje magnetno polje. Sicer pa sta oba procesa zanemarljiva.

Magnetni krog

Magnetni krog je prosto, v katerem se zaključi magnetno polje. Poznamo ga, če poznamo vse veličine, ki ga določajo:

- ⇒ magnetilni tok
- ⇒ magnetna napetost
- ⇒ jakost magnetnega polja
- ⇒ gostota magnetnega pretoka
- ⇒ magnetni pretok

Magnetilni (vzbujalni) tok (I)

Kadar teče električni tok z namenom ustvarjanja magnetnih učinkov, uporabljamo izraz magnetilni ali vzbujalni tok. Označujemo ga z veliko tiskano črko I in merimo v Amperih. Za magnetilni tok je značilno, da povezuje električni tokokrog in magnetni krog.

- ⇒ Električni tok je vzrok za magnetno stanje prostora v okolici ravnega tokovodnika, tokovne zanke ali tuljave.

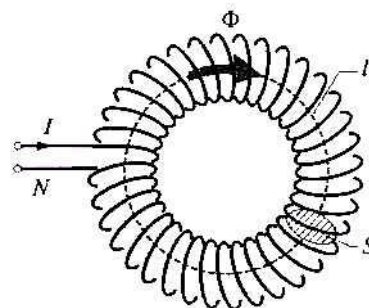
Magnetna napetost (Θ)

Je veličina, ki opredeljuje magnetni krog. Definirana je kot vzrok magnetnega vpliva tokovodnika, zanke ali tuljave na prostor. Označujemo jo z veliko grško črko Θ (Theta) ter merimo v Amperih ali amperskih ovojih.

$$\Theta = I \cdot N, \quad (A \cdot \text{ov}, A)$$

Število ovojev je pomembno samo pri tuljavi, pri tokovodniku (del enega ovoja) in zanki (en ovoj) privzamemo za število ovojev vrednost 1.

Primer: Kolikšen električni tok potrebujemo, če želimo v tuljavi s 1000 ovoji ustvariti magnetno napetost 40A? (R: 40 mA)



Jakost magnetnega polja (H)

Jakost magnetnega polja je določena z magnetno napetostjo na dolžino silnice. Jakost magnetnega polja obravnavamo samo v notranjosti tuljave, ker je zunaj tuljave magnetno polje nehomogeno in tudi dolžino silnice je težko določiti.

$$H = \frac{\Theta}{l}, \quad \left(\frac{A}{m} \right) \Rightarrow H_t = \frac{\Theta}{l_t}, \quad \left(\frac{A}{m} \right)$$

Ravne tuljave niso priljubljene zaradi velikega stresanega magnetnega polja. Manj izgub imajo tuljave, ki so navite na obroč (slika desno) in pri katerih silnice v celoti krožijo v notranjosti tuljave. Pravimo jim toroidne tuljave. Tudi za izračune so enostavnejše saj dolžino silnic definiramo s srednjim obseg obroča:

$$H_s = \frac{\Theta}{l_s}, \quad \left(\frac{A}{m} \right).$$

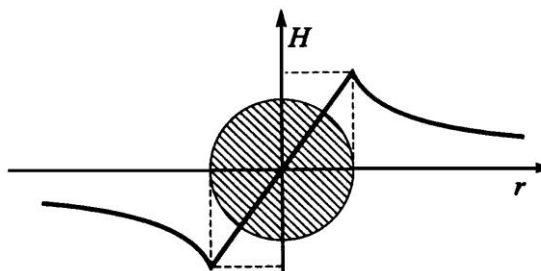
Primer: Skozi ovoje magnetnega toroida s 1000 ovoji in srednjim premerom 16 mm teče tok 20 mA. Izračunaj magnetno poljsko jakost v toroidu! (R: 398 A/m)

Jakost magnetnega polja ravnega tokovodnika

Ravni tokovodnik skozi katerega teče električni tok povzroča tudi magnetenje prostora in s tem jakost magnetnega polja v svoji okolici pa tudi notranjosti. Za računanje jakosti magnetnega polja znotraj vodnika

velja enačba $H = \frac{I \cdot r}{2\pi R^2} [A/m]$, za zunaj pa

enačba $H = \frac{I}{2\pi r} [A/m]$.



Primer: Skozi ravni tokovodnik premera 1,2 mm teče tok 3 A. Izračunaj jakost magnetnega polja v štirih različnih točkah:

- 0,4 mm od središča vodnika,
- na površini vodnika,
- na oddaljenosti 10 mm od središča vodnika in
- na oddaljenosti 24,3 mm od površine vodnika (R:531 A/m; 796 A/m; 47,8 A/m; 19,6 A/m)

Gostota magnetnega pretoka (B)

Gostoto magnetnega pretoka dobimo če magnetni pretok normiramo na enoto preseka

$$B = \frac{\Phi_m}{A}, \quad \frac{Vs}{m^2} = T(\text{tesla})$$

Primer: Izračunaj velikost magnetnega pretoka, ki ga povzroči gostota magnetnega pretoka 1,6T v notranjosti tuljave s premerom 0,8cm!

Čeprav izhaja iz pretoka, je gostota magnetnega pretoka v popolnosti fizikalna veličina. Neposredna povezava jakosti magnetnega polja in gostote magnetnega pretoka je določena z enačbo:

$$B = \mu_0 \mu_r H, \quad (T)$$

Po definiciji je permeabilnost sorazmernostna konstanta, ki določa kakšno gostoto električnega pretoka povzroča enota jakosti električnega polja.

Magnetne lastnosti snovi najbolj ponazarja snovna lastnost, ki jo označujemo z malo grško črko μ (mi). Poznamo je pod imenom permeabilnost.

Permeabilnost je snovna lastnost, ki nam pove koliko je neka snov dovzeta za tuja magnetna polja. Računamo jo (podobno kot dielektričnost) kot produkt absolutne in relativne permeabilnosti.

$$\mu = \mu_0 \mu_r \left(\frac{Vs}{Am} \right), \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{Vs}{Am} \right)$$

μ_r – relativna permeabilnost

⇒ Permeabilnost neferomagnetnih snovi je približno enaka 1

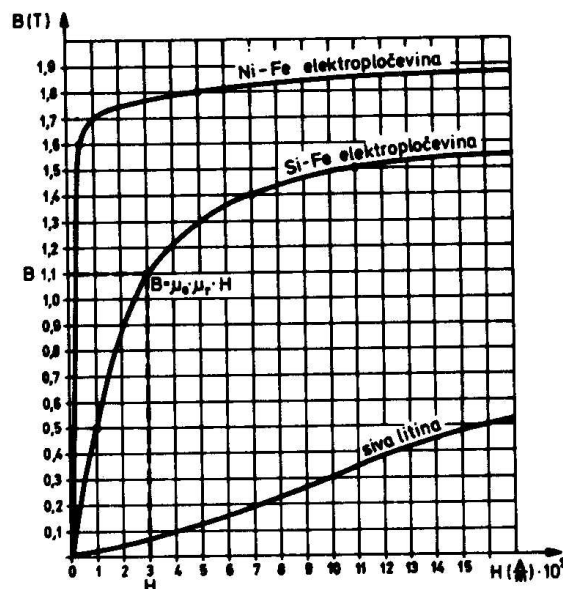
⇒ Permeabilnost feromagnetnih snovi se spreminja, doseže pa vrednost tudi do 10^6

Podatkov o permeabilnosti ne najdemo v razpredelnicah temveč v diagramih kot je na priloženem diagramu.

Še več podrobnosti o permeabilnosti bomo spoznali pri obravnavanju veličin magnetnega kroga v nadaljevanju.

Primer: Kolikšno jakost magnetnega polja potrebujemo v magnetnem jedru iz Ni-Fe elektro-pločevine, če želimo ustvariti gostoto 1,8T? (R: 500 A/m)

Kakšno gostoto magnetnega pretoka dosežemo v jedru iz Si-Fe elektro-pločevine z jakostjo 1100 A/m? (R: 1,5 T)



Magnetni pretok (Φ_m)

Magnetni pretok je navidezna (nefizikalna) veličina, s katero opisujemo magnetno polje na teoretični ravni saj se v magnetnem polju nič ne pretaka. Dogajanja v jedru transformatorja, v navitju bodisi statorja, bodisi rotorja generatorja in še kje najpogosteje ponazarjamo z magnetnim pretokom. Enota za električni pretok je voltsekunda ali Weber (Wb).

Magnetni pretok vseeno izhaja iz fizikalne veličine, saj je enak produktu gostote magnetnega pretoka in preseka.

$$\Phi = BA \quad [Vs, Wb]$$

Primer: Izračunaj magnetni pretok v notranjosti ravne zračne tuljave z 900 ovoji, dolžino 60 mm, premerom 25 mm. Skozi navitje tuljave teče tok 640 mA.

Krivulja prvega magnetenja in histerezna zanka

Kadar feromagnetno snov prvič podvržemo vplivu tujega magnetnega polja, se gostota magnetnega pretoka spreminja po posebni krivulji, ki se pojavi samo prvič. Tej krivulji pravimo krivulja prvega magnetenja.

Pri spreminjajoči se jakosti magnetnega polja se spreminja gostota magnetnega pretoka po posebni zanki, ki jo imenujemo histerezna zanka.

Histerezna zanka določa dve lastnosti feromagnetne snovi:

- njena oblika je določena z vrsto feromagnetne snovi in
- velikost ploščine histerezne zanke je povezana z magnetnimi izgubami v snovi.

Učinki magnetnega polja

Vse magnetne učinke delimo v dve skupini. V prvi skupini so sile, ki jih delimo na sile na feromagnetna telesa in sile na tokovodnik. V drugi skupini so inducirane napetosti, ki se pojavljajo iz dveh vzrokov: zaradi spremembe magnetnega pretoka in zaradi gibanja vodnika skozi tuje magnetno polje.

Sila na feromagnetno telo

- ⇒ Sila, ki v magnetnem polju deluje na feromagnetno telo, je vedno privlačna sila magnetna, ki povzroča magnetno polje. Ta zakonitost je povezana s težnjo silnic po čim krajši dolžini.

Silo na feromagnetno telo računamo po enačbi:
$$F = \frac{B^2}{2\mu_0\mu_r} A, \quad (N)$$

- ⇒ Sila na feromagnetno telo je premo sorazmerna s kvadratom gostote magnetnega pretoka in aktivno površino telesa ter obratno sorazmerna z dvakratno permeabilnostjo.

Uporaba: rele, kontaktor, elektromagnetni vpenjalnik, električni zvonec, elektromagnetno dvigalo, elektromagnetna sklopka, instrument z vrtljivim železom,...

Primer: Elektromagnet ustvarja v zračni reži med svojima poloma in feromagnetnim telesom gostoto magnetnega pretoka 0,5 T. Aktivna površina feromagneta je 4 cm². S kolikšno silo deluje elektromagnet na feromagnetno telo? (R:39,8 N)

Sila na tokovodnik

Električni tok, ki teče skozi tokovodnik ustvari elektromagnet. Če tak tokovodnik podvržemo vplivu tujega magnetnega polja, pride do odbojnih in privlačnih sil med njima. Smer delovanja sile na tokovodnik je odvisna od smeri električnega toka in smeri tujega (zunanjega) magnetnega polja.

⇒ Smer sile na tokovodnik določamo s pomočjo pravila leve roke:

Če odpremo dlan leve roke tako, da nam silnice prebadajo odprto dlan, pri tem pa so prsti iztegnjeni v smeri električnega toka, bo palec leve roke kazal v smeri delovanja sile

Sila na tokovodnik je, razen od električnega toka in gostote magnetnega polja, odvisna tudi od aktivne (efektivne) dolžine vodnika, ki sega v magnetno polje: $F = B \cdot I \cdot l$, (N)

Primer: Kolikšna je magnetna sila na vodnik z električnim tokom 5A, če je gostota magnetnega pretoka 1,2T in dolžina vodnika v magnetnem polju, pravokotnega na magnetne silnice, 20cm?

Uporaba: elektromotor, dinamični zvočnik, instrument z vrtljivo tuljavico,...

Sila med tokovodnikoma

V praksi je pogost pojav dveh vzporednih vodnikov po katerih teče tok v isti ali v nasprotnih smereh. V prvem primeru prihaja do privlačnih v drugem pa do odbojnih sil. Velikost privlačne ali odbojne sile med vodnikoma računamo po enačbi:

$$F = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi r} I_2 l [N]$$

Primer: Dva vzporedna vodnika sta medsebojno oddaljena 1,6 m v dolžini 12 m. Tokova skozi njiju sta 6,4 A in 10,5 A. S kakšno silo delujeta en na drugega? (R: 101 μ N)

Magnetna indukcija

V magnetnem polju lahko nastane inducirana napetost iz dveh razlogov. Če se vodnik nahaja v spreminjajočem se magnetnem polju, se na njegovih koncih kopiči elektrina in ustvarja napetost. Napetost se lahko inducira tudi, če premikamo vodnik skozi magnetno polje.

Statična indukcija - indukcija zaradi spreminjajočega magnetnega pretoka

Spreminjajoče se magnetno polje ustvarja v svoji okolici električno polje s sklenjenim električnim pretokom in obratno. (Faraday). Če se v takšnem polju znajde vodnik, se v njem, zaradi influence, pojavi električna napetost (napetost elektromagnetne indukcije)

⇒ Indukcijo električne napetosti v mirujočem vodniku imenujemo **statična indukcija**

Velikost in smer inducirane napetosti določamo po enačbi:

$$U_i = -N \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} (V)$$

Predznak (-) pomeni da ima inducirana napetost nasprotni predznak od predznaka spremembe magnetnega pretoka.

V večini primerov je oblika časovne odvisnosti inducirane napetosti različna od časovne odvisnosti napajalne napetosti. Edino sinusna napajalna napetost požene tak magnetni pretok, da je inducirana napetost tudi sinusne oblike. Edina sprememba je fazni zamik 90° .

Uporaba: transformatorji, merilni transformatorji.

Transformator

Transformator je elektrotehniška naprava, ki spreminja obliko električni energiji oz. pretvarja električno energijo ene oblike v drugo obliko. Sestavni deli transformatorja so: ohišje, primarno navitje, sekundarno navitje in feromagnetno jedro.

⇒ Razmerje napetosti na transformatorju je premo sorazmerno razmerju ovojev v primarnem in sekundarnem navitju med tem, ko je razmerje tokov obratno sorazmerno razmerju pripadajočih navitij.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{in} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

⇒ Transformator prenaša moč. Če zanemarimo izgube velja, da je električna moč na vhodni strani transformatorja enaka električni moči na izhodni strani transformatorja.

$$P_1 = P_2$$

Primer: Električni transformator s primarnim navitjem s 1200 ovoji je priključen na izmenično napetost 220V. Kolikšna je napetost na izhodu iz transformatorja, če ima izhodno navitje 131 ovojev. Določi tok skozi primarno in sekundarno navitje, če transformator obremenimo z upornostjo 30Ω.

Dinamična indukcija (gibanje vodnika skozi magnetno polje)

Če z vodnikom prečkamo tuje magnetno polje, se ustvari električno polje ki, na njegovih koncih kopiči elektrino. Na ta način postane vodnik izvor inducirane napetosti.

⇒ Indukcijo napetosti v gibajočem vodniku imenujemo **dinamična indukcija**

Velikost in smer inducirane napetosti sta odvisna od velikosti in smeri magnetnega polja, velikosti in smeri hitrosti prečkanja ter od dolžine vodnika. Velikost določamo po enačbi:

$$U_i = B \cdot l \cdot v \quad (V)$$

Pri določanju smeri inducirane napetosti si pomagamo s pravilom desne roke:

Če odpremo dlan desne roke tako, da nam silnice prebadajo odprto dlan in palec kaže v smeri premikanja vodnika, nam iztegnjeni prsti kažejo smer inducirane napetosti

Primer: Vodnik dolžine 24cm se giblje s hitrostjo 30m/s skozi homogeno magnetno polje z gostoto 1,2 T. Izračunaj električno napetost, ki se inducira med koncema vodnika!

Kakšno hitrost ima vodnik dolžine 90cm, če se vrti v magnetnem polju z gostoto 0,8T in se pri tem inducira napetost 1V?

Uporaba: dinamo, generator, dinamični mikrofoni

DIGITALNA TEHNIKA

Številski sestavi v digitalni tehniki

V digitalni tehniki so v rabi dvojiški (2, bin), osmiški (8, oct), desetiški (10, dec) in šestnajstiški (16, hex) sestav. Dvojiški sestav ali strojni kod je pomemben, ker v njem delujejo digitalne naprave. Osmiški in šestnajstiški sestav sta pomembna za komunikacijo človek – digitalna naprava med tem, ko je desetiški sestav tisti, ki ga najpogosteje uporabljamo ljudje.

Osnovne vrednosti številskega sestava

Številski sestav vsebuje toliko osnovnih vrednosti koliko znaša njegova osnova:

- ⇒ dvojiški sestav ima dve osnovni vrednosti (0 in 1)
- ⇒ osmiški sestav ima osem osnovnih vrednosti (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, in 7)
- ⇒ desetiški sestav ima osnovnih deset vrednosti (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 in 9)
- ⇒ šestnajstiški sestav ima šestnajst vrednosti (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E in F)

Kako štejemo v določenem številskem sestavu?

V številskem sestavu štejemo tako, da izmenjujemo osnovne vrednosti od manjše proti večji. Najvišjo vrednost na določenem mestu nadomesti ponovno najnižja vrednost. Istočasno na mestu, ki je po prioriteti višje (levo od trenutnega) pa se vrednost tudi poveča za ena navzgor.

Primeri štetja:

- ⇒ v osmiškem sestavu: ..., 454, 455, 456, 457, 460, 461, 462, 463, 464,...
- ⇒ v desetiškem sestavu: ..., 287, 288, 289, 290, 291, 292,...
- ⇒ v dvojiškem sestavu: ..., 1100, 1101, 1110, 1111, 10000, 10001,...
- ⇒ v šestnajstiškem sestavu: ..., A7E, A7F, A80, A81, A82,...

Domača naloga:

Izpolni razpredelnico.

Desetiški sestav	Dvojiški sestav	Osmiški sestav	Šestnajstiški sestav
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Pretvorbe med številskimi sestavi

Pri pretvorbah med številskimi sestavi poznamo pretvorbo iz desetiškega v poljubni sestav ter pretvorbo iz poljubnega v desetiški sestav.

Pretvorba iz desetiškega v poljubni sestav

Pri pretvorbi v poljubni sestav delimo desetiško število s številom novega sestava. Zapišemo celoštevilčni količnik in celoštevilčni ostanek. Postopek nadaljujemo s celoštevilčnim količnikom dokler ne pade na 0. Ostanki prebrani od konca proti začetku predstavljajo enakovredno število v novem številskem sestavu.

Primer: $35_{(10)} = 100011_{(2)} = 43_{(8)} = 23_{(16)}$

$$35 = 2 * 17 + 1$$

$$17 = 2 * 8 + 1$$

$$8 = 2 * 4 + 0$$

$$4 = 2 * 2 + 0$$

$$2 = 2 * 1 + 0$$

$$1 = 2 * 0 + 1$$

$$35 = 8 * 4 + 3$$

$$4 = 8 * 0 + 4$$

$$35 = 16 * 2 + 3$$

$$2 = 16 * 0 + 2$$

Domača naloga: Pretvori naslednje desetiške vrednosti v dvojiške, osmiške in šestnajstiške.

Desetiški sestav	Dvojiški sestav	Osmiški sestav	Šestnajstiški sestav
43			
577			
263			
1244			
2347			
4975			
1831			
9999			
1024			
5423			

Pretvorba iz poljubnega v desetiški sestav

Pri pretvorbi iz poljubnega sestava v desetiški je postopek nekoliko bolj zapleten. Posamezne številke števila iz poljubnega sestava množimo z ustreznimi utežmi in delne produkte seštejemo. Uteži so potence, ki imajo za osnovo številski sestav iz katerega pretvarjamo ter eksponent, ki narašča od 0 do (n-1).

$$100011_{(2)} = 1 * 2^5 + 0 * 2^4 + 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 35$$

$$43_{(8)} = 4 * 8^1 + 3 * 8^0 = 35$$

$$23_{(16)} = 2 * 16^1 + 3 * 16^0 = 35$$

Domača naloga: Izpolni razpredelnico.

Desetiški sestav	Dvojiški sestav	Osmiški sestav	Šestnajstiški sestav
	101111011		
	111000111		
	100010001		
		2321	
		5564	
		7777	
			739
			AF3
			FFF

Pretvorba med poljubnimi sestavi

Med dvema poljubnima ne-desetiškim sestavoma, ki jih uporabljamo v digitalni tehniki poteka pretvorba na dva načina:

- ⇒ posredno preko desetiškega sestava
- ⇒ posredno preko dvojiškega sestava (pri pretvorbi med šestnajstiškim in osmiškim)

Pri slednjem pretvarjanju uporabljamo povezavo, ki je prikazana v naslednji razpredelnici.

000	001	010	011	100	101	110	111
0	1	2	3	4	5	6	7

0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
0	1	2	3	4	5	6	7
1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
8	9	A	B	C	D	E	F

Kodi v digitalni tehniki

V digitalni tehniki sta v rabi dva koda:

- ⇒ BCD kod (binary code decimal) v različnih izvedbah
- ⇒ ASCII kod (American standard code for information interchange)

BCD kod

BCD kod je v rabi v procesni tehniki (industrija) oziroma kjerkoli gre za numerično krmiljenje strojev in naprav.

BCD kod sestoji iz desetih štirimestnih dvojiških zapisov – za posamezno vrednost en zapis. V praksi je nastalo več BCD kodov. Prvi uporabljeni BCD kod je BCD 8421 (binarni kod), za njim pa so nastali BCD 2421 (Aiken kod), Gray kod, Excess-3, Enokoračni,....

Vrednost	Binarni	Aiken	Gray	Excess-3
0	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0011	0101
3	0011	0011	0010	0110
4	0100	0100	0110	0111
5	0101	1011	0111	1000
6	0110	1100	0101	1001
7	0111	1101	0100	1010
8	1000	1110	1100	1011
9	1001	1111	1101	1100

Napaka prvih BCD kodov je bila v tem, da so vsebovali zapis 0000, ki se ni razlikoval od izpada naprave. Tako je naslednja naprava delovala še naprej, kar je povzročilo težave.

Štirimestni zapis v dvojiškem sestavu omogoča 16 različnih zapisov. BCD kod uporablja le 10 vrednosti, preostalih 6 pa je odvečnih. Imenujemo jih **redundance**. Tako so v binarnem kodu redundance vrednosti od 1100 do 1111 (zadnjih 6), v Aiken kodu so redundance od 0101 do 1010 (srednjih šest) na lestvici števil od 0 do 15 v štirimestnem dvojiškem zapisu.

ASCII kod

American standard code for information interchange je pojasnilo za kod s kratico ASCII, ki je nastajal med leti 1963 in 1968 toda, uveljavil se je šele s prebojem hišnih in osebnih računalnikov. Pri nastajanju je kod štel samo 128 znakov, zato je zadostoval le sedemestni dvojiški zapis. Danes vsebuje 256 znakov z ustreznimi kodi izraženimi kot trimestna desetiška, dvomesna šestnajstiška ali osemestna dvojiška vrednost.

Med znaki ASCII koda najdemo velike in male črke abecede, ločila, alfa-numerične znake, nekatere črke grške abecede, grafične simbole in ne nazadnje, nekatere sistemske znake.

Danes poznamo različne ascii razpredelnice in jih imenujemo kodne strani. V Sloveniji tudi uporabljamo svojo kodno stran. To je kodna stran 437. Naslednja razpredelnica ponuja eno od možnih kodnih tabel v skrajšani obliki.

ASCII preglednica

Non-Printing Characters				Printing Characters								
Name	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char
Null	0	00	NUL	32	20	Space	64	40	@	96	60	`
start of heading	1	01	SOH	33	21	!	65	41	A	97	61	a
start of text	2	02	STX	34	22	"	66	42	B	98	62	b
end of text	3	03	ETX	35	23	#	67	43	C	99	63	c
end of xmit	4	04	EOT	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
Enquiry	5	05	ENQ	37	25	%	69	45	E	101	65	e
Acknowledge	6	06	ACK	38	26	&	70	46	F	102	66	f
Bell	7	07	BEL	39	27	'	71	47	G	103	67	g
Backspace	8	08	BS	40	28	(	72	48	H	104	68	h
horizontal tab	9	09	HT	41	29	)	73	49	I	105	69	i
line feed	10	0A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
vertical tab	11	0B	VT	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
form feed	12	0C	FF	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
carriage return	13	0D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
shift out	14	0E	SO	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
shift in	15	0F	SI	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
data line escape	16	10	DLE	48	30	0	80	50	P	112	70	p
device control 1	17	11	DC1	49	31	1	81	51	P	113	71	q
device control 2	18	12	DC2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
device control 3	19	13	DC3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
device control 4	20	14	DC4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
neg acknowledge	21	15	NAK	53	35	5	85	55	U	117	75	u
synchronous idel	22	16	SYN	54	36	6	86	56	V	118	76	v
end of xmit block	23	17	ETB	55	37	7	87	57	W	119	77	w
Cancel	24	18	CAN	56	38	8	88	58	X	120	78	x
end of medium	25	19	EM	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
Substitute	26	1A	SUB	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
Escape	27	1B	ESC	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
file separator	28	1C	FS	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
group separator	29	1D	GS	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
record separator	30	1E	RS	62	3E		94	5E	^	126	7E	~
unit separator	31	1F	US	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	DEL

Preklopna algebra

Preklopna algebra temelji na Boolovi logiki dveh stanj – pravilno ali nepravilno; da ali ne; 1 ali 0; visok nivo ali nizek nivo. Nad to množico so definirane naslednje operacije:

- ⇒ negacija (Operacija negacije opravi preslikavo neke vrednosti v nasprotno vrednost)
- ⇒ disjunkcija (Operacija disjunkcije da rezultat 1, ko sta je vsaj eni spremenljivki vrednost 1)
- ⇒ konjunkcija (Operacija konjunkcije da rezultat 1, ko sta obe spremenljivki enaki 1)

Logične funkcije

V preklopni algebri poznamo logične funkcije (imenujemo jih tudi **vrata**) ene ali dveh spremenljivk. Teoretično poznamo štiri možne logične funkcije ene spremenljivke. To so:

Tabela 1

X	$f_0(x)$	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

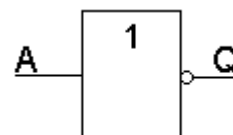
Funkciji $f_0(x)$ in $f_3(x)$ sta neodvisni od spremenljivke in zato neuporabni. Funkcija $f_1(x)$ je enakovredna vhodni spremenljivki in jo tudi ne uporabljamo. Edino funkcija $f_2(x)$ je uporabna in pomembna, saj izvaja negacijo spremenljivke.

Negacija (NE, NOT)

Definicija: Negacija je logična funkcija ene spremenljivke, ki na svoj izhod postavi negirano vrednost vhodne spremenljivke:

Funkcijski zapis: $f(x) = \bar{x}$

Funkcijski simbol:



Pravilnostna tabela:

x	\bar{x}
0	1
1	0

Praktično, negacijo lahko realiziramo s tranzistorjem, ki obrača fazo.

V primeru dveh vhodnih spremenljivk se lahko na izhodu pojavi 16 različnih kombinacij. Od vseh v praksi uporabljamo 6 funkcij: disjunkcijo in konjunkcijo kot osnovni funkciji dveh spremenljivk ter antivalenco, ekvivalenco, negirano disjunkcijo in negirano konjunkcijo kot sestavljene funkcije.

x_1	0	0	1	1	
x_2	0	1	0	1	
$f_0(x_1, x_2)$	0	0	0	0	
$f_1(x_1, x_2)$	0	0	0	1	Konjunkcija
$f_2(x_1, x_2)$	0	0	1	0	
$f_3(x_1, x_2)$	0	0	1	1	
$f_4(x_1, x_2)$	0	1	0	0	
$f_5(x_1, x_2)$	0	1	0	1	
$f_6(x_1, x_2)$	0	1	1	0	Antivalenca
$f_7(x_1, x_2)$	0	1	1	1	Disjunkcija
$f_8(x_1, x_2)$	1	0	0	0	Pirce
$f_9(x_1, x_2)$	1	0	0	1	Ekvivalenca
$f_{10}(x_1, x_2)$	1	0	1	0	
$f_{11}(x_1, x_2)$	1	0	1	1	
$f_{12}(x_1, x_2)$	1	1	0	0	
$f_{13}(x_1, x_2)$	1	1	0	1	
$f_{14}(x_1, x_2)$	1	1	1	0	Scheffer
$f_{15}(x_1, x_2)$	1	1	1	1	

Disjunkcija (ALI, OR)

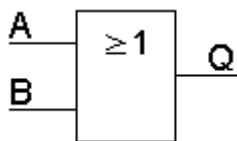
Definicija: disjunkcija je logična funkcija dveh spremenljivk, ki na svoj izhod postavi logično »1«, če je vsaj ena vhodna spremenljivka v stanju logično »1«.

Funkcijski zapis: $f(x_1, x_2) = x_1 + x_2$

Pravilnostna tabela:

x_1	x_2	$x_1 + x_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Funkcijski simbol:



Konjunkcija (IN, AND)

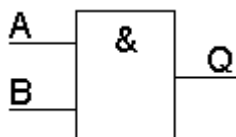
Definicija: konjunkcija je logična funkcija dveh spremenljivk, ki na svoj izhod postavi logično »1«, če sta vhodni spremenljivki v stanju logično »1«.

Funkcijski zapis: $f(x_1, x_2) = x_1 \cdot x_2$

Pravilnostna tabela:

x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Funkcijski simbol:



Antivalenca (EALI, XOR)

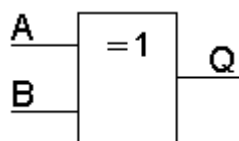
Definicija: antivalenca je logična funkcija dveh spremenljivk, ki na svoj izhod postavi logično »1«, če sta vhodni spremenljivki v nasprotnem stanju.

Funkcijski zapis: $f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$

Pravilnostna tabela:

x_1	x_2	$x_1 \oplus x_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Funkcijski simbol:



Ekvivalenca (NEALI, XNOR)

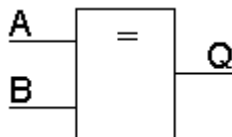
Definicija: ekvivalenca je logična funkcija dveh spremenljivk, ki na svoj izhod postavi logično »1«, če sta vhodni spremenljivki v enakem stanju.

Funkcijski zapis: $f(x_1, x_2) = \overline{x_1 \oplus x_2}$

Pravilnostna tabela:

x_1	x_2	$x_1 \oplus x_2$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Funkcijski simbol:



Negirana disjunkcija (NALI, NOR)

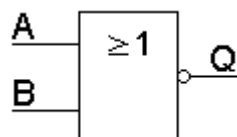
Definicija: Pirceova funkcija ali negirana disjunkcija je logična funkcija dveh spremenljivk, ki na svoj izhod postavi logično »1«, če sta vhodni spremenljivki v stanju logično »0«.

Funkcijski zapis: $f(x_1, x_2) = \overline{x_1 + x_2}$

Pravilnostna tabela:

x_1	x_2	$x_1 \downarrow x_2$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Funkcijski simbol:



Negirana konjunkcija (NIN, NAND)

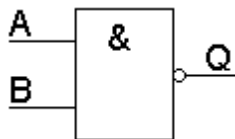
Definicija: Schefferjeva funkcija ali negirana konjunkcija je logična funkcija dveh spremenljivk, ki na svoj izhod postavi logično »1«, če je vsaj ena vhodna spremenljivka v stanju logično »0«.

Funkcijski zapis: $f(x_1, x_2) = \overline{x_1 \cdot x_2}$

Pravilnostna tabela:

x_1	x_2	$\overline{x_2 \cdot x_1}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Funkcijski simbol:



DODATEK

Preklopni časi

Pri preklapljanju tranzistorja prihaja do zamika med vhodnim in izhodnim signalom. V izhodnem signalu poznamo čas vklopa (t_{on}) in čas izklopa (t_{off}). Znotraj časa vklopa razlikujem čas zakasnitve vzpona (t_d) in čas vzpona (t_r) med tem ko se čas izklopa deli na čas kopičenja naboja (t_s) in čas upadanja (t_f).

Angleški izrazi:

t_{on}	– switch on time
t_{off}	– switch off time
t_d	– deley time
t_r	– rise time
t_s	– storage time
t_f	– fall time

Nastavitev delovne točke tranzistorja

Če na vhod tranzistorja priključimo generator izmeničnega signala, teče kolektorski tok le takrat, ko napetost med bazo in emitorjem premaga kolensko napetost PN spoja (pri siliciju je to napetost med 0,5V in 0,8V). Zato pripeljemo na vhodni PN spoj enosmerno napetost, ki postavi delovno točko na sredino delovne premice.

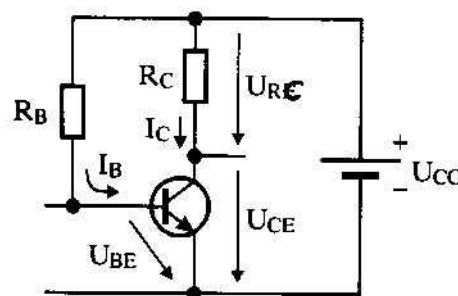
Delovno točko tranzistorja nastavimo z ustreznimi uporovnimi vezji, kot so:

- upor na bazi tranzistorja
- vhodni delilnik napetosti

Nastavitev delovne točke z uporom na bazi tranzistorja

Delovno točko najenostavneje nastavimo z uporom, ki ga postavimo med bazno sponko tranzistorja in napajanjem U_{CC} . S tem pripeljemo na vhod tranzistorja enosmerni tok, ki postavi delovno točko na sredino delovne premice in izniči napetost kolena (pri siliciju 0,7V).

Slabost nastavitve z uporom na bazi tranzistorja je v spremembi kolektorskega toka I_C .



Vrednost upora R_B izračunamo po enačbi:
$$R_B = \frac{U_{CC} - 0,7V}{I_B}$$

Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti

Delilnik napetosti predstavljata upora R_{B1} in R_{B2} . Izbrana sta tako, da je prečni tok I_P dosti večji od baznega ($I_P > I_B$). Zato sprememba baznega toka ne vpliva v tolikšni meri na padca napetosti v delilniku.

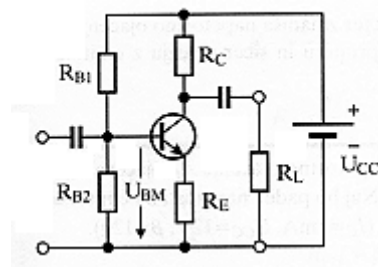
Stabilizacija delovne točke tranzistorja

V času delovanja tranzistorja se njegova delovna temperatura spreminja. Z njo pa je povezana tudi delovna točka tranzistorja. Pri višji temperaturi delovna točka zdrsi navzgor po delovni premici in obratno, pri nižji temperaturi leži delovna točka nižje na delovni premici. Premik delovne točke lahko preprečimo z vezji, ki kompenzirajo vpliv temperature. Najpogosteje uporabljamo naslednje načine stabilizacije:

- stabilizacija DT z emitorskim uporom
- stabilizacija z diodo
- stabilizacija z napetostno povratno zanko

Stabilizacija DT z emitorskim uporom

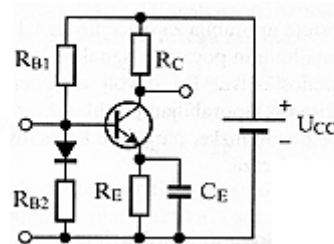
Zaradi povečane temperature tranzistorja se poveča kolektorski tok I_C in pomakne delovno točko po premici navzgor. Istočasno se poveča tudi tok skozi emitorski upor R_E . To povzroči večji padec napetosti na emitorskem upor. Pri nespremenjeni vhodni napetosti se mora zmanjšati napetost na emitorskem spoju tranzistorja. Posledica tega je manjši bazni tok I_B , tranzistor se rahlo »zapre« in s tem zmanjša kolektorski tok I_C .



Slabost stabilizacije delovne točke z emitorskim uporom je v povečanju vhodne upornosti in zmanjšanju ojačenja. To odpravimo s kondenzatorjem, ki ga vezemo vzporedno k emitorskemu upor.

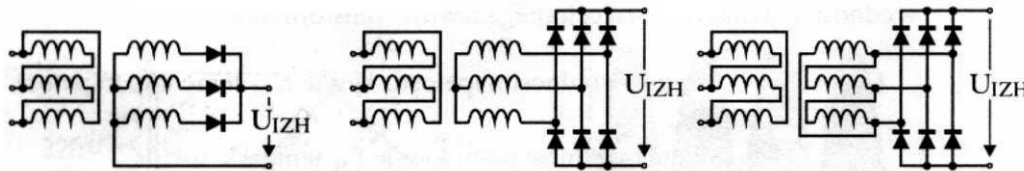
Stabilizacija DT z diodo

V delilniku napetosti je zaporedno z uporom R_{B2} vezana tudi usmerniška dioda. Njena vloga je vzdrževanje konstantne napetosti na vhodu v tranzistor (med bazo in maso) pri spremembah napajalne napetosti.



Usmerniki za trifazni napetostni sistem

Poznamo jih v obeh izvedbah – z odcepom in mostični. Prednost je v tem, da ima usmerjeni signal trikrat (z odcepom) oziroma šestkrat (mostični) večjo frekvenco od omrežne.



Viri

- e - učbenik, Osnove elektrotehnike 1, Zdravko Žalar,
- e – učbenik Nelinearna elektronika, Robert Lorencon,
- spletne strani proizvajalcev elektrotehniških izdelkov, materiala in komponent,
- grafika programskega paketa za simulacijo električnih vezij (Multisim).

Podatki o avtorju:

Jovica Spasić, univ. dipl. inž. ele.
Srednja šola tehniških strok Šiška
Litostrojska cesta 51
1000 Ljubljana

Vsebina

Jovica Spasić.....	1
MATEMATIČNO PREDZNANJE (ponavljanje).....	4
Zaokroževanje.....	4
Predpone.....	4
Eksponentni zapis.....	6
Preoblikovanje enačb.....	7
UVOD.....	8
OSNOVNI POJMI ELEKTRIKE.....	9
Viri (izvori, generatorji) električne napetosti.....	11
ELEKTRIČNI TOK.....	14
Linearni upori.....	27
Nelinearni upori.....	28
Osnovne veličine v izmeničnem tokokrogu.....	30
Maksimalna vrednost izmenične veličine.....	30
Srednja vrednost izmenične veličine.....	31
Efektivna vrednost izmenične veličine.....	31
Trenutna vrednost izmenične Veličine.....	31
LASTNOSTI IN ZAKONITOSTI ELEKTRIČNIH KROGOV.....	33
ENOSTAVNI ELEKTRIČNI KROG.....	33
UI karakteristika.....	35
VZPOREDNI (PARALELNI) ELEKTRIČNI KROG.....	36
Nadomestna prevodnost vzporedne vezave.....	36
Nadomestna upornost vzporedne vezave.....	37
Deljenje toka.....	37
ZAPOREDNI (SERIJSKI) ELEKTRIČNI KROG.....	39
Nadomestna upornost zaporedne vezave.....	40
Nadomestna prevodnost zaporedne vezave.....	40
Deljenje napetosti.....	41
SESTAVLJENI ELEKTRIČNI KROG.....	42
Obremenjen delilnik napetosti.....	43
ELEKTRIČNO DELO IN MOČ.....	44
ELEKTRIČNO DELO.....	44
Merjenje električnega dela.....	45

ELEKTRIČNA MOČ	47
Merjenje električne moči	48
Moč vezave porabnikov	49
SPREMINJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE	50
Toplotno delo električnega toka	51
Mehansko delo električnega toka	52
ELEKTRIČNO POLJE	54
Prevodna snov v električnem polju	54
Veličine v električnem polju	55
Jakost električnega polja	55
Neprevodna snov v električnem polju	56
Električni preboj	57
Kapacitivnost	58
Kapacitivnost vzporedne, zaporedne in sestavljene vezave kondenzatorjev	59
Novosti	60
NELINEARNA ELEKTRONIKA	62
Polprevodniki	62
N-tip polprevodnika	63
P-tip polprevodnika	63
PN spoj	63
Dioda	64
Delovanje diode	64
Lastnosti diod	65
Vrste diod	66
Zenerjeva ali prebojna dioda	66
Kapacitivna (varicap) dioda	67
Tunelska dioda	67
Svetleča (LED) dioda	68
Fotodioda	68
Schottkyjeva dioda	69
Laserska dioda	69
Usmerniki z diodami	70
Polvalni usmerniki	70
Polnovalni usmerniki	71
Polnovalni usmerniki z odcepom	71
Mostično polnovalno usmerjanje	71

Glajenje napetosti in valovitost	72
Diode pri omejevanju napetosti	73
Dioda kot analogno stikalo	73
Preizkušanje diod	73
Označevanje diod	74
Tranzistor	75
Bipolarni tranzistor	75
Delovanje bipolarnega tranzistorja	76
Vhodna karakteristika bipolarnega tranzistorja	77
Izhodna karakteristika bipolarnega tranzistorja	77
Ojačenje tranzistorja	77
Delovna premica in delovna točka	78
Razredi ojačenja	78
Močnostni ojačevalnik	79
Tranzistor kot stikalo	80
Unipolarni tranzistor	81
Spojni tranzistor z učinkom električnega polja (JFET)	81
MOSFET tranzistor	82
Označevanje tranzistorjev	83
Preizkušanje tranzistorjev	84
MAGNETNO POLJE	85
Magnetne lastnosti električnega toka	85
Magnetne lastnosti ravnega tokovodnika	85
Magnetne lastnosti tokovne zanke	86
Magnetne lastnosti navitja (tuljave)	86
Magnetni krog	87
Magnetilni (vzbujalni) tok (I)	87
Magnetna napetost (Θ)	88
Jakost magnetnega polja (H)	88
Gostota magnetnega pretoka (B)	89
Magnetni pretok (Φ_m)	90
Krivulja prvega magnetenja in histerezna zanka	91
Učinki magnetnega polja	91
Sila na feromagnetno telo	91
Sila na tokovodnik	92
Sila med tokovodnikoma	92

DIGITALNA TEHNIKA	95
Številski sestavi v digitalni tehniki.....	95
Osnovne vrednosti številskega sestava.....	95
Kako štejemo v določenem številskega sestavu?	95
Pretvorba iz desetiškega v poljubni sestav	96
Pretvorba iz poljubnega v desetiški sestav	97
Pretvorba med poljubnimi sestavi	97
Kodi v digitalni tehniki.....	98
BCD kod	98
ASCII kod	99
Logične funkcije.....	100
Negacija (NE, NOT).....	100
Disjunkcija (ALI, OR).....	101
Konjunkcija (IN, AND).....	102
Antivalenca (EALI, XOR).....	102
Ekvivalenca (NEALI, XNOR).....	103
Negirana disjunkcija (NALI, NOR)	103
Negirana konjunkcija (NIN, NAND)	104
DODATEK.....	105
Preklopni časi	105
Nastavitev delovne točke tranzistorja.....	105
Nastavitev delovne točke z uporom na bazi tranzistorja	105
Nastavitev delovne točke z delilnikom napetosti.....	106
Stabilizacija delovne točke tranzistorja	106
Stabilizacija DT z emitorskim uporom.....	106
Stabilizacija DT z diodo	106
Usmerniki za trifazni napetostni sistem.....	107
Viri.....	107
Podatki o avtorju:	107