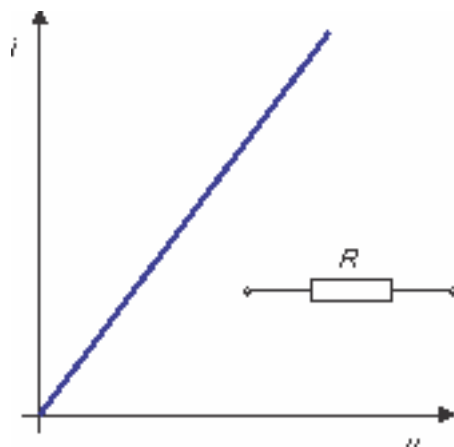


# Opis lastnosti osnovnih elementov vezij

## Upor

je element, za katerega velja Ohmov zakon. To pomeni, da sta napetost na upor  $U$  in tok skozi upor  $I$  premo-sorazmerna. Če upor priključimo na večjo gonilno napetost, bo skozi upor tekel sorazmerno večji tok. To povezanost prikazuje spodnji graf. Prikazan je tudi simbol za element upor.

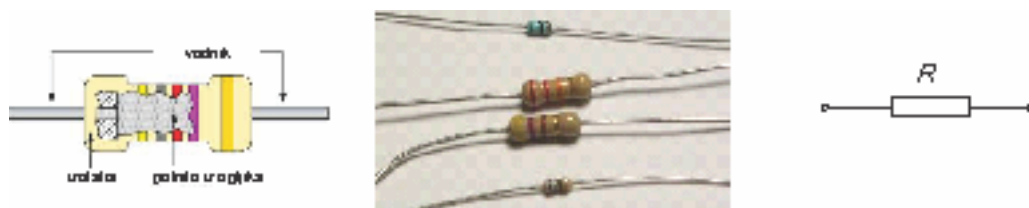


V matematičnem jeziku zapišemo Ohmov zakon s preprosto zvezo

$$u = Ri$$

kjer je  $u$  napetost na upor,  $R$  upornost upora in  $i$  tok skozi upor. Na kratko ponovimo še enote: enota za napetost je volt (V), za upornost ohm ( $\Omega$ ) in za tok amper (A).

Na levi strani spodnje slike je prikazana sestava upora, ki ima med vodnikoma material iz prevodnega ogljika (ali drugega bolj ali manj prevodnega materiala). Na sredini so prikazani primeri uporov, na desni pa električni simbol upora.



Elektroni se v povprečju gibljejo od negativnega priključka (sponke) vira napetosti po zunanjem krogu do pozitivnega priključka vira napetosti (sponki z višjim potencialom) in se pri tem prebijajo skozi atomsko strukturo snovi, iz katere je upor. Pri tem trkajo v atome, ki jim stojijo na poti, se od njih odbijajo, a v povprečju se počasi in usmerjeno gibljejo skozi snov. Ob trkih z atomi elektroni atomom predajajo svojo energijo, snov se zato segreva. Tak način prevajanja je tudi v tanki žarilni nitki v žarnici z žarilno nitko in tudi v običajnih električnih grelcih, recimo v pečici ali v grelniku vode. Vsi ti deli naprav so iz prevodnih snovi z majhno električno upornostjo, zato skozi njih tečejo veliki tokovi. Veliki tokovi pa povzročijo segrevanje snovi. Druga skrajnost so snovi, ki zelo slabo prevajajo električni tok. Tem snovem rečemo izolatorji.

V oddaljenem eksperimentu boste ugotavljali, ali opazujete tok in napetost na upor ali katerem drugem elementu. Upoštevajte, da sta napetost na upor in tok skozenj v vsakem trenutku premo sorazmerna, zato sta tudi grafa, ki kažeta časovna poteka napetosti in toka, enaka.

POMOČ: Ogledate si lahko tudi oblike odzivov, ki jih dobimo s simulacijo.



- Če se napetost na upor s časom spreminja in ta časovni potek opiše funkcija  $U(t)$ , se s časom enako spreminja tudi tok skozi upor, kar poudarimo, če Ohmov zakon zapišemo tako :

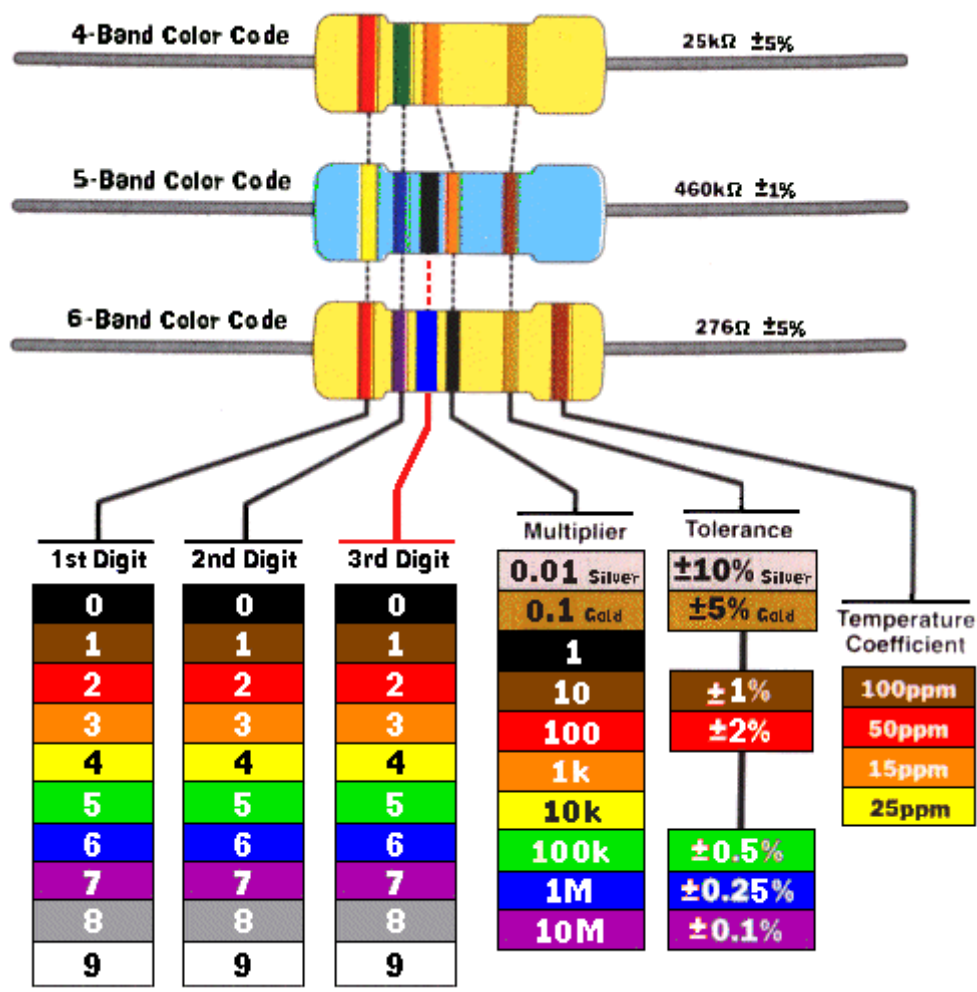
$$u(t) = Ri(t)$$

Časovni potek toka  $I(t)$  je enaka funkcija časa kot  $U(t)$ , koeficient premega sorazmerja pa je upornost  $R$ .

- **Velikost upornosti  $R$  lahko ugotovite tako, da v poljubnem trenutku (na primer ob času  $t_0$ ) izračunate razmerje med trenutno vrednostjo napetosti in trenutno vrednostjo toka:**

$$R = \frac{u(t_0)}{i(t_0)}.$$

- V realnosti upor nikoli ni idealno ohmski (to pomeni, da razmerje med napetostjo in tokom ni povsem stalno). Zato se lahko časovna poteka toka in napetosti nekoliko razlikujeta. To je predvsem pomembno pri višjih frekvencah, ko na dogajanje v vezju vpliva tudi induktivni in/ali kapacitivni značaj upora. Opazimo, da se med signaloma toka in napetosti pojavi časovni zamik.
- Smer toka v vezju je določena z dogovorom: tok teče v tisto smer, v katero bi se v danem električnem polju, ki ga ustvarja napetost vira, gibal pozitivni nosilci naboja. Pozitivni nosilci naboja bi se gibal z mesta z višjim potencialom proti mestu z nižjim potencialom. Ker v vezjih tok prenašajo elektroni, ki so negativno nabiti, se ti gibljejo ravno v obratni smeri kot teče tok. Elektroni se gibljejo s mesta z nižjim potencialom (od negativnih sponk) proti mestu z višjim potencialom (proti pozitivnim sponkam). , To razumevanje je potrebno zato, da imamo »čisto« fizikalno sliko, za elektrotehnika v praksi pa običajno ta detajl niti ni tako pomemben.
- Upore na zunaj ločimo tako, da jih označimo z barvnimi črticami. Če so na upor štiri črtice, prvi dve črtici označujeta prvi dve številki vrednosti upora, tretja črtica označuje množitelja, četrta pa toleranco upora. Kot primer si oglejte spodnje upore in ustrezno tabelo.



## Uporaba uporov

Uporaba uporov v elektrotehniki je zelo raznolika. V najpreprostejših primerih jih uporabimo, da omejimo velikost toka skozi vezje. Na primer, tok skozi svetlečo (LED) diodo ne sme preseči določene vrednosti, zato zaporedno z diodo vežemo primeren upor. Več uporov, vezanih zaporedno, deluje kot delilnik napetosti. Skozizaporedno vezane upore teče isti tok, napetost na vsakem od njih pa je sorazmerna vrednosti posameznega upora. Ko skozi upor teče tok, se upornik segreva. Tako delujejo preprosta grelna telesa, na primer v kaloriferjih, kuhalnikih, bojlerjih in podobno. Tudi v žarnicah je žarilna nitka, ki deluje kot upor. Njena upornost je zelo majhna. Ko skozi njo teče tok, se nitka zelo segreje in pri tem oddaja toploto in svetlobo. Več o tem pa v posebnem eksperimentu, pri katerem boste opazovali delovanje žarnice ob vklopu toka.

## Kondenzator

je element, ki omogoča shranjevanje električnega naboja. Na spodnji sliki je na levi strani prikazana poenostavljena zgradba kondenzatorja, sestavljenega iz dveh prevodnih plošč, med katerima je neprevodna snov (izolator ali dielektrik). V sredini je slika tipičnega (elektrolitskega) kondenzatorja, na desni pa električni simbol kondenzatorja.



Tok skozi kondenzator ni povezan z napetostjo na kondenzatorja, temveč s časovno spremembo te napetosti. To matematično opišemo takole

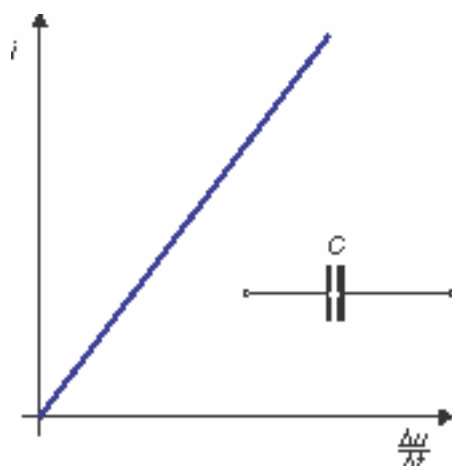
$i = C \frac{\Delta u}{\Delta t}$ , kjer s simbolom  $\Delta$  (veliko grško črko delta) označimo spremembo. V zapisanem izrazu

nastopa sprememba napetosti  $\Delta u$ , ki se zgodi v časovnem obdobju (intervalu)  $\Delta t$ . (Obstaja še bolj natančen opis povezave med tokom in napetostjo na kondenzatorju in sicer z matematično operacijo, ki jo imenujemo odvod. Odvod predstavlja spremembo, ki se zgodi v zelo kratkem času, trenutku. S

pomočjo odvoda napišemo zvezo med tokom in napetostjo na kondenzatorju v obliki  $i = C \frac{du}{dt}$ .

Rečemo, da je tok sorazmeren časovnemu odvodu napetosti, sorazmernostni koeficient pa je kapacitivnost kondenzatorja  $C$ .

Spodnji graf kaže, kako je tok skozi kondenzator odvisen od časovne spremembe napetosti na kondenzatorju.



Kako iz časovnih grafov toka skozi element in napetosti na elementu prepoznamo, da je element kondenzator?

Če se napetost na kondenzatorju s časom ne spreminja, skozi kondenzator ne teče tok. Tedaj je kondenzator le nabit. Tok skozi kondenzator teče, ko se na napetost na njem spreminja. Če se napetost na kondenzatorju hipoma spremeni, skozi kondenzator steče velik tok. Večja kot je v določenem času sprememba napetosti na kondenzatorju, večji tok teče skozenj.



**POMOČ:** Ogledate si lahko tudi oblike odzivov, ki jih dobimo s simulacijo.

#### Fizikalna razlaga toka skozi kondenzator:

Tok skozi kondenzator je očitno drugačne narave kot tok skozi upor. Snov med ploščama kondenzatorja je praviloma izolator, ki ne prevaja električnega toka. Videti pa je, da tok *skozi* kondenzator teče, ko se spreminja naboj, ki je uskladiščen na kondenzatorju (ko na plošči priteka ali odteka naboj). Naboj na ploščah kondenzatorja  $Q$  je sorazmeren napetosti  $U$  na kondenzatorju, kar opišemo z zvezo  $Q = Cu$ . Ko je napetost na kondenzatorju stalna je stalen tudi naboj na ploščah. Ko se napetost na kondenzatorju s časom spreminja, se spreminja tudi naboj na ploščah. Na kondenzator priteka ali odteka naboj. Izmerimo, da skozi kondenzator teče tok. Opazimo, da je (časovna) sprememba naboja, ki predstavlja tok, sorazmerna (časovni) spremembi napetosti. Elektroni ne prehajajo z ene na drugo ploščo kondenzatorja skozi izolator med ploščama, pač pa le prihajajo in odhajajo s plošč kondenzatorja preko sponk.

Še bolj natančen fizikalni pogled pa pokaže, da na velikost toka skozi kondenzator vpliva tudi izolator med ploščama kondenzatorja. Izolatorji sicer nimajo **prostih** elektronov, ki bi prevajali tok kot ga prevajajo običajni ohmski prevodniki, se pa izkaže, da naboj na ploščah kondenzatorja povzroči lokalno prerazporeditev naboja v posameznih atomih ali molekulah izolatorja. Temu pojavu rečemo polarizacija. Kako učinkovito se izolator polarizira vpliva na velikost toka skozi kondenzator.



Kapacitivnost kondenzatorja izračunate kot razmerje med trenutnim tokom (na primer, tokom  $I(t)$

ob času  $t_0$ ) in časovno spremembo napetosti: 
$$C = \frac{i(t_0)}{\frac{\Delta u(t_0)}{\Delta t}}.$$

Razmeroma enostavno lahko izračunamo kapacitivnost kondenzatorja, ki ga priključimo na vir izmenične harmonične (sinusne) napetosti. Ob vzbujanju z napetostnim signalom sinusne oblike je enake oblike tudi tokovni signal, le v času je zamaknjen za  $\frac{1}{4}$  periode. Izmerimo amplitudi napetosti

in toka ( $U_{\max}$  in  $I_{\max}$ ) in izračunamo kapacitivnost z izrazom  $C = \frac{1}{2\pi f} \frac{I_{\max}}{U_{\max}}$ , kjer je  $f$  frekvenca

signala, ki jo enostavno določimo iz periode signala  $T$  kot  $f = \frac{1}{T}$ .

## Uporaba kondenzatorje

Uporaba kondenzatorjev v vezjih je zelo raznolika. Najpogosteje jih uporabljamo za filtriranje signalov, ko želimo izločiti signale visokih ali nizkih frekvenc. Ker je pri nizkih frekvencah upornost kondenzatorjev zelo velika, so primerni tudi za izločanje enosmerne komponente iz signala. Kondenzatorji omogočajo shranjevanje električnega naboja. Lahko jih uporabimo podobno kot polnilne baterije, pri čemer pa jih lahko mnogo hitreje napolnimo in praznimo kot baterije oz. akumulatorje.

## Tuljava

je element iz navitja izolirane prevodne žice z mnogo ovoji. Ker ima žica upornost, ima ohmske (uporovne) lastnosti tudi navitje iz žice. Poleg upornosti pa je za tuljavo značilno in pomembno to, da je napetost med sponkama tuljave odvisna od hitrosti spreminjanja toka skozi tuljavo. Hitrost spreminjanja toka je količina, ki jo definiramo kot razmerje med spremembo toka  $\Delta I$  in časovnim intervalom  $\Delta t$ , v katerem se ta sprememba zgodi.

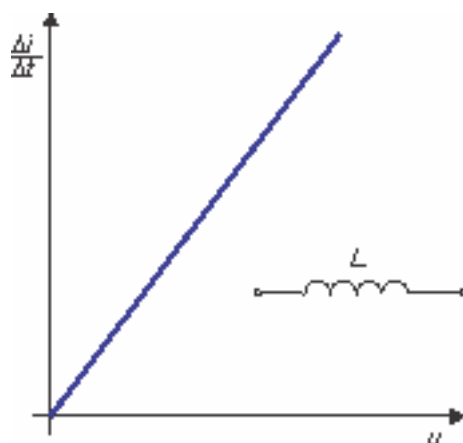
Na levi strani spodnje slike je enostavna tuljava, ki je preprosto navitje iz žice. Na sredini slike vidimo različne vrste navitij, ki jih običajno izvedemo na nosilcih z magnetnimi lastnostmi. Magnetne lastnosti nosilcev bistveno vplivajo na učinek povezave med tokom in napetostjo na tuljavi. Na desni strani je prikazan električni simbol tuljave.



Graf na desni kaže, kako je napetost med sponkama tuljave odvisna od hitrosti spreminjanja toka skozi tuljavo. Matematično to zapišemo v obliki

$$u = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

kjer je  $L$  induktivnost. Induktivnost je lastnost navitja (tuljave) in je odvisna od oblike navitja (predvsem števila ovojev) in magnetnih lastnosti snovi, iz katere je nosilec, okoli katerega ovijemo žico.



Podobno kot pri kondenzatorju opišemo matematično bolj natančno zvezo med

tokom skozi tuljavo in napetostjo na tuljavi z odvodom:  $u = L \frac{di}{dt}$ . Odvajanje je matematična operacija, vrednost odvoda v določeni točki pa ima pomen strmine tangente na krivuljo.



Kako iz grafa toka in napetosti v odvisnosti od časa na elementu prepoznamo, da je element tuljava? Če se tok skozi tuljavo s časom ne spreminja, je napetost na tuljavi po navadi zelo majhna in odvisna le od uporovnih lastnosti tuljave. Dodatna napetost na tuljavi se pojavi, ko se tok skozi tuljavo spreminja. Če se tok skozi tuljavo hipoma spremeni, je v obdobju spreminjanja toka napetost med sponkama tuljave zelo velika. Hitreje kot se spreminja tok skozi tuljavo, večja je napetost na sponkah tuljave.



**POMOČ:** Ogledate si lahko tudi oblike odzivov, ki jih dobimo s simulacijo.



Induktivnost tuljave izračunate kot razmerje med trenutno napetostjo (na primer, napetostjo  $U(t)$  ob času  $t_0$ ) in časovno spremembo toka:  $L = \frac{u(t_0)}{\frac{\Delta i(t_0)}{\Delta t}}$ . Ta način določanja induktivnosti je primeren

tedaj, ko lahko dobro določimo spremembo toka, na primer, ko tok s časom enakomerno narašča ali pojem (linearno s časom). To lahko dosežemo v idealnih pogojih (pri ustrezni frekvenci) pri vzbujanju tuljave z napetostnim signalom pravokotne oblike.

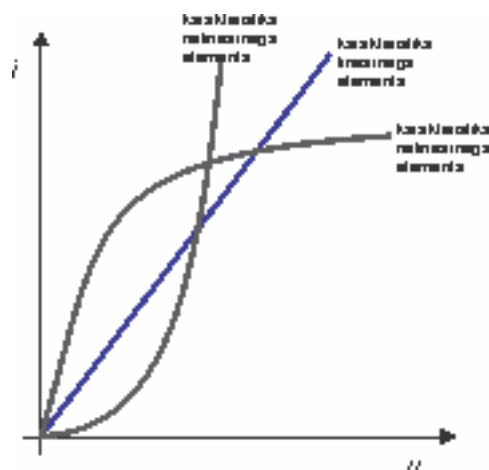
Razmeroma enostavno lahko izračunamo induktivnost tuljave, ki jo priključimo na vir izmenične harmonične (sinusne) napetosti. Ob vzbujanju z napetostnim signalom sinusne oblike je enake oblike tudi tokovni signal, le v času je zamaknjen za  $\frac{1}{4}$  periode. Izmerimo amplitudi napetosti in toka

( $U_{\max}$  in  $I_{\max}$ ) in izračunamo induktivnost z izrazom  $L = \frac{1}{2\pi f} \frac{U_{\max}}{I_{\max}}$ , kjer je  $f$  frekvenca signala.

Če ni podana, jo enostavno določimo iz periode signala  $T$  kot  $f = \frac{1}{T}$ .

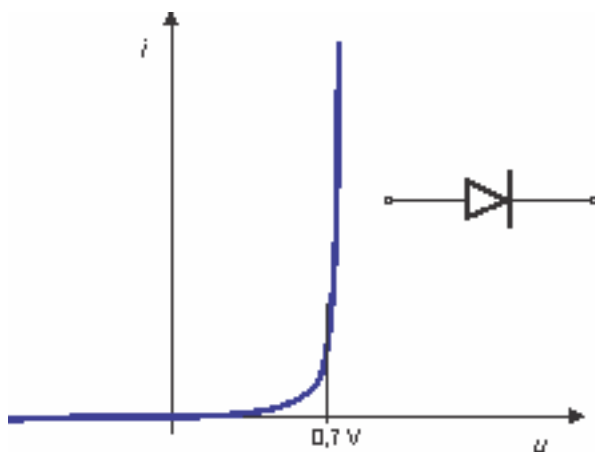
## Dioda

spada med nelinearne elemente električnih vezij. Nelinearnost elementa pomeni, da povezava med tokom in napetostjo na elementu ni linearna: povečanje toka ne povzroči sorazmernega povečanja napetosti (in obratno). Na spodnji sliki so grafi, ki kažejo povezavo med tokom skozi element in napetostjo na elementu za dva nelinearna elementa in enega linearne.



Diode so izdelane iz polprevodnikov. Osnovna polprevodniška snov je silicij. V polprevodnik pri visokih temperaturah dodajo primesi, atome, ki imajo presežek ali primanjkljaj elektronov. V polprevodnikih s primesmi elektroni lažje potujejo v eno smer kot v drugo. S tem ustvarimo usmerniški element, ki mu rečemo dioda. Usmerjanje toka lahko v določenih polprevodniških elementih, ki jih imenujemo tranzistorji, dodatno nadzorujemo. Tranzistor ima tri kontakte (sponke), od katerih je eden namenjen nadzorovanju toka med drugima dvema.

Povezava med tokom in napetostjo, tako-imenovana i-u karakteristika diode je prikazana z grafom na spodnji sliki. Dioda, izdelana iz silicija, prevaja tok v smeri, ki jo kaže simbol puščice na sliki. Kot vidimo z grafa, dioda dobro prevaja tok šele, ko napetost na njej preseže določeno mejno napetost med sponkama. Običajna mejna napetost med sponkama je 0,7 V. Ko je na diodi negativna napetost, je tok skozi diodo zelo majhen. Dostikrat ga povsem zanemarimo in privzamemo, da meri 0 A.



Kako iz grafa toka in napetosti v odvisnosti od časa prepoznamo, da je element dioda? Preprosto. Ko napetost na elementu v prevodni smeri naraste nad 0,7 V, dioda prevaja. Od te napetosti navzgor povečanje toka ni sorazmerno povečanju napetosti. Ko je napetost manjša od 0,7 V pa je tok skozi diodo zelo majhen in skoraj enak nič.





**POMOČ:** Lahko si ogledate tudi oblike odzivov, ki jih dobimo s simulacijo.