

Električno polje

Vemo že, da:

- med elektrinami delujejo **električne sile**
- prevodniki vsebujejo **gibljive** nosilce elektrine
- navzven so snovi praviloma **nevtralne**
- če ima telo **presežek** ene vrste elektrine, je telo **naelektreno**
- do presežka ene elektrine v primerjavi z drugo pride z **ločevanjem** elektronov

Na principu električnega polja deluje npr. LCD zaslon, fotokopirni stroj, digitalna vezja, osciloskop, TV, ...

Kaj prikazujejo slike na desni?

Na vseh treh slikah so prikazana naelektrena telesa:

- dva vzporedna naelektrena vodnika
- naelektren vodnik nad prevodno površino
- dve vzporedni naelektreni plošči

Vsem slikam je skupno:

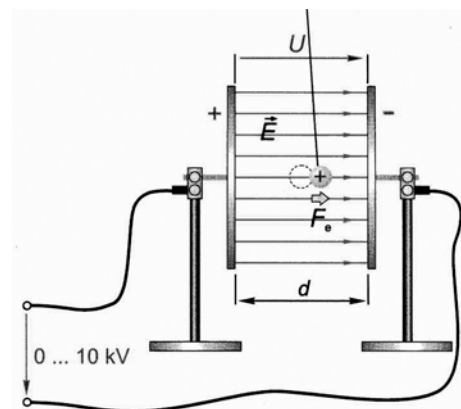
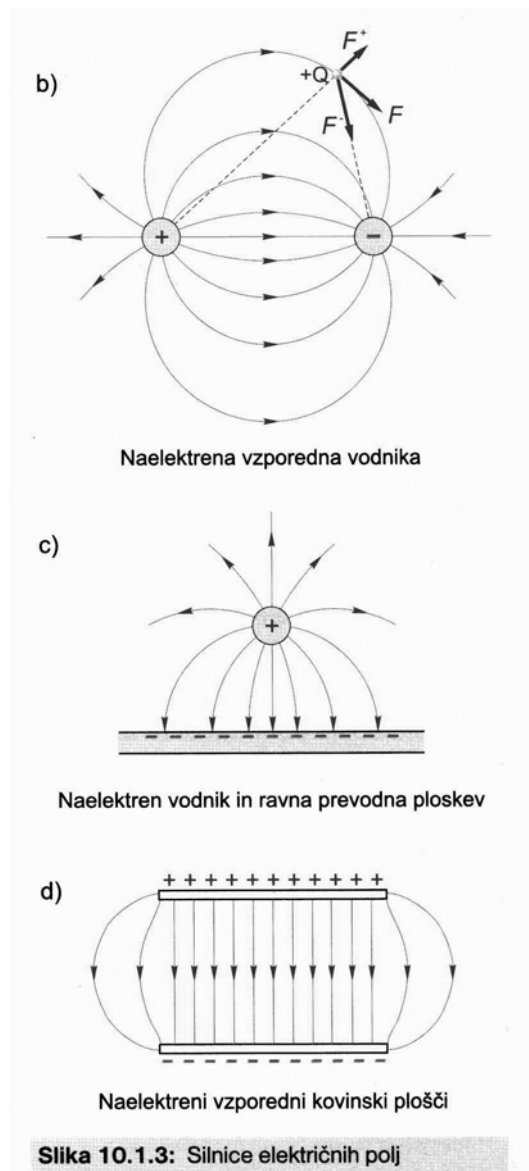
- v prostoru okrog naelektrenih teles delujejo **električne sile**
- prostor, v katerem delujejo električne sile, predstavlja **električno polje**
- električno polje povzroča mirujoča - **statična elektrina**
- električno polje ponazorimo z **električnimi silnicami**, ki prikazujejo smer delovanja električnih sil
- silnice izhajajo iz prevodnih površin pod **pravim kotom**
- smer silnic določa **sila na pozitivno elektrino** - izhajajo iz pozitivno naelektrenih teles in se končajo na površini negativno naelektrenih teles
- električno polje je tem večje, čim **večja sila** deluje na enoto elektrine.

- pravimo, da določa električno polje **električna**

poljska jakost E : $E = \frac{F}{Q}$

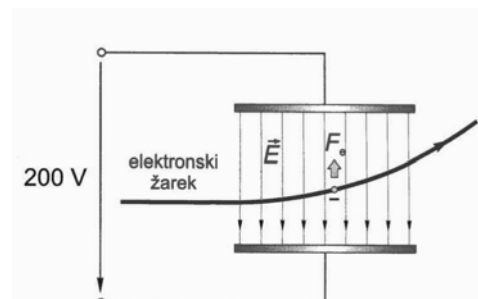
Slika na desni prikazuje električno polje in električno poljsko jakost E med dvema vzporednima ploščama, ki sta priključeni na napetost U .

Električno polje med ploščama je enako v vsaki točki prostora - pravimo, da je homogeno in ga prikažemo z vzporednimi silnicami.



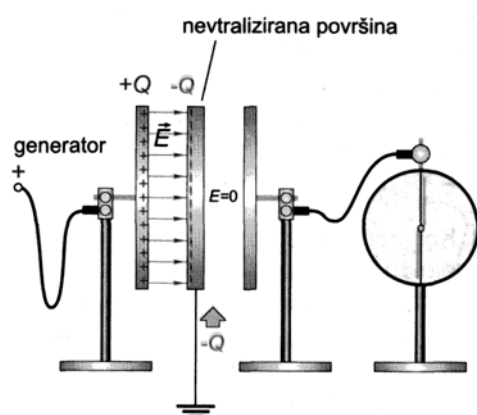
Električno poljsko jakost med dvema ploščama izračunamo kot: $E = \frac{U}{d} \left[\frac{V}{m} \right]$

Če spustimo skozi tako električno polje elektronski snop (elektron ima naboj $1,6 \cdot 10^{-19}$ As), deluje nanj **električna sila**, zato se ukloni.



Če v električno polje vstavimo kovinsko ploščo, pride na njej do razdelitve prostih nosilcev elektrine. Če je plošča ozemljena, se pozitivna ločena elektrina na plošči nevtralizira z negativno, ki priteče po ozemljitvi.

Za ozemljeno prevodno električno ploščo ni električnega polja.

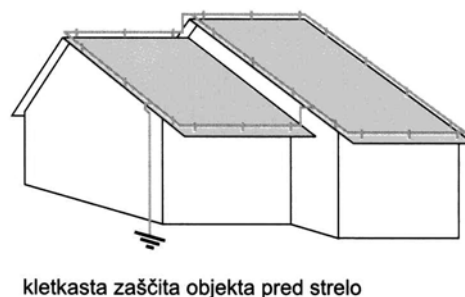
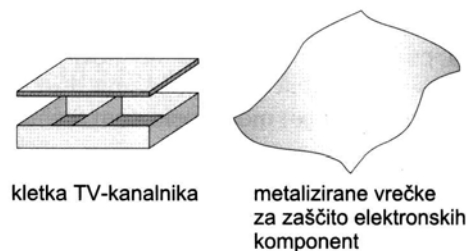
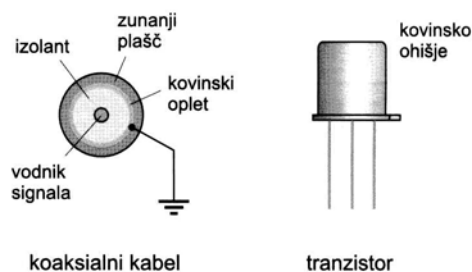


Električnega polja tudi ni v notranjosti električno prevodnih teles.

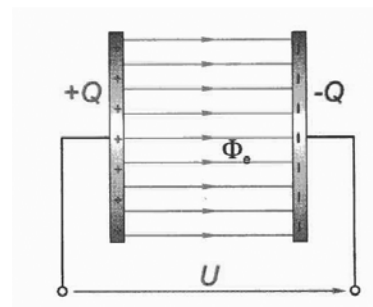
Električno prevodna telesa kot so predstavljena na sliki, pomenijo **zaščito pred električnim poljem**.

To je razlog, da je koaksialni kabel ovit s kovinskim plaščem, tranzistorji so vgrajeni v kovinsko ohišje, TV kanalnik se nahaja v kovinski škatli, občutljive MOS elektronske elemente shranjujemo v metalizirane plastične vrečke, za zaščito pred strelo hišo obdamo s strelovodom, ki je ozemljen. Na ta način se izognemo vplivom električnega polja iz okolice.

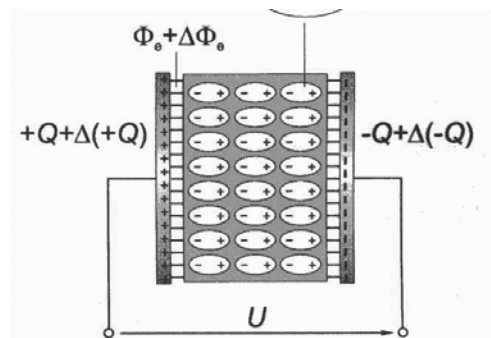
Vsi navedeni primeri predstavljajo **kovinsko kletko (Faradayeva kletka)**, ki predstavlja zaščito pred električnim poljem.



Med dvema naelektrenima ploščama imamo opraviti z navideznim **pretokom elektrine** ϕ_e , ki ga povzroča razlika med elektrinama $+Q$ in $-Q$ na prevodnih ploščah: $\phi = Q$.



Če med plošči vstavimo **neprevodno snov - dielektrik**, plošče iz generatorja pritegnejo dodatni naboj ΔQ , ki povzroči povečanje električnega pretoka med ploščama: $\Delta\phi = \Delta Q$.

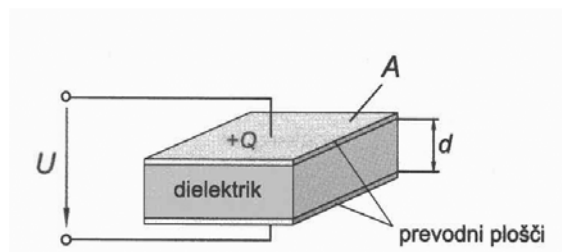


Faktor povečanja elektrine v primerjavi s praznim prostorom (ali zrakom, ki komaj kaj vpliva na razmere) je odvisen od vrste snovi, ki jo imenujemo **relativna dielektričnost** ε_r

Prazen prostor ima dielektričnost: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$

Če torej želimo povečati sposobnost vzporednih plošč za sprejem elektrine, vstavimo med plošči **neprevodno snov - dielektrik**.

Električno polje med ploščama se lahko poveča tudi **več tisočkrat**



primeri relativnih dielektričnosti snovi:

- zrak $\varepsilon_r = 1,0006$
- aluminijev oksid $\varepsilon_r = 8$
- keramika berilijev titanat $\varepsilon_r = 7500$

Če napetost med ploščama zelo povečujemo, pride do **preboja izolanta**, ko skozi neprevodno snov steče električni tok in jo trajno (trda snov) ali začasno (tekočine, plini) **poškoduje**.

Električni poljski jakosti, pri kateri se to zgodi, pravimo prebojna trdnost izolanta:

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

Prebojne trdnosti nekaterih snovi so:

zrak	$3 \cdot 10^6$ V/m
porcelan	$20 \cdot 10^6$ V/m
PVC	$50 \cdot 10^6$ V/m
polistirol	$80 \cdot 10^6$ V/m

Kapacitivnost (C)

Kapacitivnost je snovno geometrijska lastnost snovi oz. teles, da takrat, ko so priključene na vir napetosti lahko shranijo električni naboj Q.

Snovna lastnost je zato, ker je odvisna od vrste snovi - to je dielektrika in njegove relativne dielektričnosti, **geometrijska lastnost** pa zato, ker je odvisna od geometrijskih lastnosti telesa -npr. pri **ploščatem kondenzatorju** je odvisna od velikost plošč in razdalje med njima.

Kapacitivnost ploščatega kondenzatorja je:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d} \text{ (F)}$$

A ... površina plošče (m²)

d ... razdalja med ploščama (m)

Oznaka za kapacitivnost je **C**, enota pa **F (Farad)**, vendar se v praksi srečujemo z manjšimi enotami kot: milifarad (mF), mikrofara (μF), nanofarad (nF) in pikofarad (pF).

V

se kovinske in druge prevodne površine imajo neko **kapacitivnost C**.

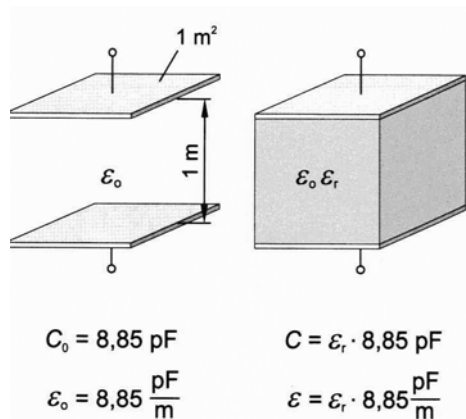
Na vsako kovinsko telo lahko naboj priteče in z njega odteče, **odvisno od velikosti pritisnjene napetosti in velikosti kapacitivnosti: $Q = C \cdot U$**

Kapacitivnost je lahko **koristna**.

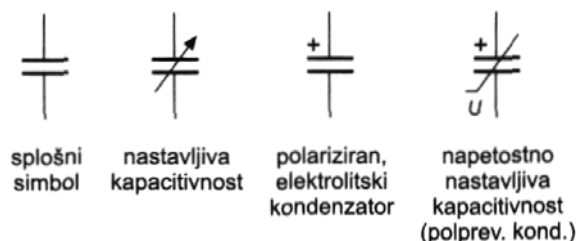
Kondenzator izdelan iz dveh kovinskih plošč, med katerima je izolacijska snov - dielektrik, predstavlja elektronski element, ki ga uporabljamo za shranjevanje energije.

Pod vplivom napetosti se kondenzator napolni z nabojem, ki ustvari **električno polje**.

Energija je tako shranjena v obliki električnega polja. Elektronsko vezje jo nato porabi v času, ko jo v vezju primanjkuje.

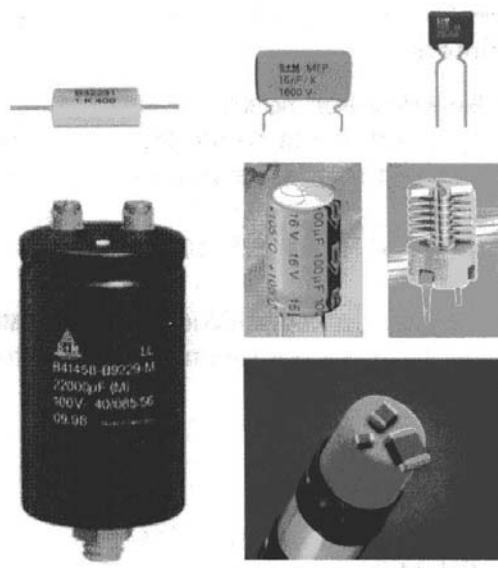


Slika prikazuje simbole za označevanje kapacitivnosti oz kondenzatorjev v elektronskih vezjih



Na sliki so prikazane različne izvedbe kondenzatorjev, ki imajo različne lastnosti in se uporabljajo v različne namene:

- folijski kondenzator
- dva primera keramičnih kondenzatorjev
- dva primera elektrolitskih kondenzatorjev
- spremenljiv kondenzator
- SMD izvedba kondenzatorja



Pri priključitvi na **enosmerno napetost** se kondenzator napolni in nato **ne vpliva** več na tokove v vezju.

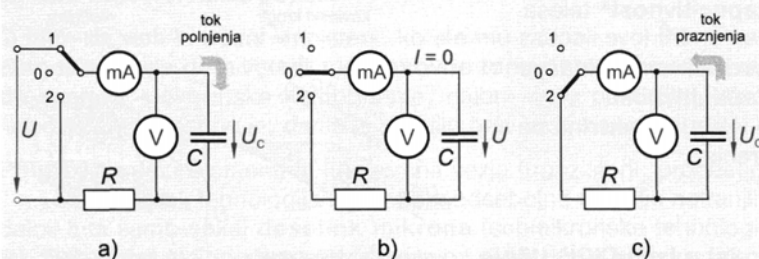
Tok polnjenja je na začetku velik, s časom, ko je kondenzator vedno bolj nabit, napetost na kondenzatorju narašča, zato je razlika med pritisnjeno napetostjo in napetostjo kondenzatorja vedno manjša in tok se zmanjšuje eksponentno. Ko se napetosti izenačita, toka ni več.

Podobno je pri **praznjenju kondenzatorja**, le da teče tok v obratni smeri, kar je lepo vidno na spodnji sliki.

Kondenzator v enosmernem električnem krogu

Poskus 10.2.1:

Sestavimo vezavo s kondenzatorjem s kapacitivnostjo npr. $100\ \mu\text{F}$ in uporom z upornostjo $62\ \text{k}\Omega$, z analognim mA-metrom ($M_0 = 0,5\ \text{mA}$ in izhodiščem merjenja v sredini skale), V-metrom (z $M_0 = 30\ \text{V}$ in čim večjo notranjo upornostjo) ter izvorom napetosti $30\ \text{V}$ in tripoložnim stikalom, kot to prikazuje slika 10.2.3 a.



Slika 10.2.3: Kondenzator v enosmernem električnem krogu

Najprej prekllopimo stikalo iz položaja »0« v položaj »1« (sl. a):

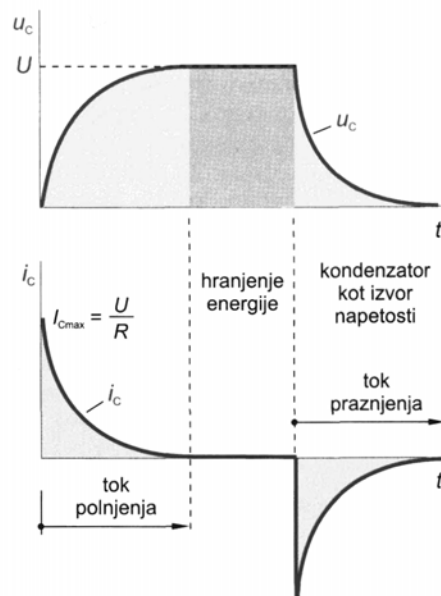
- ☞ Skozi električni krog steče le **kratkotrajni tok** polnjenja kondenzatorja.
- ☞ Ko napetost na kondenzatorju doseže **napetost izvora**, tok ne teče več, zato pravimo, da je kondenzator **poln**.

Prekllopimo stikalo iz položaja »1« nazaj v položaj »0« (sl. b):

- ☞ Napetost na kondenzatorju se praktično **ohrani**.

Prekllopimo stikalo iz položaja »0« v položaj »2« (sl. c):

- ☞ Skozi mA-meter steče kratkotrajni tok v **nasprotni smeri**.
- ☞ Kondenzator se izprazni, napetost na njem **pade na nič**.



Slika 10.2.4: Časovni potek napetosti in toka polnjenja in praznjenja kondenzatorja

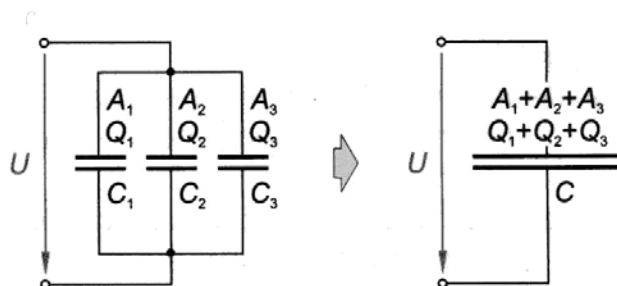
Vzporedna vezava kondenzatorjev

Kapacitivnost vzporedne vezave kondenzatorjev je enaka **vsoti kapacitivnosti** posameznih kondenzatorjev (kot da bi se povečala površina plošč kondenzatorja):

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Ker se poveča kapacitivnost vzporedne vezave, je **večja** tudi elektrina, ki jo taka vezava sprejme:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

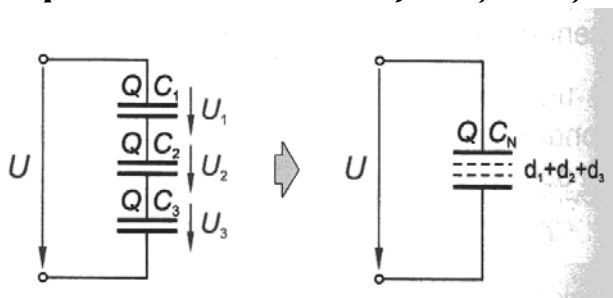


Napetost je na vseh kondenzatorjih **enaka**.

Zaporedna vezava kondenzatorjev

Pri zaporedno vezanih kondenzatorjih se skupna **kapacitivnost vezave zmanjša** in je manjša od najmanjše posamične kapacitivnosti:

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



Vsi kondenzatorji imajo **enako elektrino**.

Celotna napetost se razdeli po kondenzatorjih.

Višja napetost je na kondenzatorju z manjšo kapacitivnostjo: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$

Magnetno polje

Električni tok, torej **gibajoča elektrina** ustvarja **magnetne učinke**.

Magneti privlačijo železo, nikelj, kobalt in njihove zlitine - to so **feromagnetne snovi**.

Magneti so lahko **trajni** ali pa **elektromagneti**.

Magneti so lahko **naravni** ali pa **umetni**.

Okrog magnetov delujejo **magnetne sile** na feromagnetne snovi in temu prostoru pravimo **magnetno polje**.

V magnetnem polju postanejo feromagnetne snovi **magnetne**.

Nekatere od njih ohranijo lastnost magneta tudi potem, ko niso več v magnetnem polju in se uporabljajo za izdelavo **trajnih magnetov**.

Primeri uporabe magnetnih učinkov:

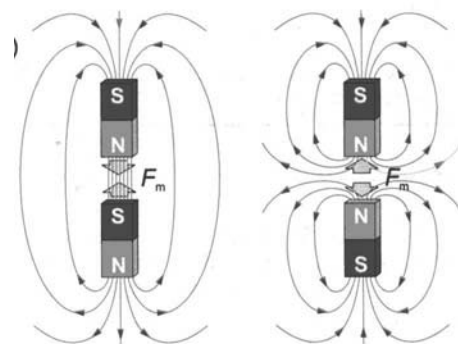
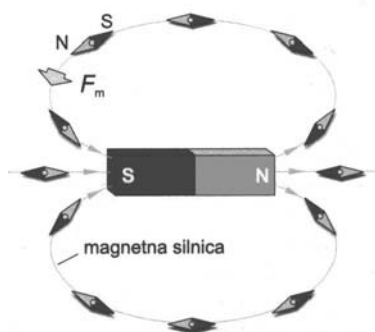
zvočnik, elektromotor, transformator, rele, elektromagneti za nalaganje starega železa, pospeševalnik atomskih delcev, itd.

Magnetno polje ponazorimo z namišljenimi črtami - **magnetnimi silnicami**.

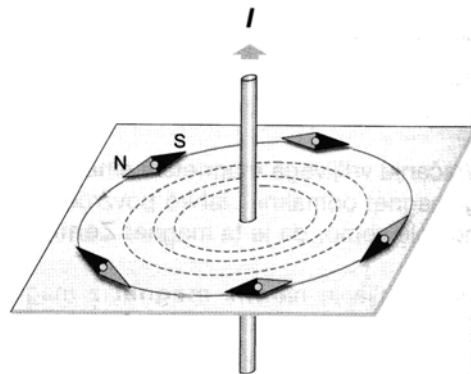
Silnice prikazujejo **smer** delovanja magnetnih **sil** na feromagnetne snovi.

Magnetno polje je največje na **polih magneta** - severnem in južnem.

Silnice izhajajo iz severnega pola in se zaključujejo na južnem polu



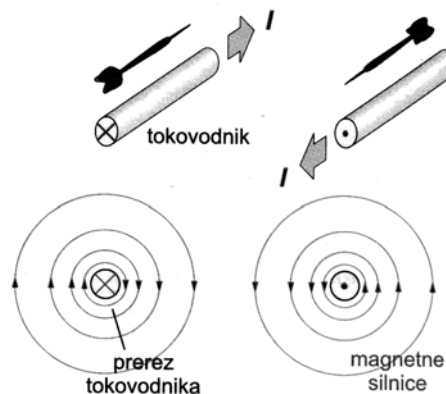
Okrog ravnega vodnika, skozi katerega teče električni tok, nastane magnetno polje. Silnice imajo obliko **koncentričnih krogov**



Smer silnic določimo s **pravilom desnega vijaka**, to je vijaka, ki ga uvijamo v desno stran:

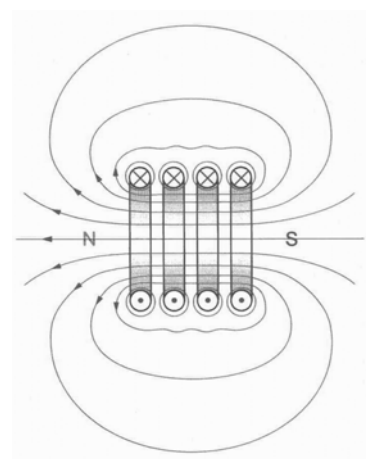
vijak postavimo vzporedno z vodnikom, tako da teče tok v smeri proti konici vijaka. **Smer uvijanja vijaka** je tudi smer silnic

S **križcem** označimo, da teče tok stran od nas, s **piko** pa, da teče proti nam.



Za doseg večjega magnetnega polja navijemo žico v svitek in dobimo **tuljavo**. Vsak ovoj predstavlja svojo žico-zanko in njihovi magnetni vplivi se seštevajo.

Tudi v tem primeru določimo smer silnic s pravilom desnega vijaka.

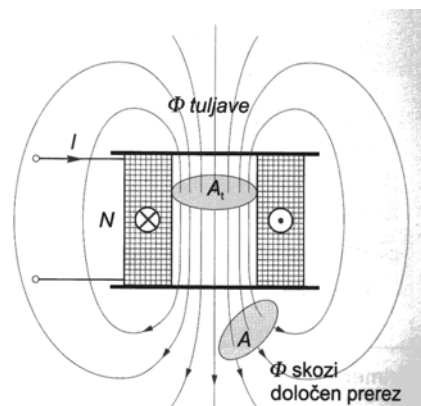


Vidimo, da je magnetno polje tuljave **nehomogeno** - največje je v notranjosti tuljave, kjer je praktično **homogeno**, zunaj tuljave pa se z oddaljenostjo od polov hitro zmanjšuje.

Vpliv magnetnega polja določa **magnetna poljska jakost** H , ki je v notranjosti ravne tuljave enaka:

$$H = \frac{I \cdot N}{l_t} = \frac{\theta}{l_t} \left(\frac{A}{m} \right)$$

$I(A)$ tok skozi tuljavo
 N število obojev tuljave
 $l_t(m)$ dolžina tuljave
 $Q(A)$ magnetna napetost

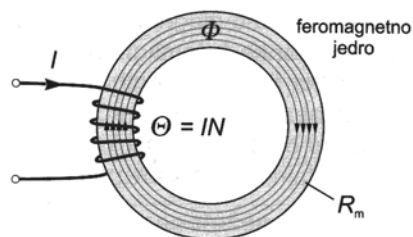


Tok I , ki teče skozi N obojev tuljave, povzroča **magnetno napetost** $Q(A)$. Magnetna napetost ustvarja magnetni pretok.

Čim **krajša** je tuljava in čim **večji je tok** skozi tuljavo, tem večja je električna poljska jakost.

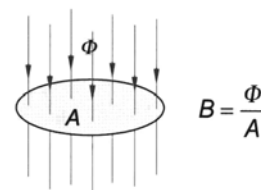
Magnetna poljska jakost lahko povzroča različne magnetne učinke, če se v tuljavi nahajajo **različne snovi**.

Tuljava ima lahko tudi obliko **toroida** (svitka), na katerega je navita žica.



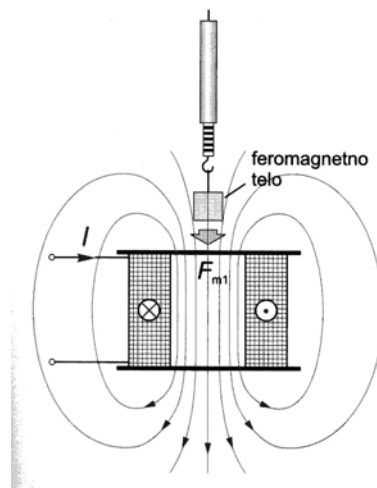
Skozi tuljavo teče **magnetni pretok** F_m (Vs, Wb - Weber), ki pada skozi ploskev A (m²) in povzroča **gostoto magnetnega pretoka** B (T).

$$B = \frac{\phi}{A} \left(\text{T}, \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right)$$



Tuljava, skozi katero teče električni tok, povzroča **magnetno silo na feromagnetno telo**.

Z magnetno silo na feromagnetno telo imamo opraviti npr. pri relejih, kontaktorjih, električnem zvoncu, itd.



Gostoto magnetnega pretoka- B (T) zelo poveča feromagnetna snov v tuljavi, saj predstavlja feromagnetna snov veliko manjšo upornost za magnetni pretok od praznega prostora.

Kolikokrat se magnetni pretok poveča, določa **relativna permeabilnost snovi m_r** .

$$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \text{ (T)}$$

m ... permeabilnost snovi $\left(\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right)$

$m_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right)$ - permeabilnost praznega prostora

m_r ... **relativna permeabilnost snovi**

neferomagnetne snovi imajo $m_r \approx 1$

feromagnetne snovi imajo m_r tudi več kot 10^6 , ki pa se **zelo spreminja z magnetno poljsko jakostjo**, zato H in B nista povezana z linearno funkcijo ampak **nelinearno**.

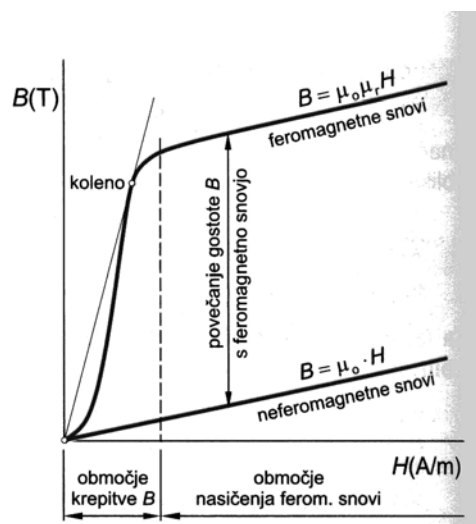
Tudi pred magnetnim poljem lahko **zaščitimo prostor**, tako kot smo ga pred električnim. Ker feromagnetna snov dobro prevaja magnetni pretok, obdamo prostor s feromagnetno snovjo npr. z železno pločevino. Ta predstavlja **kletko iz feromagnetne snovi**, znotraj katere ni magnetnega polja (tako zaščitimo npr. katodne cevi, nekatere analogne merilnike, magnetne glave, itd.)

Magnetilna karakteristika snovi

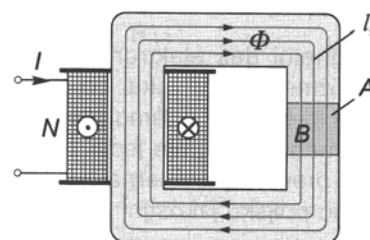
Magnetilna karakteristika prikazuje odvisnost gostote magnetnega pretoka od magnetne poljske jakosti za določeno snov (npr. za zrak, dinamo pločevino, itd.)

Neferomagnetne snovi imajo **linearno magnetilno karakteristiko**.

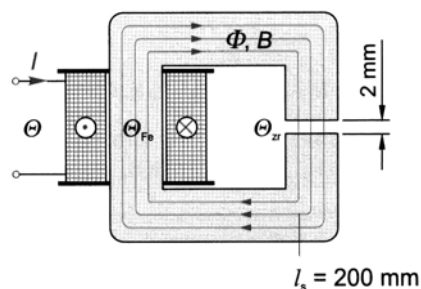
Feromagnetne snovi pa imajo **nelinearno magnetilno karakteristiko**. Čim večja je strmina krivulje, **tem večja** je relativna permeabilnost pri določeni magnetni poljski jakosti.



Na sliki je **tuljava z jedrom**, preko katerega se zaključuje magnetni pretok F_m (Vs, Wb - Weber). Feromagnetna snov poveča magnetni pretok v primerjavi s praznim prostorom (tako kot dielektrik povečuje električni pretok v kondenzatorju).



Zračna reža v tuljavi močno **poveča magnetno upornost**, zato se večino magnetne napetosti porabi v zračni reži in je magnetni pretok skozi tuljavo veliko manjši.



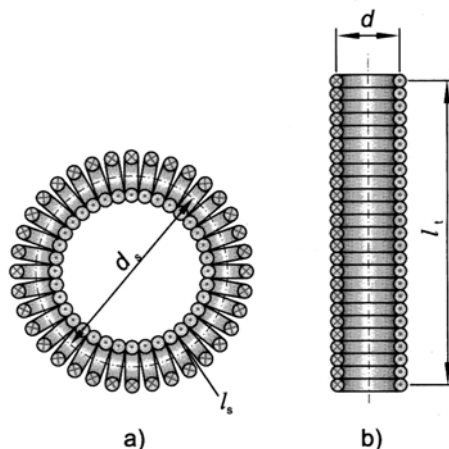
Induktivnost (L)

Tako kot imajo kondenzatorji svojo kapacitivnost, imajo tuljave svojo **induktivnost**. Tudi induktivnost je, tako kot sta upornost in kapacitivnost, **snovno geometrijska lastnost**.

Induktivnost tuljave je premo sorazmerna s permeabilnostjo snovi (vrsto snovi v tuljavi), kvadratom števila obojev in presekom tuljave, obratno pa je sorazmerna z dolžino tuljave.

Pri toroidu vzamemo za izračun srednjo dolžino magnetne silnice, ki jo določa srednji premer.

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot A}{l_s} \left(\text{H} - \text{Henry}, \frac{\text{Wb}}{\text{A}} \right)$$



N	število obojev tuljave
$A \text{ (m}^2\text{)}$	presež tuljave
$l_s \text{ (m)}$	srednja dolžina magnetne silnice

Ko skozi induktivnost teče električni tok, ta **ustvarja magnetni pretok** oz. magnetno polje.

Induktivnost **1H** ima tuljava, ki ustvarja magnetni pretok **1Wb**, ko skozi njo teče električni tok **1A**.

Okrog vsakega vodnika se pojavi magnetno polje, ko skozenj teče električni tok, zato ima tudi vsak vodnik neko majhno induktivnost L .

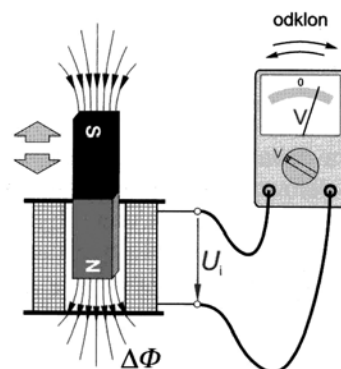
Inducirana napetost

Induktivnost povzroča pojav **inducirane napetosti**.

- V tuljavi, v kateri se **spreminja magnetni pretok**, se pojavi napetost, prihaja do **inducirane napetosti**. Čim večja je sprememba v časovni enoti, tem večja je inducirana napetost.

$$|U_i| = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \text{ (V)}$$

N	število obojev
$\Delta\phi \text{ (Wb)}$	sprememba magnetnega pretoka
$\Delta t \text{ (s)}$	čas, v katerem se je spremenil magnetni pretok

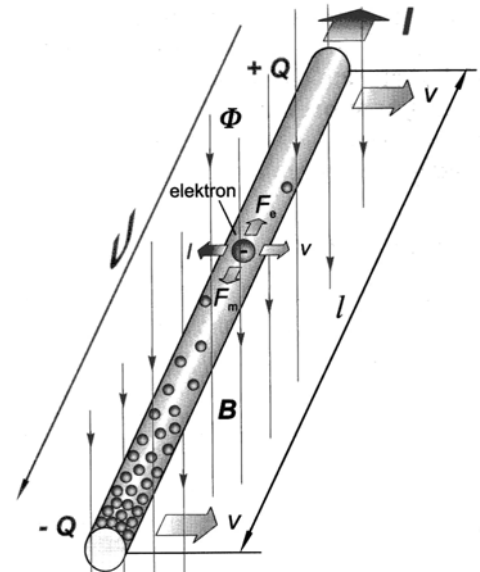


Ta pojav imenujemo **splošni indukcijski zakon** ali **Faradayev zakon indukcije**.

- Do inducirane napetosti prihaja tudi, če se vodnik dolžine l oz. tuljava giblje z določeno hitrostjo v v magnetnem polju z magnetno gostoto B pravokotno na magnetne silnice (smer toka določa pravilo desne roke).

$$U_i = B \cdot l \cdot v \text{ (V)}$$

B (T)	gostota magnetnega pretoka, v katerem se giblje vodnik
l (m)	dolžina vodnika v magnetnem polju
v (m/s)	hitrost gibanja vodnika



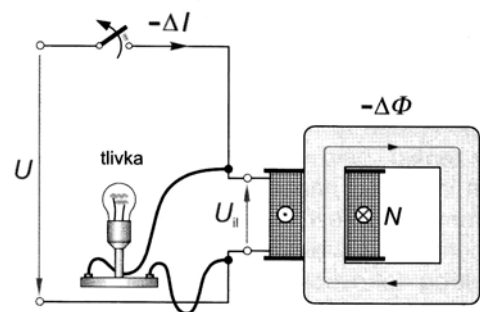
Magnetno polje lahko ustvarja:

- trajni magnet**
- tuljava**, skozi katero teče električni tok - elektromagnet.

S takim pojavom, ki ga imenujemo **dinamična indukcija**, se srečamo npr. pri dinamju na kolesu, generatorjih električnega toka, itd.

- Tudi v **tuljavi sami**, skozi katero teče električni tok, ki se spreminja po velikosti oz smeri (**izmenični** električni tok, vklopi in izklopi toka), prihaja do pojava inducirane napetosti, ki se upira spremembi električnega toka, in ji pravimo **napetost lastne indukcije**. Ta je lahko izredno velika in je odvisna od induktivnosti tuljave in **hitrosti spremembe toka v časovni enoti**:

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ (V)}$$



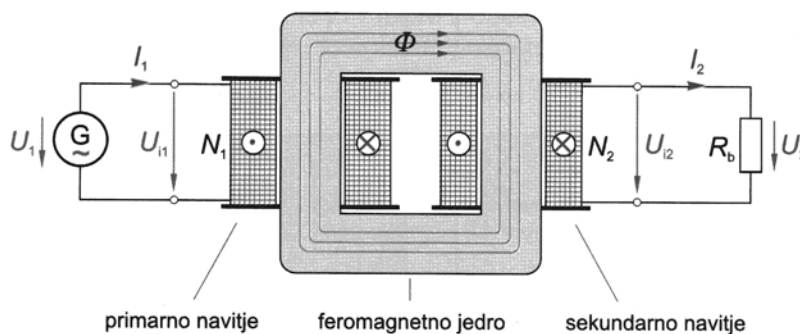
- Če se tuljava nahaja v magnetnem pretoku, ki se **spreminja**, se na njej pojavi napetost. Pojavu pravimo **statična indukcija**. Z njo se srečamo npr. v transformatorju, ko spreminjanje magnetnega polja povzroča izmenični tok.

V **transformatorju** spremenimo **izmenično napetost** ene velikosti (npr. U_1) v izmenično napetost druge velikosti (npr. U_2). Energija se prenaša preko magnetnega polja iz enega navitja, ki ustvarja magnetno polje, v drugo navitje, kjer energijo odjemamo.

Navitje N_1 , ki je priključeno na izvor izmenične napetosti, iz katerega transformator sprejema električno energijo, je **primarno navitje**.

Transformator oddaja energijo porabniku preko navitja N_2 , ki ga imenujemo **sekundarno navitje**.

V transformatorju se v vsakem od navitij inducira električna napetost



Napetost lastne indukcije v primarnem navitju je:

$$U_{i1} = -N_1 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

N1	število obojev primarnega navitja
N2	število obojev sekundarnega navitja

V sekundarnem navitju pa se inducira napetost:

$$U_{i2} = -N_2 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Sekundarna in primarna napetost sta **premo sorazmerni številu obojev** sekundarnega in primarnega navitja: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$

Če ne upoštevamo izgub, do katerih prihaja pri prenosu energije iz primarnega v sekundarno navitje, lahko rečemo, da je moč, ki jo transformator oddaja, enaka moči, ki jo transformator sprejema od generatorja: $P_2 = P_1$

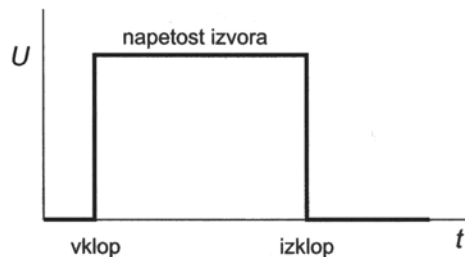
Posledica tega je, da so tokovi **obratno sorazmerni** številu obojev navitij transformatorja:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

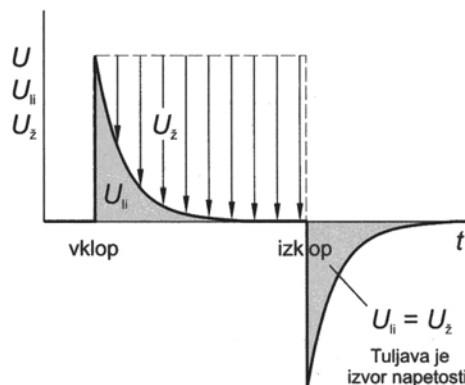
Transformator ima lahko **več** sekundarnih navitij, primarno navitje pa le **eno samo**.

Za induktivnost L je značilno, da **se upira spremembi električnega toka**.

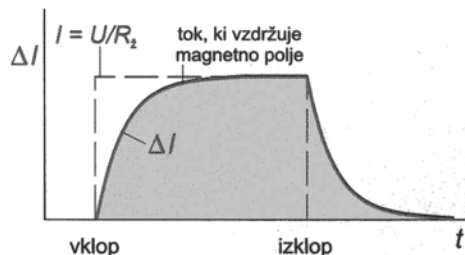
Ob vklopu ali izklopu porabnika prihaja do velikih sprememb napetosti oz. toka.



Z inducirano napetostjo **lastne indukcije** poskuša induktivnost **zadržati** staro stanje električnega toka.



Ob vklopu prične tok **postopoma naraščati**, ob izklopu pa ne pade takoj na nič ampak **postopoma upada**, ker tuljava spet poskuša zadržati staro stanje električnega toka in **odda energijo** nakopičeno v obliki magnetnega polja.



Iz tega lahko zaključimo:

Tuljava prevaja **izmenični** tok **slabše** od **enosmernega**.

V **filtrih** pralnih strojev, električnih ročnih orodij in gospodinjskih aparatov izkoriščamo lastnost, da induktivnost predstavlja veliko upornost za hitre spremembe električnega toka, zato v veliki meri zadrži električne motnje (motnje predstavljajo kratkotrajni pojavi velikih napetosti).

R, C in L so linearni elementi, ker je povezava med tokom in napetostjo linearna. Napetost se enakomerno - linearno povečuje s tokom.

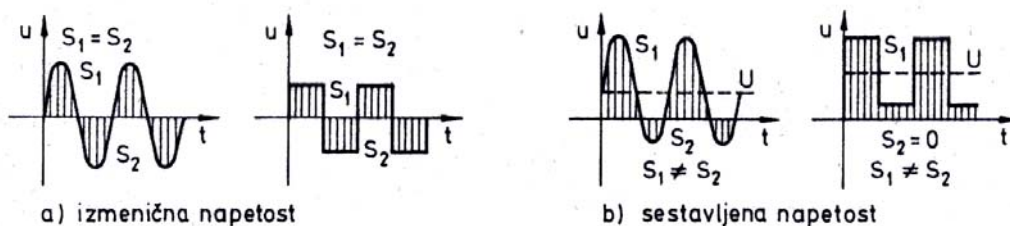
Izmenične električne veličine

Izmenične in sestavljene električne veličine

Izmenično veličino imenujemo tisto električno veličino, pri kateri so **ploskve**, ki jih oklepa krivulja časovne odvisnosti veličine s časovno osjo, **enake po površini**.

Na sliki a) sta sinusna in pravokotna **izmenična napetost**.

Na sliki b) je izmenični napetosti dodana še enosmerna napetost, zato površini ploskev nad in pod časovno osjo nista enaki. Takí električni veličini rečemo **sestavljena električna veličina**.

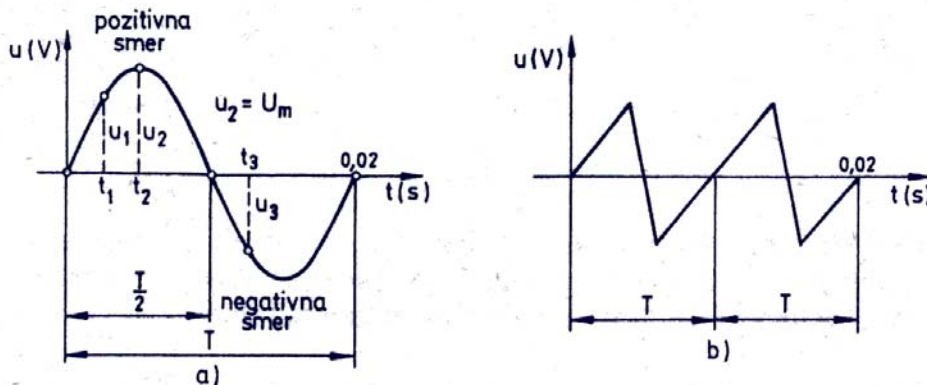


Časovna perioda (T) in frekvenca (f)

Časovna perioda T je čas (s), v katerem se časovni potek izmenične veličine **ponovi**.

Število ponovitev period v časovni enoti (s) predstavlja **frekvenco f (Hz)**

Frekvenca je **obratno sorazmerna** s časovno periodo: $f = \frac{1}{T}$ ($\frac{1}{s} = s^{-1} = \text{Hz} - \text{Hertz}$)

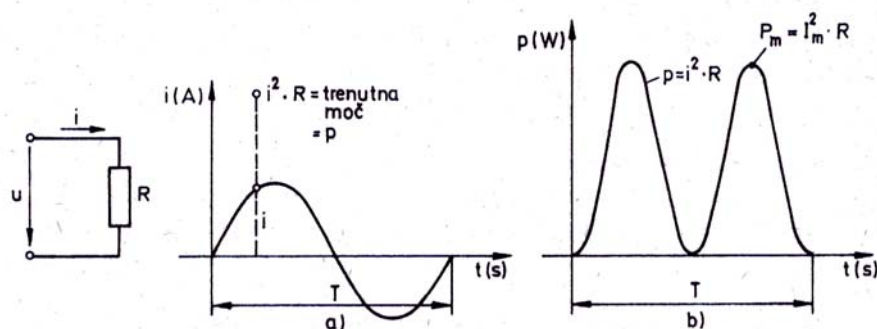


Temenska, efektivna in srednja vrednost izmenične električne veličine

Največji trenutni vrednosti električne veličine rečemo **maksimalna** ali **temenska vrednost**.

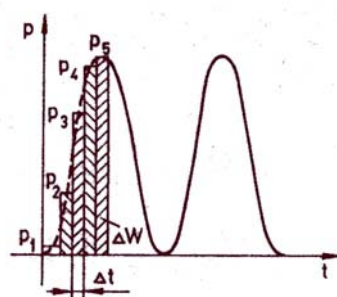
Slika b) prikazuje časovno krivuljo trenutne moči izmeničnega toka

$$P = I^2 \cdot R \text{ (W)}$$



Delo električnega toka ponazarja **površina**, ki jo oklepa krivulja moči s časovno osjo:

$$W = P \cdot t \text{ (Ws)}$$



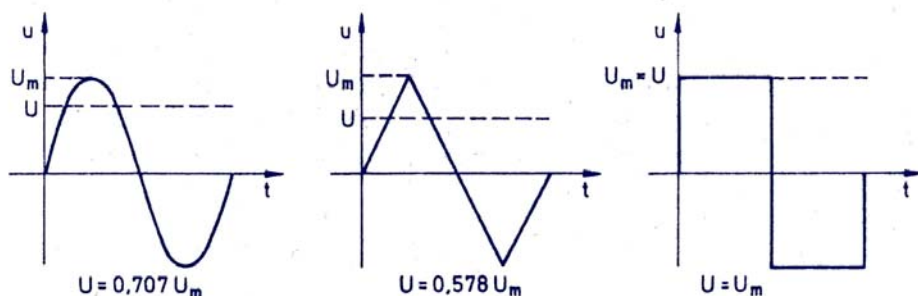
Efektivna vrednost izmenične električne veličine ima **enak učinek** kot enakovredna enosmerna veličina.

V praksi večinoma podajamo in računamo z efektivnimi vrednostmi izmeničnih veličin, zato izraz "**efektivna**" **običajno izpuščamo**. Če rečemo, da ima izmenična napetost vrednost 220 V, je mišljena efektivna vrednost napetosti.

Efektivne vrednosti kažejo tudi različni **merilniki** izmeničnih veličin (voltmeter, wattmeter, ampermeter, itd.)

U_m ... maksimalna, temenska vrednost napetosti

U ... efektivna vrednost električne napetosti



Izračuni za električno delo nam pokažejo, da sta pri **sinusni obliki** efektivni tok in efektivna napetost enaka:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m$$

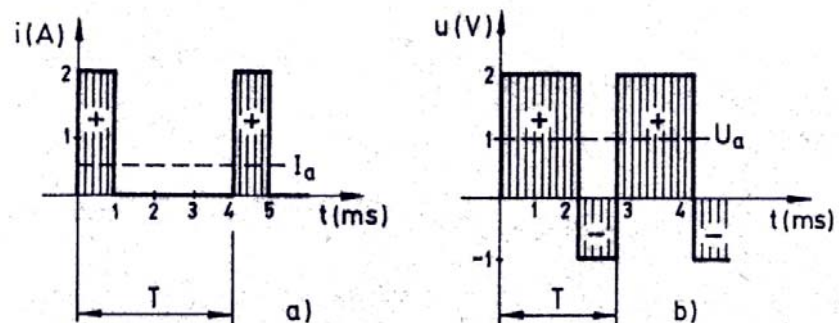
Pri **trikotni obliki napetosti** je razmerje med efektivno in maksimalno napetostjo:

$$I = 0,578 \cdot I_m \quad U = 0,578 \cdot U_m$$

Pri **pravokotni obliki napetosti** pa je efektivna napetost kar enaka maksimalni oz. temenski napetosti: $U = U_m$

Srednjo vrednost električne veličine izračunamo tako, da razliko pozitivnih in negativnih površin, kijih oklepa časovni diagram veličine v eni časovni periodi, delimo s periodo.

Iz tega lahko sklepamo, da je srednja vrednost katerekoli izmenične veličine **nič**.



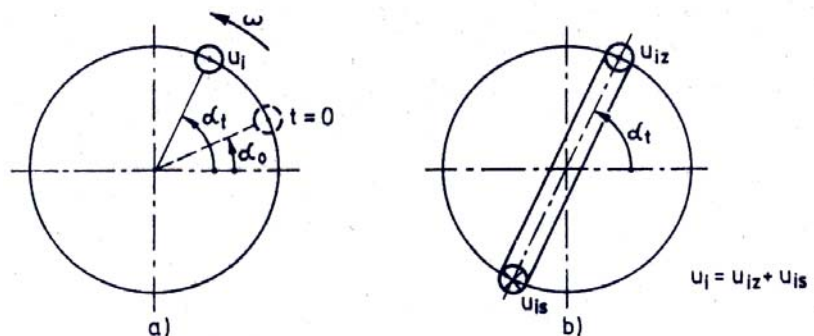
Inducirana napetost u_i in krožna frekvenca ω (s^{-1})

V zanki oz. navitju, ki se vrti z **nespremenljivo kotno hitrostjo** v **homogenem** električnem polju, se inducira sinusna oblika električne napetosti.

$$u_i = U_m \sin(\omega t + \alpha_0)$$

Krožna frekvenca predstavlja **število radianov**, ki jih zanka opravi v časovni enoti.

V eni obkrožitvi - periodi opravi zanka 2π radianov



Krožna frekvenca je obratno sorazmerna s periodo $T(s)$ oz. premo sorazmerna s

frekvenco $f(Hz)$

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

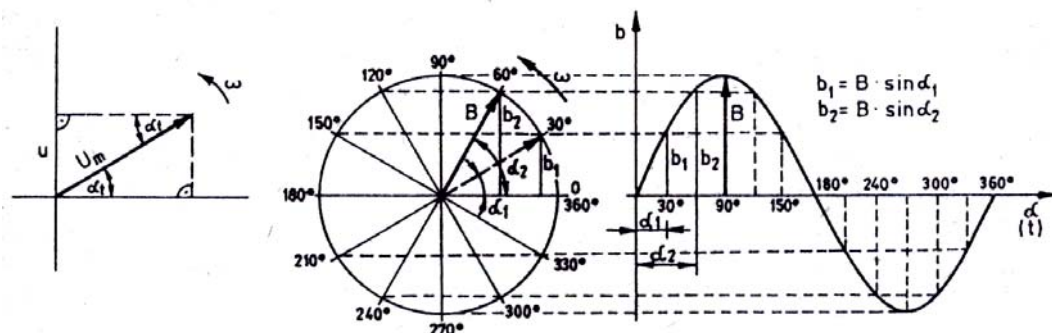
Časovni in kazalčni diagram sinusne veličine

S **časovnim diagramom** nazorno prikažemo **trenutno vrednost** sinusne veličine, njeno maksimalno vrednost in periodo.

Težko pa je v istem diagramu prikazati **več** izmeničnih veličin, ker postane diagram **nepregleden**.

Kazalčni diagram na spodnji sliki omogoča enostaven prikaz in razumevanje sinusnih veličin **enakih frekvenc**. Predstavimo jih s **kazalci maksimalne dolžine** npr. I_m , U_m , ki se vrtijo v smeri nasprotni smeri vrtenja urinih kazalcev.

Vsi kazalci se vrtijo z **enako krožno frekvenco** ω .



Kazalec ponazarja **maksimalno vrednost** sinusne veličine, njegova **projekcija na ordinatno os** pa prikazuje **trenutno vrednost** sinusne veličine.

$$u = U_m \cdot \sin \alpha_1 = U_m \cdot \sin(\omega t)$$

Če je v kazalčnem diagramu več veličin, se fazni koti med vrtenjem kazalcev **ohranjajo**.

Kazalca, ki imata enak začetni fazni kot - sta **v fazi**, ležita drug na drugem.

Če se kazalec neke veličine nahaja pred kazalcem druge veličine, pravimo, prva veličina **prehiteva** drugo.

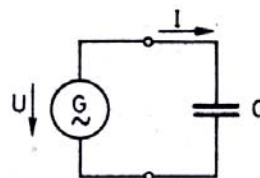
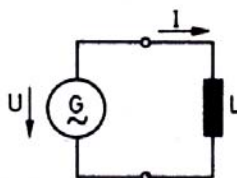
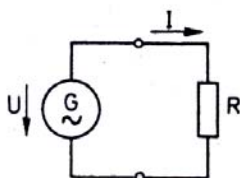
Za risanje lahko uporabljamo namesto kazalcev maksimalnih vrednosti kazalce **efektivnih** vrednosti veličin. Seveda pa so v takem primeru tudi vse projekcije kazalca za $\sqrt{2}$ krajše.

Enostavni izmenični krogi

Za enostavne izmenične kroge je značilno, da se v električnem krogu nahaja le **čista** ohmska upornost, čista induktivnost ali čista kapacitivnost.

V praksi seveda ni idealnih elementov, zato je ohmski upornosti pridružena induktivnost tuljave, tuljavi ohmska upornost navitja in kondenzatorju ohmska upornost dielektrika.

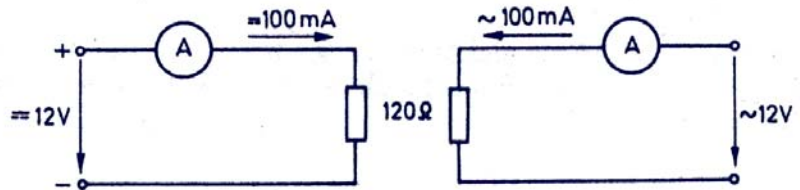
Enostavni izmenični tokokrogi z idealnimi elementi



Izmenični krog z ohmskim uporom

Z ohmskimi porabniki se srečamo pri grelcih, žarnicah, upori v energetiki, elektroniki, itd.

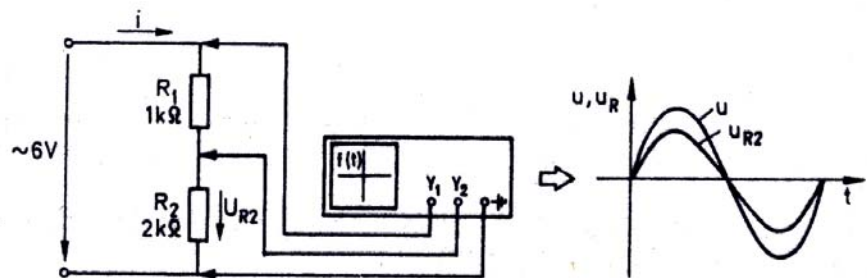
Slika prikazuje ohmsko upornost $120\ \Omega$, ki je priključena na **enosmerni** in **izmenični** generator napetosti $12\ \text{V}$.



V obeh primerih teče v tokokrogu **enak efektivni tok 100 mA**. Ohmsko breme prevaja izmenični tok **enako dobro** kot enosmernega.

Primerjava časovnih potekov napetosti izvora in padca napetosti na upor R_2 .

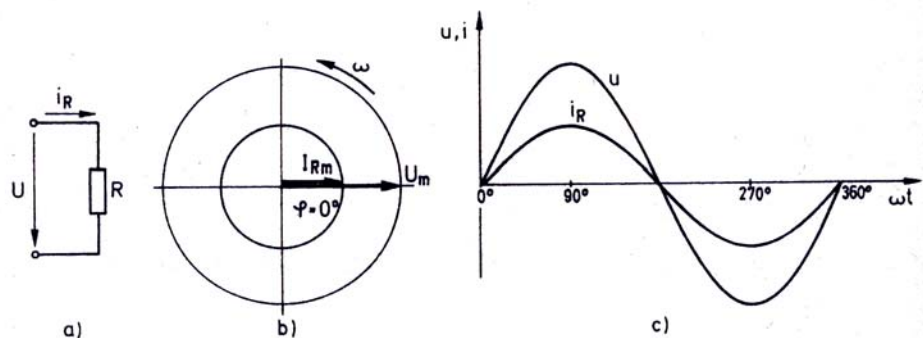
Prek padca napetosti na upor R_2 opazujemo tok skozi upor.



Zaključek: Tok, ki teče skozi ohmsko breme, je **v fazi z napetostjo** na upor.

Padec napetosti na ohmski upornosti je **v fazi s tokom** skozenj.

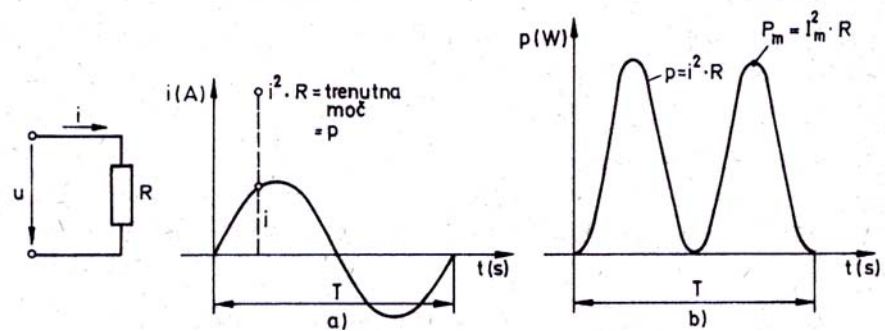
Fazni kot med tokom in napetostjo $\varphi = 0^\circ$.



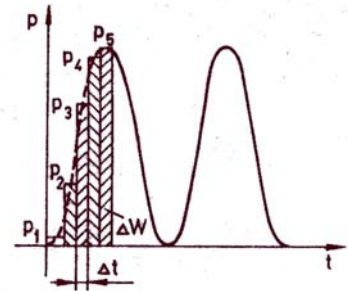
Tok skozi upor je:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cdot \sin(\omega t)}{R} = \frac{U_m}{R} \cdot \sin(\omega t) = I_m \cdot \sin(\omega t)$$

Na sliki b) je prikazan potek moči $p=u \cdot i$ v ohmskem izmeničnem tokokrogu. Moč se spreminja z **dvojno frekvenco** toka oz. napetosti.

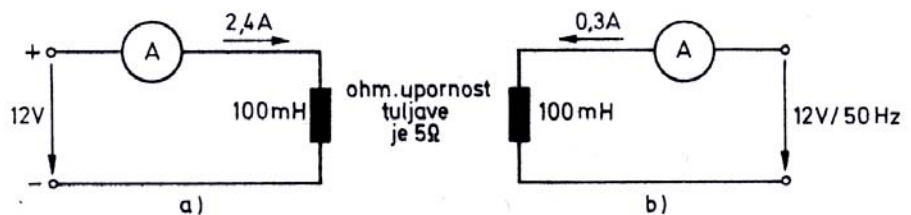


Energija oz. **električno delo**, ki ga opravi električna moč v času t , je enako **površini**, ki jo krivulja moči oklepa s časovno osjo.



Izmenični krog s tuljavo

Tuljavo z induktivnostjo 100 mH priključimo na enosmerni in izmenični generator napetosti 12 V.



Večji tok teče v enosmernem tokokrogu.

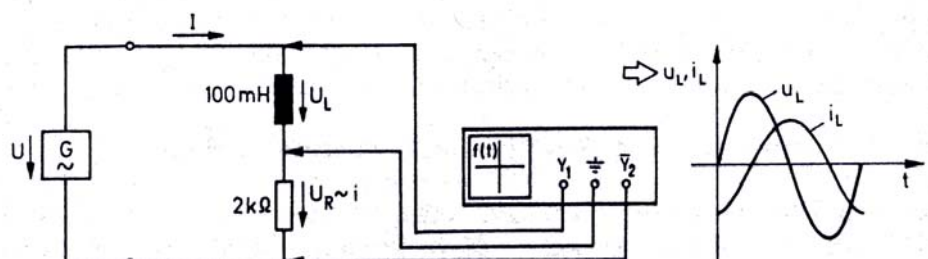
Napetost lastne indukcije tuljave **zmanjšuje tok** v izmeničnem tokokrogu.

Tuljava ima v izmeničnem tokokrogu **induktivno upornost** X_L , ki jo povzroča napetost **lastne indukcije**.

$$X_L = \frac{U_L}{I_L} = \omega \cdot L = 2\pi f L \ (\Omega)$$

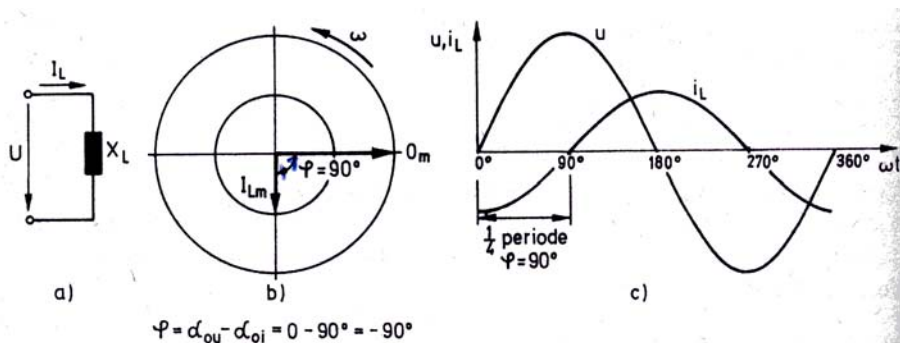
Induktivna upornost **narašča s frekvenco toka!**

Primerjava časovnega poteka napetosti na tuljavi in toka skozi tuljavo (tok skozi tuljavo je sorazmeren padcu napetosti na R).



V izmeničnem tokokrogu z idealno tuljavo **zaostaja tok za napetostjo za 1/4 periode, to je za 90°**

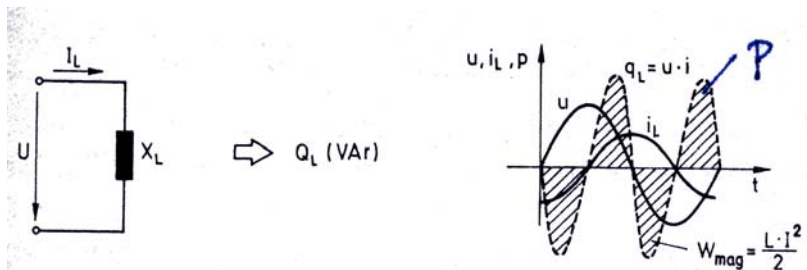
$$j = 90^\circ$$



Tuljava se **upira spremembi toka**, zato tok zaostaja za napetostjo.

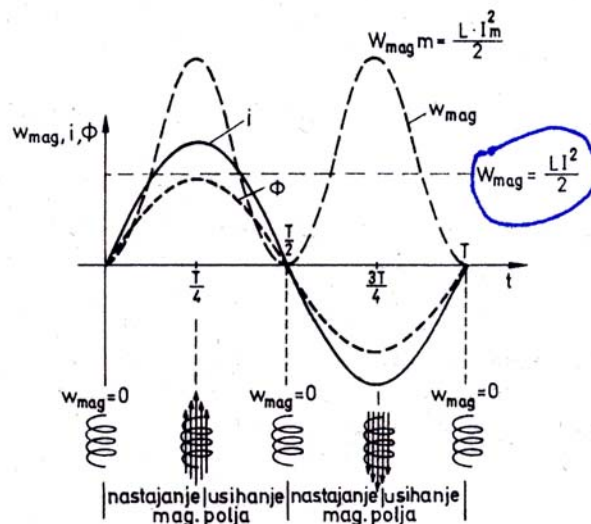
Fazni kot je **pozitiven**, ker **tok zaostaja za napetostjo**.

Moč v izmeničnem krogu z induktivnostjo je pozitivna ali negativna, kar pomeni, da se moč pretaka **iz generatorja v tuljavo**, v naslednji četrtini periode pa **iz tuljave nazaj v generator**.



Če se pretaka moč, je tako tudi z energijo. V prvi četrtini periode se energija kopiči v tuljavi, v naslednji četrtini periode pa se vrne nazaj v generator.

Na induktivni upornosti se električna energija **ne pretvarja trajno v magnetno energijo** in se **ne sprošča**.



Energijo imenujemo **jalova energija**.

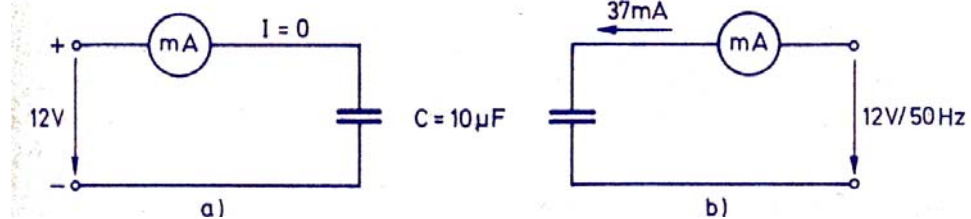
Tudi induktivno upornost imenujemo **jalova upornost X_L** .

Moč toka v induktivnem izmeničnem tokokrogu je **jalova moč Q_L**

$$Q_L = U \cdot I_L = I_L^2 \cdot X_L = \frac{U^2}{X_L} \text{ (VAr)}$$

Izmenični krog s kondenzatorjem

Kondenzator s kapacitivnostjo 10 mF priključimo na enosmerni in izmenični generator napetosti 12 V.



V enosmernem tokokrogu steče le kratkotrajni tok polnjenja kondenzatorja, ki pa nato **upade na 0**.

Za enosmerni tok predstavlja kondenzator **neskončno upornost**.

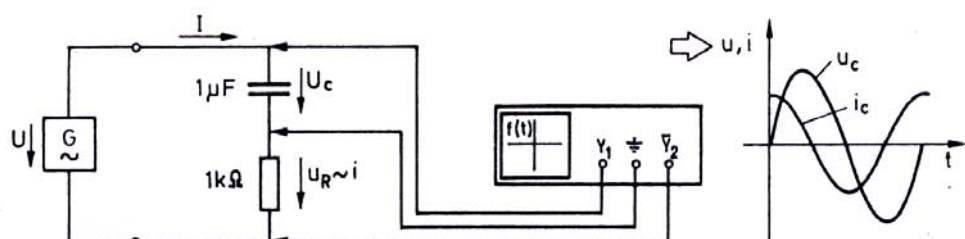
V izmeničnem tokokrogu teče **stalni tok**. Kondenzator navidezno prevaja električni tok - stalno se ponavlja polnjenje in praznjenje kondenzatorja.

Kondenzator predstavlja za električni tok končno upornost, ki jo imenujemo **kapacitivna upornost** X_C . X_C povzroča stalno polnjenje in praznjenje kondenzatorja.

$$X_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (\Omega)$$

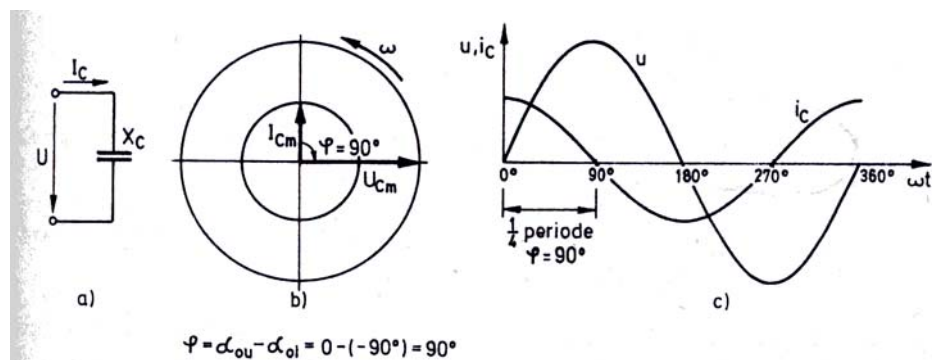
Kapacitivna upornost se **zmanjšuje z naraščanjem frekvence!**
Tok z visoko frekvenco kondenzator dobro prevaja.

Primerjava časovnega poteka napetosti na kondenzatorju in toka skozi kondenzator (tok skozi kondenzator je sorazmeren padcu napetosti na R).



V izmeničnem tokokrogu z idealnim kondenzatorjem **zaostaja napetost za tokom za 1/4 periode, to je za 90°**

$$j = -90^\circ$$

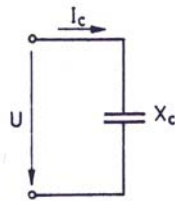


Napetost na kondenzatorju zaostaja za tokom, ker se kondenzator **postopoma** prazni oz. polni.

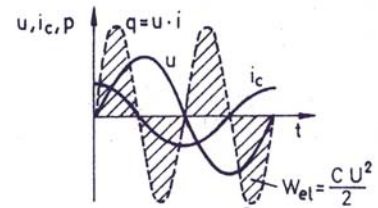
Fazni kot je **negativen**, ker **tok prehiteva napetost**.

Moč v izmeničnem krogu s kapacitivnostjo je pozitivna ali negativna, podobno kot pri induktivnosti.

To pomeni, da se moč pretaka **iz generatorja v kondenzator**, v naslednji četrtini periode pa **iz kondenzatorja nazaj v generator**.

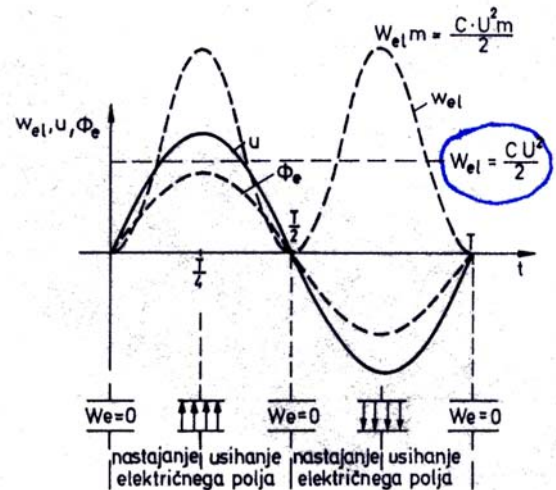


$$\Rightarrow Q_c \text{ (VAr)}$$



Če se pretaka moč, se prenaša tudi energija. V prvi četrtini periode se energija kopiči v kondenzatorju v obliki električnega naboja, v naslednji četrtini periode pa se vrne nazaj v generator.

Na kapacitivni upornosti se električna energija **ne pretvarja trajno v energijo drugih oblik** in se **ne sprošča**.



Energijo, ki se pretaka med generatorjem in tuljavo, imenujemo **jalova energija**.

Tudi kapacitivno upornost imenujemo **jalova upornost X_c** .

Moč toka v kapacitivnem izmeničnem tokokrogu je **jalova moč Q_c**

$$Q_c = U \cdot I_c = I_c^2 \cdot X_c = \frac{U_c^2}{X_c} \text{ (VAr)}$$

Sestavljeni izmenični krogi

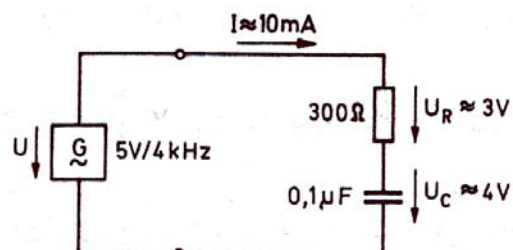
Sestavljen izmenični krog sestavlja poljubna vezava C , L in R elementov.

Nadomestno upornost sestavljenega izmeničnega kroga imenujemo **polna upornost** ali

impedanca in jo označimo z Z : $Z = \frac{U}{I} (\Omega)$

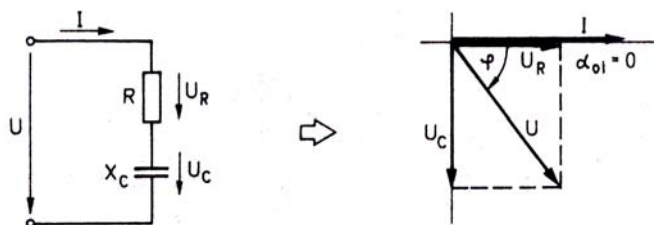
Na sliki sta zaporedno povezana upor in kondenzator, ki skupaj določata tok v tokokrogu.

Napetost na obeh elementih skupaj na sliki je **višja** kot napetost generatorja.



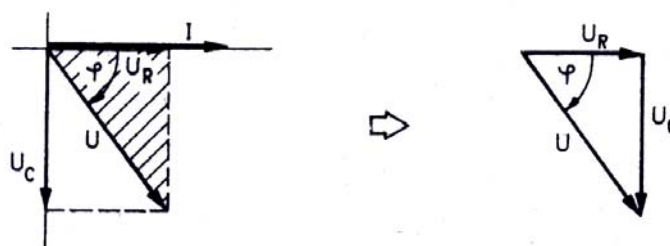
Kazalčni diagram za zaporedno vezavo upora in kondenzatorja:

- kazalca U_R in U_C sta **pravokotna** med seboj
- napetost generatorja U je **geometrična vsota** U_R in U_C
- tok I **prehiteva napetost U** za kot j

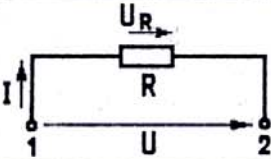
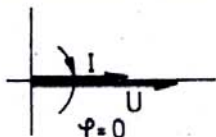
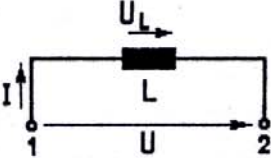
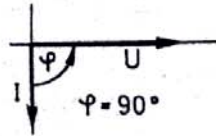
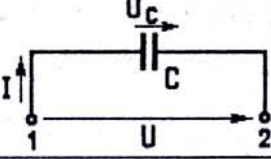
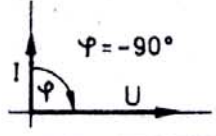
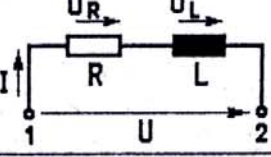
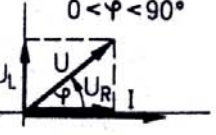
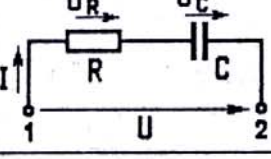
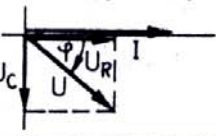
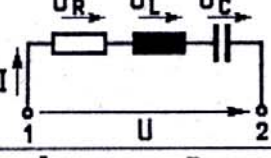
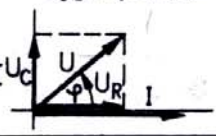
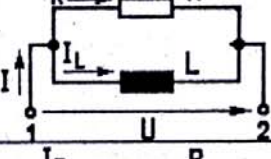
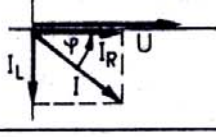
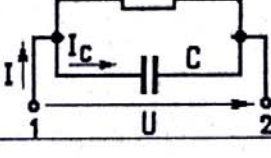
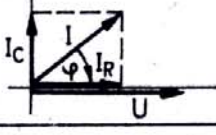
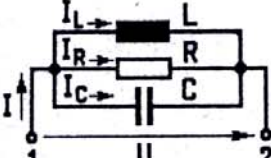
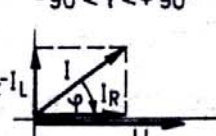


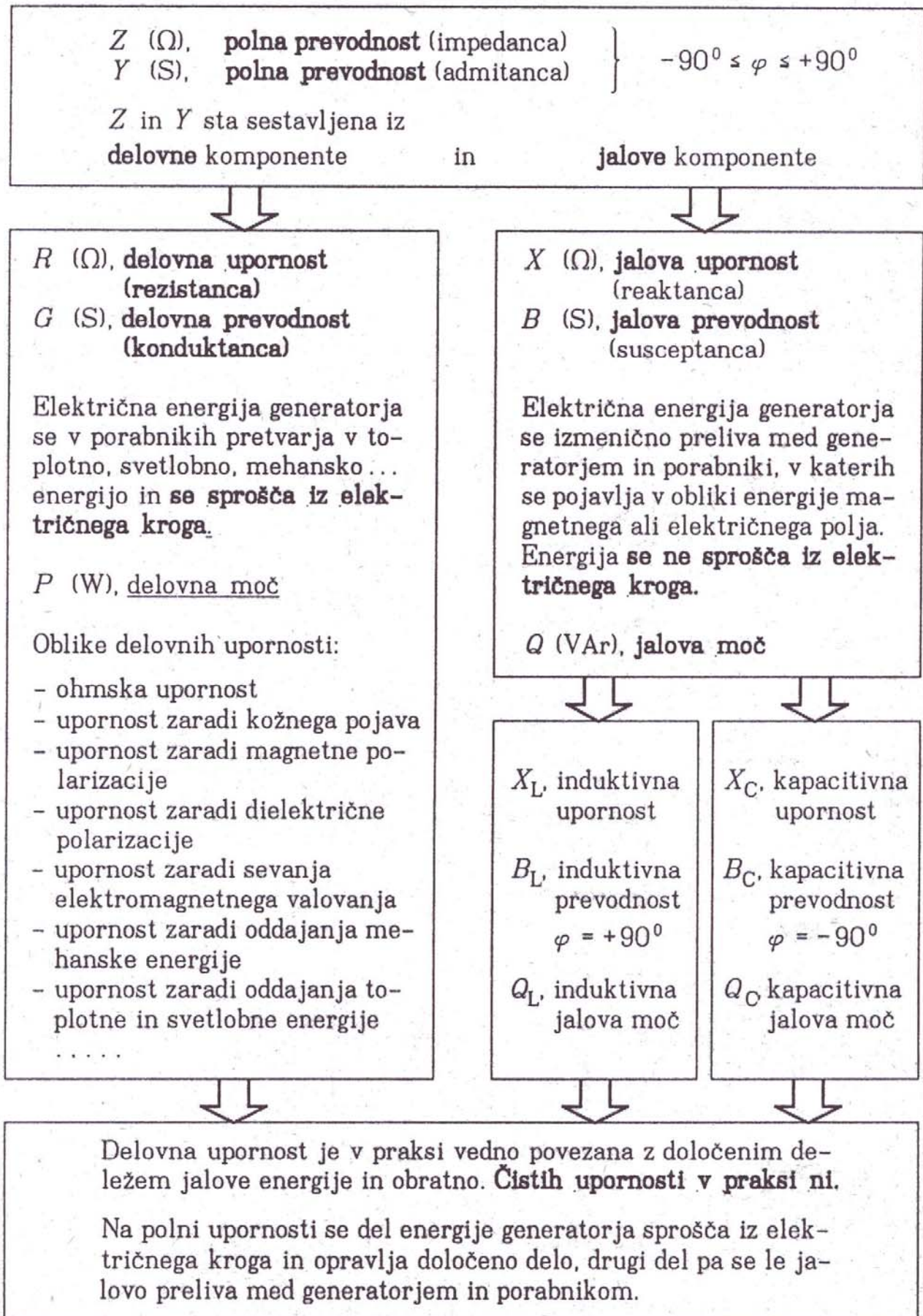
$$U_R = U \cdot \cos \varphi \quad U_C = -U \cdot \sin \varphi$$

Na ohmski upornosti prihaja do ohmskega - **delovnega padca napetosti U_R** , na kapacitivni upornosti pa do kapacitivnega - **jalovega padca napetosti U_C** .



V zaporednem RC izmeničnem krogu generator deluje z večjo močjo v primerjavi z delovno, ker se mora prelivati **še jalova energija** (glej naslednji dve strani s pregledom povezav).

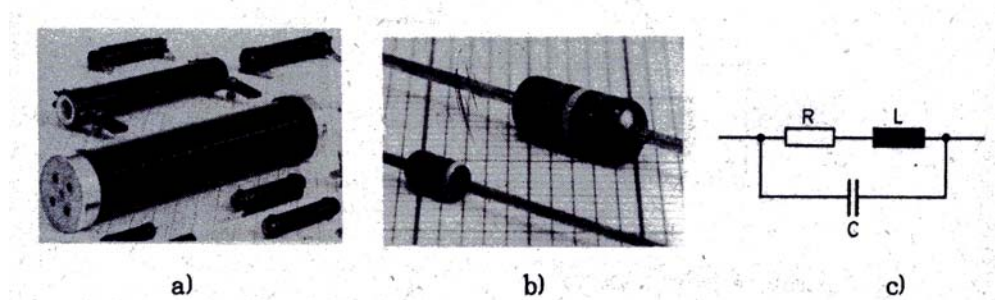
VEZAVA UPORNOSTI	KAZALČNI DIAGRAM	TOK NAPETOST	UPORNOST PREVODNOST	MOČ
		$I = \frac{U}{R}$	$R, G = \frac{1}{R}$	$P = U_R \cdot I_R$ $P = I_R^2 \cdot R$ $P = \frac{U_R^2}{R}$
		$I = \frac{U}{X_L}$	$X_L = \omega L$ $B_L = \frac{1}{\omega L}$	$Q = U_L \cdot I_L$ $Q = I_L^2 \cdot X_L$ $Q = \frac{U_L^2}{X_L}$
		$I = \frac{U}{X_C}$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$ $B_C = \omega C$	$Q = U_C \cdot I_C$ $Q = I_C^2 \cdot X_C$ $Q = \frac{U_C^2}{X_C}$
		$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$	$Z_{12} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	$S_{12} = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$
		$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$	$Z_{12} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	$S_{12} = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$
		$U = \sqrt{U^2 + (U_L - U_C)^2}$ pri $U_L = U_C$: $U = U_R, \varphi = 0$	$Z_{12} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ pri $X_L = X_C$: $Z_{12} = R, \varphi = 0$	$S_{12} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$ pri $Q_L = Q_C$: $S_{12} = P, \varphi = 0$
		$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$	$Y_{12} = \sqrt{G^2 + B_L^2}$ $Z_{12} = 1/Y_{12}$	$S_{12} = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$
		$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$	$Y_{12} = \sqrt{G^2 + B_C^2}$ $Z_{12} = 1/Y_{12}$	$S_{12} = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$
		$I = \sqrt{I^2 + (I_L - I_C)^2}$ pri $I_L = I_C$: $I = I_R, \varphi = 0$	$Y_{12} = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$ $Z_{12} = 1/Y_{12}$ pri $B_C = B_L$: $Y_{12} = G, Z_{12} = R, \varphi = 0$	$S_{12} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$ pri $Q_C = Q_C$: $S_{12} = P, \varphi = 0$



Realni elementi v izmeničnih krogih

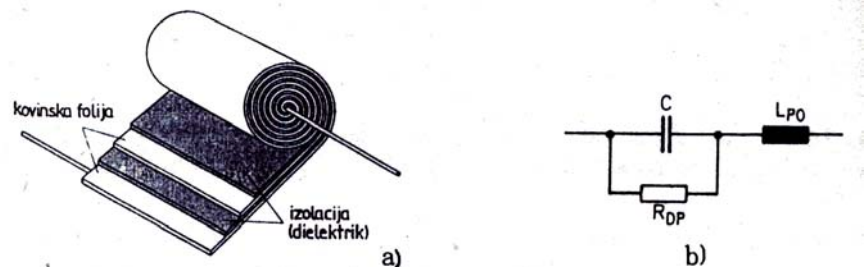
Naviti žični upori in plastni upori imajo poleg ohmske upornosti tudi induktivnost, med ovoji žice pa tudi kapacitivnost. Induktivnost in kapacitivnost sta neželeni - **parazitni lastnosti**.

Slika c) prikazuje nadomestno vezavo **realnega žičnega ali plastnega upora**



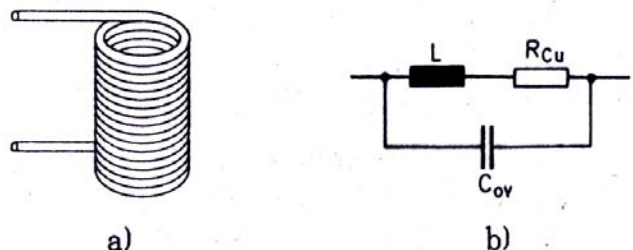
Kondenzatorja, ki bi imel čisto kapacitivnost, ni mogoče izdelati. Dielektrik ni popoln izolator, priključki in elektrode imajo določeno upornost in induktivnost.

Na sliki b) je nadomestna vezava **realnega folijskega kondenzatorja**



Realna tuljava nima le induktivnosti ampak tudi majhno kapacitivnost med ovoji in ohmsko upornost navitja.

Slika b) predstavlja nadomestno upornost tuljave



Kjer se pojavljajo vodniki, vezi na tiskanem vezju, vezi v integriranem vezju, imamo opraviti tudi s kapacitivnostmi. Te so spremljajoča lastnost vezja, ki se ji ne moremo izogniti. Njihov vpliv je **škodljiv**, saj kapacitivnosti povzročajo **zakasnitve** v vezju (polnjenje in praznjenje teh kapacitivnosti traja določen čas).

Prihaja tudi do **presluhov med signali** (en signal vpliva na drugega). V tem primeru predstavljata npr. vezi dveh sosednjih signalov neko kapacitivnost, zato sta signala kapacitivno povezana med seboj in vplivata drug na drugega. En signal se meša z drugim in obratno.

Tudi induktivnost pogosto predstavlja **škodljiv pojav**. Problem je še zlasti velik pri signalih v elektronskih vezjih, ki se skokovito spreminjajo, saj induktivnosti v vezju (žice, vezi na tiskanem vezju) zavirajo take spremembe. Na teh induktivnostih se pojavljajo **inducirane napetosti** pri hitrih spremembah toka v vezju.

Slika prikazuje **blokado inducirane napetosti** z diodo pri krmiljenju navitja releja s tranzistorjem

