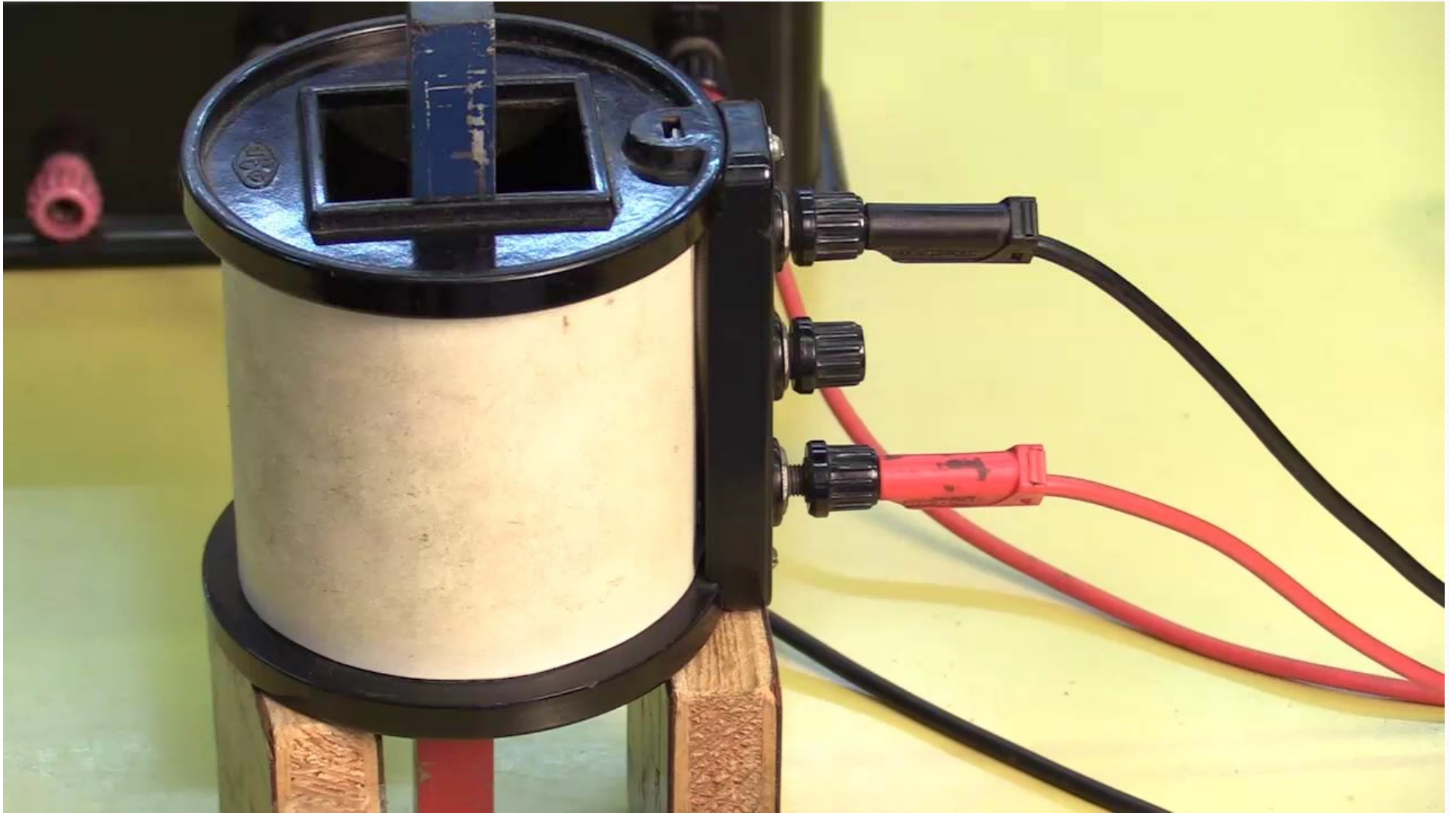


# ELEKTROMAGNETSKE POJAVE

# ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

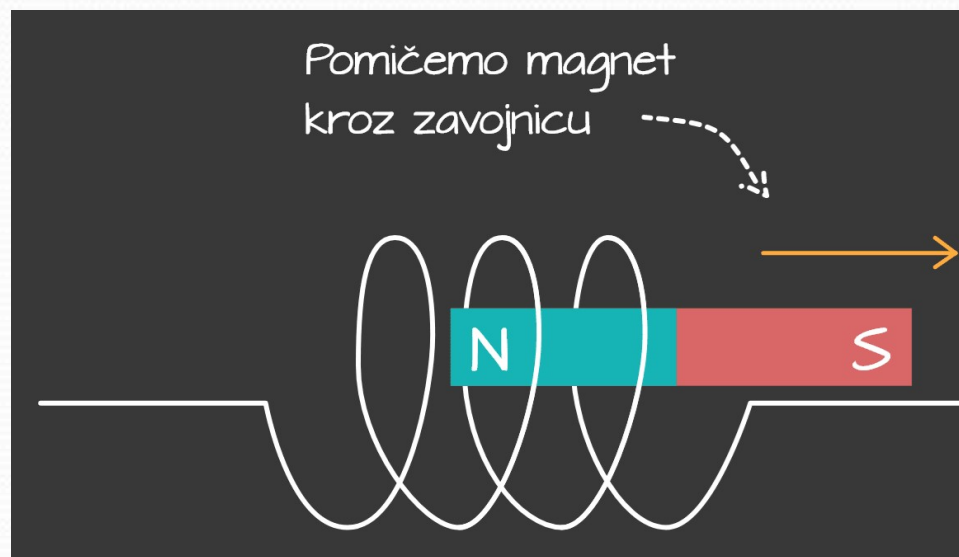


# ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

- Što možemo primjetiti?
  - Magnet miruje unutar zavojnice –
    - Kazaljka galvanometra se ne otklanja
  - Pomicanje magneta unutar zavojnice uzrokuje otklon galvanometra.
  - Brže pomicanje magneta unutar zavojnice –
    - Uvjetuje veće otklone kazaljke galvanometra
  - Pomicanje magneta kroz zavojnicu manjeg broja namotaja –
    - Uzrok je manjim otklonima kazaljke galvanometra.
- Što mjerimo galvanometrom?
  - Mjerimo napon na krajevima zavojnice, a ako je strujni krug zatvoren, jakost struje.

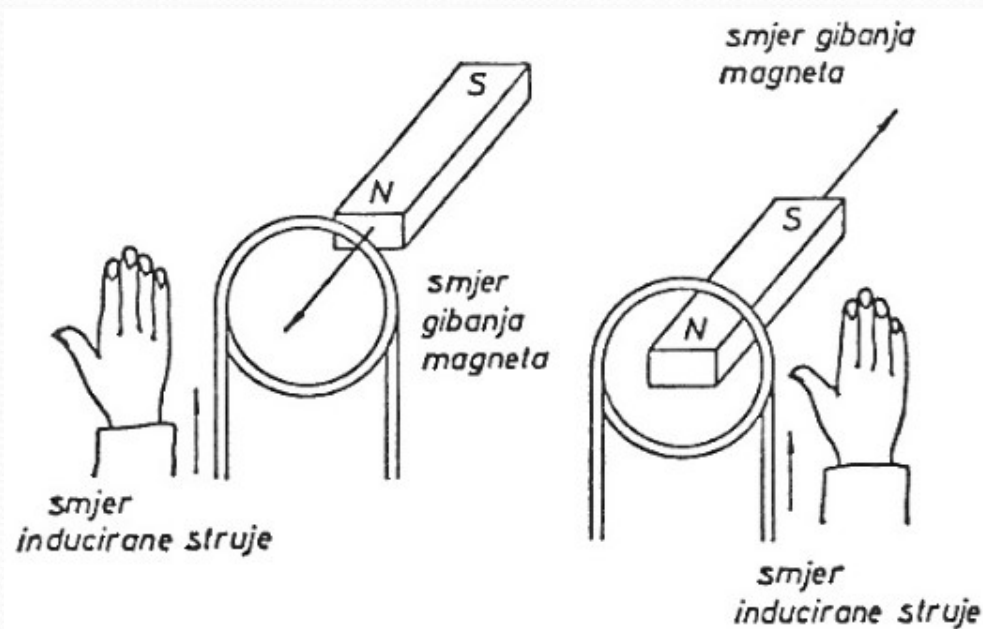
# ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

- Pojava pri kojoj se promjenjivim magnetskim poljem stvara električno polje i električna struja naziva se **elektromagnetska indukcija**.
- Napon koji se pojavljuje zovemo **inducirani napon**.
- Promjenu magnetskog toka možemo izazvati promjenom kuta (rotacijom petlje), površine ili jakosti magnetske indukcije.



# ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

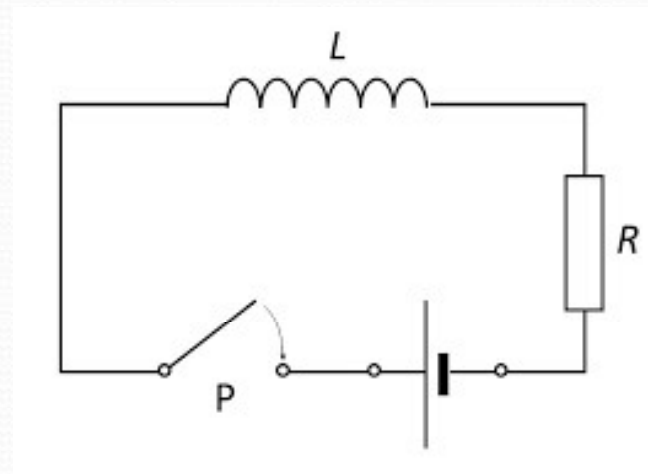
- Ako je vodič u kojem se inducira elektromotorna sila dio zatvorenog strujnog kruga, kroz njega će poteći struja.
- Struja pobuđena elektromagnetskom indukcijom zove se **inducirana struja**.
- Smjer struje određujemo pravilom desne ruke:



# INDUKCIJA PROMJENOM MAGNETSKOG TOKA

- Možemo li promjenu magnetskog toka postići bez magneta?

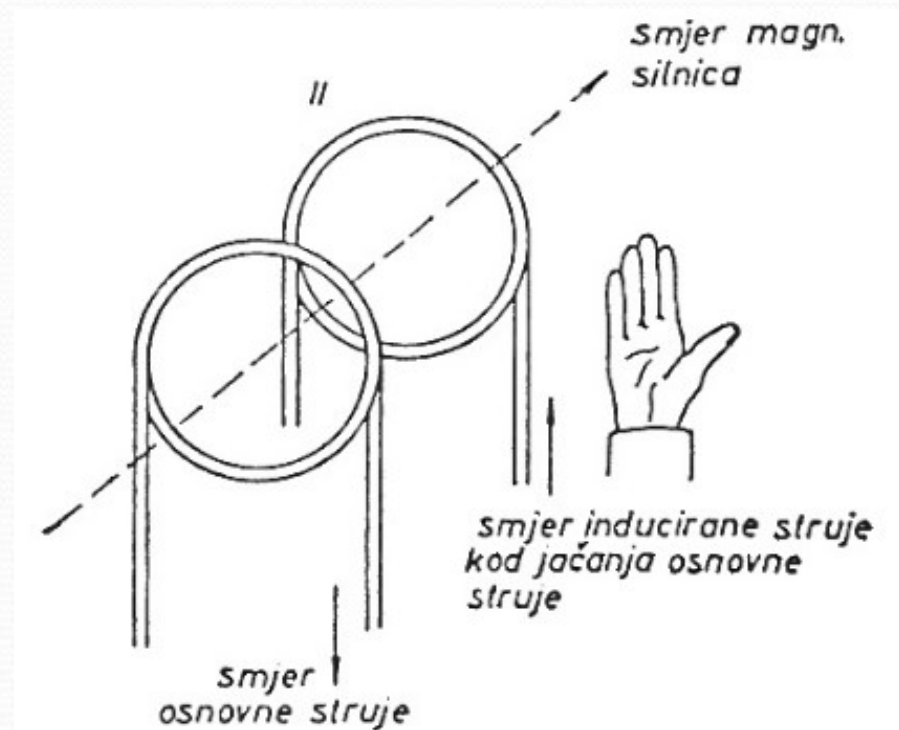
- Pomoću kliznog otpornika
- Pomoću prekidača



- Mijenjanjem jakosti struje pomoću kliznog otpornika koja prolazi kroz svitak I ili prekidanjem prekidača, mijenjamo i veličinu magnetskog toka koji nastaje u tom svitku.
- Ako uz svitak I postavimo susjedni svitak II, šta se događa u drugom svitku?

# INDUKCIJA PROMJENOM MAGNETSKOG TOKA

- Taj promjenjivi magnetski tok prolazi i kroz susjedni svitak II, pa će se i u njemu inducirati struja.
- Što primjećujemo?
  - Smjer inducirane struje nije isti pri jačanju i slabljenju osnovne struje u svitku I.
  - Veličina inducirane struje biti će to veća što je veća promjena osnovne struje i što je ta promjena brža.

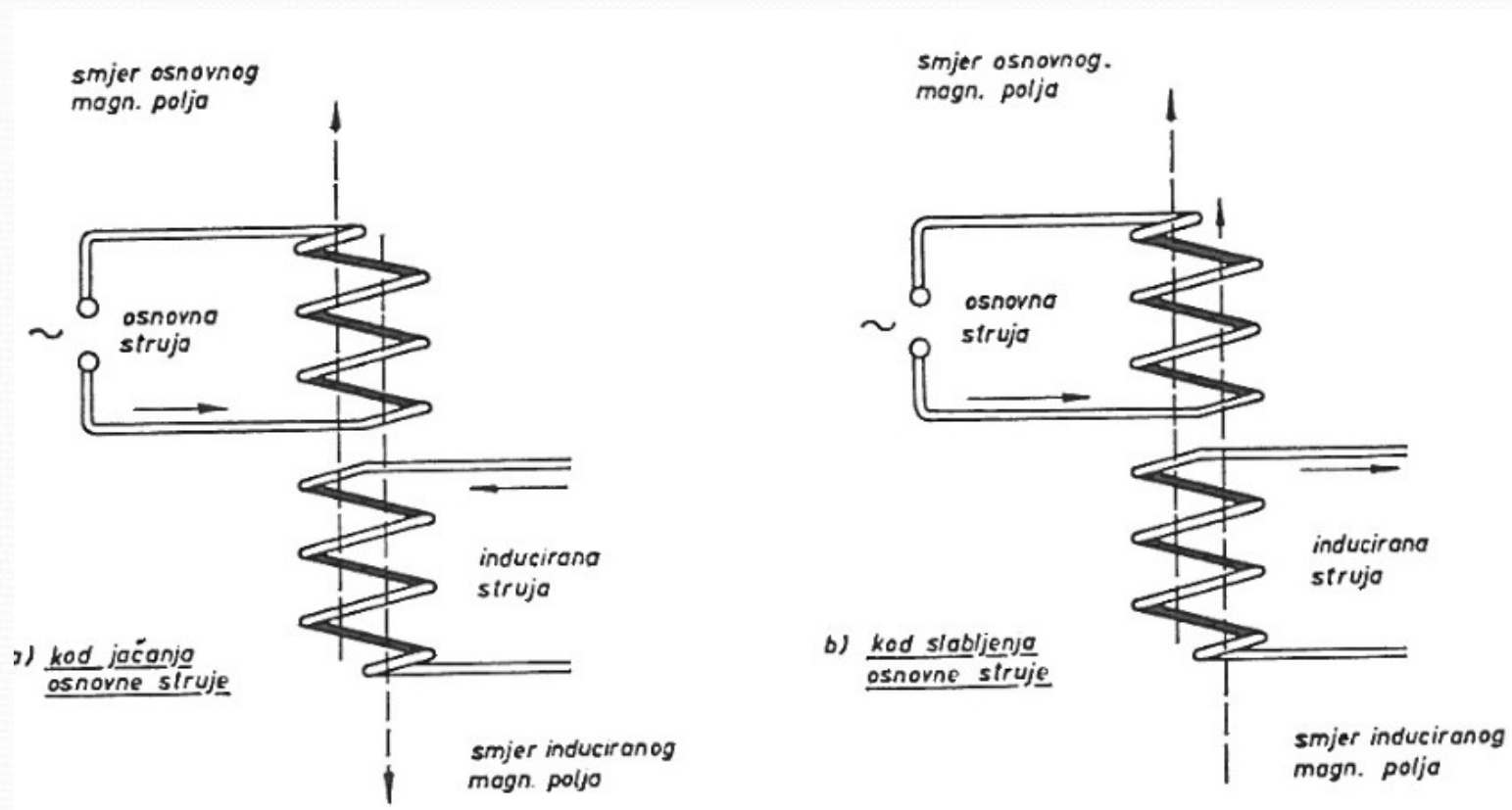


# LENZOVO PRAVILO

- Kad se vodič giba kroz magnetsko polje, u njemu se inducira električna struja.
- Smjer inducirane struje je uvijek suprotan smjeru magnetskog polja (ZAKON O ODRŽANJU ENERGIJE!).
- Do iste pojave dolazi i kod induciranja struje zbog promjene magnetskog toka.
  - Pri jačanju osnovnog magnetskog polja inducirana struja stvara magnetsko polje suprotnog smjera (nastoji spriječiti porast osnovnog polja).
  - Pri slabljenju osnovnog polja inducirana struja stvara polje istog smjera (nastoji spriječiti pad osnovnog polja).
  - Inducirana struja, uvijek, nastoji spriječiti uzrok svog postanka!

# LENZOVO PRAVILO

- Smjer svake inducirane struje određen je općim pravilom koje se zove **Lenzovo pravilo**:
- Inducirana struja ima uvijek takav smjer da svojim magnetskim poljem nastoji spriječiti promjene koje ju izazivaju.



# OPĆI ZAKON INDUKCIJE

- Svaka elektromagnetska indukcija je posljedica promjene magnetskog toka.
- Inducirana elektromotorna sila je to veća što je veća promjena magnetskog toka i što je ta promjena brža.
- Taj odnos dan je u **općen zakonu indukcije**:

$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- $E$  – inducirana EMS u jednom zavoju (V)
- $\Delta\phi$  – promjena magnetskog toka (Wb)
- $\Delta t$  – vrijeme trajanja promjene (s)

# OPĆI ZAKON INDUKCIJE

- Inducirana elektromotorna sila je razmjerna s veličinom promjene magnetskog toka i obrnuto razmjerna s vremenom trajanja promjene.
- Ako svitak ima više zavoja, onda se elektromotorne sile inducirane u pojedinim zavojima zbrajaju, pa je ukupna inducirana elektromotorna sila:

$$E = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- N – broj zavoja svitka
- E – inducirana EMS u jednom zavoju (V)
- $\Delta\phi$  – promjena magnetskog toka (Wb)
- $\Delta t$  – vrijeme trajanja promjene (s)

# VELIČINA INDUCIRANE EMS

- U praksi je često prikladniji drugi oblik formule koji dobijemo ako promjenu toka prikažemo kao posljedicu gibanja vodiča:

$$E = B \cdot l \cdot v$$

- $E$  – inducirana EMS u jednom zavoju (V)
- $B$  – magnetska indukcija (T)
- $l$  – duljina vodiča (m)
- $v$  – brzina gibanja vodiča (m/s)

1. Ako brzo izvučemo magnet iz nekog svitka, u tom se svitku magnetski tok naglo smanjuje na nulu. Koliki je magnetski tok magneta koji pri izvlačenju iz svitka sa 800 zavoja pobuđuje u tom svitku EMS od 2,4 V ako izvlačenje magneta (odnosno smanjivanje toka) traje 0,2 sekunde?
2. Magnet čija je magnetska indukcija 0,65 T nalazi se na obodu rotora promjera 50 cm. Kolika se EMS inducira u 24 cm dugačkom vodiču kraj kojeg prolazi taj magnet ako se rotor okreće sa 3000 okr/min?
3. Rotor nekog generatora ima promjer 8 cm i duljinu 12 cm. Kolika se EMS inducira u njemu kod 2000 okr/min ako istovremeno 60 njegovih žica siječe magnetsko polje čija je magnetska indukcija 0,8 T?
4. Kolika treba da je magnetska indukcija magnetskog polja da se u vodiču duljine 50 cm inducira EMS od 4 V ako taj vodič siječe magnetske silnice brzinom 8 m/s?
5. Kolika treba biti obodna brzina rotora generatora, da se u njemu inducira EMS od 600 V ako je
 

magnetska indukcija	.	.	.	.	.	.	.	1,2 T
duljina vodiča u magnetskom polju	.	.	.	.	.	.	.	25 cm
broj vodiča u magnetskom polju	.	.	.	.	.	.	.	200
6. U svitku sa 5000 zavoja nalazi se magnet s magnetskim tokom od 0,0004 Wb. Kroz koje se vrijeme mora taj tok smanjiti na nulu da bi se u svitku inducirala EMS od 20 V?
7. Kolika se EMS inducira u svitku sa 2000 zavoja ako se magnetski tok kroz nje ga smanji za vrijeme 0,05 sekunde od 0,000 65 Wb na 0,000 15 Wb?
8. Koliki magnetski tok treba presijecati vodič u jednoj sekundi da bi se u njemu inducirala elektromotorna sila od 1 V?
9. U magnetskom polju čija je magnetska indukcija 0,75 T giba se vodič duljine 0,6 m okomito na silnice brzinom 2 m/s. Kolika struja teče u strujnom krugu otpora  $10 \Omega$  ako je gornji vodič sastavni dio tog kruga?

# PRIMJENA ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE – EL. GENERATOR

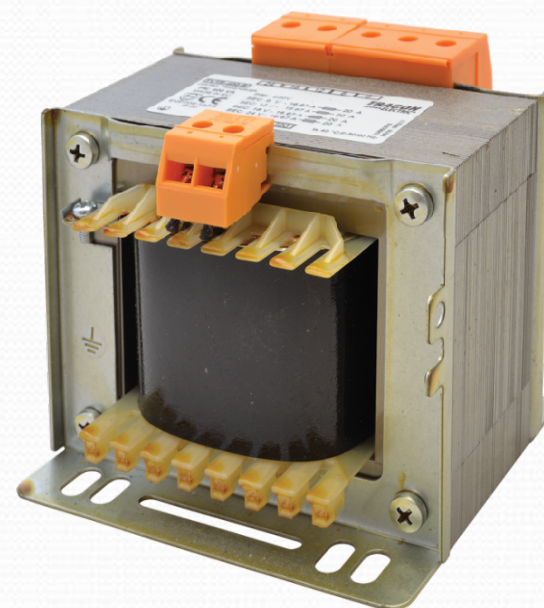
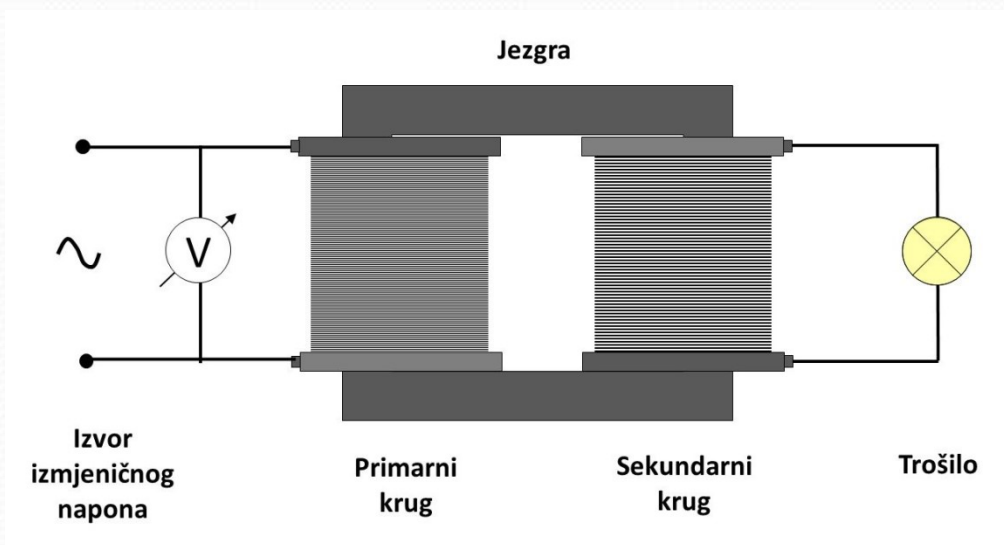
- ELEKTRIČNI GENERATOR - Stroj koji na principu elektromagnetske indukcije pretvara mehaničku energiju u električnu energiju.



- Princip se temelji na okretanju vodiča (zavojnice) unutar magnetskog polja, što uzrokuje promjenu magnetskog toka i inducira napon, odnosno struju. Sastoji se od rotora (pokretni dio) i statora (nepokretni dio).

# PRIMJENA ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE - TRANSFORMATOR

- TRANSFORMATOR- Stroj koji na principu elektromagnetske indukcije pretvara izmjeničnu struju jednog napona u izmjeničnu struju drugog napona.



- Promjenjiva struja u primarnom namotu stvara promjenjivo magnetsko polje u željeznoj jezgri, koje inducira izmjenični napon iste frekvencije u sekundarnom namotu.

# PRIMJENA ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE - TRANSFORMATOR

- OMJERI TRANSFORMACIJE:

$$U_1 : U_2 = N_1 : N_2$$

- Naponi u svicima transformatora razmjerni su s brojem zavoja tih svitaka.
  - Omjer primarnog i sekundarnog napona ( $U_1 : U_2$ ) zove se **omjer transformacije**.
- OMJERI NAPONA I STRUJA:

$$U_1 : U_2 = I_2 : I_1$$

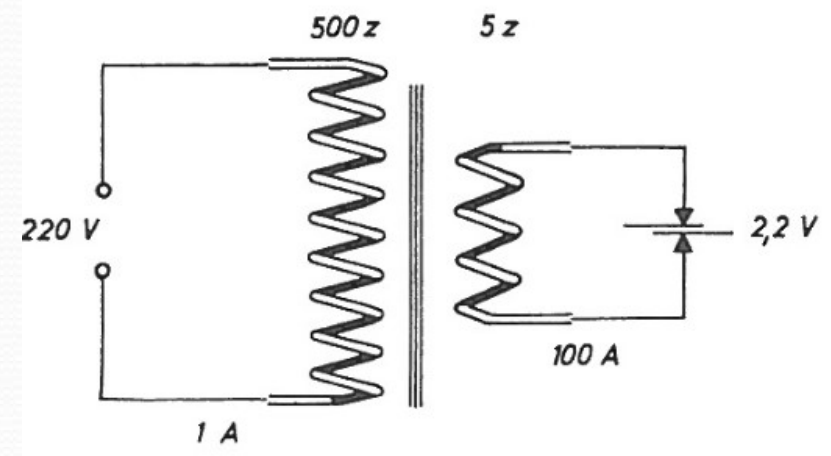
- Struje u svicima transformatora su obrnuto razmjerne s naponima tih svitaka.

# PRIMJENA ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE - TRANSFORMATOR

- U praksi transformatori uvijek imaju gubitke (u svemu 1-5 %):
  - Gubitci zbog histereze (premagnetiziranje čelika jezgre)
  - Gubitci zbog vrtložnih struja
  - Gubitci zbog otpora u vodičima svitaka
- DOBIJANJE STRUJE VELIKE JAKOSTI:

Ako primarni svitak sa 500 zavoja priključimo na napon od 220V, u sekundarnom svitku sa 5 zavoja dobit ćemo 2,2V (100 puta manji napon).

Budući je snaga u primaru i sekundaru ista, struja će u sekundaru biti 100 puta jača!



# PRIMJENA ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE - TRANSFORMATOR

- VRTLOŽNE STRUJE:
  - ove struje nastaju zbog promjene magnetskog toka. Nazivaju se "vrtložne" jer se zatvaraju u obliku vrtloga unutar samog materijala, slično vrtlozima u vodi.
  - Vrtložne struje uzrokuju **zagrijavanje materijala** i stvaraju magnetska polja koja se suprotstavljaju uzroku svog nastanka (koče kretanje).
  - Kako bi se smanjile, jezgre električnih strojeva izrađuju se od tankih, izoliranih metalnih limova (lamela), čime se prekida put vrtložnim strujama.
- Iako u principu neželjene, imaju li ipak primjenu?
  - Indukcijske pločame za kuhanje.
  - Kočioni sustavi kod vlakova i kamiona.
  - Indukcijske peći za taljenje metala.
  - Metal detektori.

# SAMOINDUKCIJA

- Vjerojatno ste primijetili kako lampica na glazbenoj liniji, radijskom uređaju, punjaču mobitela i slično svijetli nekoliko trenutaka nakon što ste izvukli utikač iz utičnice.
- To se događa u svim uređajima koji sadržavaju zavojnicu.
- Indukcija koja nastaje u zavojnici zbog promjene njezina magnetskog toka pri promjeni jakosti struje kroz nju naziva se **samoindukcija**.
- Inducirana EMS koja se uslijed samoindukcije pojavljuje u svitku bit će to veća što su brže promjene struje i što su povoljnija svojstva svitka.
- Ukupna vrijednost tih svojstava svitka, o kojima ovisi veličina samoindukcije, zove se **koeficijent samoindukcije** ili **induktivitet svitka**.

# SAMOINDUKCIJA

- Jedinica za mjerenje induktiviteta je **henri** (1 H)

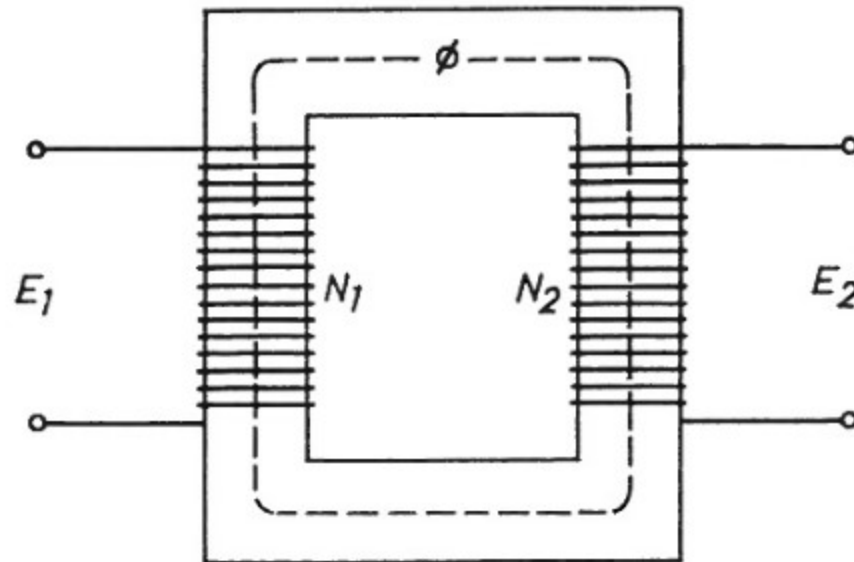
$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S \cdot N^2}{l}$$

- L – induktivitet svitka (H)
  - $\mu_0$  – permeabilnost vakuuma ( $1,256 \cdot 10^{-6}$  Wb/Am)
  - $\mu_r$  – relativna permeabilnost jezgre
  - S – površina presjeka svitka (m<sup>2</sup>)
  - N – broj zavoja svitka
  - $l$  – duljina magnetskog kruga (m)
- Veličinu inducirane EMS možemo izračunati i po formuli:

$$E = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

# SAMOINDUKCIJA

- Uzmimo za primjer da se u zatvorenoj željeznoj jezgri nalaze dva svitka s brojem navoja  $N_1$  i  $N_2$ .
- Pojava da se u nekom svitku inducira EMS, ako kroz njega prolazi promjenjiv magnetski tok stvoren u drugom svitku, zove se **međusobna indukcija**.



# SAMOINDUKCIJA

- Na ovaj način možemo izračunati koeficijent međusobne indukcije ili međuinduktivitet svitaka.
- Označuje se slovom  $M$ , a jedinica za mjerenje njegove veličine je henri (1 H).

$$M = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S \cdot N_1 \cdot N_2}{l}$$

$$E_2 = M \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

- $M$  – koeficijent međusobne indukcije (H)
- $\mu_0$  – permeabilnost vakuuma ( $1,256 \cdot 10^{-6}$  Wb/Am)
- $\mu_r$  – relativna permeabilnost željeza
- $S$  – površina presjeka svitka ( $m^2$ )
- $l$  – duljina magnetskog toka (m)
- $N_1$  – broj zavoja primarnog svitka
- $N_2$  – broj zavoja sekundarnog svitka

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

# VELIČINA EMS INDUCIRANE U SVICIMA

- Ako promjenu magnetskog toka dobijemo prolazom izmjenične struje iz mreže kroz svitak, koja je sinusnog oblika, onda dobijamo formulu oblika:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \phi_m$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \phi_m$$

- $E_1$  – inducirana EMS u primarnom svitku (V)
- $E_2$  – inducirana EMS u sekundarnom svitku (V)
- $N_1$  – broj zavoja primarnog svitka
- $N_2$  – broj zavoja sekundarnog svitka
- $f$  – frekvencija struje (Hz)
- $\phi_m$  – maksimalni magnetski tok (Wb)

# ENERGIJA MAGNETSKOG POLJA

- Magnetsko polje je sposobno obaviti neki rad, pa ono posjeduje neku energiju. Tu energiju magnetsko polje dobiva iz električne energije samo dok struja raste.
- Kad je struja dosegla svoju konačnu stalnu vrijednost, električna energija se više ne troši na stvaranje magnetske energije niti se troši na njezino održavanje.

$$W_m = \frac{I^2 \cdot L}{2}$$

- $W_m$  – energija magnetskog polja (J)
- $I$  – jakost struje (A)
- $L$  – induktivitet svitka (H)

# ZADACI

1. Na zatvorenoj jezgri srednje duljine 24 cm i presjeka  $10 \text{ cm}^2$  namotan je primarni svitak koji pri relativnoj permeabilnosti 1500 ima induktivitet od 0,314 H. Koliki je broj zavoja tog svitka? Koliki je induktivitet sekundarnog svitka s 500 zavoja i koliki je međuinduktivitet?
2. Kolika se EMS inducira u sekundarnom svitku s 500 zavoja ako kroz primarni svitak s 200 zavoja imamo jakost magnetskog polja od  $1000 \text{ A/m}$ . Svici su vezani zatvorenim jezgrom od silicijskog čelika presjeka  $20 \text{ cm}^2$  i ukupne duljine 48 cm.
3. Odredite induktivitet prstenastog svitka bez jezgre koji ima 500 zavoja, duljinu 6 cm, a površinu poprečnog presjeka  $0,8 \text{ cm}^2$ .
4. Koliko zavoja treba imati svitak namotan u obliku prstena da njegov induktivitet bude 0,5 mH? Promjer zavoja je 1 cm, a opseg prstena 4 dm.
5. Na zatvorenoj željeznoj jezgri presjeka  $12 \text{ cm}^2$  i srednjoj duljini 20 cm nalaze se dva svitka ( $N_1=500$ ,  $N_2=800$ ). Koliki je induktivitet pojedinih svitaka i njihov međuinduktivitet kad je relativna permeabilnost jezgre 1200.