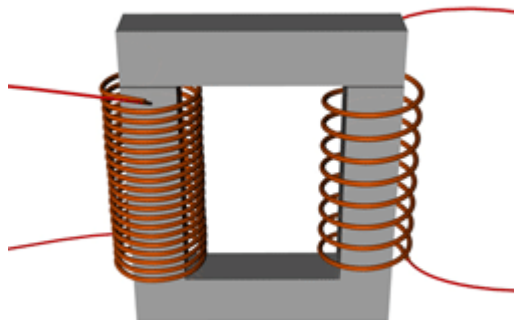


INDUSTRIJSKO OBRTNIČKA ŠKOLA  
MLETAČKA 3, PULA

PREDAVANJA IZ PREDMETA

# ELEKTRIČNI STROJEVI

## Poglavlje 1: Jednofazni transformator

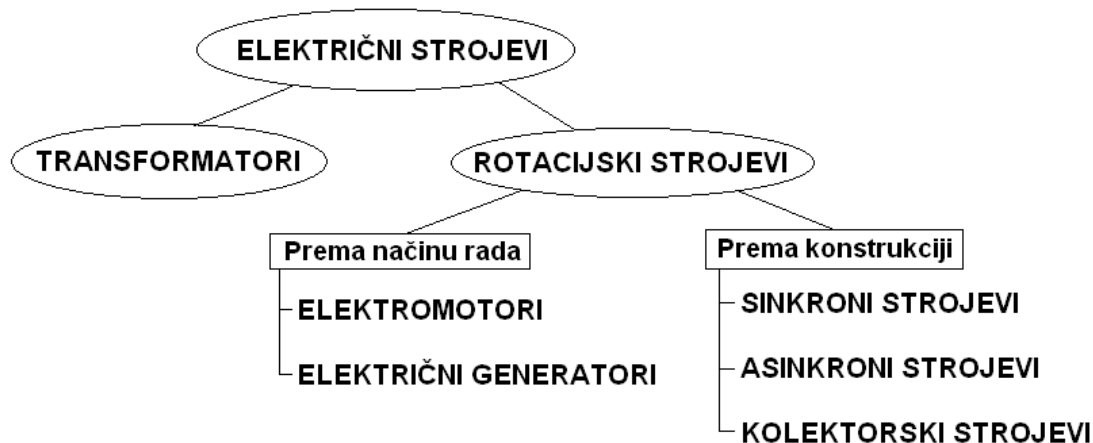


***PREDAVAČ: RADOVANOVIĆ DRAGAN***

## PODJELA ELEKTRIČNIH STROJEVA

Električni strojevi su posebna vrsta strojeva koja elektromagnetskim principom vrši pretvorbu energije. Danas se pomoću njih proizvodi električna energija, povećava i smanjuje napon i struja, pogoni razne uređaje i pogone.

Električne strojeve moguće je podijeliti na slijedeći način:



**Transformatori** su statički uređaji koji nemaju pokretnih dijelova. Koriste se za elektromagnetsku pretvorbu električne energije u električnu energiju. Pritom se mijenjaju vrijednosti električnog napona i jakosti struje da bi se električna energija iz mreža prilagodila trošilima.

**Rotacijski strojevi** su strojevi koji se tokom rada okreću. Imaju stator koji miruje i rotor koji se tokom rada vrti određenom brzinom.

**Elektromotori** su elektromagnetski pretvarači energije koji električnu energiju uzimaju za napajanje pretvaraju u mehaničku energiju. Stvaraju korisno djelovanje u obliku okretanja čime se pogone mehanički uređaji, pogotovo u industriji.

**Električni generatori** rade suprotno od elektromotora. Oni uz pomoć magnetskog polja pretvaraju mehaničku energiju u električnu. Naime, mehaničko okretanja generatora uz pomoć neke turbine koristi se za proizvodnju električnog napona i struje.

Svim električnim strojevima je zajedničko da rade na elektromagnetskom principu. Stoga su njihovi dijelovi podijeljeni u magnetske i električne. Magnetski dio je željezna jezgra koja služi za vođenje magnetskog polja. Električni dijelovi su namoti od bakrene žice kroz koje prolaze električne struje ili se induciraju naponi.

S tehničkog stajališta električni strojevi su veoma pouzdani uređaji, dugog životnog vijeka s vrlo malo kvarova. Imaju prihvatljivu cijenu te se stoga veoma široko upotrebljavaju. Nedostatak je povećana težina jer se izrađuju od željeza i bakra čija je specifična težina velika.

## ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

Elektromagnetska indukcija je pojava induciranja ( stvaranja ) napona u vodičima koji se nalaze u promjenjivom magnetskom polju. Mogu se stvoriti samo izmjenični tj. promjenjivi naponi. Veličina inducirano napona ovisi o jačini magnetskog polja, njegovoj frekvenciji i o duljini vodiča u magnetskom polju.

Inducirani naponi u električnim strojevima može se dobiti na dva načina:

1. **gibanjem vodiča u stalnom magnetskom polju** – koristi se kod rotacijskih strojeva, gdje se rotor s magnetskim poljem okreće, dok se na statoru induciraju naponi
2. **mijenjanjem jačine i smjera magnetskog polja dok vodiči miruju.** Promjenjivo magnetsko polje dobije se napajanjem namota promjenjivom strujom. Taj princip koristi se kod transformatora.

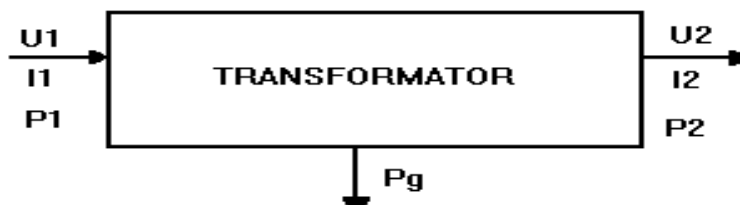
Osim kod el. strojeva indukcija se koristi i kod drugih uređaja. To su npr. indukcijski svitak (bobina) koja se koristi kod paljenja automobila, zatim za paljenje mopeda, vanbrodskih motora, upaljača za plin, induktorskih telefona, itd. Na principu indukcije rade antene za radio i televiziju.

## T R A N S F O R M A T O R

Transformator je najjednostavniji električni stroj bez okretnih dijelova, a radi na principu elektromagnetske indukcije. To je uređaj koji mijenja parametre električne energije: napona i jakosti struje ( povišava ili snižava ) dok frekvencija ostaje stalna.

Transformator ne može istovremeno povećati i napon i struju, već ukoliko povećavamo napon, struja se mora proporcionalno snižavati i obrnuto kada se napon snižava struja se povećava. Gubici transformatora su veoma mali jer ne postoji mehaničko trenje.

Transformator može raditi samo na izmjeničnu ili promjenjivu električnu struju, jer istosmjerna stalna struja ne stvara elektromagnetsku indukciju.



Principna shema rada transformatora može se prikazati sljedećim crtežom:

- U1 i U2 – naponi primara i sekundara
- I1 i I2 – struje primara i sekundara
- P1 i P2 – električne snage primara i sekundara
- Pg – gubici transformatora

Transformatori u tehnici imaju nekoliko grupa primjena:

1. **Smanjenje gubitaka prijenosa u el.energetici** – prijenos električne energije u mreži vrši se pomoću visokih napona. Takve napone ostvarujemo pretvorbom u trafostanicama.
2. **Prilagođavanje napona trošila naponu električne instalacije** – velik broj uređaja, pogotovo elektroničkih, rade na nižim naponima od napona el. instalacije (230 V) te ih je potrebno smanjiti. Takvi se transformatori izrađuju kao zasebni uređaji (npr. punjači) ili se ugrađuju u kućišta uređaja (npr. kompjuteri, TV).
3. **Ostale vrste primjena** – vrlo su različite primjene poput: aparati za električno zavarivanje, indukcijske peći, mjerenje vrlo velikih napona, stuja ili snaga,...

## GLAVNI DIJELOVI TRANSFORMATORA

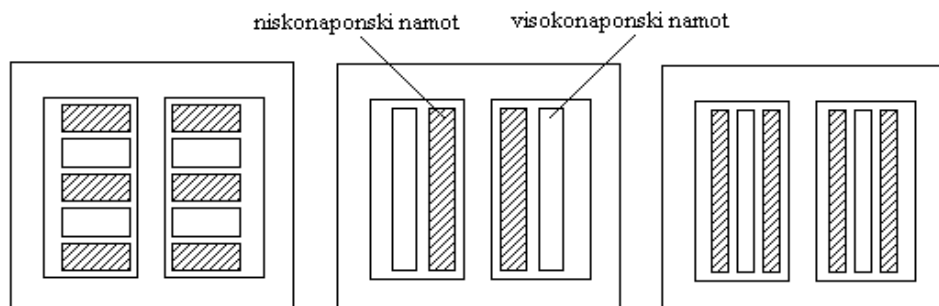
Dijelove transformatora najgrublje se može podijeliti na aktivne i pasivne. Transformatori malih snaga koji se ugrađuju kao napajanje električnih aparata imaju samo aktivne dijelove. Oni su malih dimenzija te zaštićeni kućištem aparata te im pasivni dijelovi nisu potrebni. Energetski transformatori u trafostanicama pretvaraju velike količine energije te osim aktivnih imaju i pasivne dijelove.

**Aktivni dijelovi** su željezna jezgra i namoti. Oni sudjeluju u transformaciji električne energije i bez njih ne može raditi transformator.

**Pasivni dijelovi** ne sudjeluju u direktnoj transformaciji energije, ali pomažu njezino odvijanje. U njih se ubrajaju: kotao, transformatorsko ulje, poklopac kotla s provodnim izolatorima, konzervator sa sušionikom, termometar itd.

### Namoti

Jednofazni i trofazni transformatori imaju dvije vrste namota: primarne i sekundarne namote. Primarni namoti su uvijek oni koji se napajaju iz nekog vanjskog izvora. Sekundarni namoti su oni u kojima se elektromagnetskom indukcijom stvaraju naponi i napajaju trošila. Oblik presjeka žice koja se koristi kao vodič u namotu može biti okrugli ili pravokutni. Žice se rade od isključivo od bakra. Namoti se namataju na izolirane stupove željezne jezgre. Načini namatanja mogu biti slijedeći:

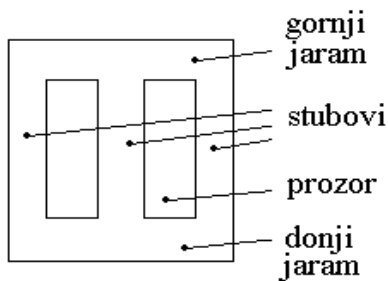


Obično se bliže jezgri postavlja onaj namot koji ima niži napon da tokom rada ne preskoči iskra s namota na jezgru.

Izolacija se postavlja na žice namota i služi za međusobno odvajanje vodiča istog namota, odvajanje različitih namota, namota od jezgre te kod energetskih se drvenim letvicama ostavlja prostor za poboljšano hlađenje. Žice se osnovno izoliraju

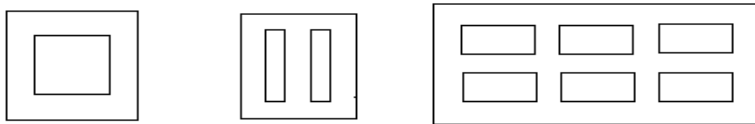
slojem posebnih izolacijskih lakova. Ti lakovi, osim dobrih izolacijskih osobina, imaju malu debljinu, mogu izdržati visoke temperature (preko 100 °C) u radu i elastični su te prilikom savijanja žice ne pucaju. Osim laka kao dodatna izolacija koriste se trake izolacijskih papira te specijalni izolacijski papiri ili kartoni za izolaciju slojeva vodiča u istom namotu, za odvajanje različitih namota i namota od željezne jezgre. Zbog male otpornosti na povišene temperature (u odnosu na bakar ili željezo) izolacijaki materijali su najosjetljiviji dijelovi transformatora.

## Željezna jezgra



Služi za vođenje silnica magnetskog polja, jer je željezo najbolji magnetski vodič. Jezgra se radi slaganjem tankih željeznih limova debljine 0.3, 0.35 ili 0.5 mm da bi se smanjili magnetski gubici. Limovi su od specijalno obrađenih magnetskih vrsta željeza.

Jezgra mora imati potpuno zatvoren oblik da magnetske silnice u cijelosti budu u željezu. Limovi se sa jedne strane izoliraju tako da prilikom slaganja susjedni limovi ne budu u električnom kontaktu. Složena jezgra se impregnira, lakira i vijcima mehanički jako steže da u toku rada ne vibrira zbog magnetskih sila. Kod nekih transformatora u kojima se javljaju izuzetno jake struje limovi se dodatno učvršćuju bočnim zavarivanjem. Oblici željeznih jezgri mogu biti:



OBLICI ŽELJEZNIH JEZGRI

## Transformatorsko ulje

Ulje se koristi kod većih (energetskih) transformatora gdje služi za hlađenje namota. Kvalitetnim hlađenjem transformator se može znatno više opteretiti, a to znači povećanje snage transformatora.

Kod takvih transformatora su namoti i željezna jezgra u potpunosti uronjeni u ulje. Koriste se posebna mineralna ili sintetička ulja koja moraju biti odlični izolatori, biti dovoljno male gustoće da cirkuliraju u kućištu i nezapaljiva te ne smiju nagrizzati materijale koji se koriste u transformatoru. Ulje u transformatoru može strujati prirodnim ili prisilnim načinom pomoću pumpi. Kad ulje tokom rada izgubi dio izolacijskih svojstava treba ga isprazniti i zamijeniti novim. Staro ulje šalje se na pročišćavanje.

## Kotao s poklopcem

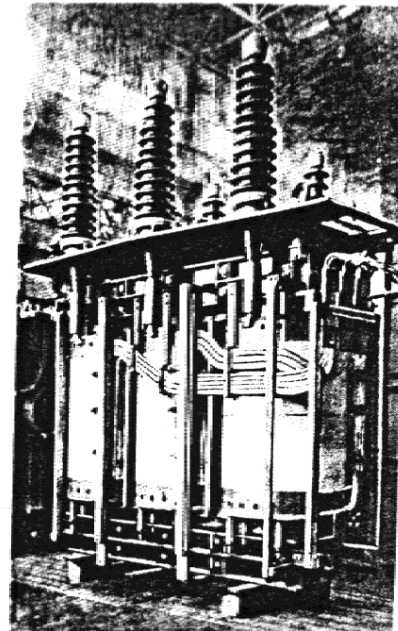
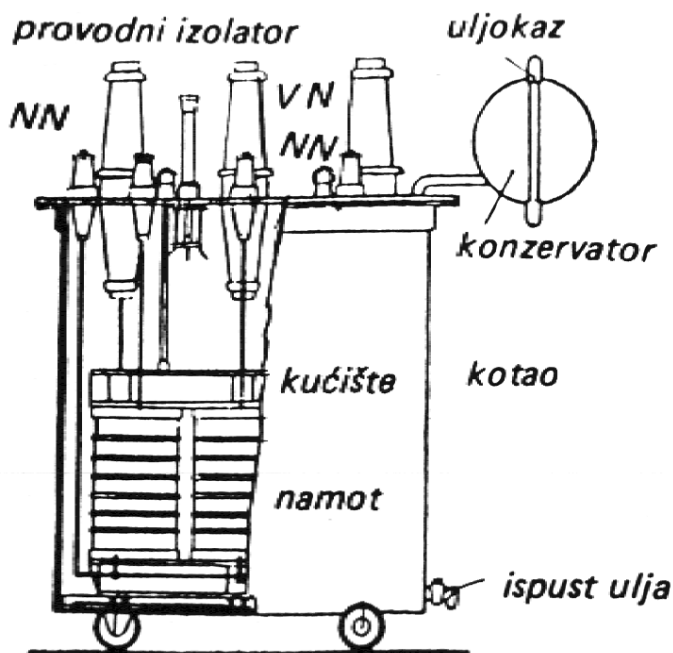
Kotao je posuda od debelog željeznog lima koja služi kao kućište. U njega se smještaju namoti i željezna jezgra te sve se puni transformatorskim uljem. Kotao sa bočnih strana može imati ugrađena razna rebra, cijevi ili radijatore da bi toplina koju je ulje uzelo od namota i jezgre bila što prije predana u okolinu. Posebno treba paziti da u ulje ne dođe voda. Na dnu kotla postoji ventil za ispuštanje ulja. Veći kotlovi imaju kotače za transport prugom. Svaki kotao treba dobro uzemljiti na mjestu postavljanja.

Poklopac kotla hermetički zatvara kotao s gornje strane. Ima posebnu brtvu i steže se većim brojem vijaka. Na sebi ima provodne izolatore, konzervator, termometar te kuke za vađenje cijele jezgre s namotima ka se transformator pokvari.

Provodni izolatori imaju ulogu da spoje namote unutar transformatora s vodičima (odvodima) s vanjske strane. Rade se od porculana koji su u sredini šuplji i imaju šipku koja spaja unutrašnje krajeve namota s vanjskim vodičima. Vijcima se pričvrste na otvore koji su na poklopcu.

Termometar mjeri temperaturu da ne bi došlo do pregrijavanja. Mjeri se ulje na vrhu kotla gdje se sakuplja najtoplije ulje. Mora imati skalu koja je dovoljno vidljiva za očitavanje. Osim kao pokazni uređaj termometri imaju i zaštitnu ulogu. Imaju posebne kontakte koji alarmiraju zvučnim ili svjetlosnim signalom u slučaju pregrijavanja ulja. Oni djeluju na isključivanje napajanja ukoliko temperatura transformatora prijeđe kritičnu vrijednost.

Na slikama su prikazani glavni dijelovi transformatora i fotografija aktivnog dijela transformatora s poklopcem i provodnim izolatorima:



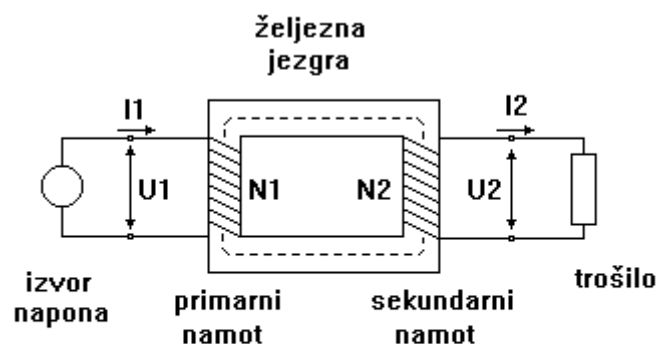
## Konzervator

Konzervator je metalni rezervar na vrhu transformatora koji sadrži rezervu ulja, ali i dozvoljava da se ulje širi kod trajnog rada kada dolazi do zagrijavanja. Postoji na stijenci rezervaza stakleni uljokaz kojim se vizualno kontrolira razina ulja u kotlu. Širenjem ulja dio se zraka izbacuje iz konzervatora, dok se hlađenjem uzima dio

zraka iz okoline. Zrak prilikom usisavanja u rezervar mora proći kroz dehidrator koji oduzima vlagu zraku iz okoline. Dehidrator je punjen kristalima silikagela koji na sebe vežu vlagu i zadržavaju je. Ispravni kristali su svijetle boje, a potrošeni su tamne boje.

## PRINCIP RADA TRANSFORMATORA

Osnovna fizikalna pojava na čijem principu radi transformator je elektromagnetska indukcija. On preoblikuje električnu energiju jednih karakteristika ( $U_1, I_1$ ) u električnu energiju drugačijih karakteristika ( $U_2, I_2$ ). U tom procesu frekvencija ostaje nepromjenjena. Električna snaga se u transformatoru ne mijenja, osim što se dio snage izgubi radi gubitaka.



## PRINCIP RADA TRANSFORMATORA

### Princip rada jednofaznog transformatora:

Izvor izmjeničnog napona  $G$  potjera struju  $I_1$  kroz primarni namot, a ona stvara promjenjivo magnetsko polje. Silnice tog polja kreću se kroz željeznu jezgru te prolaze kroz sekundarni namot. Budući da je magnetsko polje promjenljivo u sekundarnim vodičima se inducira izmjenični napon iste frekvencije kao i primarni. Ako je na sekundaru priključeno trošilo sekundarni napon potjera određenu struju.

Dakle, električna energija koja ulazi na primarnoj strani pretvara se u magnetsku energiju u željeznoj jezgri i ponovno u električnu u sekundarnom namotu. Prilikom povišavanja napona, struja se mora proporcionalno smanjivati i obrnuto smanjivanjem napona struja se na sekundarnoj strani proporcionalno povećava.

**Idealni transformator** – u idealnom transformatoru ne postoje nikakvi gubici. U stvarnosti ne postoje takvi uređaji, ali se zbog vrlo malih gubitaka takva pretpostavka može provesti. Na taj način su formule za računanje električnih odnosa u transformatoru vrlo jednostavne.

**Realni transformator** – transformator ima stvarne gubitke, te je računanje odnosa u transformatoru složeno. Takav prikaz koristi se kod velikih snaga transformatora gdje gubici nisu zanemarivi.

## OSNOVNE JEDNADŽBE TRANSFORMATORA

Transformirani naponi i struje ovise najviše o omjeru broja zavoja primarnog i sekundarnog namota. Omjeri napona, struja i broja zavoja oba namota nalaze se u stalim omjerima. Ti omjeri vrijede samo ako pretpostavimo da transformator nema nikakve gubitke. Kako su gubici u stvarnosti veoma mali, takvi su omjeri poprilično točni.

Omjer napona u primarnom i sekundarnom namotu u ovisnosti u broju zavoja u namotima je slijedeći:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Namot koji ima viši napon ima više zavoja žice, a namot s nižim naponom ima manje zavoja. Međutim, broj zavoja se ne može proizvoljno odrediti već postoje posebne formule.

Omjer struja i napona dobijemo na osnovu zakona o održanju energije. Energija koja na primarnoj strani uđe u transformator mora na sekundarnoj strani izaći. To vrijedi za idealan slučaj kad ne postoje gubici. Kako su gubici transformatora mali možemo ih zanemariti te dobijamo:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Struja i napon su obrnuto proporcionalni: namot s većim naponom imati će manju struju i obrnuto.

Zadnji omjer između struja i broja zavoja u namotima dobijemo kombiniranjem predhodne dvije formule:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Često se umjesto gore navedanih formula koristi prijenosni omer transformatora s kojim je računanje olakšano. Prijenosni omjer može se računati:

$$k = \frac{U_1}{U_2} \quad k = \frac{n_1}{n_2} \quad k = \frac{I_2}{I_1}$$

Prijenosni omjer može se dati u obliku broja (npr.  $k=10$ ) ili se može prikazati u obliku omjera (npr.  $k=1 : 10$ ).

Na osnovu prikazanih formula mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- namot transformatora koji ima veći broj zavoja žice predviđen je za viši napon, biti će izveden žicom malog presjeka i kroz njega će teći mala struja
- namot transformatora koji ima manji broj zavoja žice predviđen je za niži napon, biti će izveden žicom velikog presjeka i kroz njega će teći velika struja



## GUBICI TRANSFORMATORA

Transformator je veoma ekonomičan stroj jer nema pokretnih dijelova i ima male gubitke. U odnosu na sve ostale strojeve, transformator ima najmanje gubitke. Oni su mali jer se ne obavlja nikakav mehanički rad već samo dolazi do statičke transformacije veličina napona i struja.

Transformatorski gubici mogu se podijeliti u dvije grupe:

- magnetski gubici
- električni gubici

Bez obzira na male iznose gubitaka oni su jako bitni jer se javljaju kao zagrijavanje transformatora. Zbog prevelike temperature koja se može javiti prilikom rada s većim opterećenjima može stradati izolacija i izazvati kvarove. Veći transformatori imaju dobru kontrolu temperature te obavezno aktivno ili pasivno hlađenje. Hlađenjem se nimalo ne smanjuje iznos gubitaka nego se samo kontrolira da temperatura transformatora ne prijeđe dozvoljenu granicu tj. toplina se brzo odvodi u okolinu prije nego izazove pregrijavanje.

### **Magnetski gubici**

Oni nastaju u željeznoj jezgri i pojavljuju se u obliku zagrijavanja jezgre. Postoje tri vrste tih gubitaka: gubici vrtložnih struja, gubici histereze i gubici rasipanja.

#### Gubici vrtložnih struja

Nastaju u željeznoj jezgri zbog induciranja napona u limovima. Kako je željezo električni vodič promjenjivo magnetsko polje i u njemu inducira male napone. Ti naponi tjeraju struje kroz željezo i zagrijavaju jezgru. Da bi se ti gubici smanjili jezgra se radi od tankih međusobno izoliranih limova ( što su tanji limovi manji su gubici ).

#### Gubici histereze

Zbog promjenjivog magnetskog polja čestice željeza se usmjeravaju u smjeru polja i mijenjaju usmjerenje 50 puta u sekundi. Takvo gibanje izaziva trenje među česticama željeza i zagrijava jezgru. Da bi se takvi gubici smanjili jezgra se radi od specijalnih magnetskih vrsta željeza koji imaju malo magnetsko trenje.

#### Gubici rasipanja

Rasipanje obuhvaća onaj dio magnetskog polja koje ne uđe u željeznu jezgru transformatora nego se izgubi u okolnom zraku. Ti su gubici jako mali pa se načesto zanemaruju

Općenito, magnetski gubici ovise isključivo o naponu ( što su naponi veći naponi veći su i gubici ). Jakost struje u namotima nema nikakvog utjecaja na magnetske gubitke.

## Električni gubici

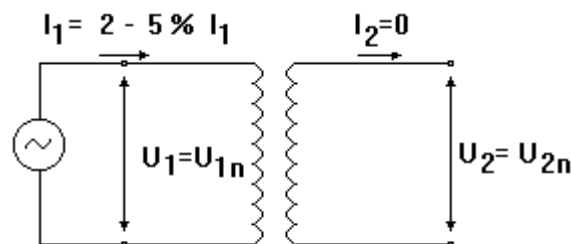
Električni gubici transformatora nastaju u bakrenim vodičima primarnog i sekundarnog namota. Razlog je zagrijavanje vodiča zbog prolaska struje. Zagrijavanje žice u namotima je manje ako je presjek žice veći. Teoretski se zagrijavanje namota transformatora može smanjiti ukoliko se odebere veći presjek žice jer ona ima manji električni otpor. Međutim, nemoguće je mijenjati presjek žice koja je već namotana pa se pristupa hlađenju. Na taj način gubici se po iznosu ne smanjuju, ali se uklanjaju njene negativne posljedice koje bi nastale porastom temperature iznad dozvoljene granice.

Poboljšavanje hlađenja namota kod transformatora konstrukcijski se rješava ubacivanjem razmaka između slojeva istog namota te ubacivanjem razmaka između različitih namota. Kroz takve razmake ulje može slobodno strujati i brže odvoditi toplinu.

Električni gubici u potpunosti ovise o jakosti struje u namotu, dok napon na njih nema nikakvog utjecaja.

## PRAZNI HOD TRANSFORMATORA

Prazni hod je takvo stanje transformatora u kojem je primarni namot spojen na izvor izmjeničnog napona, dok je sekundarni namot odspojen tj. nema priključeno nikakvo trošilo. Takvo stanje je normalno za uređaje koji su većinom isključeni (npr. električno zvono).



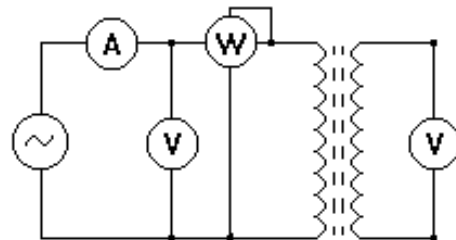
### PRAZNI HOD TRANSFORMATORA

U praznom hodu naponi u oba namota transformatora ( $U_1$  i  $U_2$ ) su nazivnih (normalnih) veličina, a struje na sekundaru ( $I_2$ ) nema jer nije uspostavljen strujni krug. Struja ( $I_1$ ) u primarnom namotu je veoma mala i iznosi 2-5 % nazivne primarne struje. Ta struja zove se struja praznog hoda i služi za održavanje magnetskog polja u željeznoj jezgri.

Gubici koji nepotrebno zagrijavaju transformator kada nije u funkciji mogu se spriječiti tako da se ugrade prekidači na primarnoj strani transformatora ili se uređaji isključe iz mrežnog napajanja. Tako na primjer punjač mobitela ili bilo kojeg uređaja treba isključiti iz utičnice kada se ne koristi za punjenje. Ukoliko ostane utaknut u utičnicu, kućište će biti stalno toplo.

## Pokus praznog hoda

U laboratorijskim uvjetima izvodi se pokus praznog hoda pomoću kojeg se mjeri iznos magnetskih gubitaka. Budući da su struje u praznom hodu male ili ih nema električni gubici transformatora su zanemarivi. Kako su naponi normalnih vrijednosti (nema prijenosa energije, jer nema trošila) sva se električna energija transformatora troši na pokrivanje magnetskih gubitaka.



**POKUS PRAZNOG HODA  
TRANSFORMATORA**

Za pokus praznog hoda se na transformator priključe mjerni instrumenti koji mjere oba napona, primarnu struju i snagu (na slici to je vatmetar koji mjeri gubitke). Osim mjerenja magnetskih gubitaka u tom se spoju može izmjeriti prijenosni omjer transformatora.

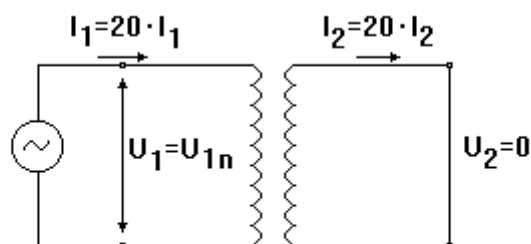
## **KRATKI SPOJ TRANSFORMATORA**

Općenito, kratki spoj je povezivanje stezaljki nekog izvora napajanja (baterije, akumulatora ili generatora) pomoću vodiča s veoma malim otporom. Upravo taj mali otpor (kad nema trošila) uzrokuje vrlo velike strujei pregaranje vodiča.

Kod transformatora je kratki spoj takvo stanje u kojem je primar spojen na izvor izmjeničnog napona dok su sekundarne stezaljke kratko spojene. Postoje dvije vrste takvih stanja: pogonski kratki spoj i pokus kratkog spoja.

### **Pogonski kratki spoj**

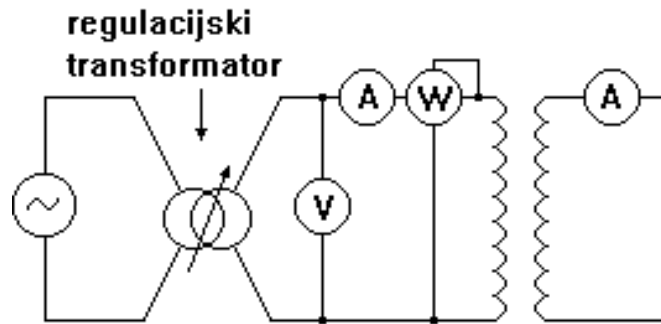
Javlja se uslijed kvara kad je napon primara nazivne veličine. Struje kroz namote su dvadeset puta veće od nazivnih veličina, dok je sekundarni napon jednak nuli. Tako velike struje uzrokuju velika zagrijavanja i velike elektromagnetske sile te dolazi do uništenja transformatora. Da bi se to spriječilo transformatoru se dodaju različite zaštitne naprave kao što su rastalni osigurači, nadstrujni releji itd.



**KRATKI SPOJ TRANSFORMATORA**

## Pokus kratkog spoja

To je pokus koji se provodi u laboratorijima radi mjerenja iznosa električnih gubitaka. To nije opasno stanje. Primarni namot spoji se na regulacijski transformator i kratko se spoje stezaljke sekundara. Regulacijom se podiže napon na primarnom namotu od nule dok u primaru i sekundaru ne poteku nazivne struje. Taj napon je oko dvadeset puta manji od nazivnog. Kako nema trošila svi su gubici transformatora u tom slučaju samo električni.



### POKUS KRATKOG SPOJA TRANSFORMATORA

Kao i kod pokusa praznog hoda i u ovom mjerenju može se izračunati prijenosni omjer transformatora.

Električni gubici transformatora dijele se u primarne i sekundarne jer su te dvije struje i otpori tih namota različiti te se mogu prikazati u obliku ( $R_1$  i  $R_2$  su otpori primarnog i sekundarnog namota):

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} = I_{1n}^2 R_1 + I_{2n}^2 R_2 \quad [W]$$

## VRSTE OPTEREĆENJA TRANSFORMATORA

Pojam opterećenje transformatora podrazmijeva koliku snagu prenosi transformator u nekom trenutku. Svaki transformator ima točno određenu nazivnu snagu (opterećenje). To je najveća snaga koju transformator može prenositi u trajnom radu, a da se ne jave nikakvi kvarovi.

Opterećenja transformatora možemo podijeliti u tri grupe: pod-opterećenje, nazivno opterećenje i preopterećenje.

**Podopterećenje** se javlja kada su trošila priključena na transformator manja od njegove nazivne snage. Struje kroz namote su male i transformator se zagrijava veoma malo. Na taj način transformator ima duži životni vijek ali nije ekonomičan jer nije u potpunosti iskorišten. Prazni hod transformatora je ekstremni slučaj pod opterećenja jer nema nikakvog trošila.

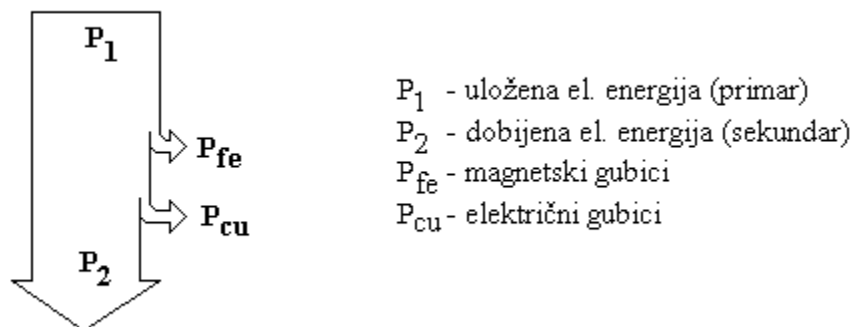
**Nazivno opterećenje** se javlja kada su trošila priključena na transformator jednaka njegovoj nazivnoj snazi. Transformator vodi nazivne struje koje izazivaju normalno zagrijavanje. Za takvo opterećenje je transformator projektiran.

**Preopterećenje** se javlja kada su trošila priključena na transformator jača od njegove nazivne snage. Javljaju se povećane struje koje zagrijavaju namote jače od normalnih vrijednosti te se transformator sve jače zagrijava. Takvo stanje ne može trajati predugo jer temperatura koja raste ugrožava izolaciju i izaziva kvarove. Preopterećenje se može dozvoliti samo u kratkom periodu. Povećevanje temperature znatno smanjuje životni vijek transformatora. Kratki spoj je poseban slučaj preopterećenja kad su struje tri ili više puta jače od normalnih. Temperatura namota vrlo brzo raste preko dozvoljene granice i trenutačno nastaju kvarovi koje treba što prije ukloniti. Uglavnom, ako nema nikakve zaštite dolazi do pregaranja namota i prekida struje. Ako zaštita postoji, ona isključuje transformator prije nego što kvarovi nastanu.

## ENERGETSKA BILANCA I KORISNOST TRANSFORMATORA

**Energetska bilanca** kod bilo kojeg tehničkog uređaja je grafički prikaz dobivene, uložene energije i gubitaka u uređaju. Svaki uređaj stvara gubitke, a bilanca daje prikaz gdje se ti gubici stvaraju i koliki im je iznos. Za prikaz energetske bilance koriste se strelice čija širina točno prikazuje omjer energija u uređaju.

Transformator ima dvije vrste gubitaka: magnetske i električne. Prikaz energetske bilance za prosječan transformator izgleda:



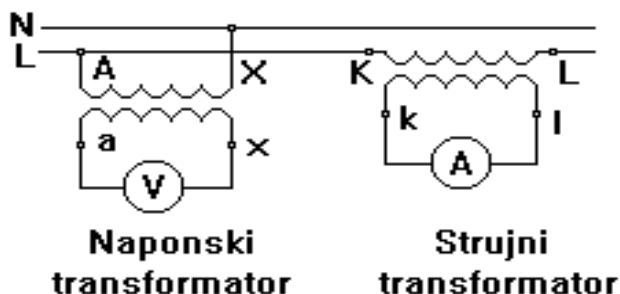
**Korisnost ( $\eta$ )** nekog uređaja ili stroja je odnos između dobivene energije na izlazu iz uređaja i uložene energije. Što su gubici uređaja veći, to je njegova korisnost manja. Taj broj uvijek je manji od jedan, a što je bliži jedinici veća je ekonomičnost. Za transformatore korisnost se kreće u granicama od 0.8 do 0.95 ( 80 - 95% ). Razlog tako velike korisnosti je nepostojanje pokretnih dijelova (nema mehaničkih gubitaka) i mali gubici.

Formula za izračunavanje korisnosti glasi ( $P_g$  su ukupni gubici):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_g}{P_1} = 1 - \frac{P_g}{P_1}$$

## OSNOVNE VRSTE TRANSFORMATORA

Postoje dvije osnovne vrste jednofaznih transformatora ako se u obzir uzima način korištenja i priključenja na napajanje:



### Naponski transformator

Priključuje se sa svojim primarnim stezaljkama paralelno na dva različita fazna vodiča (kod trofaznog) odnosno, na fazni i nulti-vodič (kod jednofaznog transformatora). Transformira napone u stalnom omjeru, dok struje u transformatoru nisu stalne i ovise o broju i snazi priključenih trošila.

Naponski transformatori koriste se u energetici, za napajanje raznih uređaja itd. Mogu biti jednofazne ili trofazne izvedbe. Jednofazni su namijenjeni za male snage uređaja. Velika većina transformatora koji se koriste su upravo naponske izvedbe.

### Strujni transformator

Priključuje se primarnim stezaljkama serijski sa faznim vodičem koji napaja trošilo. Transformira cjelokupnu struju nekog trošila u stalnim omjerima na sekundarnu stranu. Obično se struja na sekundaru smanjuje na iznose do 5A. Naponi primara i sekundara ovise o njihovim strujama i otporu namota.

Primjena strujnih transformatora je u automatici, regulaciji, signalizaciji, mjerenjima i ispitivanjima itd. Na sekundar se obično priključuju mjerni instrumenti ili releji. Sekundarni namot nikada ne smije biti u praznom hodu. Ako nema trošila sekundarni namot treba kratko spojiti. U protivnom kada se sekundar ostavi u praznom hodu on pregori zbog prevelikog napona. Zato se često paralelno mjernom instrumentu ili releju na sekundaru transformatora postavlja sklopka za kratko spajanje. Pomoću nje se može relej ili instrument zamijeniti u toku rada.

Strujni transformatori izrađuju se samo u jednofaznoj izvedbi. Njihova je primjena relativno rijetka.