

## 5. ELEKTRIČNE MAŠINE

### 5.1. MAGNETI I NJIHOVE OSOBINE

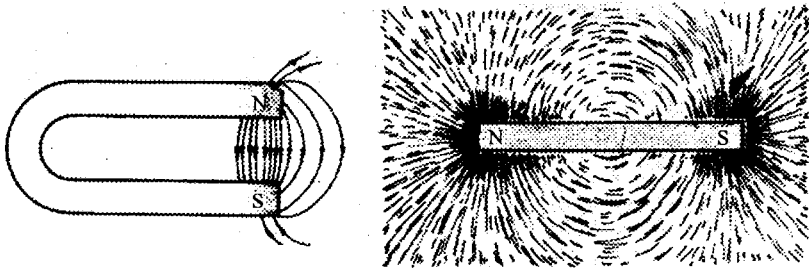
**Magnetima** se nazivaju tijela koja imaju osobinu da privlače predmete od gvožđa, nikla, kobalta i njihovih legura.

Magneta ima dvije vrste, **prirodni i vještački**.

**Prirodni magneti** se dobivaju od rude magnetit, dok se **vještački** rade od čelika, odnosno od specijalnih, tzv.feromagnetnih materijala, uz magnetiziranje dodirrom sa stalnim magnetom ili pomoću električne struje.

**Prolazni magneti** su od mehkog gvožđa i oni gube magnetna svojstva čim prestane spoljni uticaj od nekog trajnog magneta. Magnetne osobine magneta su najviše izražene na njegovim krajevima, pa ih nazivamo magnetnim polovima, sjeverni i južni pol. Srednji dio magneta nema izražene magnetne osobine i naziva se neutralnom zonom. Bitna osobina magneta je da se istoimeni polovi odbijaju, a raznoimeni privlače, tj. da na polovima magneta vlada specijalno stanje koje se manifestuje djelovanjem privlačnih i odbojnih sila, a ove sile nazivamo **magnetnim silama**.

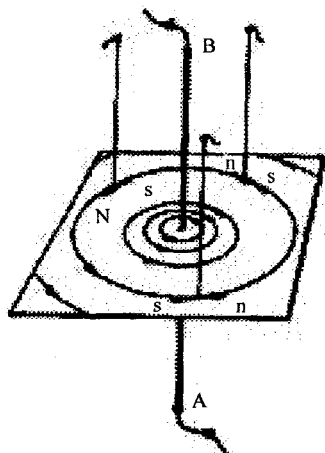
**Magnetno polje** se naziva prostor u kome se osjeća djelovanje magnetnih sila. Magnetno polje se predstavlja magnetnim linijama sila. One polaze iz sjevernog pola magneta, a ulaze u južni pol (sl.5.1.). Od južnog do sjevernog pola magneta magnetne linije sila se zatvaraju kroz sam magnet, tako da može da se kaže da su one uvijek zatvorene. Jačina magnetnog polja magneta zavisi od gustine magnetnih linija sila. Magnetno polje, koje u svim svojim tačkama ima istu jačinu, naziva se homogeno magnetno polje.



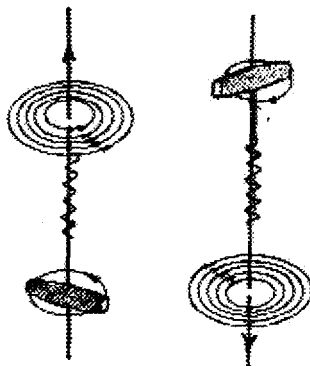
Slika 5.1.

Magnetno polje se uspostavlja i u slučaju kada kroz provodnik teče električna struja. Dovedemo li magnetnu iglu u blizinu provodnika kroz koji teče struja, kao što je prikazano na sl.5.2., vidjećemo da će se magnetna igla pokrenuti i zauzeti jedan određeni položaj.

To znači da oko provodnika, kroz koji teče električna struja postoji magnetno polje. Magnetne silnice oko provodnika imaju oblik koncentričnih krugova. Smjer magnetnog polja oko provodnika određujemo po pravilu svrdla, kojeg je postavio Faradej. Pravilo glasi: **Ako svrdlo uvrćemo u smjeru u kome u provodniku teče struja, onda nam smjer obrtanja svrdla pokazuje smjer magnetnih silnica oko provodnika (sl.5.3).**

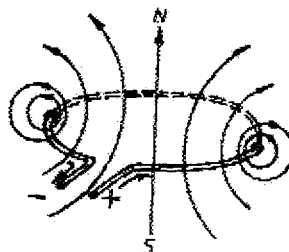


Slika 5.2.



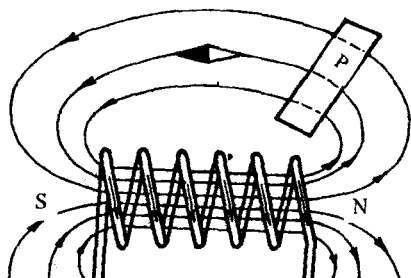
Slika 5.3.

Savijemo li električni provodnik u obliku prikazan na sl.5.4. dobićemo magnetno polje sa sjevernim i južnim polom. Da bismo dobili jače magnetno polje, potrebno je staviti više ovakvih navoja. Takav namotaj naziva se zavojnica (sl.5.5.). Smjer magnetnog polja kod zavojnice određujemo po pravilu desne ruke, na način prikazan na sl.5.6.

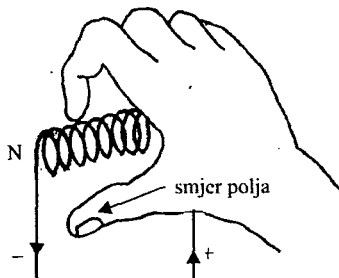


Slika 5.4.

Pravilo desne ruke glasi: **Ako prste desne ruke postavimo u smjeru obilaska struje kroz navoje zavojnice, onda palac pokazuje smjer silnica magnetnog polja.** Razlika između zavojnice i stalnog magneta je u tome što zavojnica ima magnetsko svojstvo samo za vrijeme dok kroz njegove navoje teče struja. Prestankom proticanja struje nestaje i magnetnih svojstava zavojnice.



Slika 5.5.



Slika 5.6.

Pošto električna struja proizvodi magnetno polje, normalno je očekivati da i magnetno polje u određenim okolnostima proizvode električnu struju. Na ovom otkriću radio je fizičar Majkl Faradej i dao osnovne zakone **elektromagnetne indukcije**.

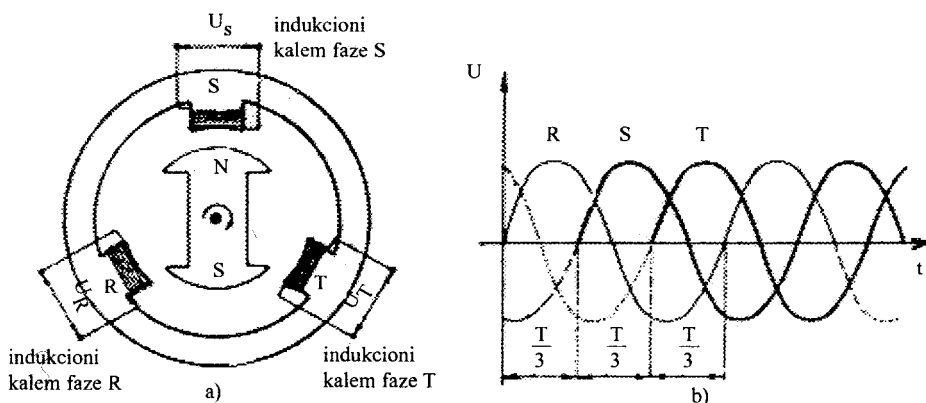
On je zapazio da se u zavojnici, kada se mijenja jačina magnetnog polja u kome se zavojnica nalazi, indukuje napon, a kao njegova posljedica - električna struja. Isti se efekat postiže ako se zavojnica kreće u stalnom magnetnom polju. Ovakav napon se naziva **indukovani napon, a pojava pri kojoj on nastaje elektromagnetnom indukcijom**.

Zakon elektromagnetne indukcije je jedan od temeljnih zakona elektrotehnike. Rad električnih generatora, indukcionih motora i dr. zasnovan je na zakonitosti elektromagnetne indukcije. Veličina indukovanog napona utoliko je veća, ukoliko je veći broj magnetnih linija sila koje presijeca provodnik i, ukoliko je veća brzina njegovog kretanja u magnetnom polju.

### Trofazne naizmjenične struje

Za dobivanje trofazne naizmjenične struje potrebno je da se na nepokretnom dijelu generatora (statoru) nalaze tri jednaka i odvojena navoja, prostorno pomjerena za trećinu punog ugla, tj. za  $120^\circ$  stepeni.

Pri okretanju rotora, stalnom ugaonom brzinom u svakom navoju indukovaće se napon sinusnog oblika, iste frekvencije i iste maksimalne vrijednosti. Na sl.5.7a. dat je shematski izgled generatora trofazne struje, gdje se vidi uzajamni položaj indukcionih kalemova pojedinih faza, koje su obilježene sa *R*, *S*, *T*. Ovi naponi su međusobno pomjereni za  $120^\circ$  ili, vremenski, za trećinu perioda ( $T/3$ ) prikazani na sl.5.7b.

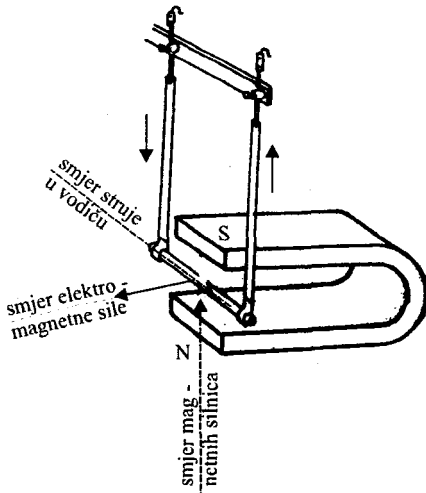


Slika 5.7.

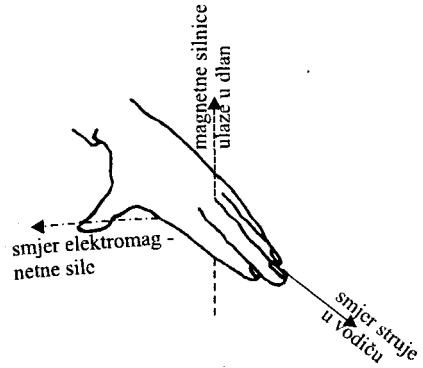
**Elektromagnetna sila** se pojavljuje ako u magnetno polje unesemo provodnik i kroz njega pustimo da teče struja.

Postavimo vodič između polova magneta (sl.5.8.) tako da je obješen pomoću tankih metalnih žica. Kroz provodnik možemo propustiti struju i u jednom i u drugom smjeru. Ako kroz provodnik ne teče struja, on stoji nepokretan u magnetnom polju magneta. Međutim, čim kroz provodnik potekne struja, on će se pokrenuti u jednom ili drugom smjeru. Ova pojava nam omogućava da formulišemo jednu značajnu zakonitost, koja glasi:

**Na provodnik kroz koji teče električna struja djeluje magnetno polje na taj način da ga otklanja u jednom određenom smjeru. Sila kojom magnetno polje djeluje na provodnik kroz koji protiče električna struja naziva se elektromagnetnom silom.**



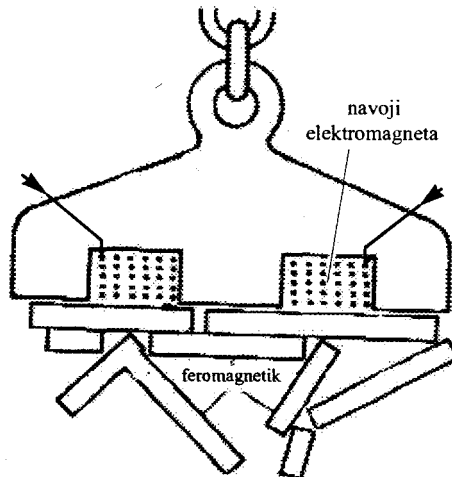
Slika 5.8.



Slika 5.9.

Smjer elektromagnetne sile određujemo pomoću pravila lijeve ruke. Pravilo lijeve ruke glasi: Postavimo li dlan lijeve ruke tako da magnetne silnice ulaze u dlan, a da prsti pokazuju smjer struje u provodniku, tada palac pokazuje pravac i smjer elektromagnetne sile (sl.5.9.).

Primjena elektromagneta je u elektrotehnici vrlo velika. Primjenjuju se u električnim mašinama, transformatorima, telegrafu, telefonu i sličnim uređajima. Na sl.5.10. je prikazan veliki elektromagnet koji se primjenjuje za podizanje velikih količina gvožđa (npr. prilikom punjenja peći za topljenje komada starog gvožđa u topionicama).



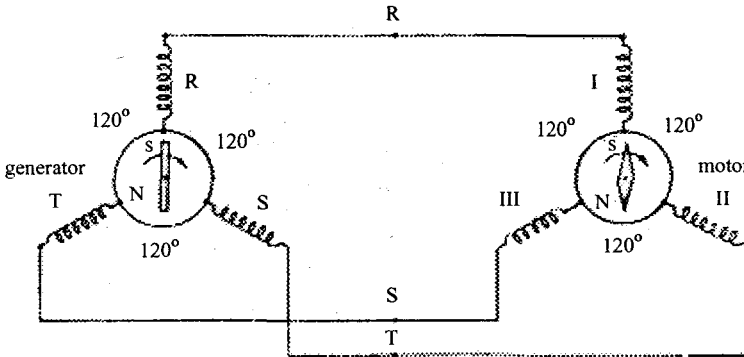
Slika 5.10.

## Obrtno magnetno polje

Ako uzmemo stalni magnet i obrćemo ga oko njegove ose, dobićemo obrtno magnetno polje stalnog magneta, koje je indukovalo napon u namotajima trofaznog generatora (vidi trofazne naizmjenične struje). Zamislimo sada da taj generator, tj. njegove namotaje priključimo na naizmjeničnu trofaznu struju. Namotaji su postavljeni tako da su pomjereni za  $120^\circ$  jedan od drugoga, a i priključena trofazna naizmjenična struja ima pomake među fazama za  $120^\circ$ . Svaka od priključenih faza stvara u navojima magnetne tokove (tj. one daju tri magnetna toka) koji su isto tako međusobno pomjereni za  $120^\circ$ .

Ova tri magnetna toka mijenjaće se isto kao i struje koje su ih pobudile, tj. obrtaće se tako kako se obrće kod generatora stalni magnet.

Ako u sredinu između tri namotaja postavimo magnetnu iglu, ista će se početi obrtati (sl.5.11.). Uzrok tog obrtanja nije ništa drugo nego magnetno polje koje su pobudile naizmjenične struje. Ovakvo magnetno polje naziva se obrtno magnetno polje. **Prema tome, namotaji motora kroz koje protiče trofazna naizmjenična struja, a koji su fazno pomjereni za  $120^\circ$ , obrazuju obrtno magnetno polje stalne jačine.**



Slika 5.11.

## 5.2. ASINHRONI MOTORI

Elektromotor kao pogonsko sredstvo vrlo brzo je prodro u industriju i uopće za pogon drugih mašina i uređaja. Primjena elektromotora kao pogonskog sredstva naročito se naglo počela širiti poslije Teslinog pronalaska višefaznog asinhronog motora.

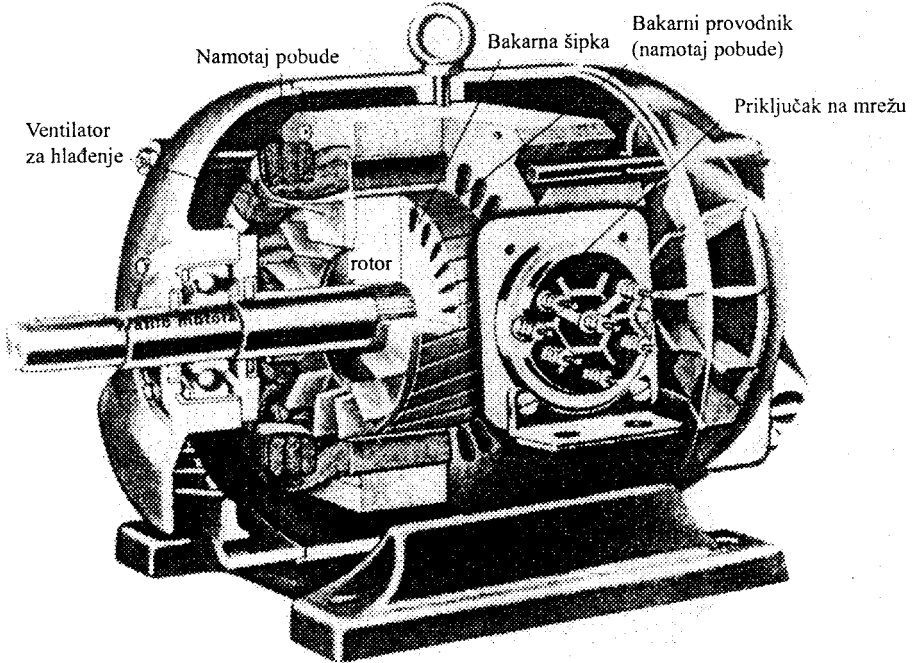
Stalno usavršavanje elektromotora, njegove opreme i instalacije omogućuje mu da postane sastavni dio svake mašine, svakog uređaja, tako da su izbjegnuta transmisiona vratila i silni prenosi. Elektromotori su već postali sastavni dio svih grana industrije i takoreći svih ljudskih djelatnosti u civilizovanim zemljama.

Elektromotor nije više samo izvor mehaničke energije, već je i fizički sastavni dio svake mašine, svakog uređaja. Zbog toga je potrebno poznavanje kako radne mašine i uređaja tako i elektromotora kao pogonske mašine, jer se potpuni uspjeh u eksploataciji može postići samo onda ako radna mašina i elektromotor odgovaraju u cjelini jedno drugom.

Asinhroni motori su najjeftiniji, najsigurniji i najjednostavniji pogonski motori koje danas upotrebljavamo u industrijskim pogonima. **Postoje jednofazni i trofazni asinhroni motori.** Jednofazni se upotrebljavaju za male snage (do 2 kW) a trofazni za veće snage.

## 5.2.1. GLAVNI DIJELOVI I PRINCIP RADA ASINHRONIH MOTORA

**Glavni dijelovi** asinhronog motora prikazanog na sl. 5.12. su: rotor sa osovinom (obrtni dio motora) i stator sa poklopcima u kojima su smješteni ležajevi (nepokretni dio motora).

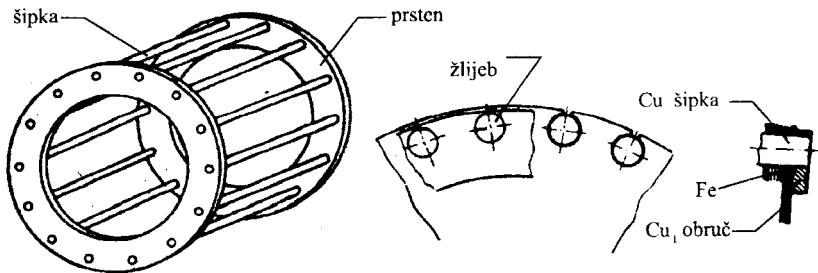


Slika 5.12.

**Rotor.** S obzirom na konstrukciju, rotore dijelimo na kafezne i klizno-kolutne.

Motore koji imaju kafezni rotor nazivaju se kafezni motori, a sa klizno-kolutnim rotorom **klizno-kolutni motori**.

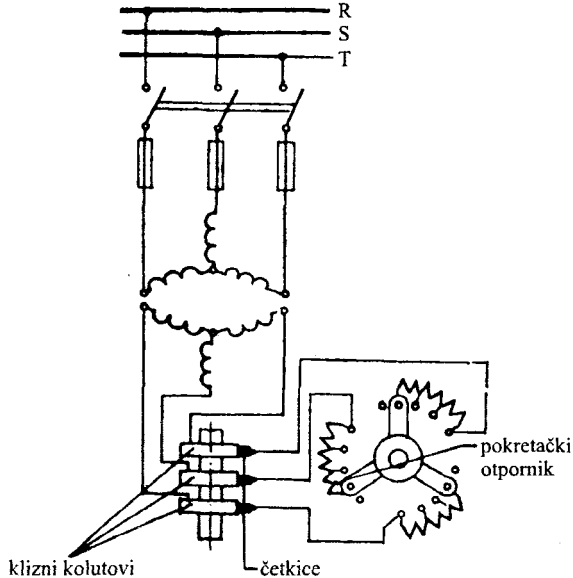
**Rotor kafezних motora** se sastoji od bakrenih ili aluminijskih (rjeđe) šipki koje su na krajevima učvršćene prstenovima, kao što je prikazano na sl. 5.13. Ovakva konstrukcija ima oblik kafeza i otuda ovim motorima takvo ime. Kafezni rotor je kratko spojen, pa se naziva kratkospojeni rotor. Između krajnjih prstenova nalazi se paket limova nabijenih na osovinu rotora, i uzdužno ožljebljeni u čije žljebove se ubacuju šipke od bakra ili aluminija.



Slika 5.13.

**Klizno-kolutni rotori** su izvedeni sa namotajima. Na obodu rotora nalaze se žljebovi, a u njima su postavljeni vodiči koji su povezani tako da čine zvjezdište, tj. vezani su u zvijezdu. Motori sa ovakvom vrstom namotaja rotora zovu se asinhroni motori sa namotanim rotorom ili klizno-kolutni asinhroni motori.

Krajevi namotaja su priključeni na tri klizna prstena po kojima klize četkice. Četkice su smještene u držačima koji su postavljeni na nosače i spojene su s pokretačkim otpornikom kao što je prikazano na sl.5.14.



Slika 5.14.

**Stator** asinhronog motora (po pravilu, izrađuje se od paketa limova), ima cilindričan oblik koji je uzdužno ožljebljen. U žljebove su smješteni namotaji (koji su međusobno pomjereni za  $120^\circ$ ), čiji se krajevi priključuju na električnu mrežu. Ostali dijelovi statora služe mehaničkom povezivanju statora sa rotorom, kao i statora za podlogu.

**Princip rada asinhronog motora sastoji se u sljedećem:**

U trenutku uključjenja motora na trofaznu naizmjeničnu struju oko svakog statorskog namotaja pojaviće se magnetni tok. Kako su namotaji statora postavljeni tako da su pomjereni za  $120^\circ$  jedan u odnosu na drugog, a i priključena naizmjenična struja ima isto tako fazne pomake od  $120^\circ$ , to će i magnetni tokovi koji su nastali priticanjem naizmjenične struje kroz namotaje statora biti pomjereni za  $120^\circ$ . Ova tri magnetna toka se u svakom trenutku sabiraju i stvaraju takozvano **obrtno magnetno polje**, tj. magnetno polje koje se obrće. Ovo polje u svom kretanju presijeca vodiče rotora i u njima indukuje napon, a kako se vodiči rotora nalaze u magnetnom polju statora, doći će do pojave elektromagnetne sile koja nastoji da pomjeri vodič iz magnetnog polja (vidi sl.5.8.). Na dva suprotna rotorska vodiča djeluju elektromagnetne sile istih vrijednosti i suprotnih smjerova koje čine spreg sila, a kako takvih spregova ima više, svi oni prisiljavaju rotor da se pomjera odnosno obrće.

## 5.2.2. KLIZANJE I ASINHRONA BRZINA

Brzina obrtanja elektromotora zavisi od spoljnijeg opterećenja. Ako je opterećenje povećano, broj obrtaja motora opada, i obratno.

Obrtno magnetno polje statorskih namotaja obrće se stalnom brzinom. Ta brzina zavisi od frekvence električne struje kojom napajamo motor, kao i od broja pari polova samog motora. Kako elektromotor mora imati najmanje jedan par polova, to brzinu obrtnog magnetnog polja (brzina magnetnog polja statora) možemo izraziti pomoću obrasca:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} [\text{min}^{-1}].$$

gdje je:  $f$  - frekvencija izmjenične struje u hercima (Hz), a  
 $p$  - broj pari polova.

Broj obrtaja elektromotora pri frekvenciji od 50 Hz, iznosiće  $3000 \text{ min}^{-1}$ . Kod četvoropolnog asinhronog motora brzina obrtanja je  $n_s = 1500 \text{ min}^{-1}$ , a kod šestopolnog motora  $n_s = 1000 \text{ min}^{-1}$ .

Kada se asinhroni motor sasvim rastereti (tj. pusti se da radi u praznom hodu), njegov rotor neće dostići brzinu obrtanja magnetnog toka statora. Pretpostavimo da se rotor obrće sa  $3000 \text{ min}^{-1}$ , tada bi se on obrtao istom brzinom kao i obrtno magnetno polje statora, a to znači da se obrću sinhronom brzinom. Ako bi se obrtali sinhrono, magnetne silnice, magnetnog toka statora, ne bi presijecale namotaje rotora, pa prema tome, u namotajima rotora ne bi se indukovao (stvarao) napon. Ako nema indukovano napona, ne može teći ni struja kroz namotaje rotora, bez koje nema ni obrtnog momenta koji bi obrtao rotor, te savladivao trenje samog rotora. Znači, da bi se indukovao napon u namotajima rotora i rotor obrtao, potrebno je da se rotor obrće za dva do tri obrtaja u minuti sporije od obrtnog magnetnog polja statora. Prema tome, brzina obrtanja rotora razlikuje se od brzine obrtnog magnetnog toka statora (koje nikad nisu jednake - sinhrono), pa ove motore i nazivamo asinhronim motorima. **Razlika između brzine obrtanja obrtnog magnetnog toka ( $n_s$ ) i brzine obrtanja rotora ( $n$ ) naziva se klizanje.** Klizanje se često izražava u procentima i izračunava se pomoću izraza:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\%$$

Vrijednost klizanja iznosi od 2% do 10% što zavisi od veličine motora. Manje vrijednosti klizanja su za veće motore, i obratno.

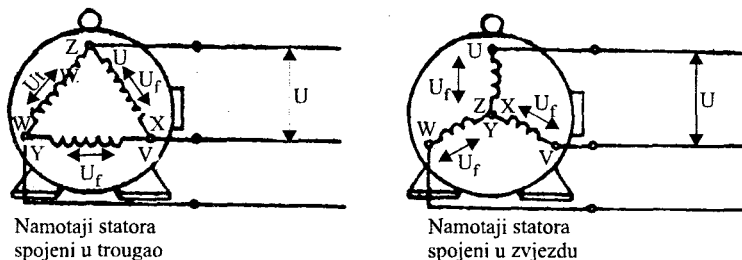
U praksi se klizanje često određuje čitanjem brzine obrtanja sa pločice na motoru. Pri ovome treba imati na umu da se brzina obrtanja na natpisnoj ploči odnosi na nominalno opterećenje motora koji je priključen na nominalni napon i nominalnu frekvenciju (naprimjer  $U = 380 \text{ V}$  i  $f = 50 \text{ Hz}$ ). Ako je opterećenje veće od naznačenog, brzina obrtanja biće manja, tj. klizanje će biti veće. Kod neopterećenog motora brzina obrtanja je skoro jednaka sinhronoj brzini, tj. klizanje je minimalno, skoro jednako nuli.

## 5.2.3. VRSTE ASINHRONIH MOTORA

Asinhroni motori mogu biti trofazni i jednofazni, u izvedbi kao kafezni ili klizno-kolutni. **Trofazni asinhroni motor priključuje se na trofaznu električnu mrežu, a jednofazni (monofazni) na jednofaznu električnu mrežu.**



Trofazni asinhroni motor sa kafeznim rotorom može se spojiti u zvijezdu ili u trougao, kao što je prikazano na sl.5.15.



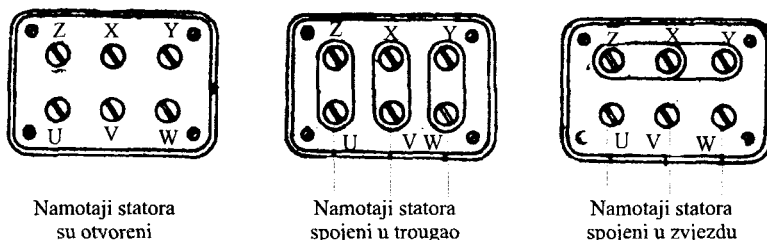
Slika 5.15.

Tri fazna namotaja na statoru trofaznog asinhronog motora, tj. njihove krajeve izvodimo na priključnu kutiju i na samoj kutiji izvodimo spajanje u trokut ili zvijezdu (sl.5.16.).

Spajanjem asinhronog motora u zvijezdu ili trougao omogućuje se priključivanje motora na dva trofazna mrežna napona koji mogu biti 380 V ili 220 V.

Tako naprimjer, motor za trofazni mrežni napon od 380 V spojen u zvijezdu kada se prekopča u spoj, trougao može biti na tarofaznom mrežnom naponu od 220 V.

Trofazni asinhroni motori sa kafeznim rotorom grade se za manje snage, zato što ovi motori u trenutku uključivanja iz mreže povlače vrlo velike struje.



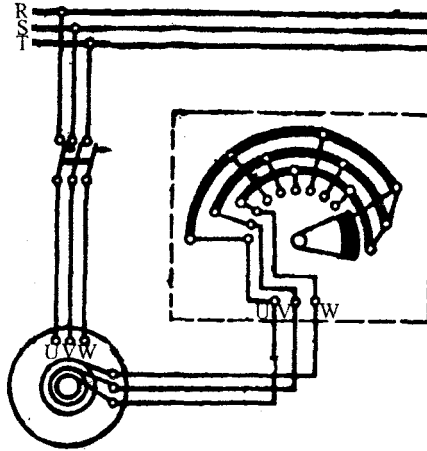
Slika 5.16.

**Trofazni asinhroni motori s kliznim prstenovima** grade se za veće snage. Kako su kod trofaznih motora statorski namotaji izvedeni za tri faze, to i rotorski namotaji se izvode trofazno, čiji se krajevi faznih namotaja spajaju na klizne prstenove. Po kliznim prstenovima klize četkice, koje se provodnicima spajaju na priključnu kutiju napuštača (sl.5.17.) **Napuštači su otpornici čiji se otpor može mijenjati od nule do maksimalne vrijednosti.**

Otpornici na napuštaču podijeljeni su u tri grupe, te svakoj grupi pripada jedan fazni namotaj rotora. Krajevi otpornih žica spajaju se u jednu tačku. S otpornih žica odvajaju se izvodi koji se spajaju na segmente napuštača, a preko segmenata klizi klizač. Na napuštaču stoji oznaka uključeno i isključeno. Kada se motor s kliznim prstenovima pušta u pogon, onda cjelokupan otpor napuštača mora biti uključen.

Poslije toga se klizač polagano okreće (otpor napuštača se smanjuje) tako da se na kraju napuštač kratko spoji. Napuštači za manje snage motora grade se kao suhi, a kod većih snaga otporna žica napuštača smještena je u ulju. Osim trofaznih asinhronih motora danas se

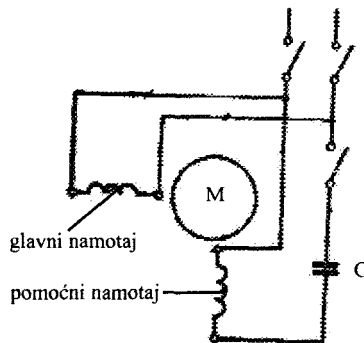
mного upotrebljavaju i jednofazni asinhroni motori. To su motori koji su veoma slični trofaznim asinhronim motorima, s tim što se oni priključuju na jednofazni izmjenični napon.



Slika 5.17.

**Rad jednofaznog asinhronog motora** odvija se na sljedeći način. Kod jednofaznog elektromotora postoji glavni i pomoćni namotaj (sl.5.18.). Početak glavnog i početak pomoćnog namotaja povezani su u jednu tačku, što znači da su priključeni na isti fazni vod. Drugi kraj glavnog namotaja spojen je na nulti vod mrežnog napona te je na taj način zatvoren strujni krug glavnog namotaja. Kraj pomoćnog namotaja povezan je u serijsku vezu sa kondenzatorom preko koga se spaja na nulti vod mrežnog napona. Kako su počeci glavnog i pomoćnog namotaja priključeni na isti fazni vod, proizvedeni magnetni tokovi ovih namotaja neće imati faznog pomaka, pa neće biti ni obrtnog magnetnog toka. Da bi došlo do pojave obrtnog magnetnog polja, potrebno je da u pomoćnom namotaju teče električna struja koja će imati fazni pomak u odnosu na struju u glavnom namotaju.

Potrebni fazni pomak omogućuje kondenzator uključen u strujno kolo pomoćnog namotaja te na taj način dolazi do pojave obrtnog magnetnog polja. Osim ove zadaće, kondenzator ima ulogu popravljanja faktora snage u motoru.



Slika 5.18.

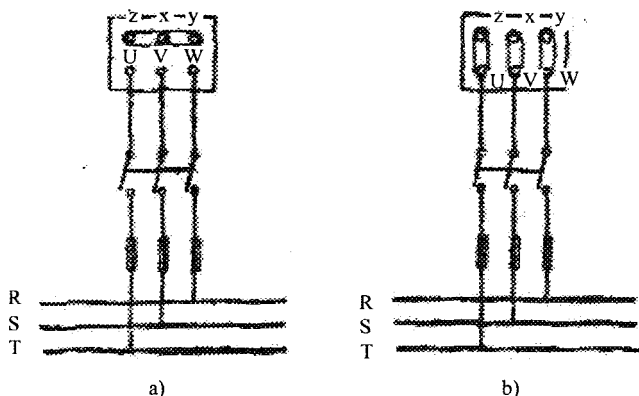
Jednofazni asinhroni motor je lošiji i skuplji od trofaznog asinhronog motora iste snage. Upotrebljavaju se tamo gdje nemamo trofaznu mrežu, naprimjer u domaćinstvima i kancelarijama za pogon ventilatora, mlinova za kahvu, mašina za pranje rublja, računskih mašina itd.

#### 5.2.4. PUŠTANJE U RAD ASINHRONIH MOTORA, PROMJENA BRZINE I PROMJENA SMJERA OBRTAJA

**Puštanje u rad asinhronih motora** ostvaruje se na tri načina:

- direktno puštanje,
- puštanje preko sklopke zvijezda - trougao,
- puštanje pomoću napuštača.

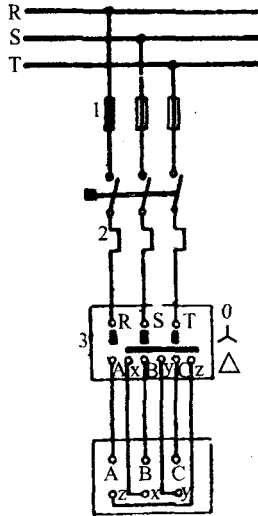
**Direktno puštanje.** Trofazni asinhroni kafezni motori manjih snaga, do 3 kW, puštaju se u pogon direktno preko prikladnih sklopki. Kod ovog načina puštanja asinhronog motora u rad struja uključivanja dostiže vrijednost šest puta veću od nominalne (radne) struje. Naprimjer, kad puštamo u pogon motor od 2,2 kW na mrežni napon 380 V, nominalna struja ovog motora je 5A, a struja uključivanja  $6 \cdot 5 = 30$  A. Vrijeme trajanja zaleta je do 5 sekundi, nakon čega motor radi sa nominalnim brojem obrtaja i nominalnom potrošnjom struje. Na sl.5.19a. prikazano je puštanje trofaznog asinhronog kafeznog motora s direktnim ukopčavanjem sa spojem statorskih namotaja u zvijezdu, a na sl.5.19b. sa spojem statorskih namotaja u trougao.



Slika 5.19.

**Puštanje preko preklopke zvijezda - trougao.** Ako mreža ne može podnijeti relativno velike struje, kafezni motori iznad 3 kW uključuje se preko preklopke zvijezda - trougao, čime se struja uključivanja smanjuje oko 1/3 vrijednosti direktnog uključivanja.

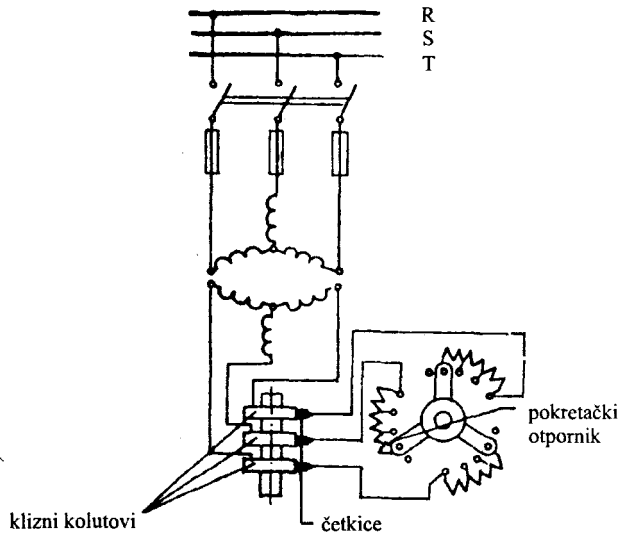
Uključivanje motora preklopom zvijezda - trougao (sl.5.20.) prikladno je samo ako se motor uključuje rasterećen ili s malim momentom opterećenja (alatne mašine). Kada ukopčani motor, u položaju zvijezda, postigne približno nominalnu brzinu, potrebno je prebaciti preklopku u položaj trougao. Preklopkom zvijezda - trougao mogu se uključivati samo motori kojima je statorski namotaj za normalni pogon spojen u spoj trougao. Zato na natpisnoj pločici tih motora stoji: napon 380 V, spoj trougao.



Slika 5.20.

**Puštanje pomoću napuštača.** Ovaj način uključivanja se zasniva na uključivanju otpornika u kolo rotora. S obzirom na način izvedbe rotora, ovaj se način uključivanja može primijeniti samo kod klizno-kolutnih asinhronih motora. U rotorske namotaje uključujemo otpornike u napuštaču (pri puštanju motora u rad), preko četkica na kliznim koturovima (sl.5.21.).

Otpornici u napuštaču ne dozvoljavaju strujama u faznim namotajima rotora da u trenutku uključivanja dostignu veliku vrijednost, pa zbog toga ni struje u statorskim namotajima nisu velike. Postepenim smanjivanjem otpora u napuštaču, povećava se broj obrtaja rotora, i kad su otpori napuštača na nuli, motor dostiže nominalan broj obrtaja.



Slika 5.21.

### Promjena brzine asinhronog motora

Promjena brzine kod asinhronih motora sa kratko spojenim rotorom nije tako jednostavan. Poteškoće na koje se nailazi pri promjeni brzine su najveća mana asinhronih motora. To ipak ne znači da brzinu asinhronih motora ne možemo regulisati. Iz izraza za sinhronu brzinu asinhronog motora ( $n_s = 60 \cdot f/p$ ) proizilazi da brzinu možemo regulisati promjenom frekvencije ( $f$ ) ili promjenom broja pari polova ( $p$ ).

**Promjena broja obrtaja el.motora pomoću promjene frekvencije.** Kako je frekvencija mrežnog napona na koji je priključen elektromotor stalna (50Hz), promjena brzine elektromotora bila bi nemoguća.

Međutim, u novije vrijeme pojavili su se uređaji pomoću kojih možemo kontinuirano vršiti promjenu frekvencije mrežnog napona na koji je priključen elektromotor.

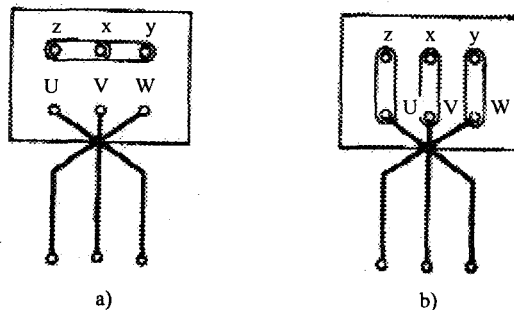
Primjenom ovih uređaja kod mnogih radnih mašina prestala je potreba za složenim prenosnim mehanizmima pomoću kojih se vršila promjena broja obrtaja, kao i skokovitost broja obrtaja.

### Promjena broja obrtaja elektromotora pomoću promjene broja pari polova.

Kod ovih motora jednostavnim preklapanjem može dvopolni motor da se pretvori u četveropolni. Promjena brzine koju postižemo na ovaj način nije sasvim dobra, jer nije kontinuirana. Dakle, postižemo samo dvije brzine, naprimjer  $3000 \text{ min}^{-1}$  kod dvopolnog ili  $1500 \text{ min}^{-1}$  kod četvrepolnog motora, dok između tih brzina nema regulacije brzine. Kod motora sa kliznim prstenovima, koji služe za kranove i druge pogone, potrebna regulacija brzine, radi tačne manipulacije teškim teretima, vrši se pomoću otpornika u strujnom kolu rotora. To je isti napuštač pomoću koga pokrećemo asinhroni motor, samo se mora dimenzionirati tako da podnosi za duže vrijeme jače struje, jer se proticanjem velikih struja stvaraju na otporniku veliki gubici električne energije koji se pretvaraju u toplotu. Ova regulacija je vrlo jednostavna, ali je neekonomična, zbog čega se smanjuje stepen iskorištenja motora.

### Promjena smjera obrtanja

Promjena smjera obrtanja kod trofaznih asinhronih motora postiže se promjenom smjera obrtanja obrtnog magnetnog polja. To se postiže promjenom redoslijeda faza. Promjena redoslijeda faza kod motora s direktnim uključivanjem postiže se zamjenom dvaju priključnih provodnika na priključnoj kutiji motora. Na sl.5.22a. prikazana je takva promjena za slučaj kada je motor spojen u zvijezdu, a na slici 5.22b. slučaj kada je motor spojen u trougao.



Slika 5.22.

Kod motora koji su određeni samo za jedan smjer obrtanja (što je strelicom označeno na poklopcu motora, i kod kojih su ventilatori za hlađenje podešeni samo za jedan smjer obrtanja), ne smije se vršiti promjena smjera obrtaja.

#### 5.2.5. PRIMJENA ASINHRONIH MOTORA NA RADNIM MAŠINAMA

Asinhroni motori našli su vrlo veliku primjenu u industriji, rudarstvu, metalurgiji, građevinarstvu itd. Trofazni asinhroni motori primjenjuju se kao pogonske mašine u različitim izvedbama i snagama. Trofazni asinhroni motor ispod 0,25 kW više nije ekonomičan, pa se za područje tih snaga upotrebljavaju jednofazni asinhroni motori. Najmasovnije je primijenjen trofazni asinhroni motor sa kafeznom rotorom, jer je on najjeftiniji, konstrukcijski najjednostavniji i u pogonu najpouzdaniji, dok je njegovo održavanje minimalno. Gdje se zahtijeva regulacija broja obrtaja (kao naprimjer kod kranova) primjenjuju se asinhroni motori sa kliznim prstenovima. Ovi motori su našli primjenu i za slučaj kada mreža ne trpi velike udare.

#### 5.2.6. ODRŽAVANJE ASINHRONIH MOTORA

Održavanje asinhronih motora vrši se prema uputstvu proizvođača. Kod održavanja mora se posvetiti velika pažnja njihovom zagrijavanju i hlađenju. Ako se motor grije, potrebno ga je zaustaviti i tražiti uzrok prekomjernom zagrijavanju. Otvore za ulaz vazduha na motoru treba redovno čistiti i izduhivati komprimiranim vazduhom, a zatvorene motore treba bar jedanput godišnje prilikom podmazivanja izduhivati vazduhom. Pored redovnog podmazivanja ležajeva motora, potrebno ih je kontrolisati i na šum. Podmazivanje se vrši približno svakih 4000 sati rada motora ili jednom godišnje. Stezaljke na priključnoj kutiji povremeno treba kontrolisati i pritegnuti ih. Kod motora sa kliznim prstenovima treba pregledati četkice na varničenje, pritisak i istrošenost. Zaštitnim mjerama kod električnih motora mora se posvetiti najveća pažnja. Uzemljivač i vodovi moraju biti pravilno dimenzionirani. Na svakom elektromotoru ispod priključne kutije ili u priključnoj kutiji nalazi se poseban zavrtanj za uzemljenje na koji se spaja vod zaštitnog uzemljenja. Ovaj spoj treba češće pregledati da li je dobar, a naročito kod motora koji služe za pogon mašina radilica. S vremena na vrijeme potrebno je izmjeriti otpor uzemljenja. Električna instalacija za motore mora biti izvedena prema postojećim propisima. Montiranju motora treba posvetiti najveću pažnju i držati se uputstva proizvođača. Osigurači, prekidači, napuštači moraju djelovati ispravno. Zato ih je potrebno često pregledati i dotrajale dijelove mijenjati. Priključni vodovi treba da su iz jednog komada. Izbjegavati nadovezivanje vodova, kao i njihovu opravku ako su oštećeni. Ukoliko dođe do prodiranja vlage u namotaje motora, potrebno ih je osušiti, a potom izmjeriti izolacioni otpor u međufaznim namotajima.

#### 5.2.7. ZAŠTITA I OSIGURANJE MOTORA

Osiguranje motora od preopterećivanja vrši se pomoću osigurača i prekidača-sklopki. Kako topljivi instalacioni osigurači služe da zaštite instalacije od prevelikih struja, to isto oni čine i kod elektromotora. Kod električnih instalacija primjenjuju se dvije vrste osigurača, i to: brzi i tromi. Prvi isključuju kolo električne struje trenutno, dok tromi poslije izvjesnog vremena, čime se obezbjeđuje da kratkotrajni strujni udar ne prekine električno kolo.

Pošto elektromotori pri puštanju u rad povlače iz električne mreže nešto veću struju od radne, to se za osiguranje motora primjenjuju tromi osigurači. Ako dođe do povlačenja veće struje od strane motora, ovi osigurači će prekinuti strujni krug i na taj način zaštititi motor od oštećenja ili pregaranja. Osigurači predstavljaju i najjednostavniji način zaštite u električnim kolima.

Prekidači (sklopke) koji služe za zaštitu motora imaju složeniji rad i složeniju konstrukciju od osigurača. Automatski prekidači imaju ugrađene releje i druge uređaje koji reaguju na tri važne smetnje: trenutno velika struja (struja kratkog spoja), trajno veća struja od nominalne (radne) i nestanak napona. Veća struja od nominalne, kada duže traje, djeluje na bime-nalnu traku, koja se izvije i djeluje na mehanizam za isključenje sklopke. Ovi prekidači se najčešće primjenjuju u zaštitu elektromotora i u zajednici sa osiguračima.

## 5.2.8. ZAŠTITA OD DODIRNOG NAPONA I MJERE PRVE POMOĆI OD STRUJNOG UDARA

### 5.2.8.1. Zaštita od dodirnog napona

U industrijskim postrojenjima se kao glavno energetska sredstvo koristi električna energija. Pošto su radnici koji rade na mašinama stalno izloženi opasnosti od električne struje, potrebno je ukazati na opasnost, na mjere zaštite i mjere prve pomoći prilikom strujnog udara. Veliki broj ljudi je nastradao od električne struje, bilo svojom nepažnjom, zbog loše sprovedenih mjera zaštite na radu ili zbog slabo izvedene zaštite mašina i uređaja.

Ako neki dio čovjekovog tijela dodirne dijelove neke mašine ili uređaja koji su pod naponom, kroz čovjekovo tijelo ili kroz dio njegovog tijela teći će električna struja, jer će strujno kolo biti zatvoreno. Ispitivanjima i mjerenjima ustanovljeno je da je granica smrtno opasnosti za čovjeka struja od 50 mA (miliampera), a struja od 100 mA najčešće prouzrokuje smrt. Pogrešno je shvatanje da je napon direktan uzročnik smrti.

Napon je ustvari indirektno opasan po čovjeka, jer struja koju on izaziva ima direktne posljedice na pojedine organe, a te posljedice mogu izazvati smrt.

Zbog toga su uvedene posebne mjere zaštite na radu kada je u pitanju zaštita od električne struje. Te mjere su: izolacija, zaštitno uzemljenje, nulovanje i ograđivanje.

**Izolovanje** se sastoji u tome što se izoluju oni metalni dijelovi koji u slučaju kvara mogu doći pod napon. Zbog toga su metalne drške prekidača i alata prekrivene debelom izolacionom navlakom, prostorije za razvod imaju gumene prostirke, a pri radu navlače se gumene rukavice, čizme itd.

**Zaštitno uzemljenje** predstavlja najefikasniju zaštitnu mjeru i danas se najviše upotrebljava. Svi metalni dijelovi električnih mašina i uređaja koji u normalnom radu nisu pod naponom povežu se sa zemljom. Ukoliko zbog oštećenja izolacije provodnika ili nekog drugog uzroka dođe kućište mašine pod napon, zaštita uzemljenjem je vrlo efikasna.

Ona se sastoji u tome da se kućište mašine spoji provodnikom preko uzemljivača postavljenog u zemlji.

Najvažniji dio uzemljivačkog dijela je uzemljivač. To je metalni dio različitog oblika (cijev, traka ili mreža). Položen je u zemlju na dubinu od 0,5 do 1m. Uloga mu je da, u slučaju kvara, izazove takvu struju koja će biti dovoljna da pregori osigurač i prekine strujni krug, a da pri tom i dodirni napon ne pređe vrijednost od 50 V.

**Nulovanje** se vrši s istim ciljem kao i uzemljenje, ali se kolo ne zatvara preko zemlje, već preko nultog provodnika (nule). Kako je ovdje otpor kola znatno manji, u odnosu na uzemljenje to je isključenje sigurnije i brže. Pri tom nulti provodnik mora biti dobro uzemljen, ne samo na početku već i na kraju, da u slučaju prekida nultog voda ne dođe do opasnog dodirnog napona bez mogućnosti da se kolo zatvori.

**Ograđivanje** se sastoji u zatvaranju uređaja u kutije i ormare, ili prosto u ograđivanju. Kako su ove ograde metalne, sve se one uzemljuju, pa ovo zaštitno uzemljenje ima ulogu kao i ono prethodno, a iz pristup nestručnim licima se na ovaj način onemogućava.

Naponski zaštitni spoj se obično primjenjuje kod elektromotora. Veza naponskog zaštitnog spoja je izvedena tako da pri proboju izolacije protekne struja kroz poseban elektromagnet, a on svojom privlačnom silom isključi sklopku elektromotora i na taj način prekine strujno kolo i opasnost od dodirnog napona.

Sve zaštitne mjere umanjuju opasnost od električnog udara, ali je ne isključuju. Opreznost pri radu s električnom strujom predstavlja značajan faktor u zaštiti od električnog udara.

#### 5.2.8.2. Prva pomoć prilikom strujnog udara

Kada dođe do strujnog udara, potrebno je što brže osloboditi nastradalog iz strujnog kola. To se najlakše vrši isključivanjem električne struje, a ako ovo nije moguće brzo uraditi, nastradalog treba odvojiti od dodirnog napona, ali pri tom treba voditi računa da se stoji na suhom mjestu i ne smije se biti u dodiru sa tijelom ili mokrim dijelovima odjeće nastradalog. Pri niskom naponu, ako brzo isključenje nije moguće, treba ukloniti provodnik predmetom koji je izolovan za taj napon. Pri tome treba paziti da ne dođe do pada nastradalog, tj. ako se on nalazi u takvom položaju ili na takvom mjestu što bi moglo da mu nanese veće povrede. Potrebno je odmah zvati ljekara.

Kada se nastradali odvoji iz strujnog kola, ako ne diše, pribjeći vještačkom disanju, i to bez prenošenja ili prevoza nastradalog. Vještačko disanje može da se primjeni na nekoliko načina, kao što su: **usta na usta, usta na nos i Šeferova ručna metoda vještačkog disanja**. Šeferova metoda se sastoji u sljedećem: Unesrećeni se potrbuške položi na čvrsto tlo, glava se namjesti na jednu savijenu ruku, dok je druga ruka ispružena naprijed. Spasilac klekne na koljena i objaši nastradalog a svoje ruke stavlja na slabine nastradalog, tako da su mu palci paralelni s kičmom, a od nje udaljeni po tri centimetra. Oslanja se naprijed svojom težinom i tako izaziva izdisanje nastradalog. Vraćanjem sopstvenog tijela u prvobitni položaj, gdje ruke ostaju na mjestu, prestaje vršenje pritiska na nastradalog, tako da dolazi do udisanja što omogućava elastičnost grudnog koša. Veoma je važno da je ritam uvijek isti, tj. dvanaest do petnaest pokreta u minuti. Ovo se radi sve dok nastradali ne počne sam da diše. Nastradalom se ne smije davati nikakvo piće dok se potpuno ne osvijesti, jer bi inače povraćao, a to bi ga moglo ugušiti.