

Izvedbe sinkronih strojeva

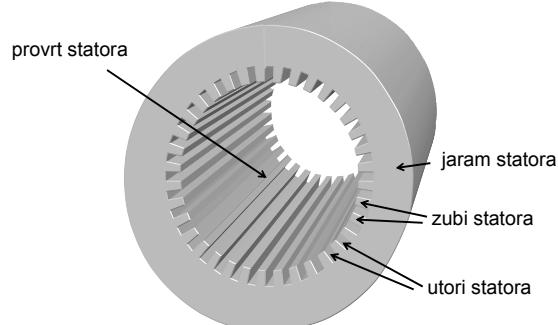
37

- Konstrukcijske izvedbe sinkronih strojeva znatno se razlikuju i ovise prvenstveno o snazi i namjeni stroja.
- Ako promatramo samo aktivne dijelove stroja (one koji sudjeluju u elektromehaničkoj pretvorbi energije), i to one uobičajenih izvedbi, razlike su znatno manje.
- Svaki sinkroni stroj se sastoji od dva osnovna dijela: statora i rotora.

38

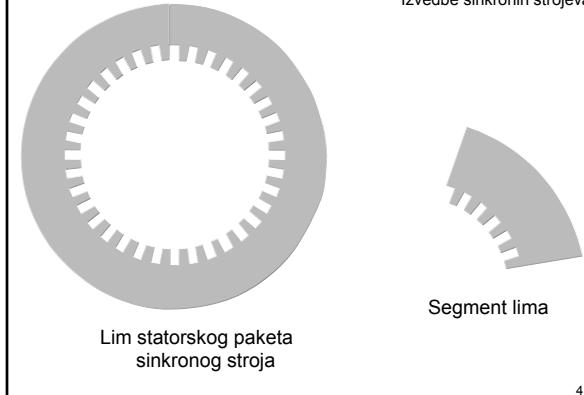
- **Stator** uobičajenih izvedbi sinkronih strojeva sličan je za sve izvedbe.
- Budući da broj polova može biti različit – od minimalno dva do preko stotinu – omjeri duljine i promjera statora raznih strojeva se znatno razlikuju.
 - Osim ove razlike drugih bitnih razlika nema.

39



Statorski paket sinkronog stroja

40



41

- Magnetski krug statora sinkronog stroja je napravljen u obliku šupljeg valjka koji se naziva statorski paket.
- Sastavljen je od prstenastih, međusobno izoliranih magnetskih limova debljine 0.35, 0.5 ili 0.63 mm.
- Kod strojeva vanjskog promjera većeg od oko 1m limovi statorskog paketa sastoje se od više segmenata. Razlog za to je tehnološke prirode (širina bale magnetskog lima).

42

SINKRONI STROJEVI

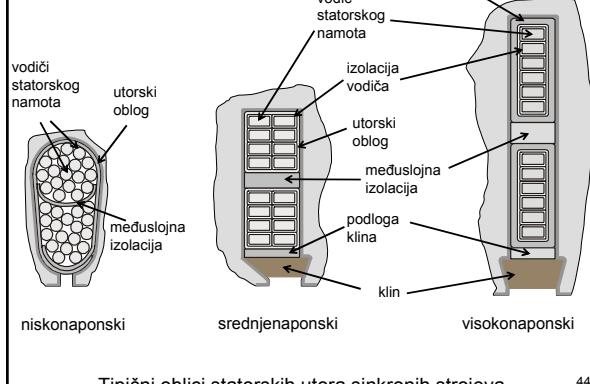
Izvedbe sinkronih strojeva

- Pojedinačni limovi (segmenti) izrađuju se izbijanjem (štancanjem) ili laserskim rezanjem.
- Segmenti se slažu u pojedine slojeve paketa s preklopom u susjednim slojevima.
- Kružni vijenac između utora i vanjskog promjera statorskog paketa se naziva jaram statora.
- Središnji otvor se naziva provrt statora.

43

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva



44

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva

- Uzduž statorskog paketa, u provrtu su utori.
- U utora se stavlja armaturni namot.
- UTORI mogu biti različitih oblika.
- SA stanovišta magnetskog otpora magnetskog kruga, povoljniji je poluzatvoreni oblik utora.

45

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva

- Takav se oblik utora može koristiti jedino za strojeve niskog i srednjeg napona, pri čem se svici ne izrađuju unaprijed, nego se vodič po vodič ulaze u utor.
- Visokonaponski strojevi izrađuju se isključivo s otvorenim utorima, jer se svici potpuno izoliraju i završavaju prije ulaganja u paket.
- Budući da nazivni napon stroja ovisi o njegovoj snazi, možemo isto tako reći da oblik utora ovisi o snazi stroja.

46

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva

- Vodiči mogu biti okruglog ili pravokutnog presjeka (profilni vodiči).
- Profilni vodiči se rabe zbog što boljeg iskorištenja prostora utora, osobito za visokonaponske strojeve.
- Vodiči (svici) namota se u utoru učvršćuju klinom od izolacijskog materijala.
- Dijelovi magnetskog kruga između utora nazivaju se zubi statora.

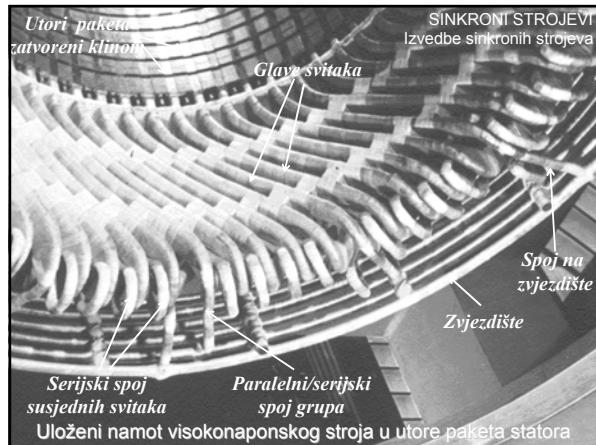
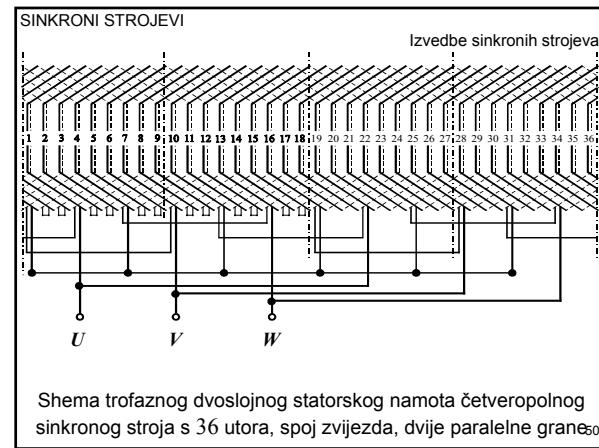
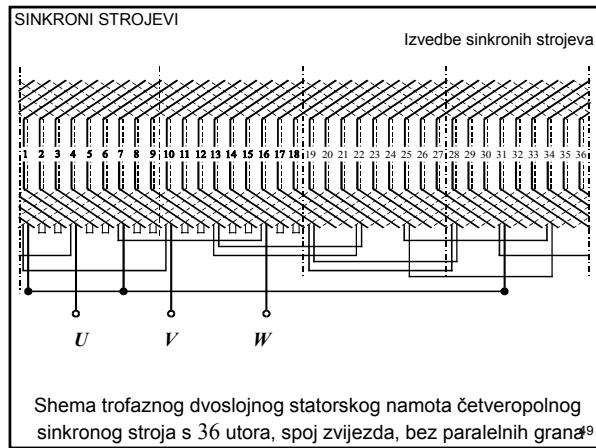
47

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva

- Statorski svici velikih strojeva imaju često samo jedan zavoj koji se sastoji od više prepletenih dionih vodiča (Roebel štap).
- Prepletanje se provodi zato što rasipni induktivitet dionog vodiča u dnu i pri otvoru utora nema jednaku vrijednost.
- Bez preleta bi dolazilo do jakog potiskivanja struje prema otvoru utora.

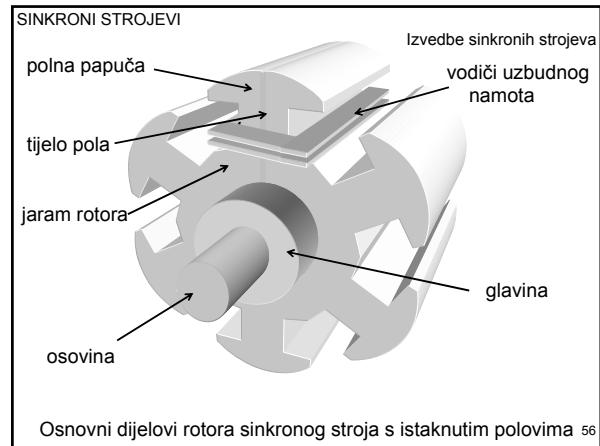
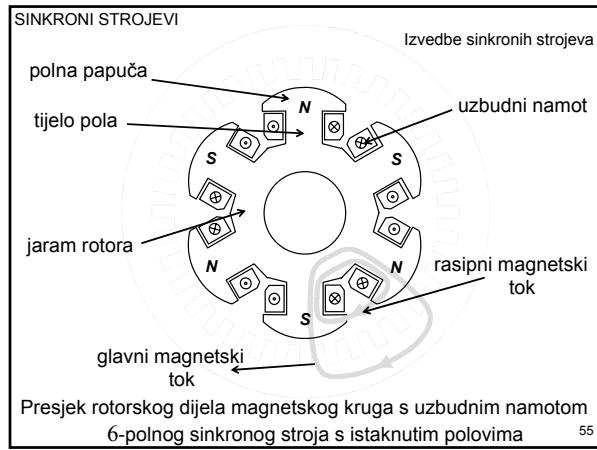
48



- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Armaturni namot stroja može biti izведен i spojen na različite načine.
 - Pretežno se koristi trofazni dvoslojni namot u zvijezda spoju.
 - Namot svake faze čine jedna ili više grupa serijski vezanih svitaka, koji se sastoje od jednog ili više zavoja.
 - Grupe svitaka mogu se spajati serijski ili paralelno.
- 52

- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Na shemama su prikazane sheme statorskog namota 3-faznog, 4-polnog stroja s 36 utora na statoru.
 - Faze namota su spojene u zvijezdu.
 - Prikazan je dvoslojni namot u dvjema izvedbama, bez i s paralelnim granama.
 - Polni korak mјeren brojem utora iznosi 9.
 - Namot je skraćen za dva utorska koraka, pa korak namota iznosi 7.
- 53

- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- **Rotor** sinkronog stroja predstavlja njegov uzbudni dio.
- Na rotoru je smješten uzbudni namot, kroz koji teče istosmjerna struja i tako stvara magnetsko polje.
 - Izvedbe rotora strojeva s istaknutim polovima (hidrogenerator) i strojeva s cilindričnim rotorom (turbogenerator) znatno se razlikuju.
- 54

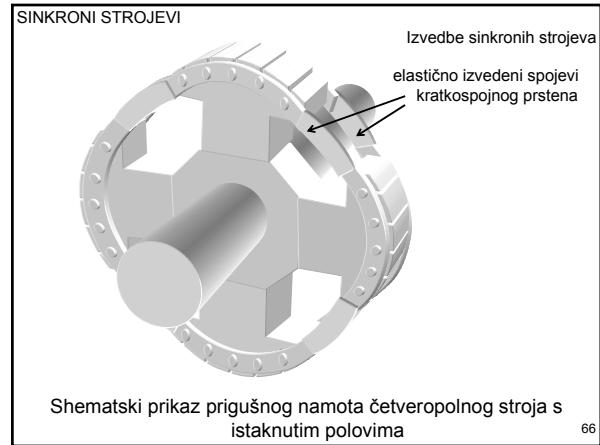
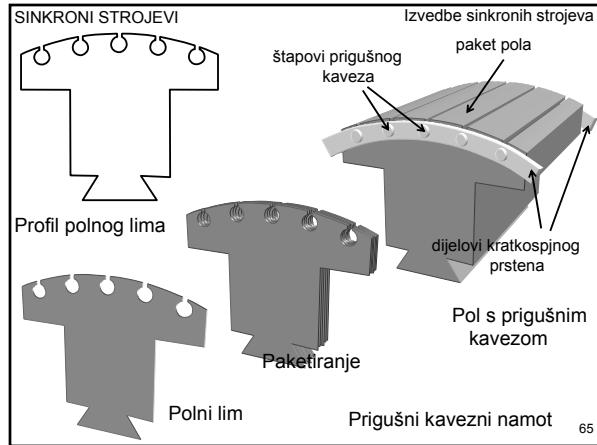
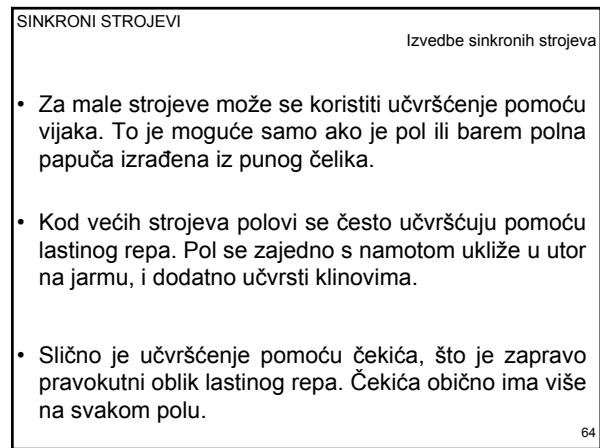
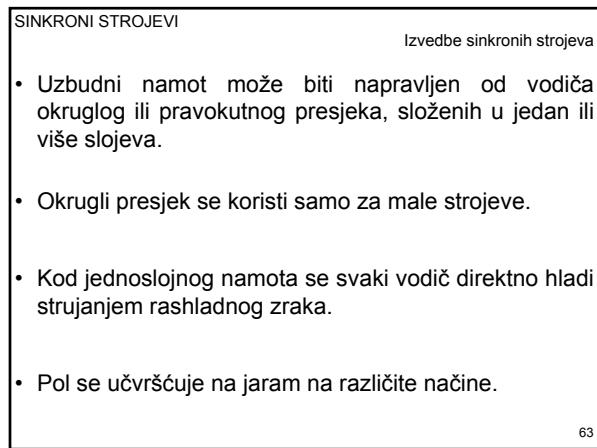
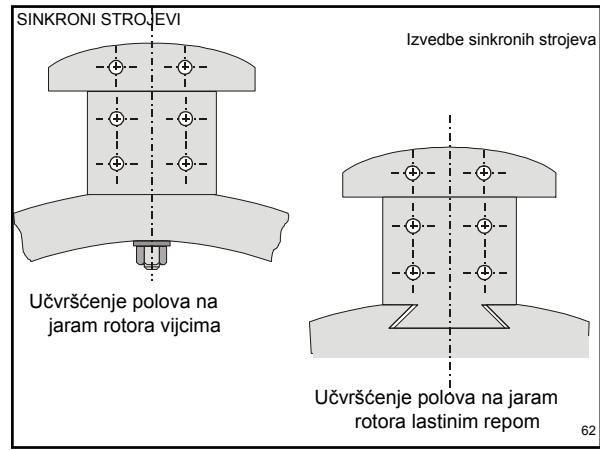
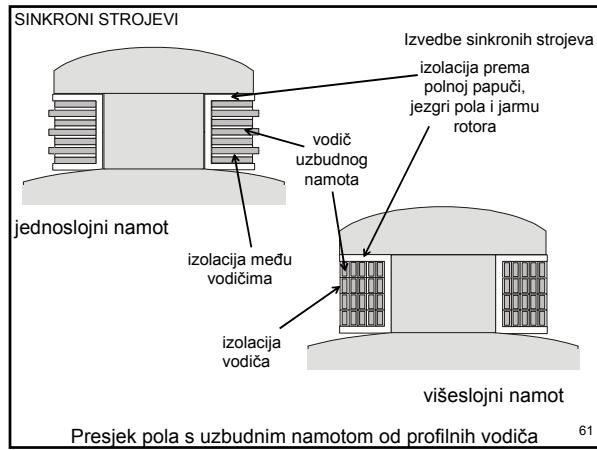


- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Rotorski dio magnetskog kruga stroja s izraženim polovima sastoji se od nekoliko jasno izraženih elemenata:
 - jarma rotora,
 - tijela (jezgre) pola i
 - polne papuče (stopala).
 - Na tijelu pola smješten je koncentrirani uzbudni namot kroz koji protiče istosmjerna struja.
- 57

- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Smjer struje u uzbudnom namotu je takav, da se duž oboda stroja naizmjenično pojavljuju sjeverni i južni magnetski polovi.
 - Glavni magnetski tok prolazi kroz jarmu rotora, tijelo pola i polnu papuču s koje kroz zračni raspor prelazi na stator.
 - Rasipni magnetski tok zatvara se na rotoru, najvećim dijelom između polnih papuča.
- 58

- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Budući da je magnetski tok na rotoru istosmjeran, magnetski krug rotora može se izraditi iz masivnog željeza.
 - Zbog tehnoloških i konstrukcijskih razloga to se iznimno rijetko radi, osim za sasvim male strojeve.
 - Dijelovi magnetskog kruga se izrađuju iz neizolirang čeličnog lima. Debljina lima je obično oko **2mm**.
 - Jarmu rotora se slaže od segmenata lima s preklonom u susjednim slojevima i aksijalno učvršćuje vijcima. 59

- SINKRONI STROJEVI**
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Jarmu rotora dimenzionira se obzirom na magnetski tok i mehanička naprezanja.
 - Jarmu rotora učvršćuje se na osovinu pomoću glavine. Pri tome se koriste različita tehnološka i konstrukcijska rješenja.
 - Ako je promjer rotora velik, između glavine i jarma rotora ugrađuje se tada zvijezda rotora, uz različita konstrukcijska rješenja.
 - Ni glavina ni zvijezda rotora ne vode magnetski tok. 60



SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva

- Tijelo pola i polna papuča se najčešće izrađuju kao jedan element.
- Limovi pola se paketiraju i uzdužno učvršćuju vijcima.
- Na krajevima paketa postavljaju se krajnje polne ploče, čija je osnovna funkcija mehaničko učvršćenje paketa pola. Krajnje ploče opterećene su dodatno i centrifugalnim silama na uzbudni namot.
- Krajnje polne ploče su mehančki jako napregnuti dijelovi rotora.

67

SINKRONI STROJEVI

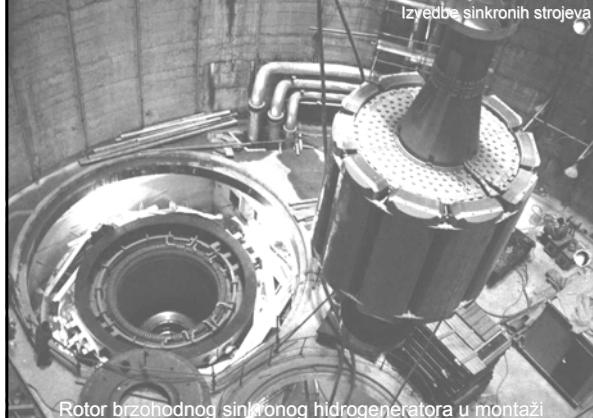
Izvedbe sinkronih strojeva

- U polnu papuču se gotovo uvijek ugrađuje prigušni kavezni namot.
- Štapovi prigušnog kaveza postavljaju se u utore na polnoj papuči, i kratko spajaju u čeonim dijelima.
- Nakon montaže pola (zajedno s uzbudnim namotom), dijelovi kratkospojnog prstena se međusobno spoje u jedinstveni kratkospojni prsten.
- Ovaj spoj mora biti mehanički elastičan zbog termičkih dilatacija.

68

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva



Rotor brzohodnog sinkronog hidrogeneratora u montaži

SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva



Rotor sporohodnog sinkronog hidrogeneratora u montaži

SINKRONI STROJEVI

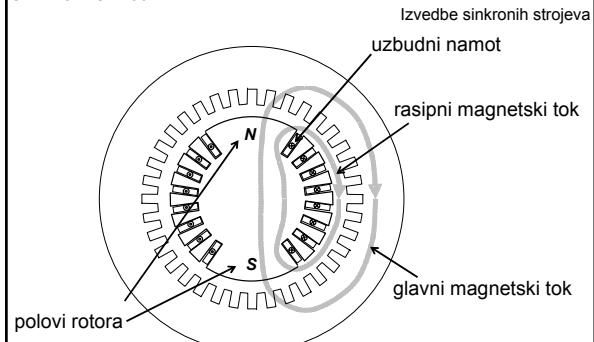
Izvedbe sinkronih strojeva

- Konstrukcijska izvedba cilindričnog rotora (turborotora) znatno se razlikuje od konstrukcije rotora s istaknutim polovima.
- Magnetski krug i osovina takvog rotora su u pravilu izrađeni iz jednog komada kovanog čelika.

71

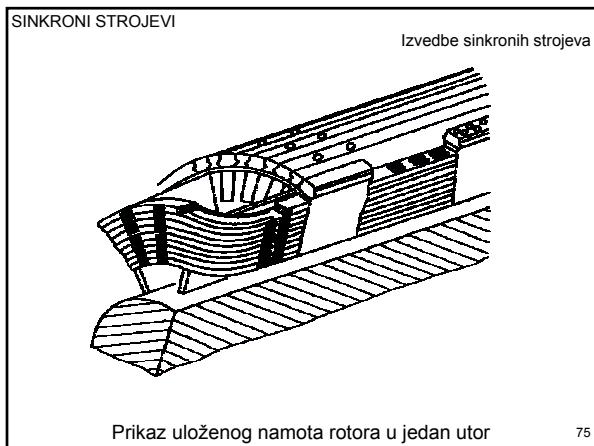
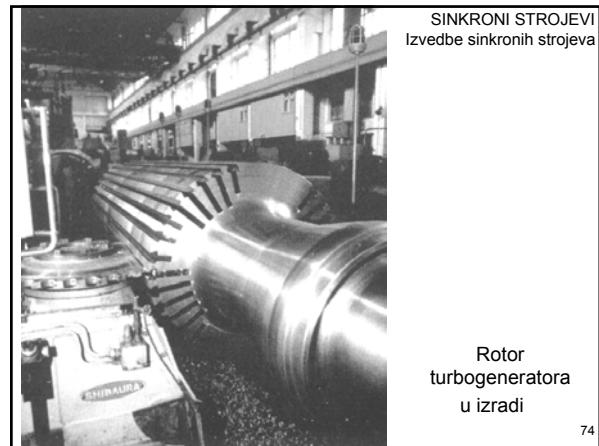
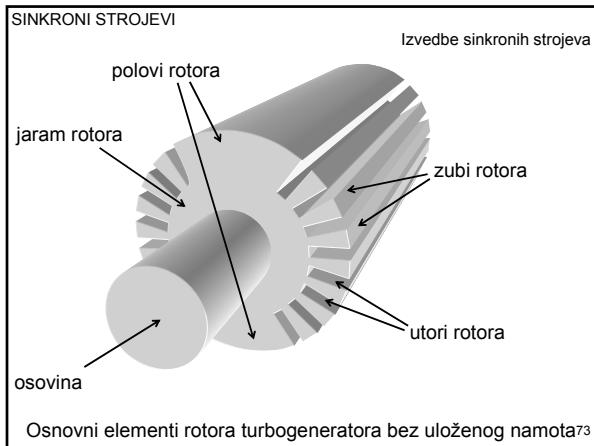
SINKRONI STROJEVI

Izvedbe sinkronih strojeva



Presjek rotorskog dijela magnetskog kruga s uzbudnim namotom 2-polnog sinkronog stroja s cilindričnim rotorom

72



- SINKRONI STROJEVI
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Rotor turbogeneratora (cilindrični rotor, turborotor) izrađuje se uvek iz jednog komada kovanog čelika.
 - Zbog velikih mehaničkih naprezanja, čelik rotora mora imati dobra mehanička svojstva.
 - Budući da kroz rotor prolazi i magnetski tok, materijal rotora mora imati i odgovarajuća magnetska svojstva.
 - Magnetski krug rotora je takav da jaram rotora razlikujemo više pojmovno, nego konstrukcijski.
- 76

- SINKRONI STROJEVI
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Na tijelu rotora se glodaju utori za ulaganje uzbudnog namota.
 - Uzbudni namot je raspodijeljen u utore, tako da se tom raspodjeljom postiže približno sinusoidalna raspodjela protjecanja duž zračnog raspora.
 - Kod velikih strojeva krajnji utori se ponekad izvode manje dubine, s manje vodiča.
 - Vodiči u utorima rotora učvršćuju se klinovima.
- 77

- SINKRONI STROJEVI
- Izvedbe sinkronih strojeva
- Iako je uložen u utore, slično kao namot statora, izvedba namota rotora dosta se razlikuje od izvedbe statorskog namota.
 - Zbog relativno niskog istosmjernog napona, izolacija rotorskog namota je relativno tanka.
 - Namot rotora je uvek izведен od koncentričnih svitaka.
 - Glave namota mehanički su učvršćene rotorskim kapama od posebnog čelika, zbog velikih mehaničkih naprezanja.
- 78

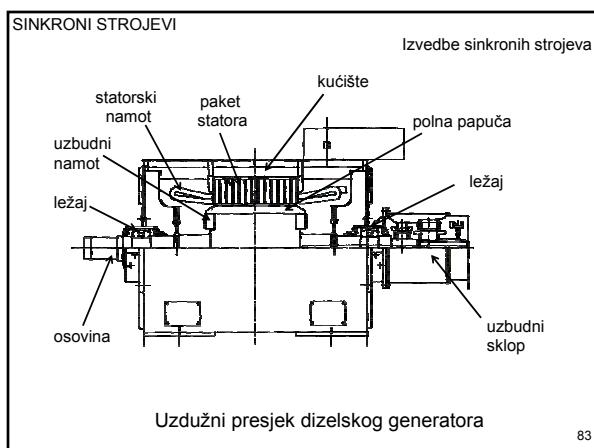
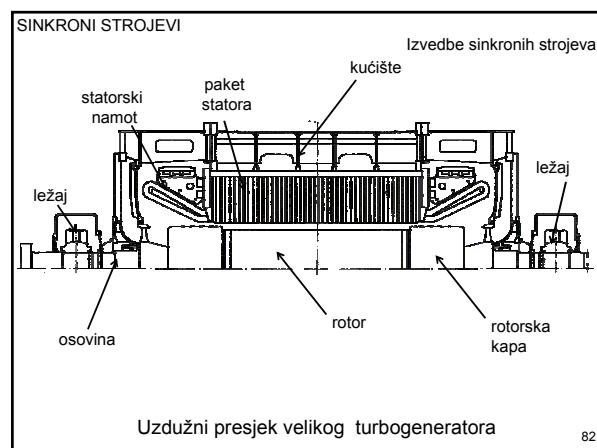
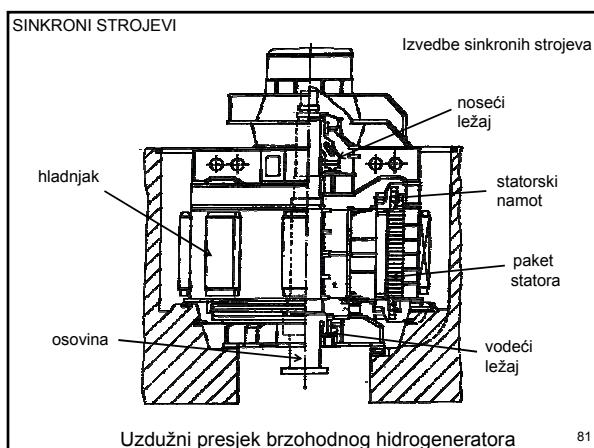
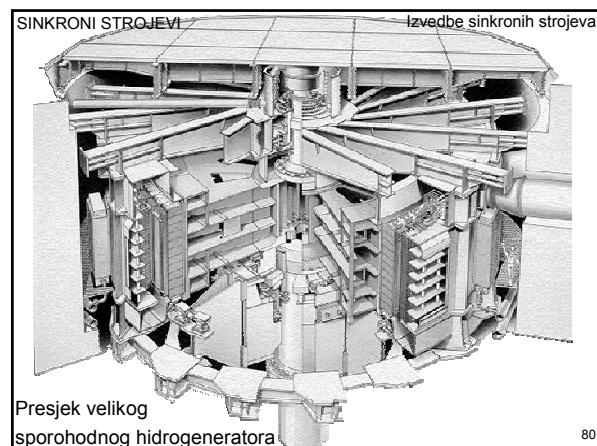
Električni strojevi 2, predavanje 01/13

nastavnik: Ivan Mandić

SINKRONI STROJEVI
Izvedbe sinkronih strojeva

- Na rotor turbogeneratora nikad se ne ugrađuje prigušni kavez.
- Prigušni kavez nije potreban, jer su polovi od punog čelika, u kojem se slobodno mogu zatvarati vrtložne struje.
- Te vrtložne struje igraju istu ulogu kao i struje u prigušnom kavezu strojeva s istaknutim polovima.

79



- SINKRONI STROJEVI**
Izvedbe sinkronih strojeva
- Sinkroni generatori izvode se vertikalnom ili horizontalnom osovinom.
 - Hidrogeneratori se grade najčešće s vertikalnom osovinom.
 - Turbogeneratori se grade isključivo s horizontalnom osovinom.
 - Iako s istaknutim polovima, dizelski generatori grade se s horizontalnom osovinom.
- 84

SINKRONI STROJEVI**Izvedbe sinkronih strojeva**

- Uz osnovne aktivne elemente (magnetski krug, namot armature, uzbudni namot, osovina), veliki strojevi imaju i niz drugih pomoćnih sustava.
- Ležajevi velikih strojeva nose iznimno velike sile, pa su često složene konstrukcije.
- Rashladni sustavi često uključuju izmjenjivače topline zrak-voda, ili, kod velikih turbogeneratora vodik-voda.
- Statorski namot se ponekad hlađi direktno vodom.

85

SINKRONI STROJEVI**Izvedbe sinkronih strojeva**

- Kućište sinkronih strojeva se radi od valjanog čelika, a može biti različitih oblika.
- Kućišta velikih sinkronih strojeva izvode se danas isključivo kao varene kutijaste konstrukcije.
- Služi kao zaštita paketa i namota i kao nosač čitavog stroja.
- Kućišta velikih turbogeneratora dimenzioniraju se i obzirom na povećani unutarnji tlak, budući da se takvi strojevi hlađe vodikom pod povećanim tlakom.

86

SINKRONI STROJEVI

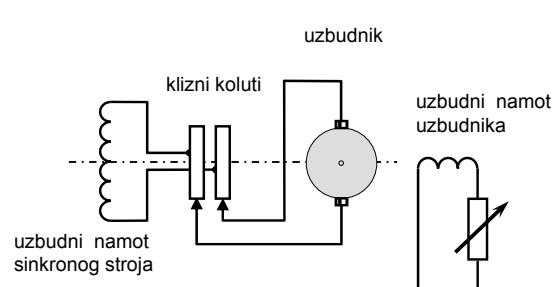
Uzbudni sistemi

87

SINKRONI STROJEVI**Uzbudni sistemi**

- Veći generatori grade se isključivo s uzbudom pomoću istosmjerne struje.
- Ta struja teče uzbudnim namotom i naziva se uzbudna struja.
- Kao izvori uzbudne struje koriste se u praksi tri osnovna rješenja:
 - uzbuda s istosmjernim uzbudnikom,
 - statička uzbuda i
 - beskontaktna uzbuda.

88

SINKRONI STROJEVI**Uzbudni sistemi**

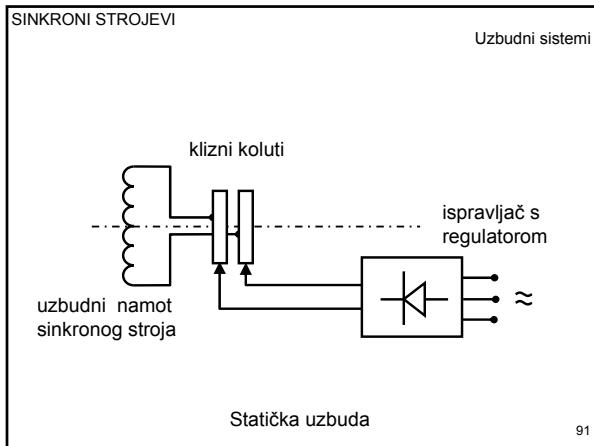
Uzbudni sistem s istosmjernim uzbudnikom

89

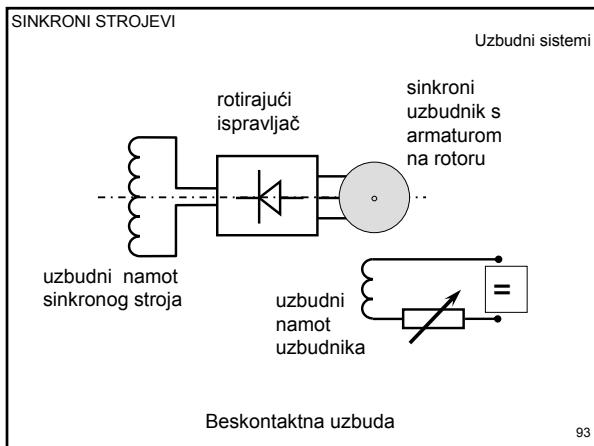
SINKRONI STROJEVI**Uzbudni sistemi**

- Uzbuda s istosmjernim uzbudnikom je najstarije rješenje koje se uglavnom više ne primjenjuje na novim strojevima.
- Na zajedničku osovinu je prigrađen istosmjerni generator (uzbudnik) čije su izlazne stezaljke spojene s uzbudnim namotom generatora preko četkica i kliznih prstena.
- Regulacija uzbudne struje se postiže regulacijom uzbude uzbudnika pomoću automatskog regulatora.
- Slaba je strana ovog rješenja u kolektoru uzbudnika koji je inače najslabija točka istosmjernih strojeva.

90



- SINKRONI STROJEVI
- Uzбудни sistemi
- Drugo, danas često korišteno rješenje je statička uzbuda.
 - Kod statičke uzbude je istosmjerni generator zamijenjen statičkim ispravljačem.
 - Struja iz izmjeničnog izvora se ispravlja upravljivim tristorskim ispravljačem na koji djeluje regulator uzbudne struje.
 - Ovo je pouzdaniji sistem od istosmjernog uzbudnika, ali još uvijek ostaju klizni prsteni i četkice kao mogući izvor problema.
- 92



- SINKRONI STROJEVI
- Uzбудни sistemi
- Treće rješenje je beskontaktna uzbuda.
 - Kao uzbudnik služi mali sinkroni generator koji ima uzbudu na statoru, a armaturni namot na rotoru.
 - Rotor uzbudnika i ispravljački uređaj su montirani na osovinu generatora i zajedno se vrte.
 - Armatura uzbudnika je preko ispravljačkog uređaja izravno spojena s uzbudnim namotom sinkronog generatora.
- 94

- SINKRONI STROJEVI
- Uzбудni sistemi
- Regulacija uzbudne struje se postiže regulacijom uzbude pomoćnog generatora.
 - Prednost je ovakvog rješenja što ne zahtijeva ni kolektor ni klizne prstene pa traži manje održavanja.
 - Koristi se često za uzbudu manjih generatora koji rade samostalno na vlastitoj mreži.
 - Kao izvor za napajanje uzbude uzbudnika koristi se tada mali generator s permanentnim magnetima na rotoru.
- 95

SINKRONI STROJEVI

96

Osnovni podaci

SINKRONI STROJEVI

Osnovni podaci

- Osnovne podatke o izvedenom stroju možemo saznati s natpisne pločice.
- Svaki stroj mora imati natpisnu pločicu, osim ako se isporučuje već ugrađen u neki složeniji uređaj (na primjer mlinac za kavu).
- Natpisna pločica sadrži:
 - osnovne podatke o proizvođaču,
 - godinu proizvodnje,
 - standarde po kojima je stroj izrađen i
 - nazivne podatke za koje je stroj građen.

97

SINKRONI STROJEVI

Osnovni podaci

- Nazivni podaci sinkronog stroja su:
 - nazivna snaga,
 - nazivni napon (efektivna vrijednost linijskog napona),
 - nazivna struja (efektivna vrijednost linijske struje),
 - nazivna frekvencija,
 - nazivna brzina vrtnje,
 - nazivni faktor snage,
 - uzbudna struja i
 - nazivni uzbudni napon.

98

SINKRONI STROJEVI

Osnovni podaci

- Kao nazivna snaga se za generator daje električna prividna snaga, određena radnim i jalovim opterećenjem jer opterećenje generatora ne mora biti samo radnog karaktera.
- To je važno zbog zagrijavanja stroja za što su mjerodavni napon i ukupna struja, dakle prividna, a ne samo radna snaga.
- Na primjer, u slučaju čisto induktivnog opterećenja struja generatora i zagrijavanje mogu poprimiti nazivne vrijednosti, a radna snaga koju predaje je jednaka nuli.

99

SINKRONI STROJEVI

Osnovni podaci

- Isto tako se i za kompenzatore daje prividna snaga.
- Za sinkrone motore se obično daje radna snaga na osovini, ali se u slučajevima kad on radi i kao kompenzator daje prividna električna snaga.
- Ukoliko se držimo podataka s natpisne pločice, stroju se u pogonu neće ništa dogoditi.
- Ako ga opteretimo većom snagom, narinemo viši napon ili slično, može doći do ozbiljnog kvara - izgaranja izolacije kao posljedice pregrijavanja.

100