

Sinkroni strojevi i uzbudni sustavi : odgovori na pitanja za usmeni ispit

by : Lynx



Zagreb, lipanj 2010.

1. Nabrojite namote velikog sinkronog stroja. Za svaki navedite ulogu, te skicom prikažite smještaj.

Namoti sinkronog stroja su:

▣ UZBUDNI

▣ ARMATURNI

▣ PRIGUŠNI

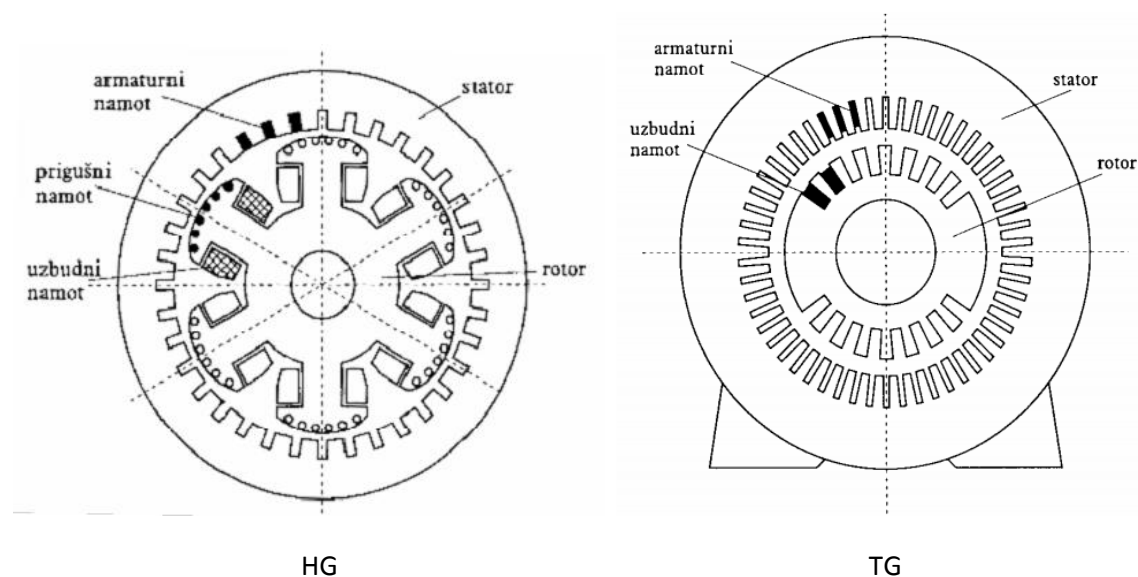
Uzbudni namot : Kod HG :Veliki broj zavoja tanjih vodiča namotan oko istaknutih polova kroz koji teče istosmjerna struja i pritom stvara magnetski tok u stroju.

Kod TG : Na rotoru su utori u koje se smješta uzbudni namot. Namot najčešće zauzima 2/3 oboda rotora.

Armaturni namot : U njemu se inducira napon i kroz njega teku struje opterećenja. Mora biti dimenzioniran tako da može trajno podnositi nazivne vrijednosti napona (do $U_n = 27 \text{ kV}$) i struja (do $I_n = 30 \text{ kA}$). Preko njega se prenosi ukupna snaga stroja te se njemu posvećuje najveća pažnja. Vodiči se smještaju u uture kontinuirano po cijelom obodu statora.

Prigušni namot : Ugrađuje se u sinkrone strojeve sa svrhom prigušenja njihanja sinkronog stroja, prigušenja inverznog okretnog polja i omogućavanja asinkronog zaleta sinkronog motora i kompenzatora.

Ugrađuje se u polnenastavke istaknutih polovana rotoru (HG) ili pri vrhu rotorskih utora (TG)



6. Koji se tipični nazivni naponi velikih sinkronih generatora?

Tipični nazivni linijski naponi :0,4; 3,15; 6,3; 10,5; 15,75; 21; 27 kV, eksperimentalno do 120 kV.

10. Kolike su najveće snage turbogeneratorsa, a koje hidrogeneratorsa u svijetu? Koji je od tih generatorsa teži TG ili HG?

TG : Široki raspon snaga (najveći postojeći TG u nuklearnoj elektrani: 4-polni 1710 MVA; u projektu ili izgradnji 4-polni do 2220 MVA i 2-polni do 1500 MVA).

HG : Snage su danas veći preko 800 MVA (Three Gorges –Kina, 840 MVA, 75 r/min), rotorskog promjera i preko 18 m.

Uz istu snagu HG ima puno veće dimenzije i teži je od TG.

11. Objasnite što je to „reakcija armature“.

Magnetski tok u rasporu sinkronog stroja ovisi o protjecanju svih namota koji su tim tokom ulančeni. U praznom hodu sinkronog stroja ne teče struja armaturnim namotom ($I=0$), pa je tok stvoren samo protjecanjem uzbudnog namota.

Kada kroz armaturni namot poteče struja, ona svojim protjecanjem mijenja resultantno protjecanje koje stvara resultantni tok u stroju. Djelovanje armaturnog protjecanja nazivamo reakcijom armature.

12. Kako se definira kratkospojni omjer sinkronog generatora?

Kratkospojni omjer se definira kao : $k_k = \frac{1}{x_d} = \frac{I_{fg}}{I_{fk}}$ ili $k_k = \frac{1}{x_{dzas}} = \frac{I_{f0}}{I_{fk}}$

x_d je nezasićena sinkrona reaktancija, a x_{dzas} zasićena, I_{fg} je uzbudna struja praznog hoda nezasićenog stroja za nazivni inducirani napon, a I_{f0} zasićenog stroja, I_{fk} je uzbudna struja kratkog spoja za nazivnu struju armature.

13. Čemu služe sinkroni kompenzatori?

Nemaju pogonskog stroja. Ne služe za elektromehaničku pretvorbu energije nego samo opskrbljuju energetske sustave jalovom energijom. Grade se u velikim jedinicama (10 MVA do 200 MVA) obično sa šest ili osam istaknutih polova.

15. Koliki je fazni inducirani napon trofaznog 4-polnog turbogenerators koji ima štapni namot (2 vodiča po utoru) smješten u 60 utora? Faktor namota iznosi 0,9. Uzbuđen je tako da magnetski tok po polu iznosi 1,264 Vs. Vrti se brzinom 1800 min⁻¹.

Inducirani napon po fazi iznosi : $E = 4,44 \cdot f_n \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{gl}$

Frekvencija se dobije iz broja pari polova i brzine vrtnje : $f = \frac{np}{60} = 50 \text{ Hz.}$

Dvoslojni štapni namot (2 vodiča po utoru) u 60 utora daje broj svitaka :

$$w_2 = \frac{60 \text{ (utora)} \cdot 2 \text{ (vodiča po utoru)}}{2 \text{ (vodiča u svitku)} \cdot 3 \text{ (broj faza)}} = 20$$

$$E = 4,44 \cdot f_n \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{gl} = 4,44 \cdot 0,9 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 1,264 = 5051 \text{ V}$$

16. Koliki je fazni inducirani napon trofaznog 4-polnog turbogenerators koji ima štapni namot (2 vodiča po utoru) smješten u 60 utora? Faktor namota iznosi 0,9. Uzbuđen je tako da inducirani napon vodiča iznosi 50,5 V.

$$E = 4,44 \cdot f_n \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{gl} \quad f = \frac{np}{60} = 50 \text{ Hz.}$$

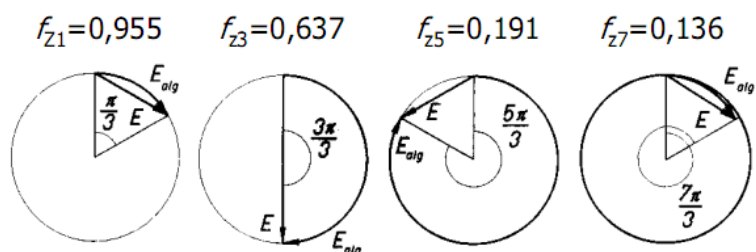
$$w_2 = \frac{60 \text{ (utora)} \cdot 2 \text{ (vodiča po utoru)}}{2 \text{ (vodiča u svitku)} \cdot 3 \text{ (broj faza)}} = 20$$

$$e = 2,22 \cdot \Phi \cdot f \Rightarrow \Phi = \frac{e}{2,22 \cdot f} = \frac{50,5}{2,22 \cdot 50} = 0,4549$$

$$E = 1817,78 \text{ V}$$

17. Skicom objasnite značenje zonskog faktora namota.

$$f_{zv} = \frac{\sin(q \cdot \frac{v \cdot \alpha}{2})}{q \cdot \sin \cdot \frac{v \cdot \alpha}{2}}$$



18. Skicom objasnite značenje tetivnog faktora namota.

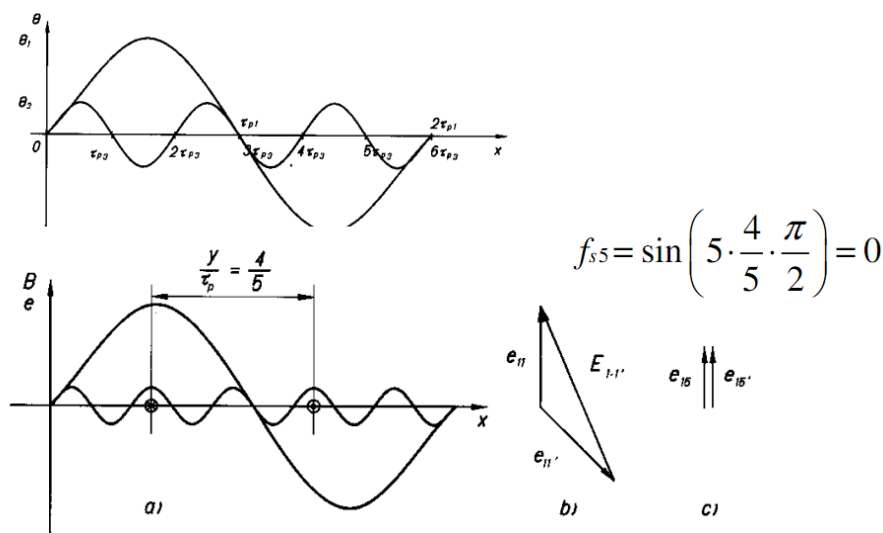
Tetivni faktor namota (skraćenja)

za osnovni i više harmonike:

$$f_{sv} = \sin \left(v \cdot \frac{y}{\tau_p} \cdot \frac{\pi}{2} \right)$$

Poništenje višeg harmonika u naponu ostvaruje se skraćenjem za $1/v$ polnog

koraka, tako da je korak svitka

$$y = \left(\frac{v-1}{v} \right) \cdot \tau_p$$


22. Kolika je sinkrona reaktancija generatora ako je $I_{fk} = 440$ A, a $I_{f0} = 1,2 I_{fg} = 240$ A? Koliki je kratkospojni omjer?

$$k_k = \frac{1}{x_d} = \frac{I_{fg}}{I_{fk}} = \frac{240}{440} = 0.54545, \quad x_d = 1.8333 \text{ p.u.}$$

30. Napišite jednadžbu gibanja u a) apsolutnim i b) relativnim vrijednostima, te objasnite značenje svake veličine u navedenim formulama.

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M_t + M_{elm}$$

$J(kgm^2)$ - polarni moment inercije rotora agregata

$M_t(Nm)$ - zakretni moment turbine (pogonskog stroja)

$M_{elm}(Nm)$ - elektromagnetski moment sinkronog stroja

$\omega_m \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$ – kutna brzina rotora agregata

31. Napišite izraz za elektromagnetski moment generatora u relativnim vrijednostim (preko ulančenih tokova i struja) i objasnite značenje svake veličine.

$$m_{elm} = \psi_q \cdot i_d - \psi_d \cdot i_q$$

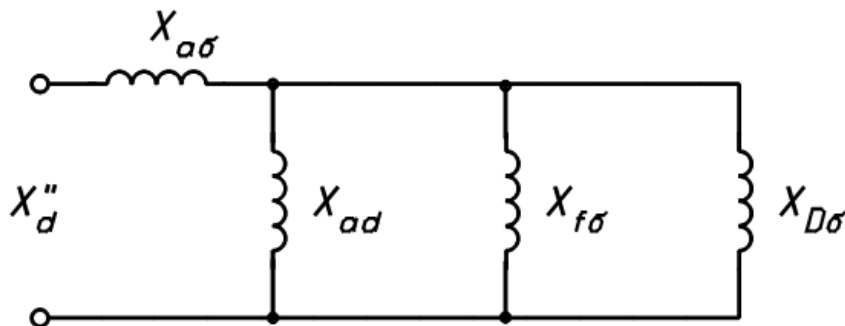
32. Objasnite značenje veličina T_m i H ?

T_m je mehanička vremenska konstanta – vrijeme da se ubrza ili zaustavi generator do sinkrone brzine, reda nekoliko sekundi, veći generator -> veći T_m

$$T_m = J \frac{\omega_m^2}{S_n} = J \frac{(2\pi f_n)^2}{p^2 S_n} \quad T_m = 2H$$

H – konstanta tromosti

34. Nacrtajte standardnu nadomjesnu shemu sinkronog stroja u uzdužnoj osi koja vrijedi za početno stanje. Objasnite značenje svake veličine.



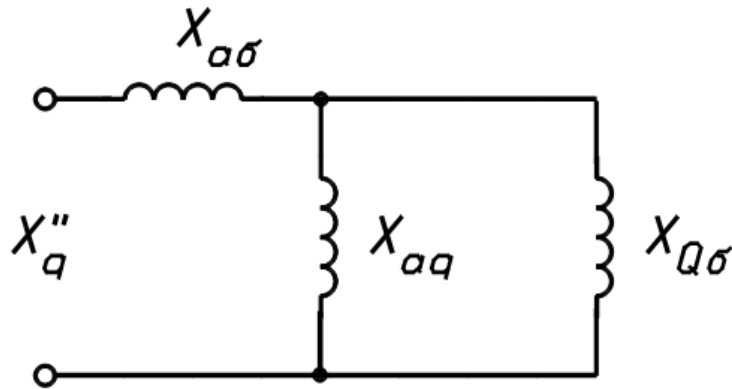
$X_{a\sigma}$ - rasipna reaktancija statora u uzdužnoj osi

X_{ad} - glavna reaktancija u uzdužnoj osi

$X_{f\sigma}$ - rasipna reaktancija uzbudnog namota u uzdužnoj osi

$X_{D\sigma}$ – rasipna reaktancija prigušnog namota u uzdužnoj osi

35. Nacrtajte standardnu nadomjesnu shemu sinkronog stroja u poprečnoj osi koja vrijedi za početno stanje. Objasnite značenje svake veličine.



$X_{a\sigma}$ - rasipna reaktancija statora u poprečnoj osi

X_{aq} - glavna reaktancija u poprečnoj osi

$X_{Q\sigma}$ - rasipna reaktancija prigušnog namota u poprečnoj osi

36. Objasnite značenje vremenskih konstanti T_{d0}' , T_d' i T_d'' .

$$T_{d0}' = \frac{L_f}{R_f} \quad - \text{vremenska konstanta uzbuđenog namota}$$

$$T_d' = T_{d0}' \frac{x_d'}{x_d} \quad - \text{vremenska konstanta uzbuđenog namota uz kratkospojeni armaturni namot (prijelazna)}$$

$$T_d'' = \frac{L_D''}{R_D} \quad - \text{Početna vremenska konstanta uz kratkospojeni armaturni namot u d osi}$$

37. Objasnite značenje vlastite frekvencije elektromehaničkih oscilacija generatora koji radi na krutoj mreži.

$$f_{vl} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k_{sM} \frac{p}{J}} \quad - \text{frekvencija kojom titraju oscilacije kao posljedica odstupanja od sinkrone brzine}$$

38. Objasnite značenje koeficijenta sinkronizacijskog momenta.

$$\Delta M = \left(\frac{dM}{d\delta} \right)_{\delta_0} \Delta \delta = k_{sM} \Delta \delta$$

- komponenta momenta u fazi s kutom opterećenja, čiji nedostatak rezultira kroz aperiodičku nestabilnost, odnosno pobjeg kuta opterećenja

39. Koje su tipične vrijednosti vlastite frekvencije elektromehaničkih oscilacija generatora koji radi na krutoj mreži?

Između 0.5 i 2 Hz

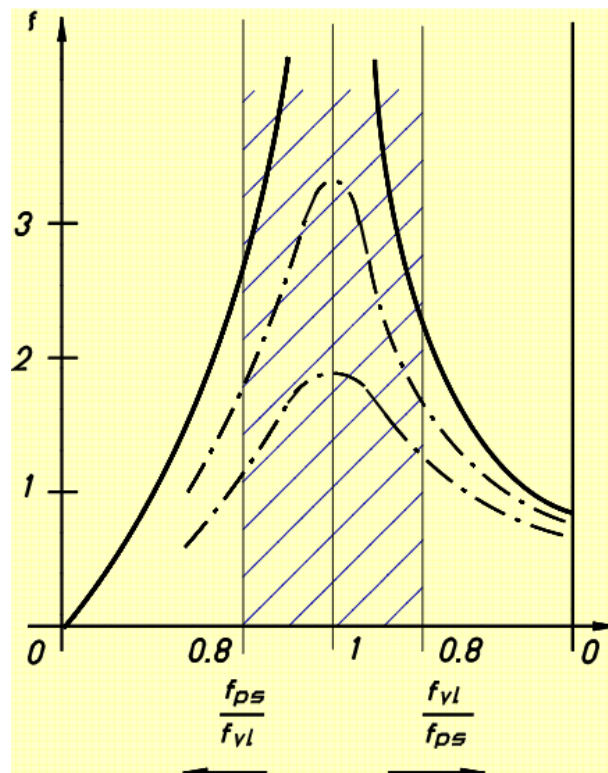
40. Objasnite na što treba paziti kod izrade dizelskih elektroagregata koji su predviđeni za rad na krutoj mreži (prisilne i vlastite frekvencije).

Treba paziti da njihanja sinkronog strija ne postanu opasna :

$$\xi_{\alpha} = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_{vl}}{f_{ps}} \right)^2} \quad - \text{faktor pojačanja}$$

Da njihanja ne bi postala opasna treba paziti da udaljenost od rezonancije bude što veća, odnosno treba izbjegavati područje:

$$0,8 \leq \frac{f_{vl}}{f_{ps}} \leq 1,25$$



41. Objasnite na što treba paziti kod izrade dizelskih elektroagregata koji su predviđeni za rad na vlastitoj mreži.

Kad generator radi na vlastitu mrežu nema opasnosti od rezonancije niti ispada iz sinkronizma. Njihanje rotora ovisi o promjeni momenta pogonskog stroja i o zamašnim masama rotora. Ne govori se o promjeni kuta $\delta + \alpha$, već o promjeni brzine vrtnje, odnosno faktoru neravnomjernosti:

$$k_n = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\text{sred}}}$$

U praksi agregati ne rade s faktorom neravnomjernosti iznad 1:80 zbog titranja koje se već osjeća i zamjećuje, kao niti ispod 1:200 zbog cijene agregata koja raste s padom faktora neravnomjernosti zbog porasta momenta tromosti rotora. Ovakvim odabirom je određena zamašna masa rotora. Ovi generatori su praktički uvijek opremljeni dodatnim zamašnjakom. Najneugodnija frekvencija njihanja svjetla za ljudsko oko je 7 Hz pa tu frekvenciju treba izbjegavati

42. Objasnite značenje strujnog obloga armature generatora.

$$A = \frac{I_{fn} \cdot m \cdot z_2}{D \cdot \pi} \quad (A/m)$$

ukupno strujno protjecanje po jedinici dužine opsega provrta statora

43. Objasnite značenje koeficijenta iskorištenja (Essonova konstanta).

$$C = \frac{S_n}{D^2 l_i n} = 1,163 f_n A B_{\delta 1} 10^{-4} \approx 1,05 A B_{\delta 1} 10^{-4} \quad \frac{\text{kVA min}}{\text{m}^3}$$

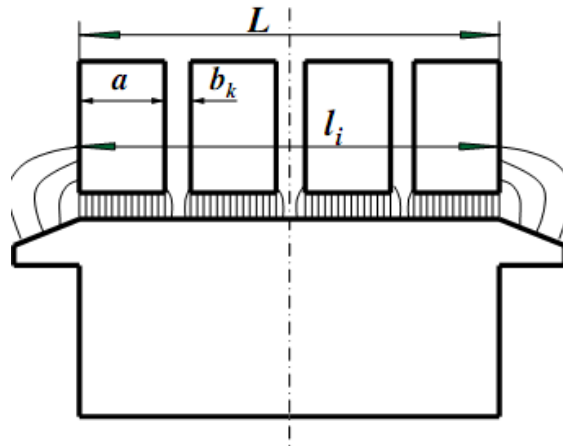
Iz izraza se vidi da koeficijent iskorištenja C predstavlja u nekom mjerilu električnu snagu po jedinici volumena stroja.

Koeficijent iskorištenja bitno ovisi o vrsti hlađenja generatora, tako npr. za zrakom hlađene hidrogeneratore ne prelazi vrijednosti $C = 7 \text{ kVA min/m}^3$, jer se takav generator može opteretiti specifičnim opterećenjima do približno $A = 65000 \text{ A/m}$ i $B_{\delta 1} = 1 \text{ T}$.

48. Objasnite značenje idealne dužine paketa i idealnog zračnog raspora sinkronog generatora.

Da se omogući bolje hlađenje stroja, statorski je paket razdijeljen ventilacijskim kanalima na veći broj dionih paketa –indukcija u zračnom rasporu uzduž stroja nije konstantna Ako želimo računati s konstantnom indukcijom, onda se mora računati s nekom manjom idealnom duljinom stroja (L je stvarna duljina stroja)

$$L = 1,03 \cdot l_i$$



Idealna duljina paketa

$$\delta_i = 0,5 \cdot \frac{A \cdot \tau_p}{B_{\delta 0} \cdot X_d} \cdot 10^{-6} \text{ idealni raspor za HG}$$

$$\delta_i = 0,53 \cdot \frac{A \cdot \tau_p}{B_{\delta 0} \cdot X_d} \cdot 10^{-6} \text{ idealni raspor za TG}$$

Idealna veličina zračnog raspora je veća od stvarne geometrijske veličine zbog djelovanja utora na statoru

49. Skicirajte i nabrojite osnovne elemente sustava uzbude sinkronog generatora.

Sastavni elementi sustava uzbude su:

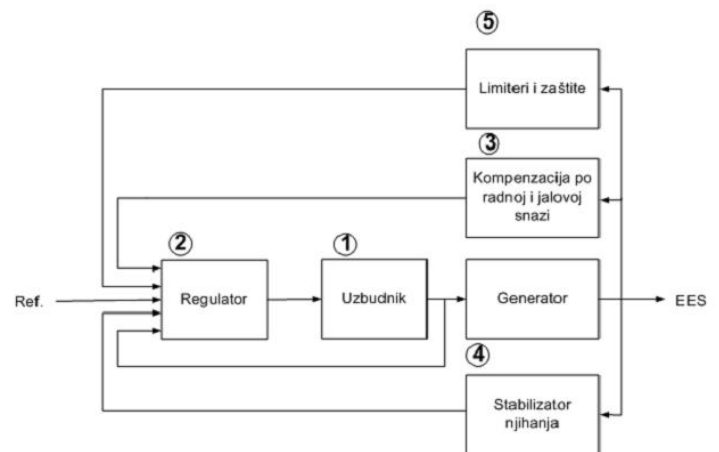
Uzbudnik

Regulator

Kompensacija napona po radnoj ili jalovoj snazi

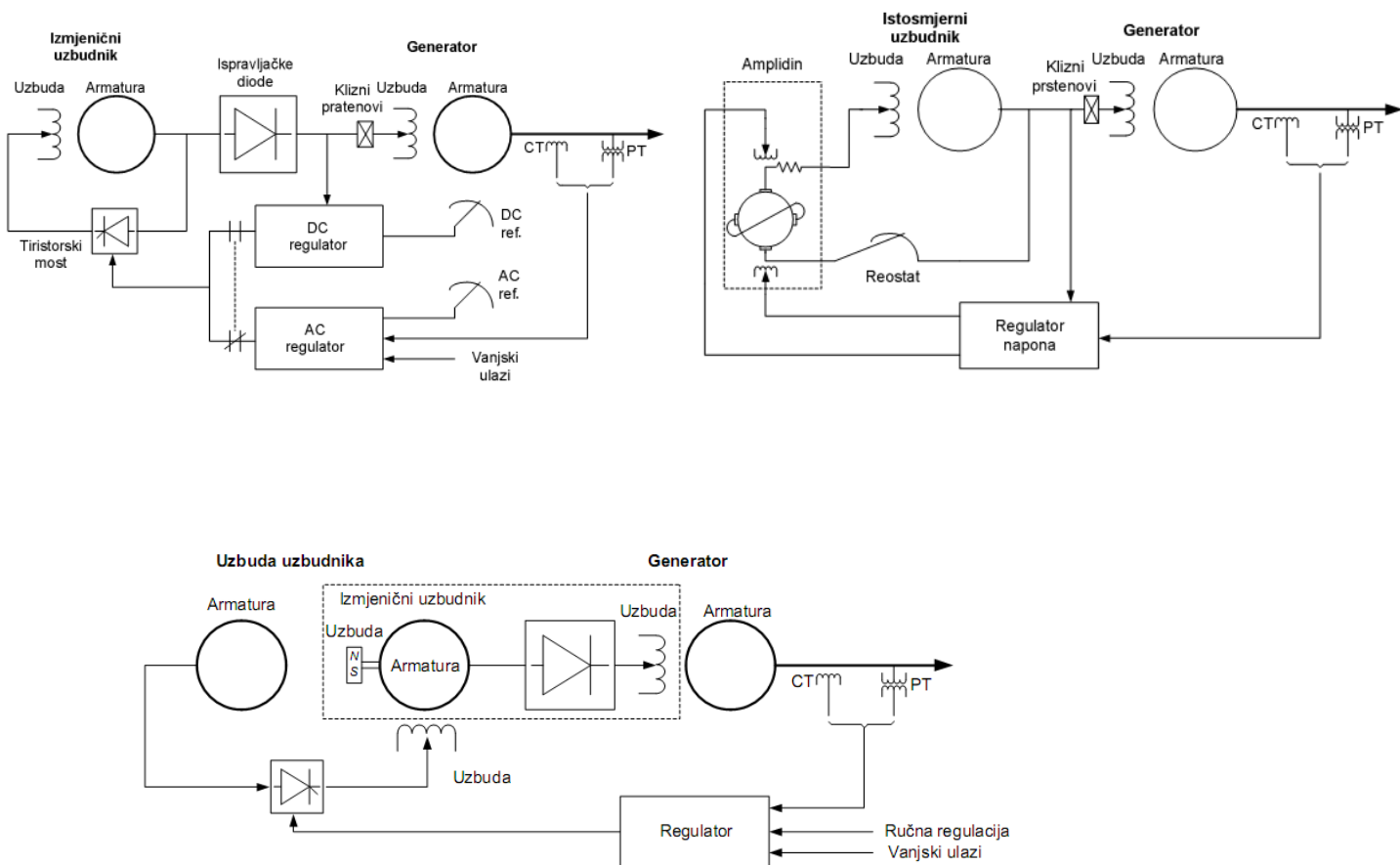
Stabilizator elektromehaničkih njihanja

Zaštite i limiteri



50. Nabrojite vrste rotacijskih uzbudnika i nacrtajte sheme spoja.

Istosmjerna rotacijska uzbuda, izmjenična rotacijska uzbuda, izmjenična rotacijska uzbuda s rotirajućim diodama



51. Nabrojite prednosti i mane sinkronih motora u odnosu na asinkrone motore.

Prednosti sinkronih motora u usporedbi s drugim vrstama:

mogu biti građeni za velike snage i velike brzine (prednost pred istosmjernima)

mogu raditi s pretvaračima s klasičnim paljenjem tiristora (prednost u odnosu na asinkrone motore).

Ti pretvarači mogu biti građeni za područje velikih snaga i jeftiniji su od drugih vrsta. Sporohodni motori su najčešće građeni s istaknutim polovima na kojima su ugrađeni uz uzbudne namote i prigušni namoti. Prigušni namoti pridonose reduciranju neizbježnih harmonika i inverznih komponenata napona uzrokovanih ciklokonvertorom. Dodatno, prigušni namoti mogu ubrzati komutaciju reduciranjem tranzijentne reaktancije motora.

52. Koji su načini pokretanja sinkronih motora u industrijskim postrojenjima?

Osnovne vrste pokretanja sinkronog motora jesu:

asinkroni zalet samog motora,

zalet uz pomoć posebnog zaletnog motora,

zalet pomoću pretvarača frekvencije.

53. Koji su načini pokretanja sinkronih motora u reverzibilnim elektranama?

SINKRONI:

a) pomoću drugog sinkronog stroja-generatora ("backto back"),

b) pomoću statičkog pretvarača,

POLUSINKRONI

ASINKRONI:

a) direktno (s punim naponom)

b) sa sniženim naponom

POMOĆNIM MOTOROM

HIDRAULIČKI, POSEBNOM TURBINOM

54. Navedite vrste statičkih pretvarača za napajanje reguliranih sinkronih motora.

Osnovne su vrste statičkih pretvarača:

ciklokonvertori (direktni pretvarači frekvencije; bez međukruga)

pretvarači s istosmjernim međukrugom :

- strujni (CSI, LCI)
- naponski (VSI)

55. Objasnite postupak kod „back to back“ pokretanja sinkronih motora u reverzibilnim elektranama.

Prvo se sinkroni motor uzbudi, a armatura se napaja iz susjednog sinkronog generatora iz iste elektrane koji treba postupno zalijetati turbinom do sinkrone brzine vrtnje.

Pri zaletu nema poremećaja u mreži, nema povećanih udaraca u stroju, razvija se veliki moment što osigurava brzo startanje.

Nedostaci -nemogućnost upotrebe zadnjeg sinkronog stroja za crpni rad i dugo vrijeme pokretanja većeg broja sinkronih motora.

56. Koji elementi utječu na izbor načina pokretanja pri izgradnji pumpno-akumulacijskih elektrana?

- cijena opreme,
- moment tereta,
- vrijeme trajanja pokretanja pumpe,
- vrijeme trajanja do prorade pumpe,
- broj jedinica u elektrani,
- učestalost pokretanja,
- propadnapona,
- očekivana pouzdanost.

57. Kako dijelimo sustave uzbude prema izvoru napajanja? Nacrtajte sheme spoja.

Sustavi uzbude sinkronih generatora prema izvoru napajanja dijele se na:

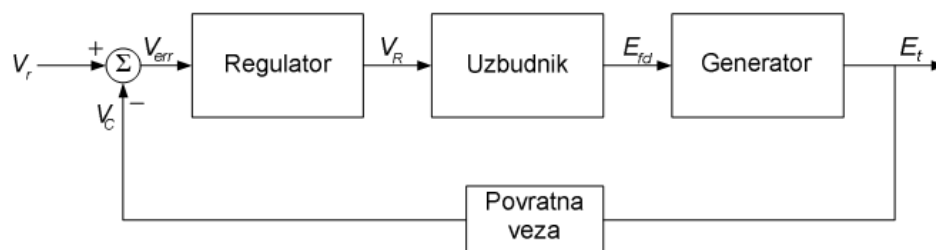
Istosmjerne rotacijske uzbude

Izmjenične rotacijske uzbude

Statičke sustave uzbude

58. Skicom prikažite regulacijsku strukturu sustava uzbude i navedite značajke.

Regulacijska struktura sustava uzbude sastoji se u osnovi od regulatora koji upravlja naponom sinkronog generatora na osnovu zadane reference



Osnovne značajke sustava uzbude:

Brzina odziva (porast napona u jedinici vremena)

Faktor forsiranja (omjer maksimalnog i nazivnog napona uzbude)

59. Nabrojite zahtjeve na regulacijsku strukturu sinkronog generatora u otočnom radu.

Regulacija napona vlastite mreže

Forsiranje uzbude u kvarnim režimima

60. Nabrojite zahtjeve na regulacijsku strukturu sinkronog generatora u radu na krutoj mreži.

Regulacija jalove snage

Poboljšanje statičke, dinamičke i prijelazne stabilnosti

62. Nabrojite zaštitne funkcije koje se ostvaruju uzбудnim sustavom.

Poduzbudni limiter, naduzbudni limiter, V/Hz limiter, stabilizator njihanja,

63. Što se događa ako generatoru uz konstantnu snagu turbine povećavamo uzbudu, a mrežu iza bloktransformatora smatramo krutom? Do koje vrijednosti smijemo povećavati uzbudu?

Povećava se napon i jalova snaga generatora, smijemo povećavati do maksimalne struje uzbude.

64. Objasnite postupak pokretanja sinkronog motora samozaletom (asinkrono pokretanje). Navedite prednosti i mane.

Neuzbuđen, uzbudni krug premošten otporom da inducirani napon i struja u krugu ne budu preveliki. Prednosti - jednostavnost, niska cijena, veliki moment i brzo pokretanje, manje dodatne opreme i neovisnost o drugim strojevima.

Velike mane - znatna mehanička i termička opterećenja motora, velika potezna struja i propadi napona. Ne može se primijeniti za motore s velikim zamašnim masama rotora.

65. Što se događa ako generatoru uz konstantnu snagu turbine smanjujemo uzbudu, a mrežu iza bloktransformatora smatramo krutom? Do koje vrijednosti smijemo smanjivati uzbudu?

Smanjuje se napon i jalova snaga generatora, smijemo smanjivati do minimalne struje uzbude.