

Nadj Ištvan

Adžić Milan

SEVER - Subotica

Magnetna polja br.6

SPECIFIČNOSTI INFORMACIONE ELEKTRONIKE
INVERTORA PODSINHRONE TIRISTORSKE KAS-
KADE

SPECIFICITY OF CONTROL ELECTRONICS FOR
THYRISTOR CONVERTER FOR SLIP ENERGY
RECOVERY

Sadržaj

Radi unifikacije podsklopova elektromotornog pogona s podsinkronom kaskadom za inverter se standardno koristi tiristorski regulator brzine od motora jednosmerne struje, koji se upotrebljava kao trofazni mosni inverter sa mrežnom komutacijom. U radu su opisana neophodna prilagodjenja osnovnog uredjaja da bi mogao zadovoljiti kao inverter podsinkrone tiristorske kaskade. Pored toga su obradjeni osnovni pogonski i tipski parametri elektromotornog pogona s podsinkronom kaskadom.

Abstract

Modular thyristor regulator for speed control of DC motors is applied as thyristor converter with mains commutations for slip energy recovery of slip ring motors for unification of elements for electromotive drives. This article describes necessary adaptations of basic devices, to content demands as thyristor converter for slip energy recovery.

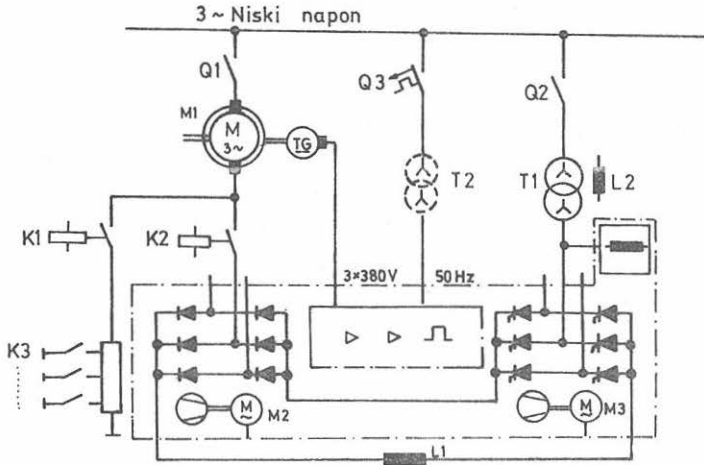
Elementary drive parameters of electromotive drives with slip energy recovery are also described.

1. Uvod

Podsinkrone tiristorske kaskade se u osnovi razlikuju od ostalih pogona sa strujnim usmerivačima po tome da tiristorski usmerivač namenjen za regulaciju struje i brzine nije u direktnoj sprezi sa motorom.

Kod podsinkrone kaskade asinkroni motor pomoću rotorskog upuštača se upušta do donje brzine regulacionog opsega i tada se rotor prekopča na diodni ispravljač, ispravljena struja se glača pomoću prigušnice i potom se zatvara preko mreže pomoću

trofaznog motnog invertora sa mrežnom komutacijom. Osnovna informacijska elektronika podsinkrone kaskade sadrži standardnu šestopulsnu impulsnu jedinicu, regulator struje i regulator brzine motora.



Sl.1. Principijelna šema tiristorske podsinkrone kaskade

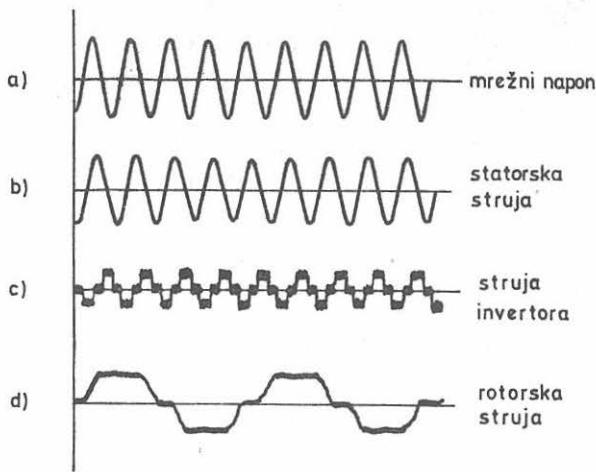
S obzirom na specifičnosti podsinkrone tiristorske kaskade u odnosu na promenu brzine motora pomoću rotorskih otpora, u prvom delu rada su obradjeni pogonski i tipski parametri vezani za pravilan izbor i eksploataciju elektromotornog pogona sa podsinkronom kaskadom. U drugom delu rada opisana je informacijska elektronika sa akcentom na specifičnosti koje nameće podsinkrona kaskada u pogledu zaštite i kvalitetne regulacije struje i brzine motora.

2. Pogonski i tipski parametri podsinkrone kaskade

Zbog oblika i faznog pomeranja rotorske struje u kaskadnom režimu rada, dolazi do povećanja gubitaka motora što dovodi do promene nazivnih podataka pogona. Smanjuje se obrtni moment snaga i brzina motora i povećava se rotorska struja.

2.1 Rotorska struja i obrtni moment

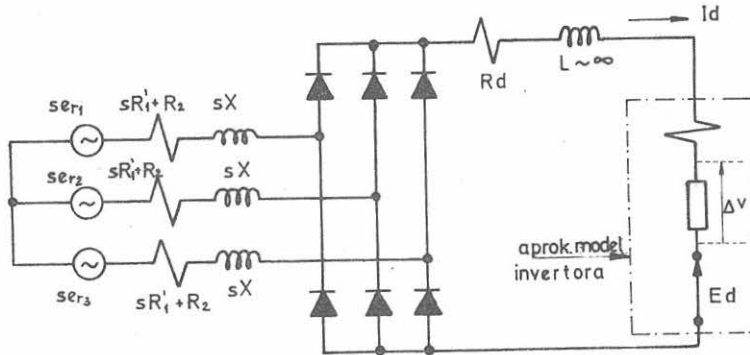
Obrtni moment na osovini motora, kao i kod jednosmernih motora jednak je produktu pobude (primarni napon kod asinkronih motora) i struji rotora. Ako je mrežni napon konstantan obrtni moment je direktno proporcionalan sa rotorskom strujom. U stvaranju obrtnog momenta naravno učestvuje samo aktivna komponenta osnovnog harmonika.



Sl.2 Asinhroni motor u kaskadnom režimu rada

Rotorska struja pak isključivo zavisi od razlike napona koji se indukuje u rotoru i direktno je srazmerna s klizanjem i kontra naponom koji se priključuje na rotorsko kolo motora preko mrežno vodjenog invertora, kao i od unutrašnjih otpora rotorskog kola.

Detaljnija analiza struje i momenta se može izvesti prema fizičkom modelu predstavljenom na slici br.3.



Sl.3 Ekvivalentna šema rotorskog kola

Radi izbegavanja matematičkih izvodjenja dajemo samo rezultate sprovedene analize.

Uticaj diodnog ispravljača na karakteristiku struje i momenta analizirani su za slučaj normalne komutacije kada ugao komutacije $\pi/3$ i za slučaj odložene komutacije s uglom odlaganja od 0 do $\pi/3$. Struja medjukola ili rotorska struja ($I_r = \sqrt{2/3} \cdot I_d$) u oba slučaja se računaju prema ekvivalentnoj šemi rotorskog kola a obrtni moment prema poznatom obrascu

$$M = (P_{cu2} + P_r) / S$$

Za slučaj normalne komutacije za struju medjukola i moment motora može se izvesti

$$I = \frac{(s - s_0) E_0}{s R_x - R} \quad (1)$$

$$M = \frac{I_d}{\Omega_S} (E_0 - R_x I_d) \quad (2)$$

gde je :

$$E_0 = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_r = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{OK}$$

$$R_x = \frac{3X}{\pi} + 2R'_1$$

$$R = 2R_2 + R_d + R_e$$

s_0 - klizanje u praznom hodu za invertorski napon E_d

$$s_0 = (E_d + \Delta V + \Delta V') / E_0 \quad (3)$$

U_{OK} - linijski napon ukočenog rotora

P_{CUZ} - snaga gubitaka u bakru rotora

P_r - snaga koja se izvodi iz rotora i vraća u mrežu preko podsinhronne kaskade

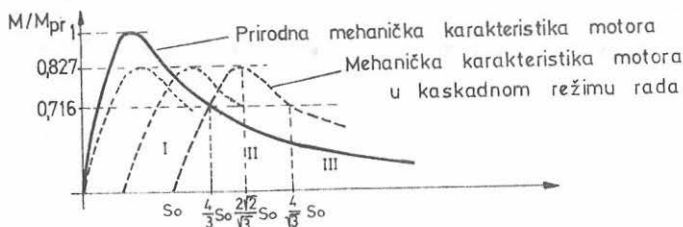
Analitički izrazi za struju i moment za slučaj odložene komutacije

$$0 \leq \alpha_p \leq \pi/3 \quad \mu = \pi/3$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} s E_0 \sqrt{1 - \left(\frac{6X}{\pi E_0} I_d\right)^2} - s R'_1 I_d - R I_d - s_0 E_0 = 0 \quad (4)$$

$$M = \frac{I_d}{\Omega_S} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} E_0 \sqrt{1 - \left(\frac{6X}{\pi E_0} I_d\right)^2} - 2R'_1 I_d \right] \quad (5)$$

Na osnovu dobijenih rezultata može se nacrtati mehanička karakteristika motora sa podsinhronom kaskadom



Sl.4 Mehanička karakteristika motora sa podsinhronom kaskadom

Motor praktično uvek radi u prvom režimu komutacije sem kod pogona s velikim faktorom preopteretivosti. Potrebna nominalna rotorska struja se računa prema obrascu(2). Ako se uzme da je $R_x I_d \approx 0,1 E_0$ i $M\Omega_s < 1,1 P_{mNK}$ za nominalnu rotorsku struju se dobija praktičan izraz

$$I_{RK} = P_{mNK} / U_{OK} 1,36 \quad (6)$$

gde je P_{mNK} nominalna snaga motora u kaskadnom režimu rada.

Iz ove analize i na osnovu praktičnih merenja može se zaključiti da snaga motora se smanjuje za cca 10%, nazivna brzina za cca 2% a rotorska struja se povećava za cca 15% u odnosu na režim rada sa rotorskim otpornicima.

Za dimenzionisanje poluprovodničkih elemenata merodavna je maksimalna rotorska struja $I_{rmax} = k \cdot 1,05 I_{rNK}$ gde je k faktor preopterećenja motora a faktor 1,05 uzima u obzir mrežni podnapon do 5%.

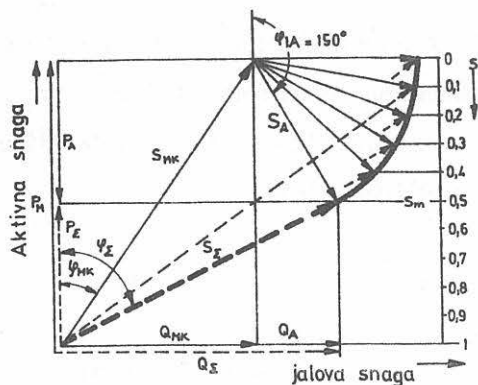
2.2 Faktor snage i opseg regulacije brzine

Minimalna brzina ili maksimalno klizanje motora u kaskadnom režimu rada je limitirano naponom invertora, tako da u krugu medjukola maksimalni ispravljeni rotorski napon ne sme da predje maksimalni jednosmerni napon invertora (napon pri uglu paljenja 150°). Iz uslova $U_{dr} \leq U_{di}$, zanemarivanjem omskih i komutacionih padova napona dobija se praktična formula

$$s_{max} U_{OK} \leq 0,87 U_{ni} \quad (7)$$

Utrošak reaktivne energije invertora direktno zavisi od nominalnog napona invertora, zato pri projektovanju velikih pogona sa podsinhronom kaskadom poželjno je izvršiti optimalno uskladjenje napona invertora i napona ukočenog rotora sa maksimalnim potrebnim klizanjem.

Na slici 5. nacrtan je vektorski dijagram snage pogona sa podsinhronom kaskadom sa uskladjenim parametrima ($s_{max} U_{OK} = 0,87 U_{ni}$) za $s_{max} = 0,5$ i konstantni obrtni moment.



Sl.5. Vektorski dijagram aktivne, reaktivne i prividne snage

S_{MK} - Prividna snaga motora u kaskadnom režimu rada

S_A - Prividna snaga invertora

$$S_A = \sqrt{3} \cdot U_{ni} \cdot I_r = \frac{\sqrt{3}}{0,87} S_{max} \cdot U_{0K} \cdot I_r \quad (8)$$

S_{Σ} - Ukupna prividna snaga podsinhronne kaskade

P_M - Aktivna snaga motora u kaskadnom režimu rada

P_A - Aktivna snaga invertora (snaga rekuperacije)

P_{Σ} - Ukupna aktivna snaga podsinhronne kaskade

Q_{MK} - Reaktivna snaga motora u kaskadnom režimu rada

Q_A - Reaktivna snaga invertora

Q_{Σ} - Reaktivna snaga podsinhronne kaskade

φ_{MK} - Fazni pomeraaj statorske struje u kaskadnom režimu rada

φ_{IA} - Fazni pomeraaj invertorske struje

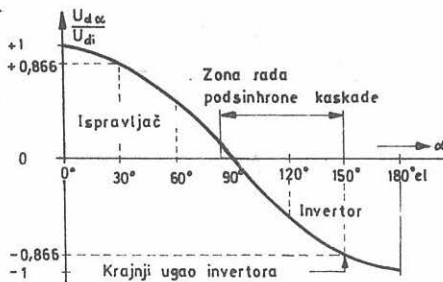
φ_{Σ} - Fazni pomeraaj podsinhronne kaskade.

3. Informaciona elektronika

Informaciona elektronika podsinhronne kaskade je modularne izvedbe. Impulsna jedinica, regulator struje i brzine su isti kao i kod tiristorskih regulatora brzine motora jednosmerne struje sa izvedenim ograničenjem ispravljačkog rada usmerivača i zadavanjem minimalne struje i brzine motora. Pored osnovne konfiguracije informaciona elektronika je proširena sa automatskom kontrolom podbrzine, prekostruje i podnapona kao i posebnim modulom za dinamičko ograničenje kružne struje kod maksimalne brzine motora.

3.1 Impulsna jedinica i ograničenje kružne struje

Kod podsinkrone kaskade usmerivač prvenstveno radi u invertorskom režimu rada, što znači, da se ugao paljenja tiristora kreće od 90° , kod nominalne brzine do 150° , kod minimalne brzine motora.



Sl.5 Upravljačka karakteristika trofaznog punoupovrljivog mosnog usmerivača i impulsne jedinice

Rad usmerivača u ispravljačkom režimu je ograničen pomoću izlaznog napona regulatora struje na malu vrednost. Mogućnost malog prelaza usmerivača u ispravljački rad je omogućen u cilju kompenzacije pada napona u usmerivaču kod gornje brzine motora. Ako je ograničenje ispravljačkog rada usmerivača izvedeno nezavisno od rotorske struje, kod gornje brzine pojavljuje se kružna struja, koja ne učestvuje u stvaranju momenta motora. Drugim rečima, ako je kompenzacija fiksno izvedena za maksimalnu rotorsku struju, kod gornje brzine kroz invertor i medjukolo će teći maksimalna struja ne zavisno od obrtnog momenta motora.

Kod pogona gde se očekuje značajno variranje momenta tereta a potrebno je forsiranje brzine blizu sinhrona, izvodi se dinamičko ograničenje ispravljačkog rada invertora. Idealno bi bilo korekciju izvesti direktno na bazi kružne struje - razlike struje invertora i rotorske struje. Zbog teškoće oko merenja rotorske struje, korekcionni signal se formira kao razlika signala struje invertora i struje statora motora, umanjen s fiksnim signalom koji predstavlja struju magnećenja motora. Regulator struje s dinamičkim ograničenjem predstavljen je na slici 6.

3.2 Izvor za napajanje elektronike

Napojna jedinica obezbedjuje sve interne napone neophodne za napajanje regulacionog i impulsnog dela informacione elektronike

- ± 15 V stabilisanog napona
- ± 24 V nestabilisanog napona

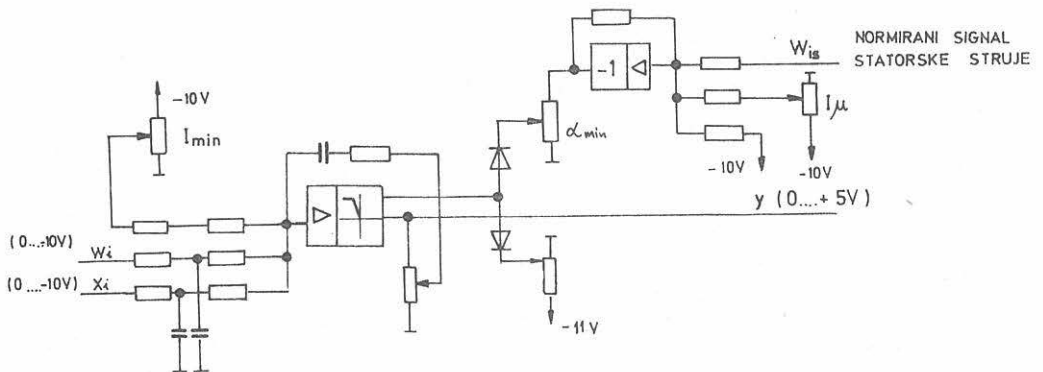
+ 60 V nestabilisanog napona za napajanje
izlaznog stepena impulsne jedinice

Naponi se stabiliziraju pomoću kondenzatorske jedinice, tako da u slučaju potpunog ispada mreže, napajanje elektronike ostaje stabilno, još za cca 0,5 s. Ova se mera kod podsinkronih kaskada mora predvideti jer neispravno paljenje tiristora u invertorskom radu prouzrokuje ispad ultrabrzih osigurača.

3.3 Regulator struje

Izveden je kao standardni PI regulator s ograničenjem izlaza od 0 do +5V, što odgovara uglu paljenja tiristora od $150^{\circ} - 90^{\circ}$. Stvarna vrednost struje se određuje na bazi naizmjenične struje invertora. Tako dobijena stvarna vrednost struje odstupa od rotorske struje samo u slučaju pojave kružne struje čija kompenzacija je obradjena u paragrafu 3.1.

Vodeća veličina regulatora struje je izlaz iz regulatora brzine. U cilju izbegavanja prekidnog vodjenja pomoću potenciometra zadaje se minimalna struja podsinkrone kaskade, koja se podešava na cca 0,1 In. Ako je moment radne mašine u regulacionom opsegu mali i potrebna rotorska struja ne prelazi minimalnu struju koja odgovara struji isprekidanog vodjenja motor će se zaletati do brzine gde će se moment motora i tereta izjednačiti.

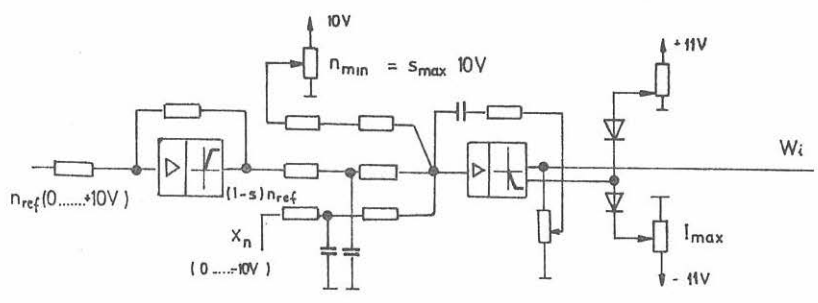


Sl. 6 Regulator struje sa dinamičkim ograničenjem izlaza

Praktično optimiranje regulatora struje se izvodi u ispravljačkom režimu rada. Rotor se odspoji od mreže uključi se tiristorski usmerivač, tako da se strujni krug zatvara preko prigušnice medjukola i diodnog ispravljača. Prvo se izvrši optimiranje P i I dela regulatora zatim se podesi minimalna struja, strujni limit i početni i krajnji ugao paljenja tiristora.

3.4 Regulator brzine

Regulator brzine je takodje izveden kao PI regulator. Snabdeven je sa standardnim opcijama za normiranje signala i podešavanje parametara regulatora slika 7. Minimalna brzina obrtanja se zadaje interno i podešava se na maksimalno dozvoljeno pogonsko klizanje.



Sl. 7. Regulator brzine

3.5 Zaštita od podbrzine i prekostruje

Povećanjem klizanja motora iznad dozvoljenog, napon medjukola poraste na takvu vrednost da inverter pri uglu paljenja od $\alpha = 150^\circ$ nije više u stanju da mu se suprostavlja što dovodi do naglog porasta struje i ispada zaštite poluprovodničkih elemenata.

Za zaštitu od prevelikog klizanja predviđena je dvojaka zaštita. Jedna na bazi podbrzine a druga na bazi prekostruje motora. Podbrzinski i prekostrujni komparatori su iste konstrukcije i rade na osnovu normiranog signala brzine motora i struje invertora. Standardno su podešeni na $0,95 n_{max}$ i $1,05 - I_{max}$.

3.6 Zaštita od podnapona

Mrežni podnaponi koji se javljaju na primer pri upuštanju velikih kliznokolutnih asinhronih motora, do 70% nemaju uticaja na rad podsinkrone kaskade, pod

uslovom da rotorska struja ne prekorači maksimalnu dozvoljenu vrednost. Smanjenjem mrežnog napona srazmerno se smanjuje rotorski napon i kontra napon invertora, tako da do povećanja struje za cca 30% jedino dolazi usled smanjenja fluksa motora. U slučaju prekoračenja maksimalne struje ili maksimalnog klizanja treba da prorade zaštite opisane pod tačkom 3.5. Za kratkotrajne podnapone veće od 70% predviđena je zaštita koja za vreme podnapona izvrši blokadu regulatora i impulsa invertora. Na taj način struja rotora i invertora se iščezne za manje od jedne periode. Ponovnim porastom mrežnog napona izvrši se deblokada impulsa i ako za to vreme nije opala brzina motora ispod minimalne kaskada dalje nastavlja sa radom.

4. Zaključak

Pri projektovanju elektromotornog pogona sa podsinhronom kaskadom, naročitu pažnju treba obratiti na pogonske parametre motora u kaskadnom režimu rada i na mere zaštite koje su puno strožije u odnosu na pogone sa motorima jednofazne struje.

Ovaj članak je obradio upravo deo te problematike.

Literatura

- [1] Tehnička dokumentacija, publikacije i prospektni materijal firmi . AEG-TELEFUNKEN, SIEMENS i SEVER.
- [2] Nadj Šandor: "Podsinhrona tiristorska kaskada", Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Beograd, 1978.