

SIMULACIJA RADA DIODNO-TIRISTORSKE KASKADE KOD EMP TRAČNOG TRANSPORTERA

DIODE-THYRISTOR CASCADE SIMULATION AT RUBBER BELT STRIP CONVEYER

Mensur Kasumović¹, Asim Hodžić¹, Muhamed Ramić²

Sažetak: Kod tračnih transportera koji se pogone trofaznim asinhronim kliznokolutnim motorima za regulaciju brzine transportera (pogonskih motora), tehnički opravdano rješenje je primjena podsinhronne kaskade konstantnog momenta sa statičkim pretvaračem i transformatorom za vraćanje energije u mrežu. U radu je izvršena simulacija u programskom paketu Matlab/Simulink rada podsinhronne diodno-tiristorske kaskade za regulaciju brzine EMP tračnog transportera. Za konkretne podatke jednomotornog 6kV pogona tračnog transportera ova simulacija pokazuje kako promjena ugla upravljanja tiristora u invertorskom dijelu utiče na brzinu EMP.

Ključne riječi: podsinhrona kaskada, tračni transporter, elektromotorni pogon.

Abstract: At belt conveyers on three-phase slip-ring induction motor drive, technically reasonable solution for conveyer speed regulation (driving motors) is to use constant torque sub-synchronous cascade with static semiconductor converter and transformer for energy reversal to the power network. The paper shows execution of the simulation of different sub-synchronous cascade operating regimes in MATLAB/Simulink program package. Simulation results show that the control (firing) thyristor angle in rectifying and inverting cascade part achieve speed regulation of electric motor drive.

Keywords: Sub-synchronous Cascade, Belt Conveyer, Electric Motor Drive.

UVOD

Podsinhronne kaskade predstavljaju poznato rješenje za regulaciju brzine vrtnje asinhronih motora srednjih i velikih snaga. To je najvećim dijelom rezultat razvoja industrijske elektronike s jedne strane, odnosno nemogućnosti da se regulirani EMP s kliznokolutnim motorima velike snage i relativno visoke brzine riješe na drugi način [1, 2].

Tračni transporter velikih kapaciteta su po pravilu pogonjeni sa više VN motora velike snage, najčešće asinhronih kliznokolutnih. Regulacija brzine vrtnje pogonskih motora, odnosno transportera je tehnički opravdana primjenom kaskade konstantnog momenta s konvertorom frekvencije i transformatorom za vraćanje energije u mrežu. Osim navedenog, za širu primjenu podsinhronih kaskada za velike EMP, podjednako je danas važna i činjenica da se podsinhronne kaskade odlikuju visokim stepenom djelovanja i da su pogodne za uključanje u moderne sisteme automatizacije.

1. PRIMJENA PODSINHRONE KASKADE ZA REGULACIJU BRZINE TRANSPORTERA

Principijelna shema podsinhronne kaskade s konvertorom frekvencije i transformatorom za vraćanje energije mreži, prikazana je na Slici 1. U ovoj sprezi, snaga klizanja P_{kl} koja se izvede iz rotora, a čija je frekvencija promjenjiva, najprije se usmjeri preko ispravljača, zatim joj se pomoću prigušnice popravi valni oblik, te se onda preko tiristorskog mrežom vođenog invertora i transformatora vrati u mrežu [3].

Stator asinhronog kliznokolutnog motora priključen je na trofaznu mrežu konstantnog napona i frekvencije. Kod srednjih i velikih snaga motora to je visokonaponska mreža, obično 6 kV (rjeđe 10 kV).

Struja rotora I_2 ispravlja se diodnim ispravljačem u trofaznom mostnom spoju i prigušnicom. U istosmjernom krugu prigušnicom se smanjuju pulzacije ispravljene struje rotora.

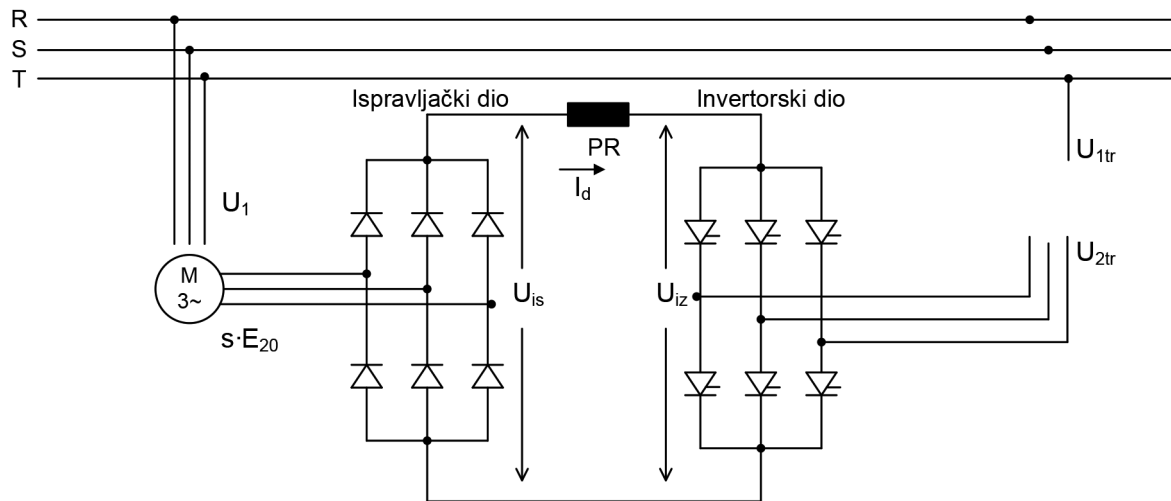
Tiristorski invertor u trofaznom mostnom spoju invertira ispravljeni napon u naizmjenični mrežne frekvencije (50 Hz).

Promjenom ugla uključanja tiristora kod invertora vrši se podešavanje napona na rotoru asinhronog motora, a

¹ Fakultet elektrotehnike, Tuzla, Bosna i Hercegovina

² Deling" d.o.o., Tuzla, Bosna i Hercegovina
mensur.kasumovic@untz.ba; asim.hodzic@untz.ba;
muhamed@deling.ba

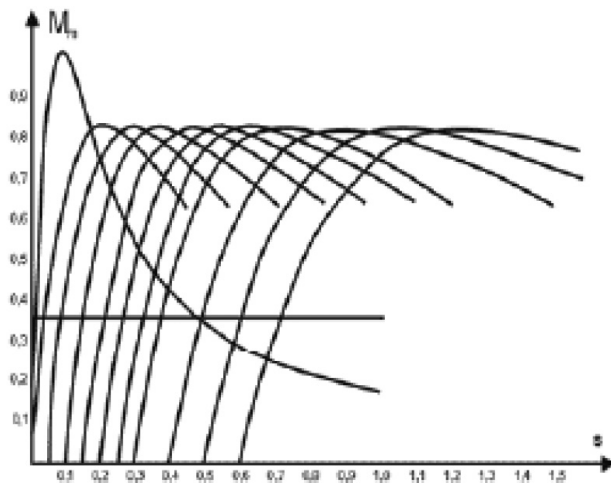
Rad dostavljen: juni 2013. Rad prihvaćen: decembar 2013.



Slika 1: Principijelna shema podsinhronne kaskade

samim tim i brzina vrtnje. Na ovakav način se dobijaju međusobno paralelne mehaničke karakteristike nešto nižeg prevalnog momenta od prirodne mehaničke karakteristike motora. Putem transformatora, čiji je napon primara definisan invertiranim naponom, a napon sekundara mrežnim naponom, električna energija se vraća u mrežu.

Na Slici 2 je prikazan dijagram mehaničkih karakteristika podsinhronne kaskade konstantnog momenta.



Slika 2: Mehaničke karakteristike motora pri primjeni podsinhronne kaskade konstantnog momenta

2. KRITERIJI ZA IZBOR ELEMENATA KASKADE

Tipska snaga podsinhronne kaskade direktno ovisi o opsegu regulacije brzine vrtnje, odnosno opsega klizanja motora. Zato podsinkronu kaskadu uvijek treba dimenzionisati na maksimalnu struju rotora (maksimalni moment motora), odnosno za maksimalnu brzinu vrtnje i na maksimalni napon rotora koji odgovara najnižoj brzini vrtnje [4]. Princip važi za osnovne sklopove: ispravljač, prigušnicu, inverter i transformator. Pri projektovanju EMP potrebno je izabrati opseg brzine vrtnje bez većih rezerva

vi da ne bi došlo do nepotrebnog povećanja snage elemenata podsinhronne kaskade [4].

Relevantne veličine za dimenzionisanje elemenata podsinhronne kaskade su:

- mrežni napon i frekvencija,
- nazivna rotorska struja i napon zakočenog rotora,
- opseg regulacije.

Pored diodnog mosta, invertora, prigušnice i transformatora, sistem uglavnom sadrži i:

- rotorske otpornike za pokretanje motora,
- sklopnu i zaštitnu opremu u motornim dovodima motora, za priključenje motora na mrežu,
- sklopke za uključivanje u rad podsinhronne kaskade.

Za dimenzionisanje i izbor elemenata kaskade uzimaju se:

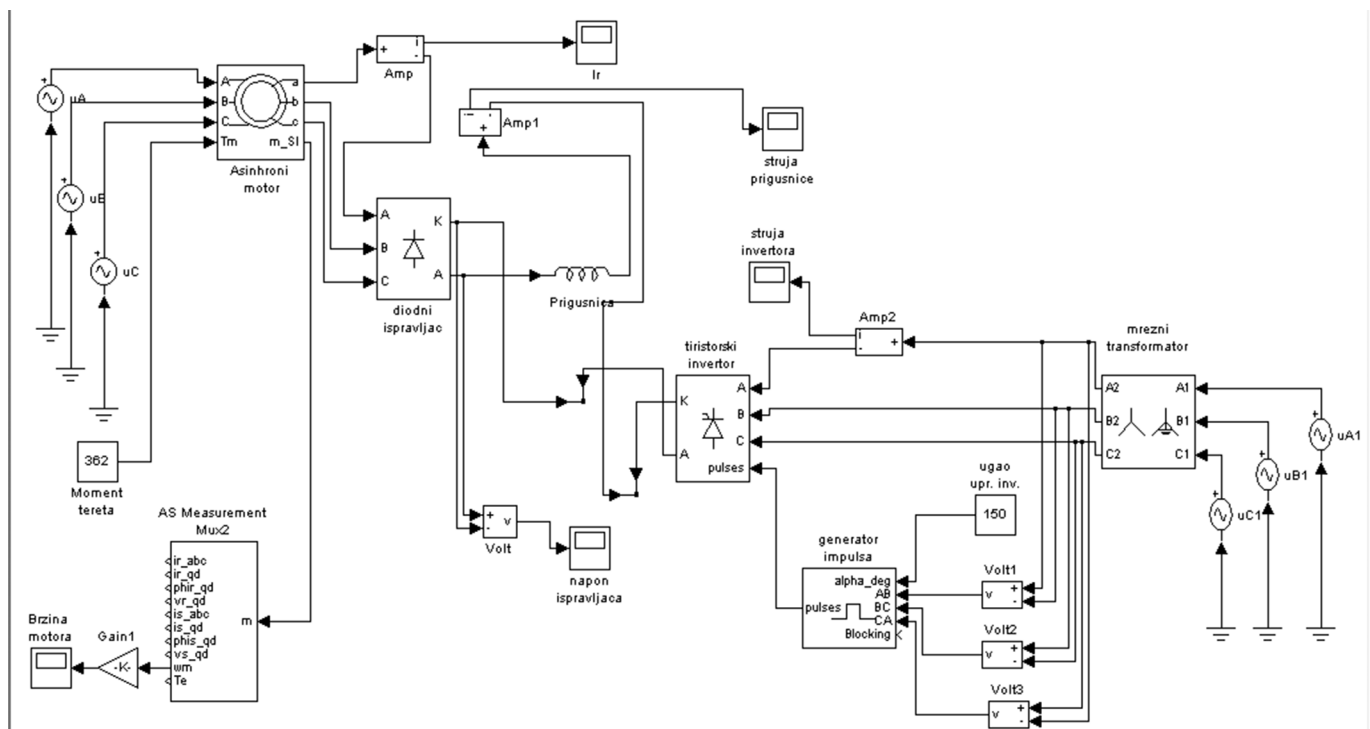
- napon rotora na donjoj granici opsega regulacije,
- struja rotora za najveći zahtijevani moment motora,
- najniža frekvencija napona rotora – za najveću brzinu vrtnje (najmanje klizanje).

3. SIMULACIJA RADA PODSINHRONE KASKADE ZA REGULACIJU BRZINE TRANSPORTERA

Modelovanje rada podsinhronne kaskade izvršeno je na osnovu njene principijelne (Slika 1) i zamjenske sheme u okviru programskog paketa Matlab/Simulink. Shema podsinhronne kaskade za jednomotorni pogon transportera, u programskom paketu Matlab/Simulink prikazana je na Slici 3.

Napajanje asinhronog kliznokolutnog motora izvedeno je pomoću tri monofazna naponska izvora čije su faze pomjerene za 120° . S rotora motora uzima se indukovana elektromotorna sila po fazama i vodi na ulaz trofaznog diodnog ispravljača [5].

Izlaz ispravljača se preko prigušnice za poboljšavanje talasnog oblika rotorske struje vodi na ulaz trofaznog tiristorskog invertora. Regulacija brzine motora vrši se podešavanjem ugla uključenja tiristorskom invertoru.



Slika 3: Model zajedničkog rada podsinhronne kaskade i asinhronog motora u programskom paketu Matlab/Simulink

Izlazne stezaljke invertora priključene su na tronamotajni transformator za vraćanje energije klizanja u mrežu. Primarna strana transformatora priključena je na idealni naponski izvor izmjeničnog napona, što modeluje priključak na mrežu.

3.1. Rezultati simulacije

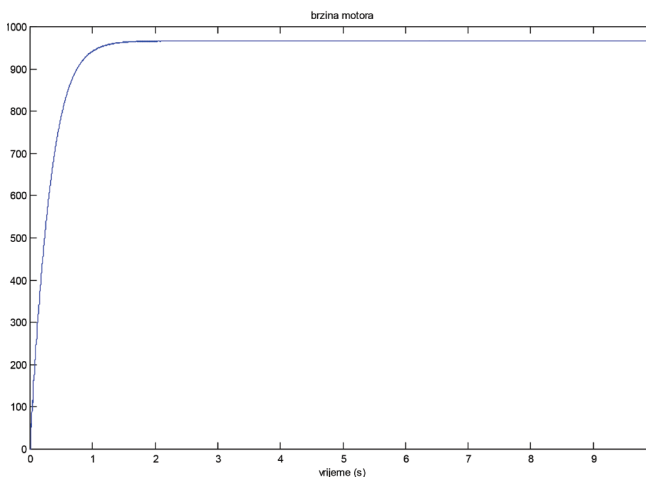
Nakon kreiranja blok sheme podsinhronne kaskade (Slika 3) izvršena je simulacija njenog rada. Prije simulacije rada motora s podsinhronom kaskadom, radi kasnijeg poređenja rezultata, najprije je simuliran direktan priključak motora na napon za nominalne uslove rada. Analiza je izvršena za konkretne podatke 6kV jednomotornog EMP s trofaznim asinhronim kliznokolutnim motorom jedne pogonske stanice tračnog transportera na PK „Dubrave” Rudnika uglja Kreka u Tuzli. Ovaj transporter kao i drugi u nizu trenutno rade u prosjeku sa 50% kapaciteta, odnosno pogonski motori rade nedovoljno opterećeni, rade s pola tereta. U tom smislu potrebno je utvrditi koliki treba da je ugao upravljanja tiristora u invertorskom dijelu kaskade, kako bi se za 50% smanjila brzina transportera (pogonskog motora). To je zato da bi pogonski motor imao povoljne parametre, tj. onekoji odgovaraju nominalnom opterećenju motora.

Nominalni parametri analiziranog pogonskog motora su:

- nominalni napon 6000 (V),
- nominalna snaga 315 (kW),
- nominalna struja 38 (A),
- nominalna brzina 985 (min^{-1}),
- nominalna frekvencija 50 (Hz),
- napon zakočenog rotora 660 (V),

- otpor po fazi statora 0,835 (Ω),
- otpor po fazi rotora (reduciran na stator) 0,871 (Ω).

Na Slici 4 prikazana je promjena brzine pri zaletu nominalno opterećenog motora uz direktan priključak na mrežu (bez uključene podsinhronne kaskade), s uključenim dvanaestostepenim pokretačem.

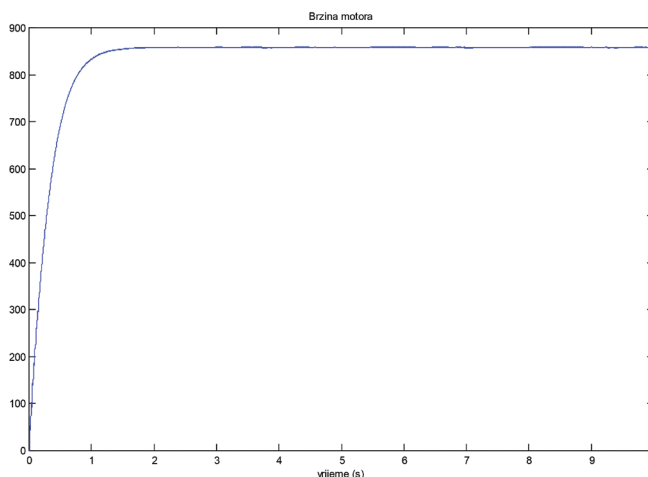


Slika 4: Promjena brzine nominalno opterećenog motora (bez uključene kaskade)

Sa Slike 4 je vidljivo da nominalno opterećen motor u stacionarnom stanju postiže brzinu od 971 (min^{-1}). Prema nominalnim podacima motora, ta brzina treba da iznosi 985 (min^{-1}), što znači da kreirana shema pravi grešku od:

$$\frac{985 - 971}{985} \cdot 100\% = 1,42\%$$

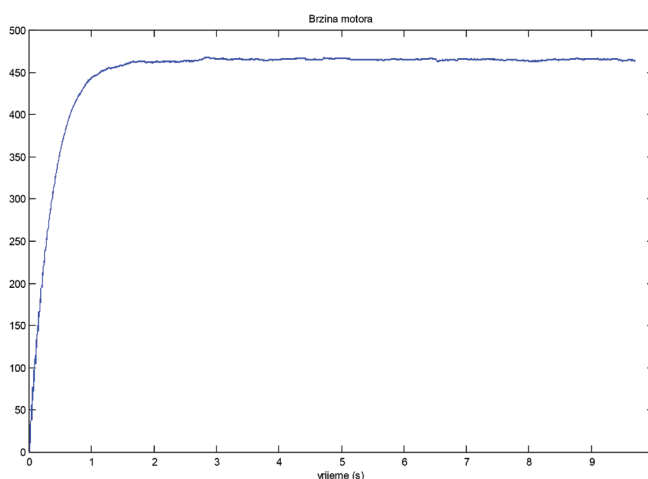
Na Slici 5 je prikazana promjena brzine motora pri uključenoj kaskadi, pri čemu je ugao upravljanja tiristora u invertorskom dijelu kaskade $\beta=150^\circ$. Nakon završenog prelaznog procesa (zaleta) motor radi pri nižoj stacionarnoj brzini koja u ovom slučaju iznosi $n_{\text{stac.}}=858 \text{ (min}^{-1}\text{)}$.



Slika 5: Promjena brzine motora (ugao upravljanje kaskade $\beta=150^\circ$)

Za vrijednost ugla upravljanja $\beta=120^\circ$ promjena brzine u ovisnosti od vremena data je na Slici 6.

Stacionarna brzina očitana s dijagrama za ovo pogonsko stanje iznosi $n_{\text{stac.}}=466 \text{ (min}^{-1}\text{)}$, dok se računskim putem dobija $n=500 \text{ (min}^{-1}\text{)}$.



Slika 6: Promjena brzine motora (ugao upravljanje kaskade $\beta=120^\circ$)

4. ZAKLJUČAK

Podsinkrone kaskade sa statičkim pretvaračem napona i frekvencije, s transformatorom za vraćanje energije gubitaka u mrežu, su opravdano tehničko rješenje za

regulaciju brzine vrtnje EMP s kliznokolutnim motorima, kod tračnih transportera velike snage. Ovaj rad to potvrđuje s obzirom da rezultati simuliranih radnih režima sa i bez podsinkrone kaskade jasno ukazuju na jednostavnost upravljanja brzinom vrtnje pogonskih motora (a time i tračnih transportera). Primjena ovog načina regulacije brzine omogućuje optimalno opterećenje transportera smanjenjem njegove brzine, u skladu sa stvarnim opterećenjem transportera. U konkretnom primjeru za optimalno opterećenje transportera (motora) potrebno je brzinu smanjiti na 50%. Da bi se ostvarila zadata brzina potrebno je ugao upravljanja kaskade podesiti na 120° .

Kreirana shema u programskom paketu Matlab/Simulink pored prikazanih rezultata nudi i mogućnost prikaza i ostalih relevantnih veličina, kako samog motora, tako i kaskade u cjelini.

5. LITERATURA

- [1] A. Hodžić: Upravljanje i regulacija elektromotornih pogona, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2012.
- [2] B. Jurković: Elektromotorni pogoni, Školska knjiga, Zagreb, 1983.
- [3] T. Brodić: Osnove energetske elektronike, Zigo, Rijeka, 2005.
- [4] M. Kasumović, A. Hodžić, M. Tešanović: Dimensioning of Subsynchronous Cascade for Speed Regulation of Two-Motors 6kV Conveyor Drives, WASET 75, pp. 810-813, 2011.
- [5] S. Tian, C. Bo, G. You: Study on Rotor IGBT Chopper Control for Induction Motor Drive, Journal of Shanghai University, Vol. 5, pp. 66-70, 2001.

BIOGRAFIJA

Mensur Kasumović je zaposlen na Fakultetu elektrotehnike Univerziteta u Tuzli od 2003. godine. Doktorsku disertaciju iz oblasti primjene energetske elektronike u upravljanju i regulaciji EM odbranio je 2012. godine na Fakultetu elektrotehnike Univerziteta u Tuzli. Trenutno je u zvanju docenta na užoj naučnoj oblasti "Elektrotehnika i sistemi konverzije energije".

Asim Hodžić je zaposlen na Fakultetu elektrotehnike Univerziteta u Tuzli u zvanju redovnog profesora na užoj naučnoj oblasti "Elektrotehnika i sistemi konverzije energije". Doktorsku disertaciju je odbranio 1998. godine na Fakultetu elektrotehnike i mašinstva Univerziteta u Tuzli. Oblasti interesovanja su mu: Elektromotorni pogoni (EMP), Dinamička prelazna stanja EMP, Upravljanje i regulacija EMP, Uticaj kvaliteta električne energije na EMP.

Muhamed Ramić je zaposlen u firmi »Deling« d.o.o. Tuzla. Do danas je obavljao poslove rukovodioca proizvodnje elektro opreme za rudarstvo i industriju, odgovornog inženjera za realizaciju projekata u rekonstrukciji i odražavanju rudarske opreme, na izgradnji i rekonstrukciji objekata elektroenergetskog sistema i sl. Iz oblasti dinamike elektromotornih pogona magistrirao je 2009. godine na Fakultetu elektrotehnike Univerziteta u Tuzli.