



POLAZNA STRUJA ASINHRONOG MOTORA SA DTC UPRAVLJANJEM

Vojkan Kostić, Nebojša Mitrović, Milutin Petronijević*, Milan Bebić*

Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Srbija i Crna Gora

*Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija i Crna Gora

Sadržaj: U ovom radu analizirana je polazna struja asinhronog motora sa DTC upravljanjem. Zapaženo je da ona može da dostigne značajnu vrednost, što može da dovede do uništenja prekidačkih elemenata invertora. Predložen je metod za ograničenje polazne struje asinhronog motora sa DTC upravljanjem. U cilju poređenja polazne struje sa i bez primene predloženog metoda, dati su simulacioni rezultati. Na osnovu njih može se zaključiti da je neophodno ograničiti polaznu struju i da je predloženi metod u tome efikasan.

Ključne reči: Asinhroni motor, DTC upravljanje, ograničenje polazne struje

1. UVOD

Elektromotorni pogoni sa asinhronim motorima danas se najčešće koriste u industrijskim aplikacijama gde se zahteva podesiva brzina. Saglasno sa sve većim i složenijim zahtevima u poslednje dve dekade došlo je do razvoja novih upravljačkih algoritama koji omogućavaju njihovu primenu i u pogonima visokih performansi. U današnje vreme metoda vektorskog upravljanja (Field Oriented Control - FOC) i metoda direktnog upravljanja momentom (Direct Torque Control - DTC) izdvojile su se po svojim performansama. Iako se razlikuju po svojim principima funkcionisanja, njihov konačni cilj je isti u smislu sposobnosti održanja fluksa i momenta bez obzira na promenu parametara sistema ili delovanja nekog poremećaja.

Metoda direktnog upravljanja momentom, u poređenju sa metodom vektorskog upravljanja, ima znatno prostiji upravljački algoritam, znatno kraće proračunsko vreme i mnogo brži dinamički odziv [1-5].

Međutim, pored pomenutih prednosti, klasična DTC metoda ima i određene nedostatke:

- Prekidačka frekvencija se menja u zavisnosti od brzine motora i širine histerezisnih komparatora po momentu i fluksu,
- Velika talasnost momenta, naročito u području niskih brzina,
- Mogući problemi za vreme starta.

Jedan od problema za vreme starta je kratak magnetizacioni tranzijent sa velikom vrednošću struje statora, koja može da uništi prekidačke elemente

invertora. To nameće potrebu za ograničenjem polazne struje [6,7].

U ovom radu je prezentovan metod za ograničenje polazne struje statora asinhronog motora sa DTC upravljanjem. Takođe, dati su rezultati simulacija za start asinhronog motora bez i sa ograničenjem polazne struje. Na osnovu njih može se zaključiti da je neophodno ograničiti polaznu struju i da je predloženi metod u tome efikasan.

2. METOD ZA OGRANIČENJE POLAZNE STRUJE

Amplituda struje statora određena je jednačinom:

$$i_s = \sqrt{i_{ds}^2 + i_{qs}^2} \quad (1)$$

gde su:

$$i_{qs} = \frac{L_r}{L_s L_r - M^2} \left(\lambda_{qs} - \frac{M}{L_r} \lambda_{qr} \right) \quad (2)$$

$$i_{ds} = \frac{L_r}{L_s L_r - M^2} \left(\lambda_{ds} - \frac{M}{L_r} \lambda_{dr} \right) \quad (3)$$

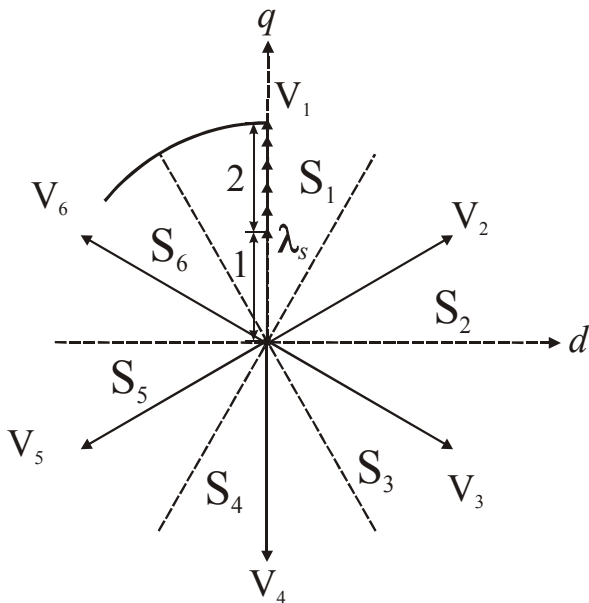
a L_s , L_r , M sopstvena induktivnost namotaja statora, sopstvena induktivnost namotaja rotora i induktivnost magnećenja, respektivno.

Pre startovanja nenamagnetenog asinhronog motora qd komponente fluksa statora i fluksa rotora jednake su nuli. Nakon startovanja, javlja se zahtev za povećanjem fluksa i odgovarajući zahtev po momentu, usled čega, u skladu sa principima DTC upravljanja, dolazi do generisanja odgovarajućih napona invertora. To prouzrokuje brzu promenu fluksa statora i znatno sporiju promenu fluksa rotora. Na osnovu jednačina (1) do (3) jasno je da se može očekivati i značajna promena amplitude struje statora.

Drugim rečima, pri startovanju nenamagnetenog asinhronog motora, kao posledica brzog odziva po fluksu i momentu, javlja se kratkotrajni tranzijent sa strujom statora više puta većom od nominalne, koja može da uništi prekidačke elemente invertora. Ovaj problem nameće potrebu za ograničenjem polazne struje statora.

Generalno rešenje opisanog problema je predmagnećenje motora. Za vreme ovog procesa u motoru se uspostavlja fluks, a zahtev po momentu nije aktivan, to jest, vrši se njegovo kašnjenje dok se motor ne namagneti.

Pri procesu predmagnećenja ne uvažavaju se osnovni principi DTC upravljanja. Asinhroni motor se predmagneti napajanjem konstantnim naponom. U slučaju DTC upravljanja, to se realizuje generisanjem jednog od šest nenultih napona, V_1 do V_6 . Izabrani nenulti napon obezbeđuje brzu promenu radialne komponente fluksa statora, dok se tangencijalna komponenta ne menja. S obzirom da nema promene tangencijalne komponente, fazor fluksa statora ne rotira i elektromagnetni moment je jednak nuli. Usled brze promene radialne komponente, a samim tim i q i/ili d komponente fluksa statora, doći će i do značajne promene amplitude struje statora. Ograničenje struje statora u režimu predmagnećenja realizuje se generisanjem odgovarajućeg nultog (V_7 ili V_8) umesto izabranog nenultog napona kada struja statora dostigne limit, odnosno maksimalno dozvoljenu vrednost za ovaj režim. S obzirom da je predmagnećenje kratkotrajan proces, maksimalno dozvoljena vrednost struje statora u ovom režimu određena je maksimalno dozvoljenom strujom prekidačkih elemenata invertora. Asinhroni motor se predmagneti dok fluks statora ne dostigne zadatu vrednost.



Sl. 1. Strategija predmagnećenja asinhronog motora sa DTC upravljanjem u cilju ograničenja polazne struje

Na slici 1 ilustrovan je proces predmagnećenja asinhronog motora. U toku faze 1 motor se predmagneti generisanjem nenultog napona V_1 . Kada struja statora dostigne maksimalno dozvoljenu vrednost, $i_{s,lim}$, prelazi se na fazu 2. Naizmeničnim generisanjem napona V_1 i odgovarajućeg nultog napona V_7 nastavlja se proces predmagnećenja uz ograničenje struje statora primenom histerezisnog komparatora sa širinom histerezisa $\Delta i_{s,lim}$. Kada fluks statora dostigne zadatu vrednost

predmagnećenje je završeno i prelazi se na DTC upravljanje.

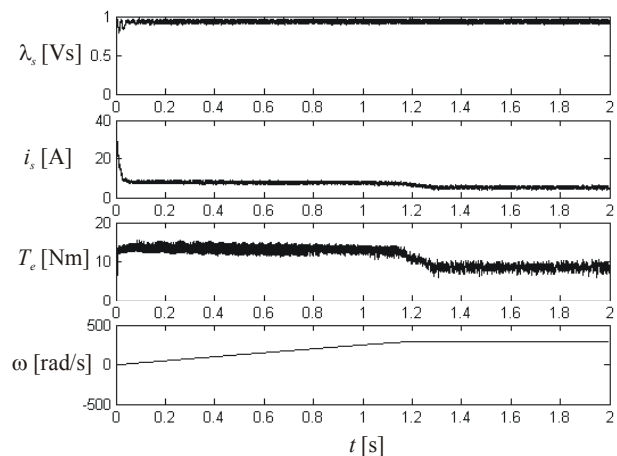
3. REZULTATI SIMULACIJA

Simulacije su realizovane korišćenjem programskog paketa Matlab/Simulink na modelu asinhronog motora sa klasičnim DTC upravljanjem. Simulacioni model je diskretizovan sa $2 \mu s$. Zadati elektromagnetni moment, zadati fluks statora i moment opterećenja odgovaraju nominalnim vrednostima. Frekvencije semplovanja merenih veličina i upravljačkog sistema, kao i maksimalna prekidačka frekvencija, iznose 10 kHz. Parametri motora su dati u tabeli 1. Maksimalna struja statora iznosi 15 A, a širina histerezisnog komparatora za struju statora iznosi 5% maksimalne struje statora.

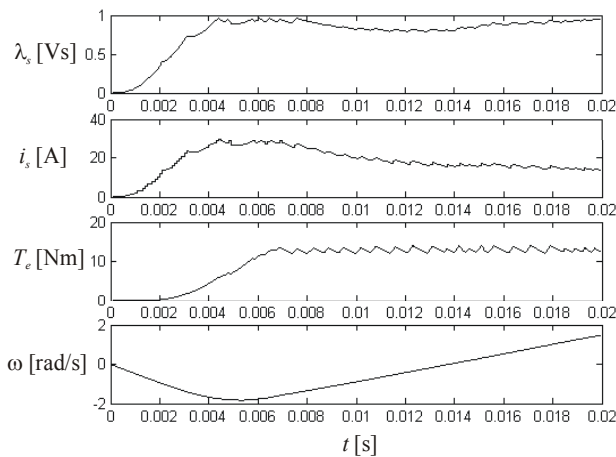
Tabela 1. Parametri asinhronog motora

Nominalna snaga	2.2 kW
Nominalni napon	380 V
Broj pari polova	1
Nominalni moment	8.61 Nm
Nominalni fluks statora	0.936 Vs
Nominalna struja statora	5.26 A
R_s	2.615 Ω
R_r	2.3957 Ω
L_s	0.282 H
L_r	0.282 H
M	0.2717 H
Inercija na vratilu motora	0.0184 kgm ²

Na slikama 2 i 3 prikazani su fluks statora, efektivna vrednost struje statora, elektromagnetni moment i brzina pri startu nenamagnećenog asinhronog motora. Može se zapaziti da je odziv po momentu brz, ali i da polazna struja statora dostiže značajnu vrednost (oko 600% svoje nominalne vrednosti), što može da prouzrokuje uništenje prekidačkih elemenata invertora. Na slikama 6a i 6b prikazan je odnos qd komponenti fluksa statora za ovaj slučaj.

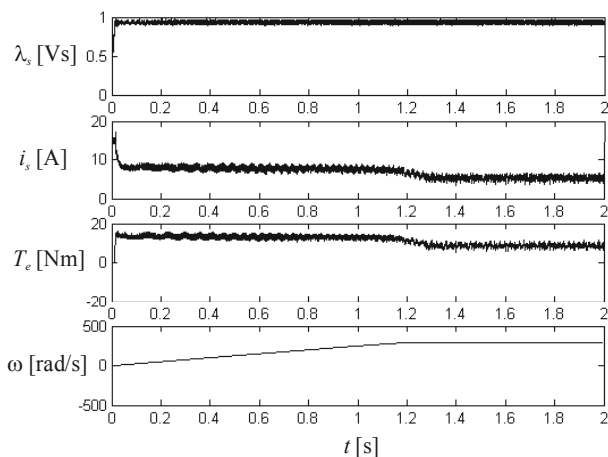


Sl. 2. Start nenamagnećenog asinhronog motora

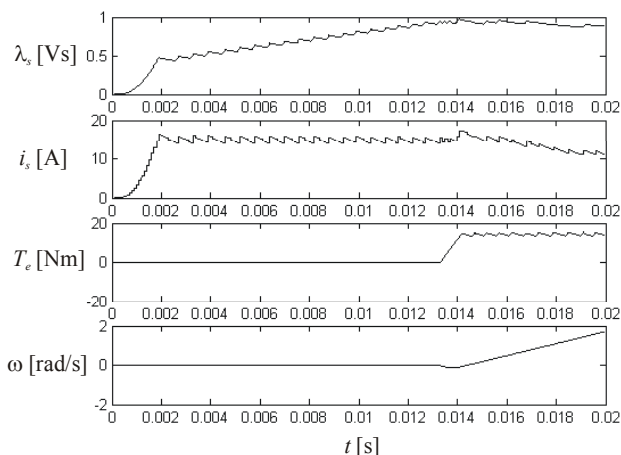


Sl. 3. Start nenamagnećenog asinhronog motora (prve 0.02 sekunde)

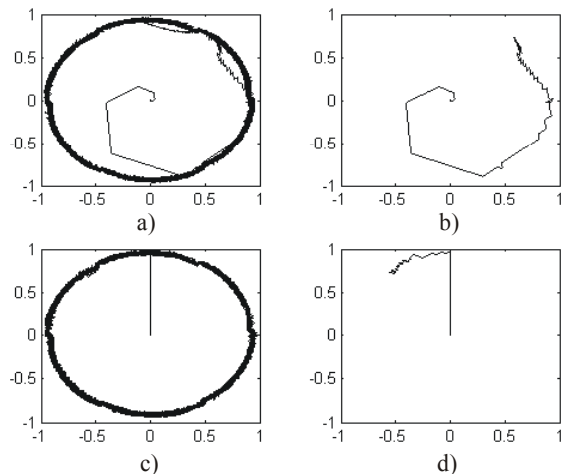
Na slikama 4 i 5 prikazani su fluks statora, efektivna vrednost struje statora, elektromagnetni moment i brzina pri startu namagnećenog asinhronog motora. Može se zapaziti da odziv po momentu kasni i da je sporiji nego u prethodnom slučaju, ali i da je polazna struja statora ograničena. Na slikama 6c i 6d prikazan je odnos qd komponenti fluksa statora za ovaj slučaj. Može se zapaziti sličnost između slike 6d i slike 1, što je i očekivano.



Sl. 4. Start namagnećenog asinhronog motora



Sl. 5. Start namagnećenog asinhronog motora (prve 0.02 sekunde)



Sl. 6. Odnos qd komponenti fluksa statora pri startu asinhronog motora sa DTC upravljanjem

- bez predmagnećenja
- bez predmagnećenja (prve 0.02 sekunde)
- sa predmagnećenjem
- sa predmagnećenjem (prve 0.02 sekunde)

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prezentovan je metod za ograničenje polazne struje statora asinhronog motora sa DTC upravljanjem. Takođe, dati su rezultati simulacija za start asinhronog motora bez i sa ograničenjem polazne struje. Na osnovu njih može se zaključiti da je neophodno ograničiti polaznu struju i da je predloženi metod u tome efikasan. Sa druge strane, ovaj metod je prost a njegova implementacija u DTC algoritam jednostavna. Na bazi simulacionih rezultata pokazano je da predloženi metod uspešno ograničava polaznu struju, čime su prekidački elementi invertora zaštićeni.

5. LITERATURA

- [1] I. Takahashi, T. Noguchi, "A new quick-response and high-efficiency control strategy of an induction motor," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 22, No. 5, pp. 820-827, 1986.
- [2] T. G. Habetler, F. Profumo, M. Pastorelli, L. Tolbert, "Direct Torque Control of Induction Machines using Space Vector Modulation", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 28, No. 5, pp. 1045-1053, Sept/Oct 1992.
- [3] Vojkan Kostić, Nebojša Mitrović, Milutin Petronijević, Borislav Jeftenić, "DIREKTNO UPRAVLJANJE MOMENTOM ASINHRONE MAŠINE", 12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM on POWER ELECTRONICS - Ee 2003 (XII Međunarodni simpozijum Energetska elektronika – Ee 2003), NOVI SAD, SERBIA & MONTENEGRO, November 5th - 7th, 2003, Paper No. T2-1.5, pp. 1-4.
- [4] Nebojsa Mitrovic, Vojkan Kostic, Milutin Petronijevic and Borislav Jeftenic, "Comparison by Simulation of Torque Control Schemes for Electric Drive Application", ICEST 2003, 16-18 October 2003, Sofia, Bulgaria, Proceedings of Papers, pp. 417-420.

- [5] Nebojsa Mitrovic, Vojkan Kostic, Milutin Petronijevic and Borislav Jeftenic, "Simulation of Direct Torque Control Schemes for Electric Drive Application, Part I", SCIENTIFIC BULLETIN of "POLITEHNICA" University of Timisoara, Transactions on AUTOMATIC CONTROL and COMPUTER SCIENCE, Vol. 49(63), No. 1, 2004, ISSN 1224-600X, Timisoara, pp. 83-86.
- [6] Y. A. Chapuis, D. Roye, "Direct Torque Control and Current Limitation Method in Start up of an Induction Machine", Power Electronics and Variable Speed Drives, IEE Conference, London, UK, September 21-23, 1998, pp. 451-455.
- [7] Y. A. Chapuis, T. Kosaka and N. Matsui, "Performance Improvement in Start up Condition for DSP-Based Direct Torque Control of an Induction Machine", International Power Electronic Conference, IPEC'00, Tokyo, Japan, April 2000, vol. 3, pp. 1189-1194.

START UP CURRENT IN DIRECT TORQUE CONTROLLED INDUCTION MOTOR DRIVES

Abstract: *In this paper DTC method is analysed with aspect of start up stator current. It is observe that start up stator current reach significant value. It can destroy switch powers of the inverter. A control method to limit start up stator current amplitude is presented. Simulations results are carried out for the comparison of a start up classical DTC scheme without current limitation and with hereby. Presented simulations results verify the effectiveness of the proposed stator current limitation strategy.*

Key words: *Induction Motor, Direct Torque Control, Start up Stator Current Limitation.*