

# Analiza pogonskih aspekata rada industrijskog pretvarača u situaciji napajanja asinhronne mašine opterećene teretom velike inercije

Nikola Vukajlović  
Student master studija  
Fakultet Tehničkih Nauka  
Novi Sad, Srbija  
nikolavuk@uns.ac.rs

**Sažetak**—U radu se analizira problematika ponašanja asinhronne mašine napajane iz industrijskog frekventnog pretvarača, u situaciji kada je mašina opterećena teretom velike inercije, koji u ovom slučaju predstavlja druga asinhrona mašina priključena na niskonaponsku distributivnu mrežu. Rad asinhronne mašine opterećene teretom velike inercije je od velikog interesa, s obzirom da je takav teret sposoban da promeni radni režim kako asinhronne mašine tako i frekventnog pretvarača kojim je mašina napojena. Upravo iz ovog razloga je potrebno detaljno analizirati sve procese koji se dešavaju kako u asinhronoj mašini tako i u frekventnom pretvaraču. U radu je prikazana i eksperimentalna postavka, korišćena pri tretiranju pitanja i analizi pojava vezanih za predočenu problematiku, kao i eksperimentalni rezultati, na osnovu kojih su dati zaključci bitni za ovakav specifičan rad asinhronne mašine.

**Ključne reči**—asinhrona mašina; frekventni pretvarač; teret velike inercije.

## I. UVOD

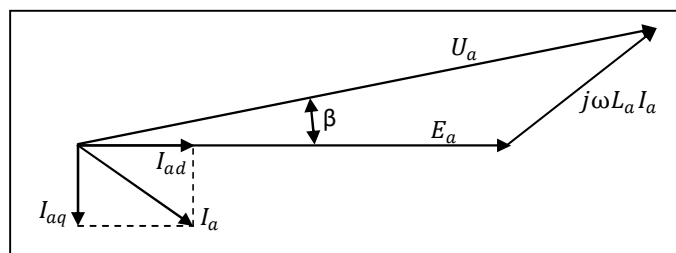
Analiza rada asinhronne mašine u slučaju kada je mašina opterećena teretom velike inercije, interesantna je pre svega sa aspekta prelaska mašine iz motorskog u generatorski režim rada, i obratno. Međutim u slučaju kada je asinhrona mašina napajana iz frekventnog pretvarača, otvaraju se određena pitanja koja je potrebno detaljnije analizirati. Prelazak asinhronne mašine iz motorskog u generatorski režim rada i obratno u realnoj eksploataciji dešava se u različitim situacijama. Rad asinhronog motora pri podizanju/spuštanju tereta, rad asinhronog motora u sklopu pogona za električnu vuču i sl. mogu poslužiti kao praktičan primer ovakve tranzicije pogonskih stanja. Danas je uobičajena primena frekventnih pretvarača u industrijskoj praksi, pa je jedan od bitnih aspekata analize ove problematike i ponašanje frekventnog pretvarača, pri prelasku asinhrona mašine iz jednog u drugi režim rada, i obratno.

Sa druge strane, u eri obnovljivih izvora električne energije, analizirana tematika je interesantna sa aspekta proučavanja problematike rada rotacionih generatora koji generisanu energiju u krutu mrežu predaju posredstvom pretvarača učestanosti. Iako je rad realnih sistema optimizovan za specifične uslove, zaključci doneseni prezentovanom tematikom su opšti i kao takvi mogu biti primenjeni i za realne aplikacije.

## II. FREKVENTNI PRETVARAČ

### A. Rad frekventnog pretvarača kada je asinhrona mašina u motorskom režimu rada

Frekventni pretvarač kao uređaj koji jednosmerni napon pretvara u naizmenični napon proizvoljne amplitude i frekvencije implementacijom komponenti energetske elektronike i određene prekidačke logike, uobičajeno se koristi u savremenim pogonima za regulaciju raznih parametara, kao što su brzina, moment, položaj i sl. Kada frekventni pretvarač napaja asinhronu mašinu koja se nalazi u motorskom režimu rada, odnosno kada se u mašini dešava konverzija električne energije u mehaničku, kaže se da frekventni pretvarač radi u invertorskom režimu rada. Ovaj režim rada se može objasniti fazorskim dijagramom prikazanim na Sl. 1. S obzirom da su frekventni pretvarači obično strujno regulisani naponski izvori, što znači da se na izlazu pojavljuje takav napon pri kome se postiže potrebna vrednost struje, u tom slučaju se onda mašini može nametnuti takav fazni napon, da d komponenta struje jedne faze  $I_{ad}$  bude poravnata sa fazorom elektromotorne sile  $E_a$  mašine (tj. fazorom fluksa) u toj fazi, kao što se i vidi na priloženom fazorskom dijagramu. Ovakvom postavkom struje u odnosu na elektromotornu silu u svim fazama, postiže se to da napon na izlazu frekventnog pretvarača  $U_a$  prednjači fazoru elektromotorne sile za ugao  $\beta$ , što za posledicu ima da je smer toka snage od frekventnog pretvarača ka asinhronoj mašini, pri čemu se pretvarač nalazi u invertorskom, a mašina u motorskom režimu rada [1].

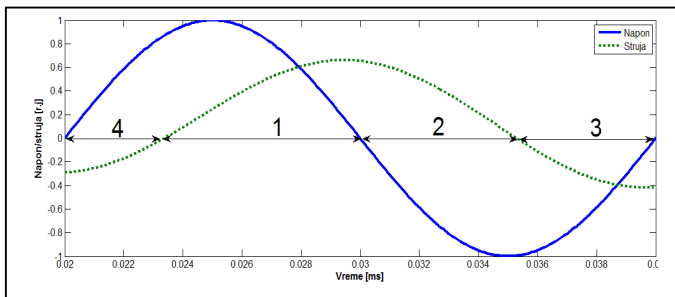


Slika 1. Fazorski dijagram za mašinu u motorskom režimu rada

**B. Rad frekventnog pretvarača kada je asinhrona mašina u generatorskom režimu rada**

Frekventni pretvarač kao uređaj energetske elektronike, s obzirom da napaja električne mašine naizmjeničnom strujom, mora biti sposoban za rad u sva četiri kvadranta. Naime kako se jedna faza asinhronne mašine najjednostavnije može predstaviti kao redna veza otpornosti, induktivnosti i elektromotorne sile, to će između priključenog faznog napona i uspostavljene fazne struje na toj fazi postojati fazni pomeraj.

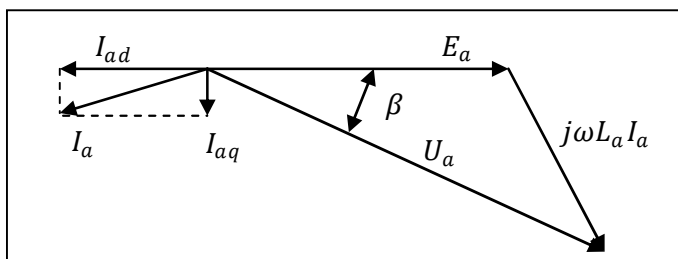
Na Sl. 2 je prikazana perioda promene napona (puna linija) i struje (isprekidana linija) jedne faze asinhronne mašine, pri čemu je perioda promene izdvojena na četiri vremenska segmenta koji su numerisani brojevima od 1 do 4.



Slika 2. Trenutne vrednosti napona i struje jedne faze asinhronne mašine

Svakom segmentu korespondira odgovarajući kvadrant na  $U-I$  karakteristici frekventnog pretvarača. Sa Sl. 2 se vidi da su tokom vremenskih segmenata 1 i 3 napon i struja istog znaka i ova dva segmenta odgovaraju invertorskom režimu rada frekventnog pretvarača, sa druge strane tokom vremenskih segmenata 2 i 4, napon i struja su suprotnog znaka, što odgovara ispravljačkom režimu rada frekventnog pretvarača. Iz ovoga se može doneti jedan neintuitivan zaključak, a to je da frekventni pretvarač mora da obezbedi četvorokvadrantni rad tokom jedne periode napona i struje, bez obzira da li mašina koju napaja radi u generatorskom ili motorskom režimu rada [1].

Imajući u vidu prethodno, potrebno je analizirati i rad frekventnog pretvarača u ispravljačkom režimu rada, odnosno u slučaju kada je tok snage takav da ide od mašine ka pretvaraču. Ovo se najjednostavnije može objasniti, bez gubitka na opštosti, na primeru generatorskog režima rada asinhronne mašine napajane frekventnim pretvaračem. Da bi asinhrona mašina prešla u generatorski režim rada potrebno je da fazor elektromotorne sile prednjači fazoru statorskog napona, što se može postići na primer ako se asinhrona mašina obrće nadsinhronom brzinom.



Slika 3. Fazorski dijagram za mašinu u generatorskom režimu rada

Na Sl. 3 je prikazan fazorski dijagram za slučaj kada asinhrona mašina radi u generatorskom režimu rada. Sa slike se vidi da fazor elektromotorne sile prednjači faznom naponu, tj. naponu na izlazu frekventnog pretvarača, za ugao  $\beta$ . Upravo se na osnovu pre svega fazne razlike i može definisati snaga, koja iz mašine ide ka pretvaraču, pri čemu se pretvarač nalazi u ispravljačkom, a mašina u generatorskom režimu rada. Aktivna snaga koju mašina generiše, odnosno snaga čiji je tok definisan od mašine ka pretvaraču, može se izraziti jednačinom koja glasi:

$$P = \frac{E_a}{\omega L_a} \left( \frac{U_a}{E_a} \sin \beta \right)$$

gde je:  $E_a$  - elektromotorna sila asinhronne mašine,  $U_a$  - napon na frekventnom pretvaraču,  $L_a$  - induktivnost faznog namotaja mašine,  $\omega$  - električna ugaona učestanost i  $\beta$ - ugao između fazora elektromotorne sile i fazora napona na izlazu pretvarača.

Iz prethodno izloženog je jasno da je režim rada u kome se nalazi mašina u odnosu na pretvarač i obratno, definisan faznim pomerajem, koji postoji između napona na izlazu frekventnog pretvarača i elektromotorne sile asinhronne mašine. Takođe, kontrolisanjem veličine faznog pomeraja može se definisati iznos snage koja se razmenjuje između pretvarača i mašine [1].

Kada se razmatra pitanje toka snage, uvek se mora razmotriti i aspekt koji se odnosi na to gde se određena snaga troši. Na ovo pitanje je jednostavno odgovoriti kada se radi o slučaju u kome je mašina u motorskom, a frekventni pretvarač u invertorskom režimu rada. U ovakvoj situaciji elektromehanička konverzija nalaže da se električna snaga troši na vratilu mašine, odnosno da biva pretvorena u mehanički rad. Međutim kada je situacija drugačija, odnosno kada je tok snage iz mašine ka pretvaraču, dolazi se do problema koji se ogleda u činjenici da snaga u pretvaraču ne može da se potroši, a takođe, u klasičnoj konfiguraciji koja podrazumeva ispravljački ulazni blok, ne može ni da se vrati u napojnu mrežu. S obzirom da skoro svaka savremena topologija frekventnih pretvarača inkorporira kondenzatorski blok, kao način za obezbeđivanje što kvalitetnijeg jednosmernog napona, jedina raspoloživa mogućnost za snagu koja dolazi iz mašine je upravo akumulacija u kondenzatorskom bloku. Kako je kondenzator element koji akumulira električnu energiju, dotok snage sa strane mašine će za posledicu imati povećanje napona na kondenzatorskom bloku. Međutim, kako je podnosivi napon kondenzatorskog bloka veličina koja je ograničena, to će rezultovani time da će, ukoliko je snaga koju mašina generiše suviše velika, kondenzatorski blok potencijalno biti ugrožen, sa aspekta naponskog proboja [1], [2].

Oдавде proizilazi zaključak da je potrebno ostvariti mogućnost da se električna energija koja dođe sa strane mašine mora adekvatno dislocirati, kako bi se očuvala sigurnost kondenzatorskog bloka od naponskog proboja.

Odlaskom asinhronne mašine u generatorski režim rada pojavljuje se višak energije u jednosmernom kolu, odnosno u kondenzatorskom bloku, koji je potrebno potrošiti, kako bi se zaštitio kondenzatorski blok. Jedan od najjednostavnijih načina da se postigne trošenje energije iz kondenzatorskog bloka je

disipacija na otporniku, rešenje poznato kao elektrodinamičko kočenje. Upravo je ovo jednostavno rešenje implementirano u savremenim pretvaračima, kako bi se omogućilo jednostavno disipiranje akumulirane energije. Ovaj blok se sastoji od prekidačkog elementa - tranzistora, i otpornika za kočenje koji se priključuje eksterno. Vrednost kočionog otpornika ne može se odabrati proizvoljno, već pre svega vrednost otpornika mora da bude takva da struja koja bi tokom kočenja proticala kroz blok za kočenje ne bude veća od podnosive struje prekidačkog elementa. Drugi kriterijum koji se mora ispoštovati u cilju pravilnog izbora kočionog otpornika je srednja snaga disipacije. Svaki otpornik za kočenje definiše se za intermitentni režim rada u okviru nekog vremenskog perioda  $T_p$ , što znači da otpornik tokom određenog dela perioda  $T_p$  može da disipira maksimalnu snagu kočenja, dok se ostatak vremena hladi. Vrednost otpornosti, kao i ostali relevantni parametri za odabir kočionog otpornika, uobičajeno se dobijaju u korisničkom uputstvu proizvođača frekventnih pretvarača [3], [4].

Ovakav pristup se može izabrati kao rešenje, jer je jednostavan i jeftin, međutim on nije i energetska efikasan, što može biti problem kada se tokom kočenja mora disipirati relativno velika količina energije. Ako je u pitanju snaga kočenja koju, zbog količine energije nije efikasno disipirati na otporniku, onda se može pristupiti nekim drugim efikasnijim rešenjima. Jedno od takvih rešenja nalazi se u korišćenju specijalne topologije frekventnog pretvarača poznate kao *back-to-back* pretvarač. Ovakva topologija pretvarača omogućuje da se energija uskladištena u jednosmernom kolu može vratiti izvoru tokom perioda u kome asinhrona mašina radi u generatorskom režimu rada. Ova topologija se sastoji od koherentne veze dva obično trofazna mosta u sklopu jednog pretvarača, koji rade u suprotnim režimima rada, odnosno kada asinhrona mašina radi u motornom režimu rada, odnosno kada asinhrona mašina radi u motornom režimu rada, onda most koji je pozicioniran prema izvoru radi u ispravljačkom režimu rada, a most prema mašini radi u invertorskom režimu rada, dok u slučaju kada asinhrona mašina pređe u generatorski režim rada onda se menjaju i režimi rada dva mosta [3].

Ove dve konfiguracije pretvarača nisu jedine moguće konfiguracije koje se mogu koristiti u slučaju prelaska mašine u generatorski režim rada. Odabir konfiguracije koja se može koristiti se u prvom redu određuje na osnovu količine energije koja će biti generisana, odnosno akumulirana u kondenzatoru, ali i na osnovu ekonomskog kriterijuma, i kriterijuma vezanih za pitanje energetske efikasnosti.

### III. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Da bi se detaljno ispitali svi aspekti problematike kao i da bi se potvrdile teorijske pretpostavke, neophodno je izvršiti eksperimentalnu verifikaciju, pri čemu je potrebno metrološki potvrditi očekivane radne režime mašine i pretvarača pri radu pod uslovima koji dovoljno precizno reprezentuju situacije u kojima se mogu naći mašina i pretvarač kada opterećenje mašine ima veliku inerciju.

Kako bi se mogli analizirati svi režimi od interesa, osmišljena je eksperimentalna postavka prikazana na Sl. 4. Osnovni deo postavke čine dve mehanički vezane odnosno kruto spregnute asinhronne mašine. Asinhrona mašina, koja je deo postavke na Sl. 4 označena AM1, je napajana iz frekventnog pretvarača oznake FC302 proizvođača Danfoss. Druga

asinhrona mašina, na Sl. 4 označena AM2, predstavlja mašinu koja simulira opterećenje velike inercije. Ova mašine se preko kontaktora upravljanog tasterima, povezuje na krutu niskonaponsku distributivnu mrežu 3x400 V, 50 Hz.



Slika 4. Eksperimentalna postavka sa dve asinhronne mašine

Frekventni pretvarač koji napaja asinhronu mašinu AM1 je postavljen u brzinski režim rada sa zatvorenim povratnom spregom. Kao senzor brzine vratila je iskorišćen enkoderski davač.

Za očitavanje električnih i mehaničkih veličina koje oslikavaju rad, koriste se mogućnosti koje pruža softver za parametrizaciju i nadzor rada pretvarača učestanosti. Pored toga, električne veličine su merene pomoću osciloskopa sa pridruženom strujnom mernom sondom i pomoću analizatora kvaliteta električne energije.

### IV. SPROVOĐENJE EKSPERIMENTA

Tok eksperimenta se može podeliti u četiri jasno definisana koraka [5].

Na početku prvog koraka mašina AM1 se korišćenjem frekventnog pretvarača pokreće do sinhronne brzine mašine AM2. Nakon dostizanja sinhronne brzine, pridruženom sklopnom opremom se AM2 priključuje na mrežu. S obzirom da se priključenju AM2 obrtala sinhronom brzinom, mehanički i strujni udari su svedeni na minimum. Na kraju prvog koraka

stanje je takvo da se obe mašine nalaze u stanju praznog hoda, što predstavlja polaznu tačku eksperimenta [5].

U drugom koraku referentna vrednost brzine koja se preko pretvarača prenosi i na stvarnu vrednost brzine mašine AM1 odnosno AM2 se postavlja na vrednost brzine koja je veća od sinhronne brzine mašine AM2. Ovom manipulacijom se postiže situacija sa fazorskog dijagrama za motorski režim rada asinhronne mašine prikazanog na Sl. 1 u kome fazor napona, koga diktira frekventni pretvarač, prednjači fazoru elektromotorne sile, koga diktira brzina obrtanja vratila, odnosno AM2. U ovoj situaciji AM1 je u motorskom režimu rada, odnosno mašina teži da svom opterećenju preda dovoljnu količinu energije kako bi se opterećenje ubrzalo do potrebne brzine [5].

Nakon izvršene akvizicije neophodnih podataka, poslednja manipulacija u okviru drugog koraka je vraćanje brzine mašine AM1 na sinhronu brzinu mašine AM2.

Treći korak eksperimenta sastoji se u tome da se brzina obrtanja mašine AM1 zada tako da bude manja od sinhronne mašine AM2. Novo pogonsko stanje odnosno izabrana radna tačka sklopa nalaže da se malopredašnja uloga mašine izmeni tako da mašina AM1 u ovom slučaju prelazi u generatorski režim rada, dok mašina AM2 prelazi u motorski režim rada. Frekventni pretvarač u ovakvoj situaciji je opisan fazorskim dijagramom za generatorski režim rada koji je prikazan na Sl. 3, gde fazor napona na mašini AM1 koga diktira frekventni pretvarač s obzirom da zadatu brzinu, kasni za fazorom elektromotorne sile čija brzina zavisi od brzine obrtanja rotora čiju brzinu diktira mašina AM2. U ovoj situaciji mašina AM1, u cilju održanja zadate brzine na vratilu, prelazi u generatorski režim rada izvlačeći energiju iz mašine AM2 koja se sada nalazi u motorskom režimu rada. Ta energija se, izuzimajući gubitke u mašini, disipira na kočionom otporniku [5].

Nakon izvršene akvizicije neophodnih podataka, poslednja manipulacija u okviru drugog koraka je vraćanje referentne vrednosti brzine mašine AM1 na sinhronu brzinu mašine AM2.

Četvrti korak sastoji se u tome da se eksperimentalna postavka zaustavi, kako bi se eksperiment završio. Najpre se mora manipulacijom tasterom mašina AM2 odvojiti od distributivne mreže, a tek nakon toga se može zaustaviti i mašina AM1 odgovarajućom komandom na komandnom panelu frekventnog pretvarača. Ako bi redosled isključenja bio suprotan, algoritam kontrolisanog zaustavljanja mašine AM1 integrisan u frekventni pretvarač bi doveo eksperimentalnu postavku u situaciju koja je opisana u drugom koraku. Stanje bi rezultovalo sa dva scenarija. U prvom scenariju mašina AM1 je na vratilo primenila momenat koji bi AM2 doveo u stanje kratkog spoja sa punim naponom. U drugom scenariju, frekventni pretvarač bi u cilju zaustavljanja mašine dostizao nivo strujnog ograničenja što bi rezultovalo pregrevanjem obe mašine. Oba opisana stanja su neželjena i tokom eksperimenta nisu isprobavana [5].

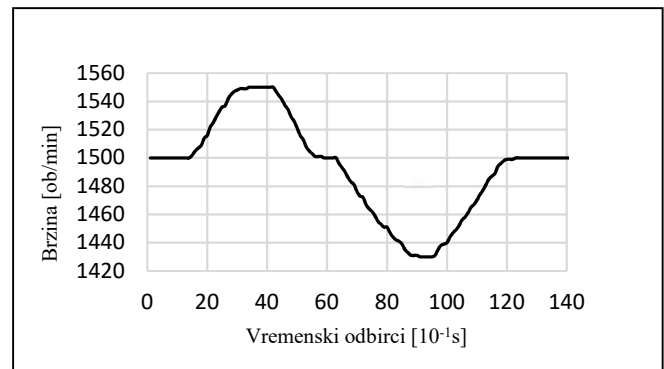
## V. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom odelju prikazani su odzivi veličina relevantnih za analizu eksperimenta. Odzivi koje se prikazuju dobijeni su korišćenjem prethodno opisane merne opreme, kao i softverskog alata MCT 10, koji predstavlja softversko rešenje pomoću koga

je moguće vršiti akviziciju podataka o svim parametrima frekventnog pretvarača.

Najreprezentativnija veličina koja govori o toku eksperimenta je promena brzine obrtanja. Promena brzine vratila mašina tokom izvođenja eksperimenta je prikazana na Sl. 5.

Kako je ranije objašnjeno, eksperiment započinje korakom 1 u kome se vratila mašina dovode do sinhronne brzine mašine AM2. U slučaju korišćene mašine, sinhrona brzina iznosi 1500 [ob/min].

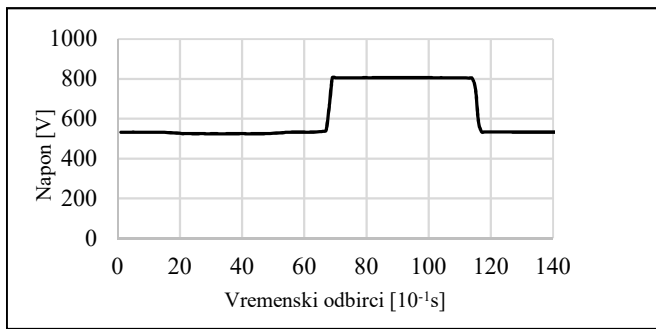


Slika 5. Odziv brzine tokom sprovođenja eksperimenta

Nakon postizanja sinhronne brzine, pogonskoj celini se u koraku 2 korišćenjem mašine AM1 napajane iz frekventnog pretvarača poveća brzina vratila preko sinhronne. Na Sl. 5 brzina je povećana na vrednost 1550 [ob/min] jer je pri ovoj brzini prepoznato dostizanje nominalne struje mašine AM1. U trećem koraku se brzina vratila smanjuje tako da se uloge mašina zamene, odnosno da se AM1 prevede u generatorski režim rada, a AM2 u motorski. Na Sl. 5 se vidi da se brzina smanjivala do 1430 [ob/min] jer je u ovoj tački dostignuta nominalna struja mašine AM1 [5].

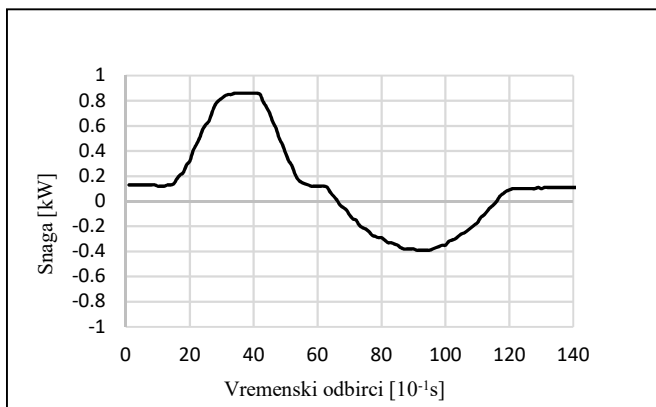
Druga reprezentativna veličina za eksperiment je napon jednosmernog kola, odnosno napon na kondenzatorskom bloku frekventnog pretvarača.

Na Sl. 6 je prikazan odziv napona jednosmernog kola, gde se jasno uočava da tokom motorskog režima rada, napon jednosmernog kola ostaje ograničen na vrednost ispravljenog napona mreže, dok se tokom generatorskog režima rada asinhronne mašine upravljane pretvaračem, napon jednosmernog kola povećava. Ono što tokom generatorskog rada održava napon konstantnim je činjenica da je na frekventni pretvarač povezan otpornik za kočenje i da se radom kočionog bloka disipira dovoljna količina energije kako se napon jednosmernog kola ne bi dalje povećavao. Energija koja se disipira na kočionom otporniku je energija koju asinhrona mašina generiše na račun kinetičke energije opterećenja, odnosno to je mehanička energija konvertovana u električnu usled težnje asinhronne mašine upravljane frekventnim pretvaračem da uspori rotiranje opterećenja.



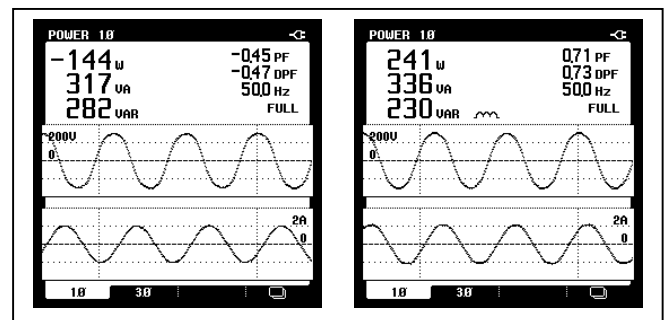
Slika 6. Odziv napona jednosmernog kola tokom sprovođenja eksperimenta

Treća reprezentativna veličina za eksperiment je električna aktivna snaga. Ova veličina je merena sa strane frekventnog pretvarača i sa strane mreže. Snaga na oba mesta je merena kako bi se jasno moglo videti da na primer tokom kočenja mašina priključena na mrežu uzima snagu sa mreže odnosno da je tada snaga pozitivna na tom mernom mestu, a da je u tom trenutku snaga, na frekventnom pretvaraču negativna odnosno da ulazi u frekventni pretvarač. Na Sl. 7 se vidi da je tokom perioda rada asinhronne mašine upravljane frekventnim pretvaračem u motornom režimu rada snaga pozitivna odnosno tok snage je od pretvarača ka mašini. Sa druge strane, tokom generatorskog režima rada ove mašine snaga je negativna, što odgovara situaciji kada je tok snage iz asinhronne mašine ka pretvaraču, odnosno kočionom otporniku.



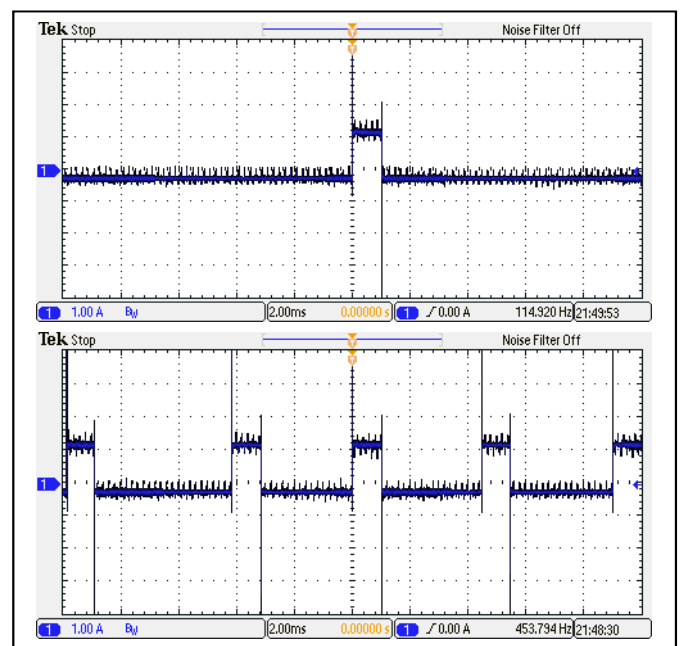
Slika 7. Odziv snage sa strane frekventnog pretvarača

Sa Sl. 8 se vidi merenje snage sa strane asinhronne mašine AM2 koja je priključena na mrežu, a koja simulira teret, gde je prikazana snaga u dve karakteristične tačke. Na Sl. 8 leva fotografija pokazuje da je snaga negativna, odnosno da mašina AM2 predaje snagu mreži. Ovo stanje odgovara situaciji kada asinhronna mašina AM1 predaje energiju opterećenju kako bi ga ubrzala. Desna fotografija na Sl. 8 pokazuje da je snaga prema mreži pozitivna, odnosno da je tok snage od mreže ka mašini AM2, što odgovara situaciji kada mašina AM2 pokušava da uspori opterećenje, odnosno pretvara kinetičku energiju tereta u električnu, koja se zatim disipira na kočionom otporniku. Na Sl. 8 prikazane su u oba slučaja snage jedne faze, pošto je korišćeni merni instrument namenjen za upravo takvo merenje snage.



Slika 8. Snaga u motornom (levo) i generatorskom (desno) režimu rada asinhronne mašine AM1 mereno sa strane mreže

Na kraju je prikazano i merenje struje kočionog otpornika tokom generatorskog režima rada asinhronne mašine. Na Sl. 9 se jasno vidi rad kočionog bloka, kao i frekvencija rada kočionog tranzistora, koja se povećava kako se povećava količina energije koja se isporučuje jednosmernom kolu.



Slika 9. Rad kočionog bloka pri generatorskom režimu rada asinhronne mašine

## VI. ZAKLJUČAK

Slobodno se može reći da asinhronna kavezna mašina koja se napaja iz frekventnog pretvarača danas predstavlja industrijski standardno rešenje. Iako je često u upotrebi, današnja literatura u većini slučajeva opisuje smer toka energije koji podrazumeva smer iz izora u pogonsku mašinu. Iako prirodan, ovakav smer energije je uticajem pogonskih uslova često izmenjen. Ovaj aspekt rada frekventnog pretvarača i pridružene mašine je jako retko objašnjavan u literaturi i inženjerima izaziva zabune.

Kako bi se donekle rasvetlilo ovakvo stanje pogonske celine frekventni pretvarač – asinhronna mašina, u radu je prikazana teorijska analiza stanja, a sprovedenim eksperimentima na realizovanoj postavci je analiza i eksperimentalno verifikovana. Uočene su specifičnosti ovakvog rada, te posledice do kojih prelazak mašine iz jednog radnog stanja u drugo dovodi.

Značaj rada se može shvatiti i šire od opisane problematike ukoliko se ima u vidu da opisano stanje, uvažavajući neophodne optimizacije algoritama upravljanja, može poslužiti za objašnjenje modernih sistema koji se koriste za konverziju obnovljivih vidova energije kao na primer vetro i hidro sistema.

#### ZAHVALNICA

Autor ovog rada se zahvaljuje mentoru profesoru doc. dr Draganu Milićeviću, na pomoći i strpljenu tokom izrade ovog rada. Takođe veliku zahvalnost autor duguje i profesoru doc. dr Borisu Dumniću, asistentnu MSc. Banetu Popadiću i laborantu Dušanu Papežu koji su svojim angažmanom umnogome doprineli izradi ovog rada.

Rad je realizovan opremom koja je obezbeđena sredstvima naučno-istraživačkog projekta Ministarstva za nauku i obrazovanje Republike Srbije broj III 042004 "Pametne elektrodistributivne mreže zasnovane na distributivnom menadžment sistemu i distribuiranoj proizvodnji".

#### LITERATURA

- [1] N. Mohan, T. Underland, W. Robbins, *Power electronics: Converters, Application and Design*, John Willey & Sons, 1995
- [2] J. D. Irwin, *The Power Electronics Handbook: Industrial Electronics Series*, CRC Press, 2002.
- [3] V. Vasić, Đ. Oros, *Energetska elektronika u pogonu i industriji*, FTN izdavaštvo, 2012.
- [4] "Instruction manual FC302", dostupno na: [http://www.galco.com/techdoc/dnfs/131b0449\\_im.pdf](http://www.galco.com/techdoc/dnfs/131b0449_im.pdf)
- [5] N. Vukajlović, *Analiza pogonskih aspekata rada industrijskog pretvarača u situaciji napajanja asinhrono mašine opterećene teretom velike inercije*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, diplomski rad, 2016.

#### ABSTRACT

This paper presents theoretical considerations and experimental verification of behavior of industrial frequency converter driven induction machine under high inertia load. High inertia load represents another induction machine directly connected to the power grid, and these two induction machines are mechanically coupled via their shafts. Operational regimes of induction machine under high inertial load is of great importance, given that this type of load can change operational regime of both the induction machine and frequency converter. This yields the necessity of operational regime analysis of both the induction machine and frequency converter. The paper presents two distinct operational regimes that can be achieved under the circumstances herein described, and what are the consequences and effects of transitioning between these two regimes. In the end, paper presents experiment, experimental results and analysis of achieved results in order to confirm all theoretical assumptions, based on theory of operation of induction machine and frequency converter. Based on the experimental results paper presents conclusions important for this particular load situation.

#### **Analysis of Industrial Frequency Converter's operational conditions when driving Induction machine under high inertial load**

Nikola Vukajlovic