

## MODERNIZACIJA POSTROJENJA – REGULACIJA BRZINE MOTORA KOMPRESORA

Muhamed H. Pašić, Dragana R. Ružić  
Cimos d.o.o, Srebrenica, Bosna i Hercegovina

DOI: 10.5937/vojtehg62-3416

OBLAST: elektrotehnika  
VRSTA ČLANKA: stručni članak

### Sažetak:

*U radu je prikazan način izvršenja modernizacije postojećeg stanja industrijskih postrojenja ugradnjom frekventnog regulatora, te su opisane njegove karakteristike i prednosti. Biće navedeni nedostaci postojećeg rješenja, kao i prednosti modernizovanog stanja. Staro stanje je bilo takvo da su se motori uključivali preko sklopnika i uvijek su radili punom snagom. U novom rješenju jedan motor će se uključivati preko frekventnog regulatora. Tako će, zavisno od potrebe, raditi određenom snagom. Time će se izvršiti ušteda u potrošnji električne energije, kao i na samom održavanju.*

*Ključne reči: pogon, modernizacija, frekventni regulator, konvertor, kompresor.*

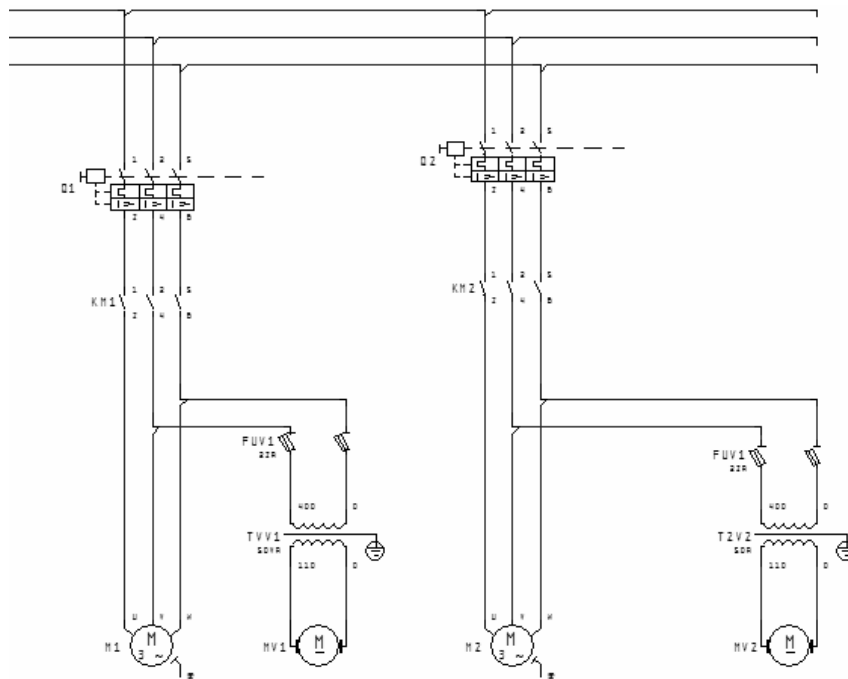
### Uvod

Razlog za rekonstrukciju starijih elektromotornih pogona često je njihova nemogućnost da zadovolje veće zahtjeve u proizvodnji, prestanak proizvodnje rezervnih dijelova, nepravilan rad, velika potrošnja električne energije i dr. No, to nije razlog da industrijska postrojenja koja su već ugrađena u fabrikama, starosti desetak, dvadeset i više godina, treba nužno zamijeniti novima i modernijima. Ona se mogu modernizovati uz odgovarajuće statistike isplativosti. Pri modernizaciji starijih

postrojenja potrebno je razmotriti koji način upravljanja je optimalan da bi se dobile potrebne funkcije, uz što manje izmjena. To je posebno važno ako je riječ o postrojenju koje treba modernizovati u što kraćem roku. Konkretna slučaj na kojem će biti analizirana modernizacija postrojenja zamjenom direktnog pokretanja sa pokretanjem i upravljanjem pomoću frekventnog pretvarača je elektromotorni pogon (EMP) za proizvodnju zraka za profesionalnu upotrebu u industriji.

## Opis postojećeg sistema i predviđenog zahvata modernizacije

Sistem za proizvodnju zraka sastoji se od dva trofazna asinhrona motora od 7,5 kW koji pogone turbine za proizvodnju zraka, spojenih prema šemi kao na slici 1 (Uputstvo za upotrebu i montažu opreme za proizvodnju zraka). Otvaranjem jedne od priključnica uključuje se motor 1 koji zadovoljava proizvodnju zraka za tri trošila, dok se priključenjem četvrtog uključuje drugi motor i oni u paralelnom radu zadovoljavaju proizvodnju zraka za šest priključenih trošila.



Slika 1 – Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zraka i pripadajućih ventilatora – postojeće stanje

Figure 1 – Scheme of the motor and the motor control of the air compressor and the relevant fans – current situation

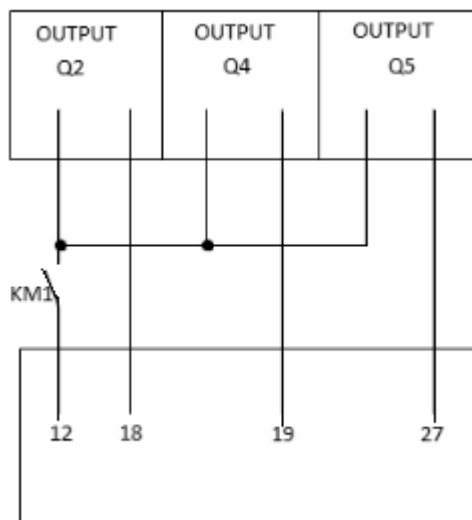
Nalog za uključenje ili isključenje drugog motora proizlazi iz mjerenja pritiska u sistemu. S obzirom na to da su motori pokretani direktno (jednim sklopnikom), moguće je uključenje samo 50% ili 100% kapaciteta proizvodnje zraka. Za finiju regulaciju zraka koriste se rasteretni ventili. Nakon ugradnje frekventnih regulatora mogla bi se promjenom frekvencije regulisati količina proizvedenog zraka i ne bi bilo gubitaka na rasteretnom ventilu. Ugradnja dva frekventna regulatora s kontinuiranim promjenama frekvencije bila bi veća investicija. Sva potrebna oprema bila bi nova, pa bi trebalo uzeti i vrijeme za povrat sredstava kroz uštede (u održavanju, električnoj energiji itd.). Ugradnjom jednog frekventnog pretvarača sa skokovitom promjenom frekvencije (šema na slici 2), što se može ostvariti s manje zahvata u postojeći sistem upravljanja, mogu se postići značajne uštede. Sklopnici motora kompresora uključuju se direktno nakon naredbe iz PLC-a, jedan ili oba, ovisno o mjerenju pritiska u cjevovodu (ovisno o broju mjesta na kojima su priključeni potrošači).

Prema prijedlogu novog rješenja upravljanja motorima kompresora, jedan motor bi i dalje ostao spojen za direktni start, dok bi se drugim upravljalo preko frekventnog pretvarača. Time bi uz pomoć tri izlaza iz PLC-a bilo ostvarivo 8 različitih stupnjeva ukupne snage, s tim da bi se kombinacijom programabilnih digitalnih ulaza frekventnog pretvarača realizovala četiri različita stupnja snage. Uz uključen ili isključen drugi motor ostvarila bi se još četiri stupnja snage (tabela 1).

*Tabela 1 – Kombinacije vrijednosti izlaza iz PLC-a za dobivanje tražene snage motora*  
*Table 1 – Combinations of the value of the output from the PLC to obtain the required engine power*

Q1	Q2	Q4	Q5	Q3	SNAGA
1	1	0	0	0	m1 = 40 %
1	1	0	1	0	m1 = 60 %
1	1	1	0	0	m1 = 80 %
1	1	1	1	0	m1 = 100 %
1	1	0	0	1	m1 40 % + m2 = 140 %
1	1	0	1	1	m1 60 % + m2 = 160 %
1	1	1	0	1	m1 80 % + m2 = 180 %
1	1	1	1	1	m1 100 % + m2 = 200 %

Prednost predloženog rješenja je u tome što su zahvati u automatici minimalni, a mogu se izvesti uz zastoje od dan-dva. Izmjene u programu programabilnog logičkog upravljača (PLC-a) mogu se pripremiti unaprijed. Nakon izmjena u ožičenju stavio bi se i testirao novi program, čime bi se modernizovano postrojenje pustilo u pogon u vrlo kratkom vremenu (SIEMENS S7-200 i LOGO materijali za učenje), (Siemens LOGO! Manual).



Slika 2 – Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zraka i ventilatora – novo stanje

Figure 2 – Scheme of the motor and the motor controls of the air compressor and the fans – new condition

## Karakteristike frekventnih pretvarača

### Svrha frekventnih pretvarača

Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinhroni motor uzima iz mreže struju 5–7 puta veću od nazivne. Velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog uticaja na mrežu prilikom uklopa, potezna struja asinhronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora, a naročito kaveza rotora. To je i razlog zbog kojeg je broj zaleta (ili reverziranja) asinhronog motora direktno spojenog na mrežu ograničen u nekom intervalu, jer u protivnom može doći do oštećenja motora (www.fer.hr, 2010).

Potezna struja može se smanjiti na nekoliko načina: korištenjem preklapke zvijezda-trokut, korištenjem soft-start uređaja ili pretvarača napona i frekvencije (www.hep.hr, 2010).

Osim potrebe za smanjenjem struje kod pokretanja, u elektromotornim pogonima često treba i mijenjati brzinu obrtanja elektromotora. Način promjene brzine obrtanja motora određen je zahtjevima tehnološkog procesa. Za promjenu brzine vrtnje asinhronih elektromotora koriste se posebni uređaji energetske elektronike, tzv. frekvencijski regulatori koji se

spajaju između elektromotora i električne mreže. Frekvencijski regulatori pretvaraju napon konstantnog iznosa i frekvencije električne mreže u napon promjenjivog iznosa i frekvencije. On mijenja brzinu okretanja asinhronog elektromotora na način koji zahtijeva tehnološki proces.

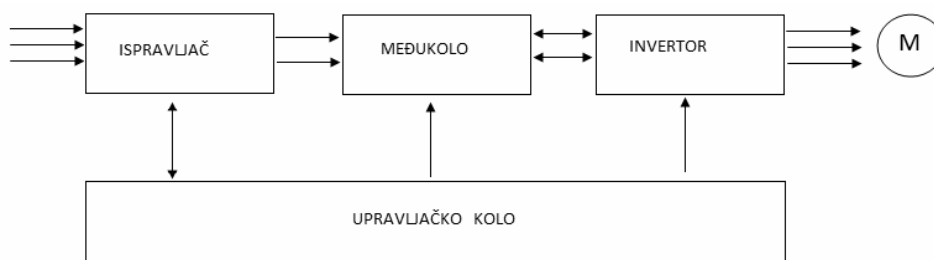
### *Vrste i sastavni dijelovi frekvencijskih regulatora*

Frekvencijski regulator za usklađivanje brzine obrtanja asinhronih motora istodobnom promjenom frekvencije i napona mogu biti:

a) izravni pretvarači (npr. ciklopretvarači, uglavnom za sporohodne EMP velikih snaga),

b) neizravni pretvarači (sa strujnim ili naponskim ulazom u izmjenjivač).

Neizravni frekventni pretvarač sastavljen je od sklopova, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3 – Sklopovi frekventnog pretvarača  
Figure 3 – Frequency converter circuits

**Ispravljač** (upravljivi ili neupravljivi) spaja izmjeničnu napojnu mrežu s istosmjernim međukrugom. Ulaz ispravljača priključuje se na jednofaznu ili trofaznu napojnu mrežu. Na izlazu ispravljača je pulzirajući valoviti istosmjerni napon. Ispravljači koji se ugrađuju u frekvencijske pretvarače sastavljeni su najčešće od dioda, tiristora ili od kombinacije dioda i tiristora. Neupravljivi ispravljači sastavljeni su isključivo od dioda, upravljivi od tiristora, a tzv. poluupravljivi ispravljači od kombinacije tiristora i dioda.

**Istosmjerno međukolo** služi za pohranu električne energije. Iz njega motor uzima električnu energiju preko izmjenjivača. Ovisno o rješenju ispravljača, može biti ili strujni ili naponski. Strujni je samo s promjenjivom strujom, a naponski ili s promjenjivim naponom (pretvara približno konstantan izlazni napon ispravljača u promjenjivi ulazni napon izmjenjivača) ili s konstantnim naponom (izlazni napon ispravljača filtrira i stabilizira, te dovodi izmjenjivaču).

**Invertor** spaja istosmjerni međukrug s izmjeničnim trošilom – motorom. Na izlazu izmjenjivača pojavljuje se jednofazni ili trofazni izmjenični napon. Svaka poluperioda izlaznoga izmjeničnog napona sastoji se od niza pravougljih

impulsa različite širine trajanja i različitih širina pauzi (ima tzv. češljasti valni oblik). Većina izmjenjivača pretvara konstantan ulazni napon u izmjenični napon, čiji je osnovni harmonik promjenjive amplitude i frekvencije. Izmjenjivač određuje frekvenciju izlaznog napona, a amplitude izlaznog napona može se usklađivati izmjenjivačem ili istosmjernim međukrugom. Frekvenciju izlaznog napona treba mijenjati tako da je omjer amplitude i frekvencije konstantan.

**Upravljačko kolo** šalje i prima signale iz ispravljača, međukola i invertora. Dijelovi regulatora koji se kontrolišu zavise od dizajna samog regulatora.

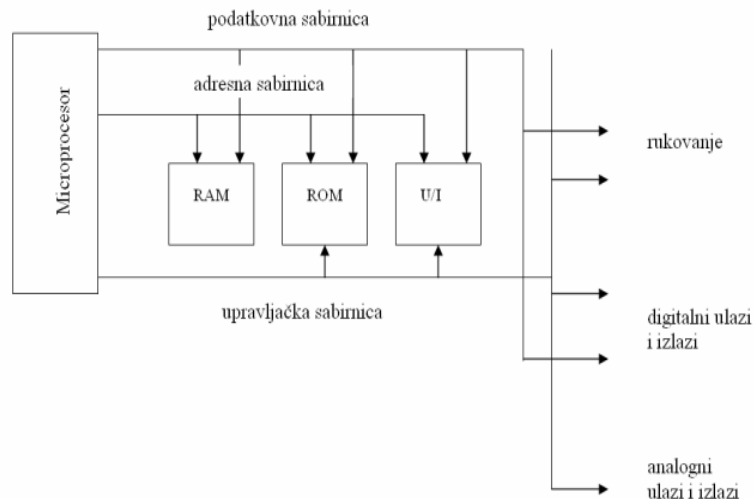
Upravljački elektronički sklop upravlja sklopovima frekvencijskog pretvarača, tj. dobija informacije iz ispravljača, istosmjernog međukruga i izmjenjivača, te u skladu sa unaprijed utvrđenom zakonitošću mijenjanja omjera napona i frekvencije šalje upravljačke impulse za uklapanje i isklapanje poluprovodničkih ventila. Upotreba mikroprocesora znatno je proširila područje primjene izmjeničnih elektromotornih pogona. Upravljački sklopovi sa mikroprocesorima su brži, jer se pohranjivanjem sklopnog rasporeda smanjio broj nužnih proračuna. Omogućili su ugradnju procesorske jedinice u frekventni pretvarač i određivanje optimalnog sklopnog rasporeda za svako radno stanje pogona, tj. omogućili su obradu puno veće količine podataka od analognih sklopova.

Računar frekvencijskog pretvarača

Osim mikroprocesora, računar se sastoji od tri osnovne jedinice. To su:

- RAM (radna memorija),
- ROM (memorija za čitanje),
- I / O (ulazno-izlazna jedinica).

Svaka od tih triju jedinica ima posebnu zadaću (slika 4) (Benčić, 2009).



Slika 4 – Računar frekventnog pretvarača (Benčić, Z., 2009)

Figure 4 – Frequency converter computer

Mikroprocesor je središnji dio računara koji u skladu sa programom upravlja i drugim sklopovima. U memoriji računara (EPROM-u) pohranjeni su program i podaci. RAM je memorija iz koje mikroprocesor očitava podatke i u koju upisuje podatke uz vrlo kratko vrijeme pristupa. RAM gubi podatke nakon nestanka napajanja. Nakon povratka napajanja informacijski sadržaj je nedefinisan. Ulazno-izlazna jedinica koja se označava kao I/O sadrži ulaze i izlaze koji su potrebni računaru za komunikaciju. To mogu biti priključci na upravljačku ploču, pisače ili koje druge elektroničke uređaje.

Sabirnice su paralelni vodiči koji spajaju jedinice u računaru. Podatkovna sabirnica prenosi podatke između jedinica. Adresna sabirnica adresom označuje odakle treba uzeti podatke i gdje ih spremiti. Upravljačka sabirnica nadzire redoslijed prijenosa podataka. Postoji nekoliko vrsta komunikacija kod frekventnih pretvarača, i to:

- standardna upravljačka priključna letvica s digitalnim i analognim ulazima i izlazima,
- upravljačka ploča s pokazivačem i tipkama,
- serijski interfejs za uslužne, dijagnostičke i upravljačke funkcije.

## Način zadavanja brzine vrtnje frekventnih pretvarača

Upravljačka ploča s pokazivačem i tipkama ugrađena je u gotovo svaki digitalizovani frekventni pretvarač. Kod upravljačkih stezaljki za n veza s upravljačkom letvicom potrebno je najmanje  $n+1$  podatkovnih vodiča. To znači da minimalni broj vodiča ovisi o željenom broju funkcija, a maksimalni o broju stezaljki. Pojedine stezaljke mogu se programirati za različite funkcije ili se mogu čak isključiti. Upravljačka ploča omogućuje nadzor nad frekventnim pretvaračem, npr. za dijagnozu kvarova, kao što je prekid žice ili nestanak upravljačkog signala.

Trenutak uključanja i željena (potrebna) vrijednost može se zadati na više načina:

- preko upravljačke ploče pokretanje start i stop tipkom; frekvencija (brzina) zadana tipkama,
- preko upravljačkih stezaljki (letvica s prograbilnim ulazima/izlazima) start i stop zadani su zatvaranjem kontakta spojenog na odgovarajuće stezaljke; frekvencija (brzina) zadana analognim signalom; potenciometrom ili analognim signalom iz procesa, PLC-a ili direktno mjerača analogne vrijednosti,
- preko komunikacionog interfejsa.

## Odabir i programiranje frekventnog pretvarača

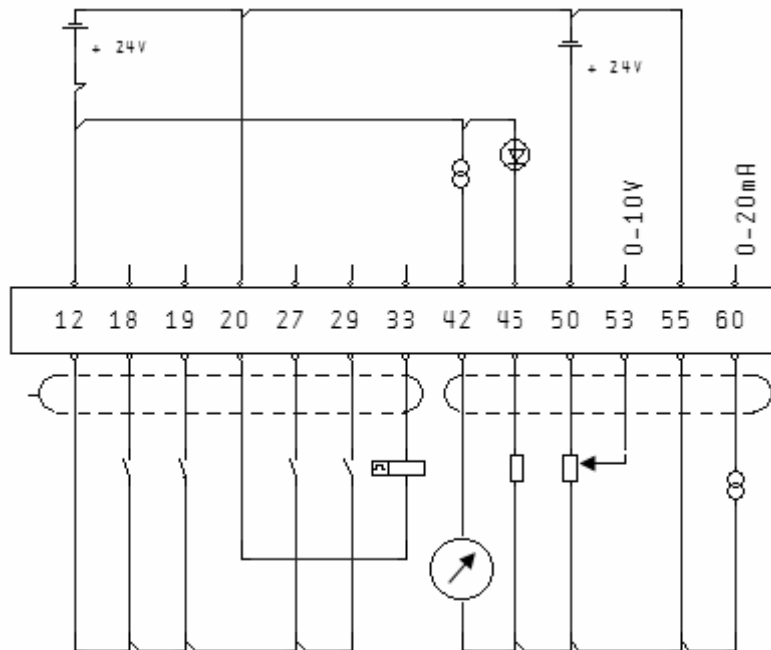
Frekventni pretvarač za elektromotorni pogon za proizvodnju zraka bira se na temelju natpisne pločice asinhronog motora.

Nazivna snaga motora: 7,5 kW, nazivna struja pri 3 x 400 V : 15.1 A, stupanj zaštite: IP 20 / IP 54.

Regulacija: po brzini.

Odabran je frekventni pretvarač proizvođača Danfoss, fabričke oznake VLT 2875 ST.

Korišteni parametri kod programiranja frekventnog pretvarača su digitalni ulazi 18 i 27, kao što je prikazano na slici 5 (Upute za rukovanje frekventnim pretvaračima, 2003), a digitalni izlazi, odnosno kontakti releja 01-02 (normalno otvoreni kontakti) iskorišteni su za prikaz alarma u slučaju greške na frekventnom pretvaraču.



Slika 5 – Priključnice za spajanje digitalnih i analognih ulaza  
Figure 5 – Jacks for connecting digital and analog inputs

Postepeno puštanje motora 1 u rad programirano je korištenjem kombinacije digitalnih ulaza 18 i 27, tako da je digitalni ulaz 18 parametar 302 namješten na vrijednost 23, fiksna referenca "msb", dok je digitalni ulaz 27, parametar 304 namješten na vrijednost 22, fiksna referenca "lsb"



(prema literaturi 7), koje omogućuju odabir jedne od unaprijed prikladnih referenci. Kombinacija njihovih stanja 0 i 1 omogućuju rad motora na 40%, 60%, 80% i 100% radne snage. Takođe je potrebno podesiti parametra 215 na 40%, 216 na 60%, 217 na 80% i 218 na 100%, jer su oni čvrste reference 1, 2, 3 i 4 (m, 2010).

## Prednosti upravljanja postrojenjem preko frekventnog pretvarača

### *Nadzor*

Frekventni pretvarači mogu nadzirati proces kojim upravljaju i mogu intervenirati u slučaju poremećaja. Nadzor se može podijeliti na tri kategorije:

- nadzor nad elektromotornim pogonom,
- nadzor nad motorom,
- nadzor nad frekventnim pretvaračem.

Nadzor nad elektromotornim pogonom zasniva se na izlaznoj frekvenciji, izlaznoj struji i momentu tereta. Polazeći od tih veličina, može se postaviti niz ograničenja na upravljanje. Ta su ograničenja npr. najmanja dopuštena brzina vrtnje motora (ograničenje najmanje izlazne frekvencije), najveća dopuštena struja motora (ograničenje izlazne struje) ili najveći dopušteni moment motora (ograničenje momenta). Ako se prekorače ta ograničenja, pretvarač se može programirati tako da daje upozoravajući signal da smanji brzinu obrtanja motora ili da zaustavi motor što je prije moguće. Nadzor nad motorom zasniva se ili na proračunu zagrijavanja motora mijenjanjem strujnog opterećenja ili na mjerenju temperature motora putem ugrađenog termistora. Analogno termičkoj sklopki, frekventni pretvarač sprečava preopterećenje motora strujnim ograničenjem. Time je postignuto da motor s vlastitom ventilacijom (ventilator je na osovini motora) nije preopterećen pri malim brzinama obrtanja na kojima je hlađenje smanjeno. Ako mjeri temperaturu motora (ugrađen senzor u motor), frekventni pretvarač strujnim ograničenjem štiti od preopterećenja i motore sa stranom ventilacijom (ventilator vrti poseban motor). Nadzor nad frekventnim pretvaračem zasniva se na isključenju pretvarača u slučaju prevelike struje, ispada jedne faze, kratkog spoja, oštećenja nekog elementa unutar pretvarača, previsokog ili preniskog napona istosmjernog međukruga i dr. Neki frekventni pretvarači dopuštaju kratkotrajno strujno preopterećenje. Maksimalna moguća opteretivost pretvarača može se postići uporabom mikroprocesora koji računa ukupni učinak povećane struje motora s obzirom na trajanje i iznos tog povećanja.

## Poboljšanja

Frekventni pretvarači omogućuju uštedu električne energije tako da u svakom trenutku brzinu obrtanja motora prilagode zahtjevima elektromotornog pogona. To znači da u EMP-u za proizvodnju zraka više neće proizvoditi „višak“ zraka koji bi se ispuštao izvan sistema. Pomoću frekventnog pretvarača proizvodit će se tačno onoliko zraka u sistemu koliko će za normalan rad zahtijevati priključeni broj potrošača na sistem.

Frekventni pretvarači omogućuju tzv. meko pokretanje i zaustavljanje motora, čime se izbjegavaju nepotrebni udari i utjecaji na mehaničke dijelove postrojenja. Prilikom uključanja jednog trošila na sistem uključuje se motor 1 s 40% snage, zatim prema zahtjevu za većom količinom zraka na 60% i tako do 200% snage s oba uključena motora. Kod postepenog isključenja potrošača postepeno pada i snaga motora na 180% i tako dalje do 40% nazivne snage motora 1 i samog isključenja EMP-a. U sadašnjoj izvedbi motor 1 i motor 2 uključuju se i isključuju direktno s punom snagom od 7,5 kW. Frekventni pretvarači traže minimalno održavanje i produžavaju životni vijek postrojenja. Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinhroni motor uzima iz mreže struju 5–7 puta veću od nazivne. Ta velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog utjecaja na mrežu prilikom uklopa, jaka potezna struja asinhronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora i to naročito kaveza rotora. To uveliko skraćuje vijek trajanja asinhronog motora, a time izaziva i velike troškove održavanja postrojenja.

## Zaključak

Kroz opisani elektromotorni pogon za proizvodnju zraka za profesionalnu upotrebu u industriji, gdje se kod postojećeg sistema asinhroni motor direktno uklapa na mrežu, spomenuti su nedostaci ovakvog pokretanja motora.

Opisan je rad frekventnih pretvarača i prednosti njihove ugradnje, te novog načina upravljanja EMP-om.

Proučavanjem rada spomenutog EMP-a koji naizgled radi ispravno, utvrđeno je da prosječno troši oko 50% više električne energije nego što je potrebno. Stoga se analiziralo kako se rekonstrukcijom već ugrađenih, ali pomalo zastarjelih postrojenja, mogu smanjiti gubici koje ona stvaraju. Njihovom modernizacijom produžit će se vijek trajanja uz minimalna ulaganja, a rok povrata uloženi sredstava bit će kratak.

## Literatura

- Benčić, Z., 2009, Najvažnije o frekventnim pretvaračima, Zagreb.
- SIEMENS S7-200 i LOGO materijali za učenje, 2007, Veleučilište u Varaždinu: Varaždin, [Internet], Dostupno na: [www.limovod.hr](http://www.limovod.hr), preuzeto: 25. 12. 2012.
- Siemens LOGO! Manual, 2011, Siemens AG, Germany.
- Upute za rukovanje frekventnim pretvaračem serije VLT 2800, Danfoss, 2003.
- Uputstvo za upotrebu i montažu opreme za proizvodnju zraka za profesionalnu upotrebu u industriji.  
[www.danfoss.com](http://www.danfoss.com), 2010.  
[www.fer.hr](http://www.fer.hr), 2010.  
[www.hep.hr](http://www.hep.hr), 2010.

### MODERNIZATION OF THE PLANT – CONTROL OF THE COMPRESSOR MOTOR SPEED

FIELD: Electrical Engineering  
 ARTICLE TYPE: Professional Paper

#### Summary:

*This paper describes the modernization by installing frequency converters, their features and benefits as well as the disadvantages of the existing solutions and the advantages of the upgraded status. The existing state was such that the motors were switched on through the contactor and were always working at full capacity. In the new solution, one motor will be switched on through frequency converters, thus working with a particular intensity, depending on the need. This will bring savings in power consumption as well as in the maintenance.*

#### Introduction

*Modernization of the equipment using frequency converters will be discussed on the electric motor drive (EMP) for the air production for professional use in the industry.*

Description of the existing systems and the procedures provided for modernization

*The air production system consists of two three-phase asynchronous motors of 7.5 kW driving the air production turbine. Given the fact that the motors are driven directly (one contactor), this represents the involvement of either only 50% or 100% of the air production capacity. For a finer air control, relief valves are used. Installing a frequency converter could result in regulating the amount of air produced and there would be no loss to the relief valve.*

*Under the proposed solution for controlling compressor motors, one motor would remain attached to the direct start while the other would be controlled via the frequency converter.*

#### Characteristics of frequency converters

*To change the speed of asynchronous motors, we use the special electronic power devices, so-called frequency regulators that are connected between the electric motor and the electric grid. Frequency regulators convert voltage of constant amount and frequency of the electric grid into a variable amount of voltage and frequency. They change the rotational speed of asynchronous motors depending on a required technological process.*

*Frequency controllers for harmonizing the rotary speed induction motors simultaneously changing the frequency and voltage can be:*

- a) direct converters*
- b) indirect converters*

*Indirect frequency converters consist of the following components:*

- rectifiers,*
- direct current links,*
- inverters,*
- steering wheels.*

#### Method of setting the speed of frequency converters

*An instant connection and a preferred (required) value can be defined in several ways:*

- the control panel start, start and stop button; the frequency (speed) using the default*
- via: the control terminals (lattices with programmable inputs / outputs), start and stop are defined by closing the contact connected to the correct terminals; frequency (speed) of the default analog signal; potentiometer or an analog signal from the process, PLC or the direct gauge of the analog value*
- via the communication interface.*

#### Selecting and programming frequency converters

*Frequency converters for air production for electric plants are selected on the basis of the asynchronous motor nameplate, so we chose Danfoss frequency converter manufacturers, trademark VLT 2875 ST. When programming the frequency converter, we used digital inputs 18 and 27 and the digital outputs are used to display the alarm in case of failure of this drive.*

#### Benefits of plant control via frequency converters

##### Monitoring

*Frequency converters can monitor and manage the process that can intervene in case of disturbances. Monitoring can be divided into three categories:*

- *supervision of Electric Drives*
- *motor monitoring*
- *supervision of the frequency converter*

#### Improvements

*Frequency regulators save electric power so that at all times the speed of motor rotation conforms to the electrical drive. Frequency converters help producing exactly as much air in the system as required for a normal operation depending on a number of consumers connected to the system.*

#### Conclusion

*By examining the operation of the EMP which seemingly worked correctly, it was found that it was using about 50% more electricity than needed. It has been established that the installation of frequency controllers reduce losses, extend the service life with minimal investment and the return on investment is short.*

*Key words: plant, modernization, frequency converter, converters, compressor*

Datum prijema članka/Paper received on: 22. 02. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 25. 03. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 27. 03. 2013.