

MODERNIZACIJA POSTROJENJA UGRADNJOM FREKVENTNIH PRETVARAČA

Srpak D.¹, Stanković I.¹ Huđek J.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: U članku je opisan način rada postrojenja Aertecnica, predložene izmjene ugradnjom frekvencijskog pretvarača, te su opisane njegove karakteristike i prednosti. Na kraju su izračunati godišnji troškovi potrošnje električne energije za EMP bez ugrađenog frekvencijskog pretvarača, izračunati su troškovi ugradnje frekvencijskog pretvarača i ostalih potrebnih elemenata. Izračunat je i rok povrata sredstava kroz uštede na održavanju i štednji električne energije.

Gljučne riječi: Elektromotorni pogon (EMP), frekventni pretvarač, zadavanje parametara

Abstract: The article describes how plant Aertecnica works, presents the changes proposed by installing the frequency inverter, and describes the characteristics and advantages of the drive. Finally, there is the calculation of annual cost of electricity consumption for the EMP without the built-in frequency inverter, the cost calculation of installation of the frequency inverter and other necessary elements, and the calculated time of the return of funds through savings on maintenance and conservation of electricity.

Key words: Electric motor drive (EMP), frequency inverter, making the parameters

1. 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 el. energije i dr. No to nije razlog da industrijska postrojenja koja su već ugrađena u tvornicama starosti desetak, dvadeset i više godina treba nužno zamijeniti novima i modernijima. Njih se može modernizirati uz odgovarajuće statistike isplativosti u kojima su detaljno spomenuti troškovi ulaganja, te je izračunat rok povrata uloženi sredstava. Kod modernizacije 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 modernizirati u što kraćem vremenu. Konkretnan slučaj na kojem će biti analizirana modernizacija postrojenja zamjenom direktnog pokretanja s pokretanjem i upravljanjem pomoću frekventnog pretvarača je elektromotorni pogon (EMP)

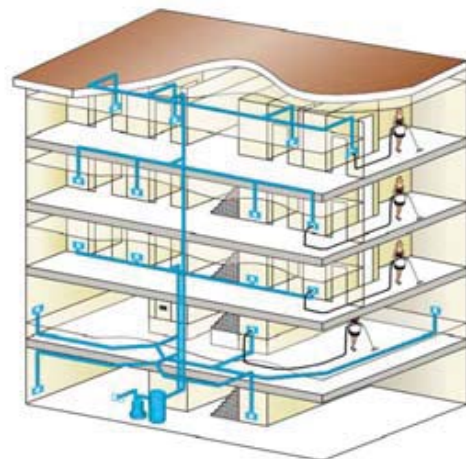
za proizvodnju kućnog vakuuma za profesionalnu upotrebu u industriji, talijanskog proizvođača Aertecnica. On je proizveden 1998. godine i instaliran je u tvornici krutih lijekova Belupo d.d. Koprivnica.

2. OPIS POSTOJEĆEG SISTEMA I PREDVIĐENOG ZAHVATA MODERNIZACIJE

Sistem prikazan na slici 1. sastoji se od dva trofazna asinkrona motora od 7.5 kW koji pogone turbine za proizvodnju podtlaka u sustavu, spojenih prema shemi (slika 2.). Otvaranjem jedne od priključnica, uključuje se motor 1 koji zadovoljava proizvodnju vakuuma za tri trošila, dok se priključenjem četvrtog uključuje drugi motor i oni u paralelnom radu zadovoljavaju proizvodnju vakuuma za šest priključenih trošila.

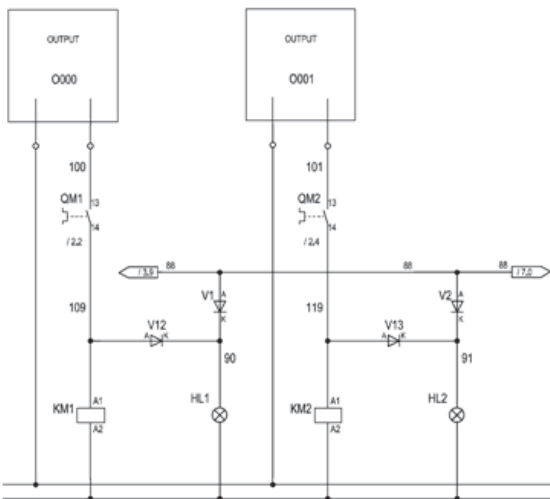
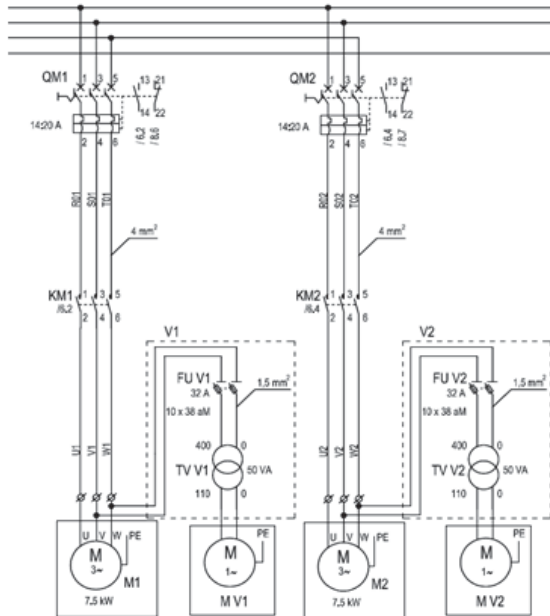
Nalog za uključenje ili isključenje drugog motora proizlazi iz mjerenja podtlaka u sustavu. S obzirom na to da su motori pokretani direktno (jednim sklopnikom), moguće je uključenje samo 50% ili 100% kapaciteta proizvodnje vakuuma. Za finiju regulaciju podtlaka koriste se rasteretni ventili.

Nakon ugradnje frekventnih pretvarača mogla bi se promjenom frekvencije regulirati količina proizvedenog podtlaka i ne bi bilo gubitaka na rasteretnom ventilu. Ugradnja dva frekventna pretvarača s kontinuiranim promjenama frekvencije bila bi veća investicija. Sva potrebna oprema bila bi nova, pa bi trebalo i dulje vrijeme za povrat sredstava kroz uštede (u održavanju, električnoj energiji itd.).



Slika 1. Mreža cjevovoda s priključnicama i središnjim sistemom ^[4]

Ugradnjom jednog frekventnog pretvarača sa skokovitom promjenom frekvencije (shema na slici 3.), što se može ostvariti s manje zahvata u postojeći sistem upravljanja, mogu se postići značajne uštede. Iz električnih shema na slici 2. vidi se da se sklopnici motora kompresora uključuju direktno nakon naredbe iz PLC-a, jedan ili oba, ovisno o mjeranju podtlaka u cjevovodu (ovisno o broju mjesta na kojima su priključeni potrošači).



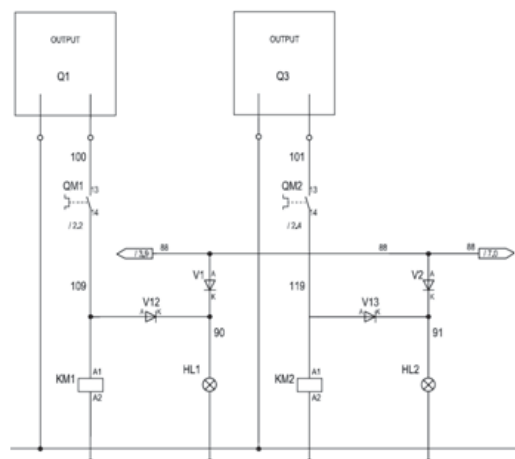
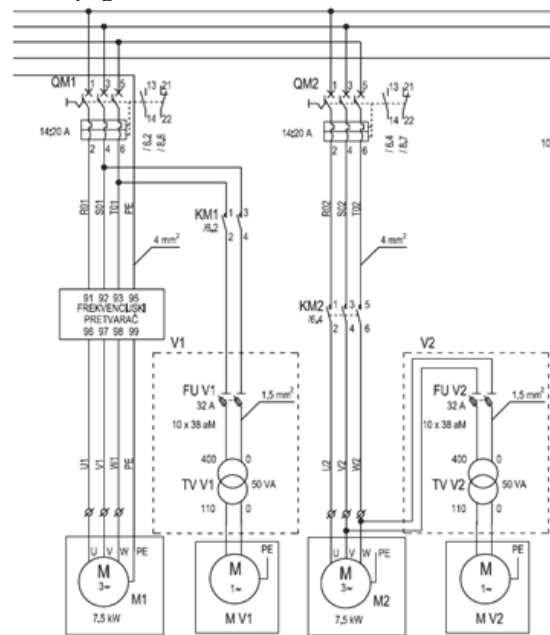
Slika 2. Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zrara i pripadajućih ventilatora – postojeće stanje [1]

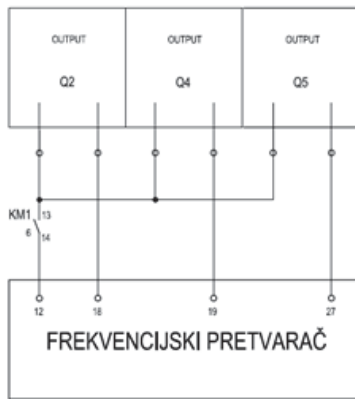
Prema prijedlogu novog rješenja upravljanja motorima kompresora, jedan motor bi i dalje ostao spojen za direktni start, dok bi se drugim upravljalo preko frekventnog pretvarača. Time bi uz pomoć tri izlaza iz PLC-a bilo ostvarivo 8 različitih stupnjeva ukupne snage, s tim da bi se kombinacijom programabilnih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

Tablica 1. Kombinacije vrijednosti izlaza iz PLC-a za dobivanje tražene snage motora

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 zastoj 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 modernizirano (izmijenjeno) postrojenje pustilo u pogon u vrlo kratkom vremenu.





Slika 3. Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zrara i ventilatora – novo stanje

3. KARAKTERISTIKE FREKVENCIJSKIH PRETVARAČA

3.1. Svrha frekvencijskih pretvarača

Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinkroni 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 utjecaja na mrežu prilikom uklopa, potezna struja asinkronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora i to naročito kaveza rotora. To je i razlog zbog kojeg je broj zaleta (ili reverziranja) asinkronog motora direktno spojenog na mrežu ograničen u nekom vremenskom intervalu, jer u protivnom može doći do oštećenja motora. [5]

Potezna struja može se smanjiti na nekoliko načina: korištenjem preklapke zvijezda-trokut, korištenjem soft-start uređaja ili pretvarača napona i frekvencije. [5]

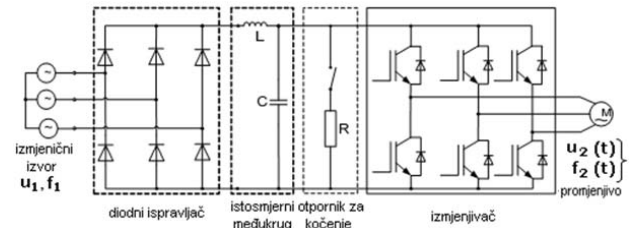
Osim potrebe za smanjenjem struje kod pokretanja, u elektromotornim pogonima često treba i mijenjati brzinu vrtnje elektromotora. Način promjene brzine vrtnje elektromotora određen je zahtjevima tehnološkog procesa. Za promjenu brzine vrtnje asinkronih elektromotora koriste se posebni uređaji energetske elektronike, tzv. frekvencijski pretvarači koji se spajaju između elektromotora i električne mreže. Frekvencijski pretvarači pretvaraju napon konstantnog iznosa i frekvencije električne mreže u napon promjenjivog iznosa i frekvencije. On mijenja brzinu vrtnje asinkronog elektromotora na način koji zahtijeva tehnološki proces.

3.2. Vrste i sastavni dijelovi frekvencijskih pretvarača

Frekvencijski pretvarači za usklađivanje brzine vrtnje asinkronih motora istodobnom promjenom frekvencije i napona mogu biti:

- izravni pretvarači (npr. ciklopretvarači, uglavnom za sporohodne EMP velikih snaga)
- neizravni pretvarači (sa strujnim ili naponskim ulazom u izmjenjivač).

Neizravni frekvencijski pretvarač sastavljen je od sljedećih sklopova (slika 4.):



Slika 4. Sklopovi frekvencijskog pretvarača

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.

Istosmjerni međukrug 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).

Otpornik za kočenje ugrađen je u sustav radi preuzimanja viška energije kočenja u obliku topline. Priključivanje kočionog otpornika omogućuje viši napon istosmjernog međukruga tijekom kočenja.

Izmjenjivač 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 pravokutnih 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 amplituda izlaznog napona može se usklađivati izmjenjivačem ili istosmjernim međukrugom.

Frekvenciju izlaznog napona treba mijenjati tako da je omjer amplitude i frekvencije konstantan.

Upravljački elektronički sklop upravlja sklopovima frekvencijskog pretvarača, tj. dobiva informacije iz ispravljača, istosmjernog međukruga i izmjenjivača te u skladu s unaprijed utvrđenom zakonitošću mijenjanja omjera napona i frekvencije šalje upravljačke impulse za uklapanje i isklapanje poluvodičkih ventila.

Upotreba mikroprocesora znatno je proširila područje primjene izmjeničnih elektromotornih pogona. Upravljački sklopovi s mikroprocesorima postali su brži

jer se pohranjivanjem sklopnog rasporeda smanjio broj nužnih izračuna.

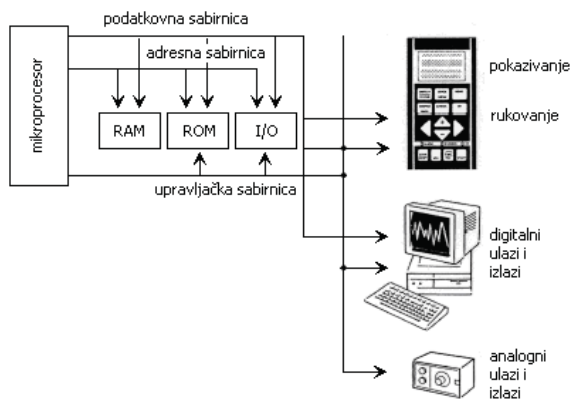
Omogućili su ugradnju procesorske jedinice u frekvencijski pretvarač i određivanje optimalnoga sklopnog rasporeda za svako radno stanje pogona, tj. omogućili su obradu puno veće količine podataka od analognih sklopova.

Računalo frekvencijskog pretvarača

Osim mikroprocesora, računalo se sastoji od tri osnovne jedinice:

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

Svaka od tih triju jedinica ima posebnu zadaću (slika 5.).



Slika 5. Računalo frekvencijskog pretvarača [2]

Mikroprocesor je središnji dio računala koji u skladu s programom upravlja i drugim sklopovima. U memoriji računala (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 je sadržaj nedefiniran. Ulazno-izlazna jedinica koja se označava kao I/O sadrži ulaze i izlaze koji su potrebni računalu za komunikaciju. To mogu biti priključci na upravljačku ploču, pisače ili koje druge elektroničke uređaje.

Sabirnice su paralelni vodiči koji spajaju jedinice u računalo.

Podatkovna sabirnica prenosi podatke između jedinica.

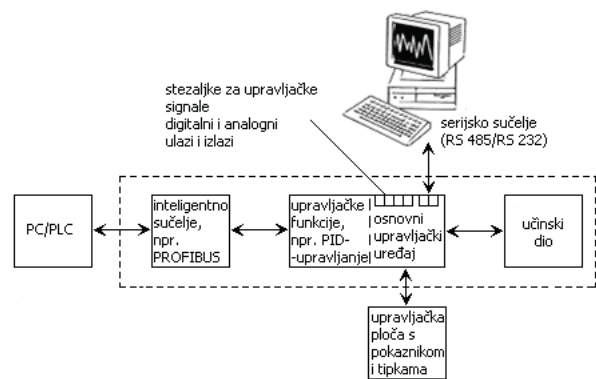
Adresna sabirnica adresom označuje odakle treba uzeti podatke i kamo ih spremiti.

Upravljačka sabirnica nadzire redosljed prijenosa podataka.

3.3. Vrste komunikacija frekvencijskih pretvarača

Digitalizirani frekvencijski pretvarači mogu razmjenjivati podatke s vanjskim uređajima upotrebom triju sučelja (slika 6.):

- standardnom upravljačkom priključnom letvicom s digitalnim i analognim ulazima i izlazima
- upravljačkom pločom s pokaznikom i tipkama
- serijskim sučeljem za uslužne, dijagnostičke i upravljačke funkcije



Slika 6. Osnovna koncepcija komunikacije kod frekvencijskog pretvarača [2]

Ovisno o primjeni, komunikacija se može dopuniti inteligentnim serijskim sučeljem za uobičajene industrijske sabirnice, kao što je npr. PROFIBUS.

3.4. Način zadavanja brzine vrtnje frekvencijskih pretvarača

Upravljačka ploča s pokaznikom i tipkama ugrađena je u gotovo svaki digitalizirani frekvencijski 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 frekvencijskim 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) analognim signalom; potencijetrom ili analognim signalom iz procesa, PLC-a ili direktno s mjerača analogne vrijednosti
- preko komunikacijskog sučelja.

4. ODABIR I PROGRAMIRANJE FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA

Frekvencijski pretvarač za elektromotorni pogon za proizvodnju kućnog vakuuma odabire se na temelju natpisne pločice asinkronog motora.

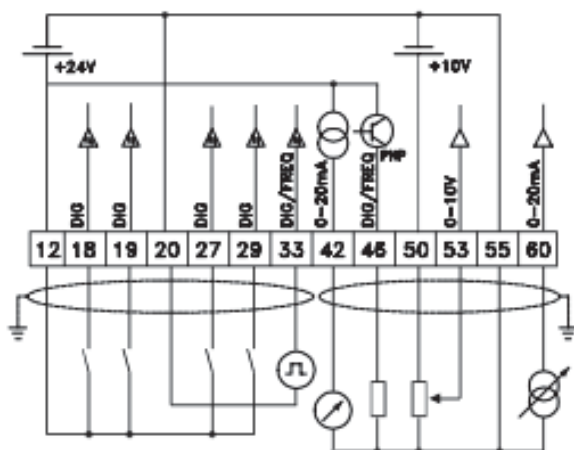
Nazivna snaga motora: 7,5 kW
 Nazivna struja pri 3 x 400 V : 15,1 A
 Stupanj zaštite: IP 20 / IP 54
 Regulacija: po brzini

Odabran je frekvencijski pretvarač proizvođača Danfoss, tvorničke oznake VLT 2875 ST (slika 7.).



Slika 7. Frekvencijski pretvarač VLT 2875 ST [6]

Korišteni parametri kod programiranja frekvencijskog pretvarača su digitalni ulazi 18 i 27, prema slici 8., a digitalni izlazi, odnosno kontakti releja 01-02 (normalno otvoreni kontakti) iskorišteni su za prikaz alarma u slučaju greške na frekvencijskom pretvaraču.



Slika 8. Priključnice za spajanje digitalnih i analognih ulaza [7]

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 prema tablici 2. omogućuju rad motora na 40 %, 60 %, 80% i 100% radne snage.

Također je potrebno podesiti parametere 215 na 40 %, 216 na 60 %, 217 na 80 % i 218 na 100%, jer su oni čvrste reference 1, 2, 3 i 4.

Tablica 2. Kombinacije uključenosti ulaza za dobivanje namještenih referenci 1, 2, 3 i 4

Fiksna ref. msb	Fiksna ref. lsb	Funkcija (radna snaga)
0	0	Podušena ref. 1 - 40 % (parametar 215)
0	1	Podušena ref. 2 - 60 % (parametar 216)
1	0	Podušena ref. 3 - 80 % (parametar 217)
1	1	Podušena ref. 4 - 100 % (parametar 218)

5. PREDNOSTI UPRAVLJANJA POSTROJENJEM PREKO FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA

5.1. Nadzor

Frekvencijski 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 frekvencijskim 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 vrtnje 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, frekvencijski pretvarač sprečava preopterećenje motora strujnim ograničenjem. Time je postignuto da motor s vlastitom ventilacijom (ventilator je na osovini motora) nije preopterećen pri malim brzinama vrtnje na kojima je hlađenje smanjeno. Ako mjeri temperaturu motora (ugrađen senzor u motor), frekvencijski pretvarač strujnim ograničenjem štiti od preopterećenja i motore sa stranom ventilacijom (ventilator vrti poseban motor).

Nadzor nad frekvencijskim pretvaračem zasniva se na isključenju pretvarača u slučaju prevelike struje, ispada jedne faze, zemljospoja, oštećenja nekog elementa unutar pretvarača, previsokog ili preniskog napona istosmjernog međukruga i dr. Neki frekvencijski 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.

5.2. Ušteda

Izračun godišnje potrošnje el. energije rađen je tako da su se kroz 30 radnih dana očitavali radni sati za svaki asinkroni motor zasebno s brojanika postavljenih na vanjskoj strani elektropovlačkog ormara. Na temelju tih podataka napravljen je najprije izračun potrošnje el. energije na mjesečnoj razini, a zatim i na godišnjoj.

Procjena godišnjeg utroška električne energije prema tome iznosi:

$$W_g = W_{mj} \cdot 12 = 1834.6 \cdot 12 = 22015.2 \text{ kWh}$$

Cijena 1 kWh električne energije za industriju (uzeto s internet stranica HEP-a) iznosi: $p = 0.45 \text{ kn}$.

Procjena godišnje potrošnje el. energije iznosi:

$$p_g = p \cdot W_g = 0.45 \cdot 22015.2 = 9906.84 \text{ kn}$$

Ukupna cijena elemenata za ugradnju je oko 7783 kn (bez PDV-a), a samu ugradnju i programiranje može obaviti osoblje pogonskog održavanja.

Frekvencijski pretvarači omogućuju uštedu električne energije tako da u svakom trenutku brzinu vrtnje motora prilagode zahtjevima elektromotornog pogona. To znači da u EMP-u za proizvodnju kućnog vakuuma više neće proizvoditi „višak“ vakuuma koji bi se preko rasteretnih ventila ispuštao izvan sistema. Pomoću frekvencijskog pretvarača proizvodit će se točno onoliko vakuuma u sistemu koliko će za normalan rad zahtijevati priključeni broj potrošača na sistem.

Kako je anketom utvrđeno da u prosjeku sistem istodobno koristi 1 do 2 potrošača, procjena je da će u to vrijeme raditi samo motor 1 i to do 80 % snage, što je ušteda potrošnje električne energije u odnosu na sadašnju izvedbu EMP-a više od 50 %.

5.3. Ravnomjerniji rad motora

Frekvencijski pretvarači omogućuju tzv. meko pokretanje i zaustavljanje motora, čime se izbjegavaju nepotrebni udari i utjecaji na mehaničke dijelove postrojenja. Prilikom uključivanja jednog trošila na sustav uključuje se motor 1 s 40 % snage, zatim prema zahtjevu za većim vakuumom 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.

5.4. Manji troškovi održavanja

Frekvencijski pretvarači traže minimalno održavanje. Produljuju životni vijek postrojenja. Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinkroni 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 asinkronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota

motora i to naročito kaveza rotora. To uvelike skraćuje vijek trajanja asinkronog motora, a time izaziva i velike troškove održavanja postrojenja.

Ugradnjom frekvencijskog pretvarača u EMP za proizvodnju kućnog vakuuma u tvornicu krutih lijekova Belupo d.d. Koprivnica, postigle bi se dugoročne uštede u održavanju postrojenja, produljio bi se životni vijek postrojenja, a dodatnom kontrolom i zahvatima na postrojenju potrošnja električne energije mogla bi se smanjiti i više od 50 %.

To znači da bi novi smanjeni troškovi, u odnosu na dosadašnje (oko 9906.84 kn za potrošenu el. energiju godišnje, kao i veći troškovi održavanja i popravaka), mogli vratiti investiciju za približno 2 do 3 godine.

6. ZAKLJUČAK

Kroz opisani elektromotorni pogon za proizvodnju kućnog vakuuma za profesionalnu upotrebu u industriji, gdje se kod postojećeg sustava asinkroni motor direktno uklapa na mrežu, spomenuti su nedostaci ovakvog pokretanja motora.

Uz opis rada frekvencijskih pretvarača i prednosti njihove ugradnje te novog načina upravljanja EMP-om, izračunat je mogući rok povrata uloženi sredstava u rekonstrukciju ovog postrojenja.

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, uz prethodnu analizu isplativosti, produžit će se vijek trajanja uz minimalna ulaganja, a rok povrata uloženi sredstava bit će kratak.

7. LITERATURA

- [1] Uputstvo za upotrebu i montažu opreme za proizvodnju kućnog vakuuma za profesionalnu upotrebu u industriji. Aertecnica, 1998.
- [2] Benčić, Z. Najvažnije o frekvencijskim pretvaračima. Zagreb, 2009.
- [3] SIEMENS S7-200 i LOGO : materijali za učenje. Veleučilište u Varaždinu : Varaždin, 2007.
- [4] www.limovod.hr, veljača 2010.
- [5] www.fer.hr, veljača 2010.
- [6] www.danfoss.com, ožujak 2010.
- [7] Upute za rukovanje frekvencijskim pretvaračem serije VLT 2800, Danfoss 2003.
- [8] www.automation.siemens.com, ožujak 2010.
- [9] Siemens LOGO! Manual, Siemens AG, Germany, 2009.
- [10] www.hep.hr, ožujak 2010.

Kontakt:

Dunja Srpak, dipl. ing.
Križanićeva 33, 42000 Varaždin
Tel: 098/821 891
dunja.srpak@velv.hr
istanovic9@gmail.com , josip.hudjek@velv.hr