

MARKO VICKO, dipl. ing.

SEVER IRE ERA

Subotica

**ŠTEDNJA ENERGIJE SA REGULISANIM NAIZMENIČNIM  
POGONIMA U ŠEĆERANAMA**

**ENERGY SAVING WITH VARIABLE SPEED AC DRIVES  
IN THE SUGAR INDUSTRY**

**SADRŽAJ**

U članku su prikazani principi primene ove novine, navedeno je nekoliko kriterijuma i dati su tipični primeri iz ove oblasti.

**ABSTRACT**

This article presents principles for the application of this development, lists several criteria for evaluation and is describing typical examples from our branch, also gives practical hints.

## 1. UVOD

U industriji proizvodnje šećera glavni faktor predstavlja energija. Zbog znatnog povećanja cene primene energije u svetu se ulažu veliki naponi da se uštedi gorivo. U cilju iskorišćenja svih mogućnosti za štednju energije potrebno je razmotriti mogućnost smanjenja potrošnje energije koja se koristi u procesima kao i vraćanje prethodno neiskorišćene energije u proces.

Nasuprot većih investicionih ulaganja u regulisane pogone pumpi i ventilatora, elektromotori sa regulacijom brzine napajani pomoću invertora (pretvarača frekvencije) pokazali su se kao bolji od klasičnih sistema. Pošto je izlaz invertora promenljiv, tačno tolika energija se dovodi u sistem koliko je u datom momentu potrebno (ušteda energije iznosi 20 do 40%).

Danas se regulisani pogoni sa naizmničnom strujom mogu vrlo ekonomično koristiti.

## 2. Princip rada i troškovi regulisanog pogona naizmnične struje

## 2.1. Promena brzine obrtaja trofaznih naizmničnih motora na principu promene frekvencije, tipovi pretvarača i njihove karakteristike

Brzina obrtaja asinhronih motora definisana je sa brojem polova, frekvencijom statora i klizanjem

$$n = \frac{f_1 \times 60}{p} (1-s)$$

$n$  - brzina obrtaja rotora motora (ob/min)

$n_s$  - sinhrona brzina obrtaja obrtnog polja

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$p$  - broj pari polova

$f_1$  - frekvencija statora (Hz)

$s$  - klizanje

Promena brzine obrtaja sa malim gubicima se postiže samo kontinualnom varijacijom statorske frekvencije. Da bi motor imao konstantan moment do nominalne brzine magnetni fluks mašine mora biti konstantan, odnosno:

$$\phi \sim \frac{U_1}{f_1} = \text{kons}$$

$\phi$  - magnetni fluks

$U_1$  - napon statora menja se proporcionalno sa frekvencijom

Stoga, statički pretvarač frekvencije napajan iz mreže konstantnog napona i frekvencije na svom izlazu generiše trofazni naizmnični sistem promennjivog napona i frekvencije. Međutim, potrebno je obratiti pažnju na  $\frac{U}{f}$  odnos. Ako se podesi veći odnos  $\frac{U}{f}$  motor se zasiti i dolazi do pregrevanja (havarije) a sa manjim odnosom  $\frac{U}{f}$  smanjuje se moment motora.

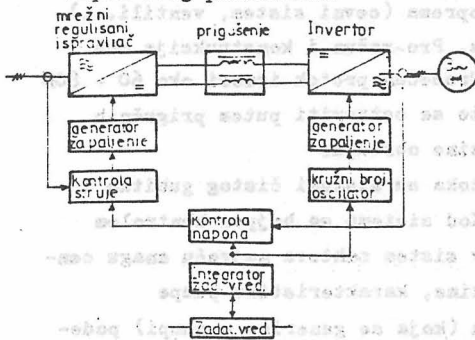
Za upravljanje brzinom obrtaja asinhronih motora sa pretvaračem frekvencije koriste se uglavnom dva različita sistema:

- invertori sa strujnim međukolom (I - pretvarači)
- invertori sa naponskim međukolom (U - pretvarači)

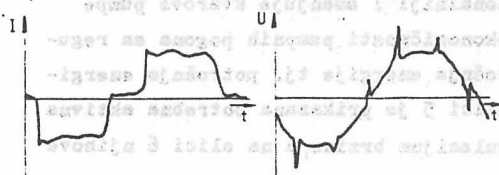
I - pretvarač se sastoji od dva pretvarača koji su povezani sa strujnim međukolom. Mrežnom vođeni strujni pretvarač (ispravljač) vrši podešavanje napona motora u zavisnosti od izlazne frekvencije, a samovodeći strujni pretvarač (inverter) omogućava stvaranje trofaznog obrtnog polja odnosno trofaznog izlaznog napona koji je proporcionalan sa frekvencijom. Najvažnija prednost I-pretvarača je: jednostavnost, dobra mogućnost iskorišćenja motora ( $\geq 96\%$ ), može se koristiti za četvorokvadrantni rad i omogućuje regenerativno kočenje bez gubitaka (na pr. za centrifugalne pumpe). Na slici 1 prikazan je blok dijagram ovog pretvarača a na sl. 2 njegove izlazne veličine.

U - pretvarač se obično sastoji od diodnog ispravljača za ispravljanje mrežnog napona, naponskog međukola (LC kolo za glačanje ispravljenog napona) i invertora sa impulsnom modulacijom. U zavisnosti od veličine, inverter se sastoji od tranzistora, tiristora sa zatvaranjem gejta (GTO) ili tiristora velike brzine. Ovakav pretvarač praktično uzima samo aktivnu snagu a ne i reaktivnu snagu iz napojnog sistema. Stepenn korisnog dejstva pri nominalnom opterećenju je 92 - 97%. S obzirom da izlazna struja ima skoro sinusni oblik dodatni gubici u motoru se mogu zanemariti. Ovakvi pretvarači se mogu primeniti kod jedno ili višemotornih pogona. Do nominalne snage invertora mogu se koristiti motori različitih karakteristika i polova.

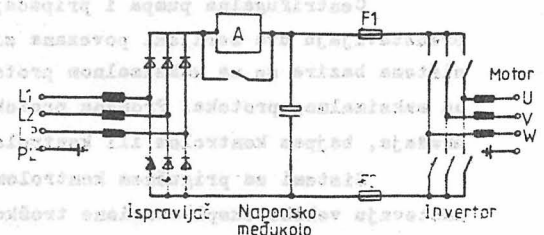
Na slici 3 prikazan je blok dijagram U-pretvarača, a na slici 4 izlazni napon ovog pretvarača.



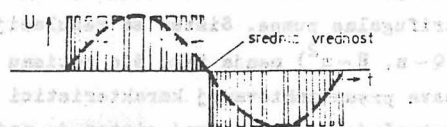
SI.1. Blok dijagram I-pretvarača



SI.2. Struja i napon motora jedne faze



SI.3 Blok dijagram U-pretvarača



SI.4 Izlazni napon sa impulsno širinskom modulacijom

## 2.2. Troškovi regulisanog pogona naizmenične struje

Opšti kriterijum za racionalno korišćenje pretvarača frekvencije (ukratko) odnosi se na poboljšanje kvaliteta proizvoda ili pojednostavljenje procesnih sistema.

Izuzetno važan faktor, posmatrajući sa aspekta rastućih zarada, predstavljaju troškovi eksploatacije koji uključuju troškove energije i troškove održavanja. Ako je jedini motiv štednja energije sa uvođenjem regulisanih pogona u tom slučaju je potrebno uzeti u obzir da specifični troškovi pretvarača naglo rastu sa padom nominalne snage motora. Procena stvarnog stanja elektromotornih pogona u tehnologiji šećera pokazala je da se oko 60% el. snage troši za rad pumpi i ventilatora. Međutim, ako su el. motori klasificirani prema količini i ukupnoj potrošnji snage, motori čija je nominalna snaga veća od 100kW obuhvata oko 15% od ukupne snage ali oni uzimaju oko 50% od ukupne struje motora izuzimajući centrifuge kao pogone. Odnosno, ako je cilj ušteda energije pomoću regulacije brzine, posebna pažnja se mora posvetiti ovoj grupi motora.

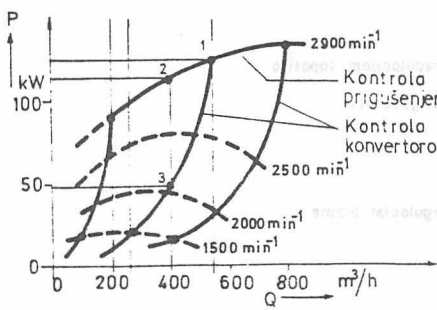
## 3. Štednja energije pomoću statičkih pretvarača frekvencije

### 3.1. Pogon pumpi

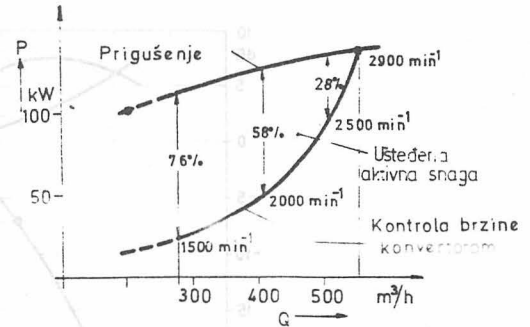
Znatne uštede energije se mogu postići kod pogona čija momentna karakteristika zavisi sa kvadratom brzine obrtaja ako se koriste motori sa regulacijom brzine umesto pogona konstantne brzine.

Centrifugalna pumpa i pripadajuća oprema (cevni sistem, ventili...) predstavljaju dva serijski povezana sistema. Pro-račun i konstrukcija oba sistema bazira se na maksimalnom protoku. Prosečan protok iznosi oko 60 + 80% od maksimalnog protoka. Promena protoka može se ostvariti putem prigušnih uređaja, bajpas kontrolom ili kontrolom brzine obrtaja.

Sistemi sa prigušnom kontrolom protoka su sistemi čistog gubitka i zahtevaju velike eksploatacione troškove. Kod sistema sa bajpas kontrolom deo protoka se vraća u usisnu granu i takav sistem zahteva najveću snagu centrifugalne pumpe. Sistem sa regulacijom brzine, karakteristiku pumpe ( $Q \sim n$ ,  $H \sim n^2$ ) menja tako što potisnu visinu (koja se generiše u pumpi) podešava prema zahtevanoj karakteristici cevovoda i željenog protoka. Sa aspekta potrošnje energije ovaj sistem je najracionalniji i smanjuje kvarove pumpe na najmanju moguću meru. Za ilustraciju ekonomičnosti pumpnih pogona sa regulacijom brzine koristi se specifična potrošnja energije tj. potrošnja energije po jedinici zapreminskog protoka. Na slici 5 je prikazana potrebna aktivna snaga pumpnog pogona sa prigušenjem i regulacijom brzine, a na slici 6 njihove uporedene potrošne snage.



SI.5 Potrebna aktivna snaga pumpnog pogona

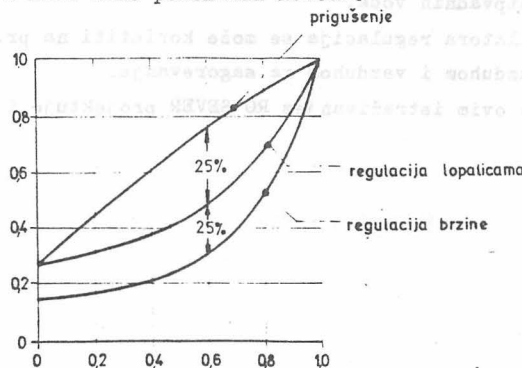


SI.6 Upoređenje potrošnje snage

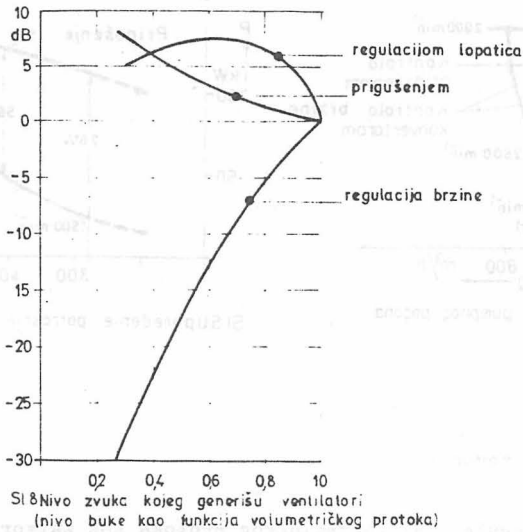
### 3.2. Ventilatorski pogon

Promena (regulacija) zapreminskog protoka kod zatvorenih i otvorenih ventilatorskih pogona može se izvršiti se prigušenjem, zakretanjem lopatica i regulacijom brzine.

Prigušenje na usisnoj ili potisnoj strani (zbog jednostavne konstrukcije) predstavlja najčešće korišćen tip regulacije zapreminskog protoka. U pogledu potrošnje energije ovo rešenje je veoma loše, pa ga treba koristiti tamo gde se zahteva mala snaga ili gde je potreban zapreminski protok u okviru nominalnog. Sistem podešavanja lopatica menja ukupne performanse ventilatora, ali je pogodniji u smislu uštede energije od metode prigušenja. Metoda regulacije brzine predstavlja najekonomičnije rešenje. Eliminira gubitke i nedostatke prethodne dve metode. Iz mehanike fluida je poznato da protok ( $Q$ ) zavisi linearno od broja obrtaja ( $n$ ), pritisak ( $\Delta p$ ) kvadratno, a potrebna aktivna snaga sa trećim stepenom broja obrtaja, te se sa ovom metodom postižu najveće uštede energije. Slika 7 pokazuje potrošnju aktivne snage sve tri metode, a slika 8 nivo buke pomenutih metoda.



SI.7. Upoređivanje potrošnje aktivne snage



#### 4. ZAKLJUČAK

Ušteda potrošnje energije u industriji šećera ogleda se u smanjenju količine pare i električne energije. Posledan problem se javlja sa instaliranjem dodatnih potrošača električne energije (na pr. niskotemperaturne sušilice i kompresori pare). Pošto je smanjenje potrošnje pare parne turbine povezano sa većim investicionim troškovima, treba tražiti alternativna rešenja pomoću kojih bi se štedela električna energija i pri manjim količinama pare. Jedna mogućnost uštede energije je prikazana u obliku regulisanih pogona naizmenične struje.

Najčešće se preporučuje primena pretvarača frekvencije za regulisane pogone napojnih pumpi, pumpi za šećernu repu, pumpi za proces prerade soka i za ispušavanje otpadnih voda.

Kod ventilatora regulacija se može koristiti na pr. kod ventilatora sa indukovanim vazduhom i vazduhom za sagorevanje.

U vezi sa ovim istraživanjem RO SEVER projektuje i isporučuje ove vrste uređaja.

## 5. LITERATURA

- 1) Prof.Dr.-Ing. Klemens Heumann  
"Handbuch Stromrichter"  
Springer - Verlag Berlin Heidelberg 1982.
- 2) Horst Heirmann  
Drehzahlveranderbare Antriebe  
Steigern die Produktivitaet
- 3) S.K. Šušić/E.M. Guralj  
Osnovi tehnologije šećera  
Naučna knjiga

## SUMMARY

After a general discussion of controlling the motor-cage induction motor supplied from a frequency converter, principles of vector control are shortly presented. Basic characteristics are displayed in tabular form. The most complicated cases. Principles of vector control are also briefly exposed. Characteristics of direct and of indirect field orientation are shown in separate tables and figures.