

# ENOFAZNO TRIFAZNI NAPETOSTNI PRETVORNIK

M. Milanovič<sup>1</sup> in P. Kuzman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko  
<sup>2</sup>Srednješolski center Celje, Poklicna in tehniška elektro- in kemijska šola, Celje, Slovenija

**Ključne besede:** elektronika energetska, pretvorniki napetosti, AC-DC-AC pretvorniki napetosti enofazne v trifazno, PARK transformacija, transformatorji električni, rezultati teoretični, rezultati eksperimentalni, rezultati praktični

**Izvleček:** V prispevku bo opisana pretvorba enofaznega napetostnega sistema v trifazni napetostni sistem. Ta pretvorba je bila zasnovana na uporabi Parkove transformacije. Parkova transformacija se je opravila na trifaznem transformatorju, ki je bil del pretvorniškega vezja. Pretvorniško vezje, ki napaja navitje srednjega stebra transformatorja, mora zagotoviti za  $\pi/2$  zakasnjeno napajalno napetost glede na enofazno napetost, ki jo priključimo na navitja stranskih stebrov. Teorične domneve so na koncu potrjene z laboratorijskim eksperimentom.

## Single Phase to Three Phase System Conversion

**Key words:** power electronics, tension converters, AC-DC-AC single phase to three phase voltage converters, PARK transformation, electrical transformers, theoretical results, experimental results, practical results

**Abstract:** The single-phase to three-phase converter based on using of Park transformation is developed. The transformer, which is the main part of the whole system, has been supplied from grid and from the inverter which provides the  $\pi/2$  delayed voltages, for central column of the transformer, according to the mains. In this paper the theoretical analysis and experimental verification is presented in this paper.

### 1. Uvod

Trifazni sistemi in pripadajoča trifazna oprema imata nekaj prednosti pred enofaznimi sistemi in enofazno opremo. Trifazno napajanje omogoča uporabo enostavnih zvezda-trikot zagonov za zmanjševanje zagonskih tokov. Trifazni motorji imajo večje zagonske navore in manjšo valovitost navora, kot jo imajo primerljivi enofazni motorji. Trifazna usmerniška vezja povzročajo manjše popačitve omrežnih tokov, kot to povzročajo enofazni usmerniki pri pretoku iste količine moči  $/1/$ . Slabost trifaznih sistemov pa je, da so pogosto ekonomsko neizvedljivi na nekaterih krajih, kot so npr. visokogorske kmetije, planinske kočje, otoki ali več sto kilometrov oddaljeni industrijski obrati. Če zagotovimo relativno poceni pretvorbo napetosti iz enofaznega v trifazni sistem, se le-ta kasneje obrestuje.

Za takšno pretvorbo potrebujemo pretvorniška vezja, ki vsebujejo veliko elektronskih komponent, tako v močnostnem kot v krmilnem delu, in so zaradi tega zelo draga. Uporaba Parkove transformacije pri takšni pretvorbi pa zmanjša število elektronskih komponent, poenostavi regulacijo ter zmanjša toplotne izgube in višje harmonike v napajanju  $/2/$ ,  $/3/$ .

V tem prispevku bomo pokazali izvedbo pretvornika enofaznega napetostnega sistema napetosti v trifazni napetostni sistem  $/4/$ . Parkova transformacija se bo opravila v jedru transformatorja. Transformator je na primarni strani vzbujan z dvema tokoma, ki sta med seboj fazno premaknjena za

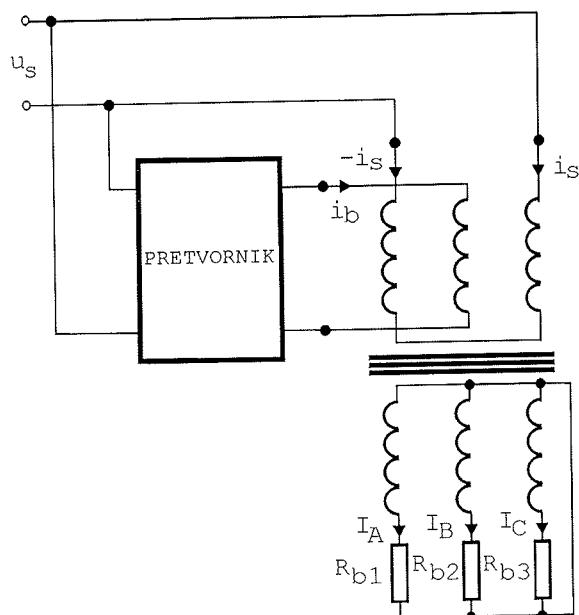
$\pi/2$ . Podali bomo teoretične predpostavke in nato z eksperimentom pokazali, da so teoretične domneve pravilne.

### 2. Teoretične osnove

Parkova transformacija je trifazno-dvofazna transformacija, ki nam preslika sistem trifaznih veličin v sistem dvofaznih veličin. Zapleteno impedančno matriko modela trifaznega stroja, ki zaradi treh navitij in njihovih medsebojnih induktivnosti vsebuje devet členov, pretvori v ekvivalenten dvofazni model. Impedančna matrika modela dvofaznega stroja, pri katerem zagotovimo pogoje, da ni induktivnih sklopov (navitji sta prostorsko premaknjena za  $\pi/2$ , kakor tudi magnetilna tokova), pa vsebuje samo lastne induktivnosti in je diagonalna. Parkova transformacija nam za lažjo in hitrejšo matematično analizo trifaznih strojev pretvori model trifaznega stroja v ekvivalenten model dvofaznega stroja. Pri pretvorbi, ki bo opisana v nadaljevanju, bodo uporabljena spoznanja te transformacije. Osnova pretvornika je trifazni transformator, navit na skupnem jedru. V transformatorju poteka dvofazno-trifazna transformacija.

#### 2.1 Tokovne razmere

Prvi fazni tok  $i_s$  teče neposredno iz omrežja, ta pa magneti navitja, navita na dveh stranskih stebrih. Drugi fazni tok  $i_b$  magneti navitje srednjega stebra, generira pa ga usmerniško-razsmerniško vezje, kot je to prikazano na sliki 1. Vrednosti in faze razmere teh tokov nam bo pokazala nasled-



Slika 1: Pretvornik enofaznega napetostnega sistema v trifazni napetostni sistem

nja analiza. Sistem primarnih faznih tokov lahko ponazorimo kot vektor, ki je enak vsoti posameznih vektorskih komponent tokov v smeri osi  $d$  in v smeri osi  $q$ :

$$\overline{i_{ABC}(t)} = \overline{i_d(t)} + \overline{i_q(t)} \quad (1)$$

kjer za komponenti  $i_d$  in  $i_q$  velja:

$$\begin{aligned} i_d(t) &= f_1(i_A(t), i_B(t), i_C(t)) \\ i_q(t) &= f_2(i_A(t), i_B(t), i_C(t)) \end{aligned} \quad (2)$$

oziroma:

$$\begin{aligned} i_d(\omega t) &= \hat{I}_s \sin(\omega t) \\ i_q(\omega t) &= \hat{I}_s \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

kjer  $\hat{I}_s$  predstavlja amplitudo toka v  $d$ - $q$  koordinatnem sistemu,  $\omega$  pa krožno frekvenco. Naslednji izraz opisuje Parkovo dvofazno trifazno transformacijo /3/:

$$\overline{i_{ABC}(t)} = \mathbf{B}_1 \mathbf{B}_2 \mathbf{B}_3 \overline{i_{dq0}(t)} \quad (4)$$

kjer je  $\overline{i_{ABC}(t)} = [i_A \ i_B \ i_C]^T$  in  $\overline{i_{dq0}(t)} = [i_d \ i_q \ i_0]^T$ . Prva matrika  $\mathbf{B}_1$  je matrika simetričnih komponent. Ta matrika vsebuje devet členov zaradi treh navitij in njihovih medsebojnih povezav, kot je to prikazano v (4):

$$\mathbf{B}_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ e^{j\frac{4\pi}{3}} & e^{j\frac{2\pi}{3}} & 1 \\ e^{j\frac{2\pi}{3}} & e^{j\frac{4\pi}{3}} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Druga matrika  $\mathbf{B}_2$  je enostavnejša, saj opisuje ekvivalenten dvofazni sistem, kjer ni induktivnih sklopov; navitja so prostorsko premaknjena za  $\pi/2$ , kar zagotovi enako fazno premaknitev magnetilnih tokov:

$$\mathbf{B}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & j & 0 \\ 1 & -j & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Tretja matrika  $\mathbf{B}_3$  pa pri transformaciji zagotovi še za kot  $\Theta$  zasukan prostorski koordinatni sistem:

$$\mathbf{B}_3 = \begin{bmatrix} e^{j\Theta} & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\Theta} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ob predpostavki, da je  $\Theta=0$  in ob vstavitvi izrazov (4)-(6) v (3) za trifazni sistem tokov, velja naslednji zapis:

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 2 & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & \sqrt{3} & \sqrt{2} \\ -1 & \sqrt{3} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Toki  $i_A$ ,  $i_B$  in  $i_C$  v bistvu ne tečejo skozi primarna navitja, saj tega pretvorniško vezje ne omogoča (slika 1). Enačbo (8) je treba izpisati po komponentah:

$$\begin{aligned} i_A &= \frac{1}{\sqrt{6}} (2i_d + \sqrt{2}i_0) \\ i_B &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-i_d + \sqrt{3}i_q + \sqrt{2}i_0) \\ i_C &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-i_d - \sqrt{3}i_q + \sqrt{2}i_0) \end{aligned} \quad (9)$$

Ker sistem nima ničelnega voda, velja, da je  $i_0=0$ . Ob vstavitvi izraza (3) v (9) sledi:

$$\begin{aligned} i_A &= \frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{I}_s \sin(\omega t) \\ i_B &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-\hat{I}_s \sin(\omega t) + \sqrt{3}\hat{I}_s \cos(\omega t)) \\ i_C &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-\hat{I}_s \sin(\omega t) - \sqrt{3}\hat{I}_s \cos(\omega t)) \end{aligned} \quad (10)$$

Po krajšem računanju iz (10) in /5/ izhaja:

$$\begin{aligned} i_A(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{I}_s \sin(\omega t) \\ i_B(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{I}_s \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_C(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{I}_s \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

Trifazni sistem tokov (11) se navidezno pojavi na primarju transformatorja (v primeru Y vezave primarja transformatorja). Tako vzbujan transformator pa preko transformacijskega razmerja generira ustrezne sekundarne toke, ki na trifaznem bremenu povzročijo sistem trifaznih napetosti. Način za vzbujanje primarnih navitij je razviden iz (9). Tok  $i_A$  teče navidezno skozi navitje prvega stebra transformatorja, toka  $i_B$  in  $i_C$  pa skozi preostali dve navitji. Zaradi predlagane transformatorske vezave je treba izračunati toka, ki bosta v transformatorju generirala tako zastavljene trifazne razmere. Iz sistema enačb (9) dobimo odgovore na naslednji način:

$$i_B = -\underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\hat{I}_s \sin(\omega t)}_{i_s} + \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{3}\hat{I}_s \cos(\omega t)}_{i_b} \quad (12)$$

$$i_C = -\left( \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\hat{I}_s \sin(\omega t)}_{-i_s} + \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{3}\hat{I}_s \cos(\omega t)}_{i_b} \right) \quad (13)$$

iz (12) in (13) vidimo, da dobimo trifazni sistem tokov  $i_A$ ,  $i_B$  in  $i_C$ , če vzbujamo transformator z dvema tokoma, in sicer:

$$\begin{aligned} i_s(\omega t) &= -\frac{1}{\sqrt{6}}\hat{I}_s \sin(\omega t) \\ i_b(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{3}\hat{I}_s \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (14)$$

Iz (14) je razvidno razmerje med omrežnim tokom  $i_s$ , ki magneti stranska stebra transformatorja, in tokom, ki ga mora za magnetenje srednjega stebra zagotoviti razsmernik. Pri tem vidimo, da mora biti tok navitja na srednjem stebri za  $\sqrt{3}$ -krat večji od toka, ki teče skozi primarna stranska navitja transformatorja in je fazno premaknjen za  $\pi/2$ . Če bo tem pogojem zadoščeno, se na sekundarni strani transformatorja pojavi trifazni sistem tokov in posledično trifazni sistem napetosti. Napetostne razmere pa vidimo iz kazalnega diagrama na sliki 2.

## 2.2 Napetostne razmere

Podobno, kot je bila uporabljena Parkova transformacija pri analizi tokovnih razmer, se lahko ta transformacija uporabi tudi pri analizi napetostnih razmer. Trifazni napetostni sistem se lahko dobi z ustrezno transformacijo dveh dvo-faznih napetosti, zapisanih v  $d$ - $q$  prostoru, in sicer:

$$\begin{aligned} u_d(\omega t) &= \hat{U} \sin(\omega t) \\ u_q(\omega t) &= \hat{U} \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (15)$$

kjer  $\hat{U}$  predstavlja amplitudo napetosti v  $d$ - $q$  koordinatnem sistemu. Po uporabi enačb (5)-(7) sledi:

$$\begin{bmatrix} u_{AC} \\ u_{CB} \\ u_{BA} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 2 & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & \sqrt{3} & \sqrt{2} \\ -1 & \sqrt{3} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

in nato ob predpostavkah, da je  $u_q=0$ , dobimo za napetosti  $u_{AC}$ ,  $u_{CB}$  in  $u_{BA}$  izraze:

$$\begin{aligned} u_{AC}(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{U} \sin(\omega t) \\ u_{CB}(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-\hat{U} \sin(\omega t) + \sqrt{3}\hat{U} \cos(\omega t)) \\ u_{BA}(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-\hat{U} \sin(\omega t) - \sqrt{3}\hat{U} \cos(\omega t)) \end{aligned} \quad (17)$$

kar po krajši analizi pripelje do znanega sistema trifaznih napetosti:

$$\begin{aligned} u_{AC}(\omega t) &= \sqrt{\frac{2}{3}}\hat{U} \sin(\omega t) \\ u_{CB}(\omega t) &= \sqrt{\frac{2}{3}}\hat{U} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ u_{BA}(\omega t) &= \sqrt{\frac{2}{3}}\hat{U} \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad (18)$$

V izrazih (17) so prikazane dejanske razmere, ki jih je treba zagotoviti na treh navitjih transformatorja in posledično za generiranje trifaznih napetosti na sekundarni strani:

$$u_{AC}(\omega t) = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{U} \sin(\omega t)}_{-u_s} \quad (19)$$

$$u_{CB}(\omega t) = -\underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\hat{U} \sin(\omega t)}_{\frac{u_s}{2}} + \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{3}\hat{U} \cos(\omega t)}_{u_b} \quad (20)$$

$$u_{BA}(\omega t) = -\left( \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\hat{U} \sin(\omega t)}_{\frac{u_s}{2}} + \underbrace{\frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{3}\hat{U} \cos(\omega t)}_{u_b} \right) \quad (21)$$

Iz enačb (19)-(21) je razvidno, kako se primarna navitja transformatorja priključijo na omrežno napetost; in sicer se na navitja skrajnih stebrov transformatorja priključi omrežna napetost  $u_s$ , na navitje srednjega stebra pa se priključi napetost  $u_b$ , ki mora imeti za  $\sqrt{3}$ -krat večjo amplitudo, kot je amplituda omrežne napetosti, in fazno zamaknitev za  $\pi/2$ . Te razmere so razvidne iz (22):

$$\begin{aligned} u_s(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} 2\hat{U} \sin(\omega t) = U_s \sqrt{2} \sin(\omega t) \\ u_b(\omega t) &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{3}\hat{U} \cos(\omega t) = U_b \sqrt{2} \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (22)$$

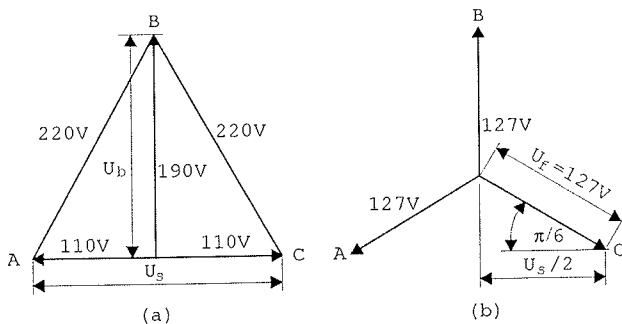
kjer  $U_s$  predstavlja efektivno vrednost napajalne napetosti in  $U_b$  predstavlja efektivno vrednost izhodne napetosti pretvornika. V primeru pretvornika na sliki 3 sta bili izbrani vrednosti omrežne in napetost na izhodu pretvornika:

$$U_s = 220V, U_b = (U_s/2)\sqrt{3} = 190$$

Na navitja stranskih stebrov je treba priključiti omrežni napetosti, ki sta fazno premaknjeni za  $\pi$ , kar je preprosto rešeno z zaporedno vezavo le-teh, kot je to razvidno s slike 3. Na sliki 2 sta prikazana kazalčna diagrama. Kazalčni diagram na sliki 2(a) prikazuje dejanske napetostne razmere na primarnih navitjih transformatorja. Napetost srednjega stebra prehiteva napetost C-stebra za kot  $\pi/2$  in zaostaja za napetostjo stebra A za enak iznos. Vrednost amplitude napetosti srednjega stebra je mogoče dobiti iz (22), saj je za  $\sqrt{3}$ -krat večja od napetosti, priključene na stransko navitje. Fazne napetosti na posameznih navitjih primarna transformatorja je mogoče izračunati s pomočjo geometrijskih razmer s slike 2(a). Ker imajo medfazne napetosti enake amplitude, se lahko v kazalčnem diagramu ponazorijo z enakostraničnim trikotnikom (slika 2(a)). Navidezna efektivna vrednost ene fazne napetosti primarnega navitja transformatorja  $U_f$  se izračuna z naslednjim izrazom:

$$U_f = \frac{U_s}{2} \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 127V \quad (23)$$

Izraz (23) omogoča izračun prestavnega razmerja transformatorja. S pomočjo (23) so tako podani vsi potrebni parametri, potrebni za projektiranje transformatorja.

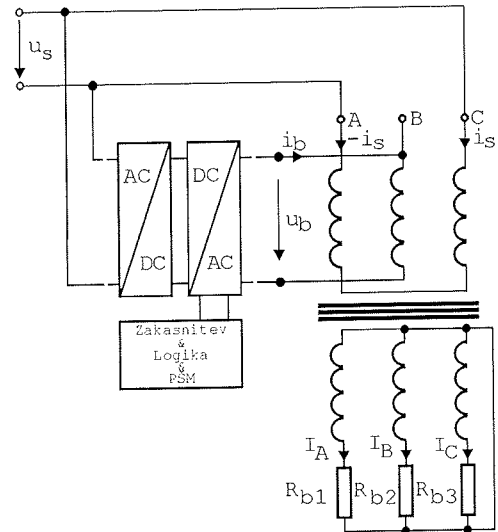


Slika 2: Kazalčni diagram

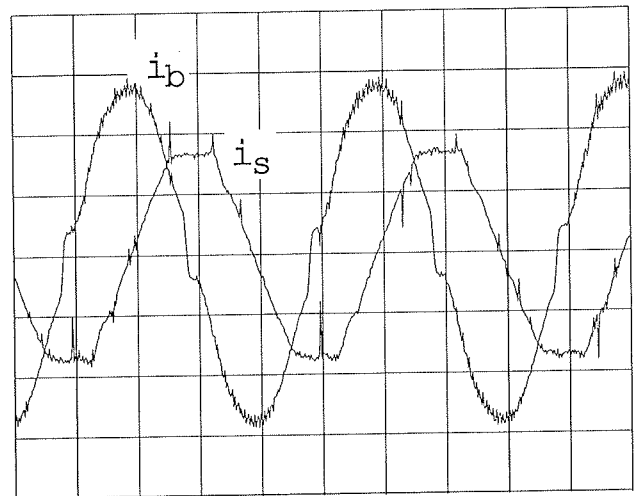
### 3. Praktična izvedba pretvornika

Iz pravkar opravljene matematične analize lahko povzamemo naslednje zahteve za projektiranje pretvornika:

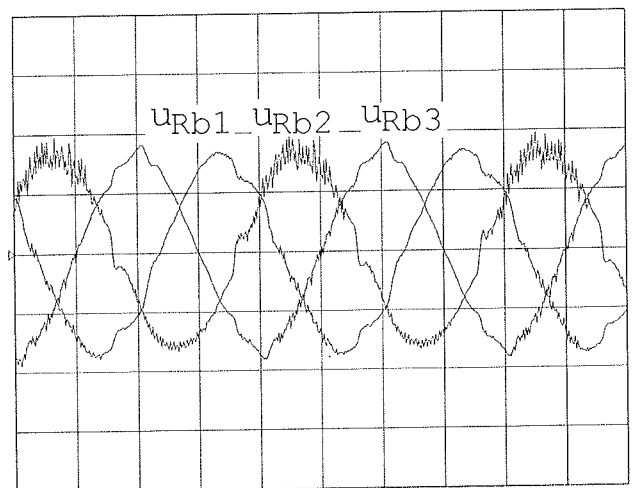
- Navitja stranskih dveh stebrov transformatorja je potrebno vezati protifazno.
- Navitje srednjega stebra transformatorja je potrebno magnetiti s tokom  $i_b$ , ki je premaknjen za kot  $\pi/2$ , glede na tok  $i_s$ , ki teče po navitjih na stranskih dveh stebrih.
- Zagotoviti je potrebno, da bo tok  $i_b$ , ki teče po navitju srednjega stebra, imel za  $\sqrt{3}$ -krat večjo amplitudo, kot jo ima tok  $i_s$ , ki teče po navitjih na stranskih dveh stebrih.



Slika 3: Zasnova pretvornika



Slika 4: Primarna tokova: x-os 5ms/div; y-os 200V/div



Slika 5: Sekundarne napetosti: x-os 5ms/div; y-os 200V/div

Pretvornik, ki nam zagotavlja transformacijo iz enofaznega sistema v trifazni sistem, je sestavljen iz diodnega usmerniškega vezja in mostičnega razsmerniškega vezja /1/. Razsmernik je bil zgrajen z MOS-FET-i. Krmilna elektronika zagotovi ustrezna tokovna in napetostna razmerja na srednjem transformatorskem stebru. S pomočjo integratorskega vezja dobimo referenčni cosinusni signal, ki ga še ustrezno skaliramo, tako, da je bila amplituda osnovnega harmonika izhodne napetosti pretvornika (pred navitjem srednjega stebra transformatorja je bil vgrajen NP filter) za  $\sqrt{3}$ -krat večja, kot je bila amplituda omrežne napetosti  $u_s$ . Kot modulator je bil uporabljen standardni pulzno širinski modulator, izveden v enem čipu.

Natančnejši opis krmilne elektronike je podan v /4/. Na sliki 3 je podana blokovna shema celotnega sistema.

#### 4. Eksperimentalni rezultati

Za zgoraj opisani pretvornik smo zgradili eksperimentalni model, s pomočjo katerega smo verificirali prikazano teorijo. Dobljeni rezultati so se zelo dobro ujemali s teoretičnimi predpostavkami. Na sliki 4 vidimo, da tok  $i_b$ , ki teče po navitju srednjega stebra, prehitava za kot  $\pi/2$  tok  $i_s$ , ki teče po navitjih stranskih stebrov transformatorja. Toka se razlikujeta tudi po amplitudi. Tok  $i_b$  je za  $\sqrt{3}$ -krat večji, kot je tok  $i_s$ . Ti rezultati torej potrjujejo izraz (15), ki smo ga dobili pri matematični analizi procesa.

Na sliki 5 so prikazane tri sekundarne napetosti, ki so med seboj premaknjene za  $2\pi/3$ . Zaradi nizke stikalne frekvence in neprilagojenega izhodnega filtra vsebuje napetost  $U_{Rb2}$  stikalni šum. Napetosti  $U_{Rb1}$  in  $U_{Rb3}$  pa sta popačeni zaradi popačene omrežne napetosti. Izkoristek takšnega pretvornika se je v odvisnosti od obremenitve gibal od 77% do 86%.

Zanimiv je bil tudi eksperiment, pri katerem je bila preverjena občutljivost pretvornika na nesimetrično obremenitev. Pri polovični razbremenitvi enega sekundarnega navitja so izhodne napetosti med seboj odstopale za največ 10%. Pri popolni razbremenitvi enega sekundarnega navitja je bilo odstopanje večje od 10% le v primeru razbremenitve sekundarnega navitja srednjega stebra transformatorja. V tabelah 1 in 2 so prikazani rezultati teh meritev. V tabeli 2 so prikazani rezultati eksperimenta pri popolnem odklapanju bremenskih uporov.

#### 5. Zaključek

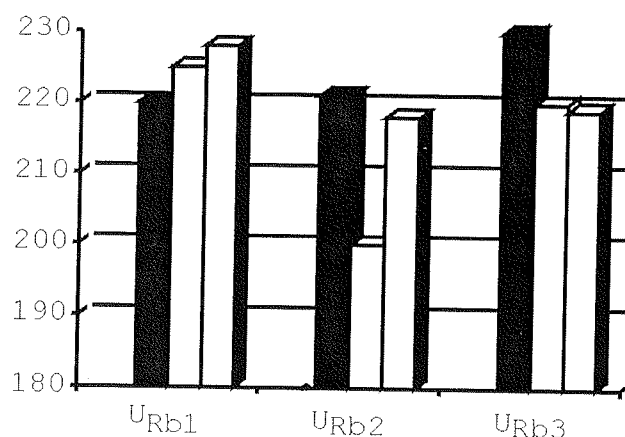
Pri pretvorbi enofaznega napetostnega sistema v trifazni napetostni sistem je bila uporabljena Parkova transformacija. Pretvorba je bila izvedena v transformatorskem jedru. Zaradi tega je bilo število elektronskih komponent, tako v energetskem, kakor tudi v krmilnem delu, zelo zmanjšano glede na klasični način pretvorbe. Klasični tovrstni

pretvornik vsebuje usmerniško vezje, enosmerni povezovalni krog (velik elektrolitski kondenzator) in trifazni razsmernik.

Pretvornik je pokazal tudi veliko mero neobčutljivosti na spreminjanje obremenitve na izhodu, kakor tudi na nesimetrično obremenitev trifaznega izhoda.

Tabela 1: Zmanjšanje bremenske upornosti iz  $500\Omega$  na  $250\Omega$

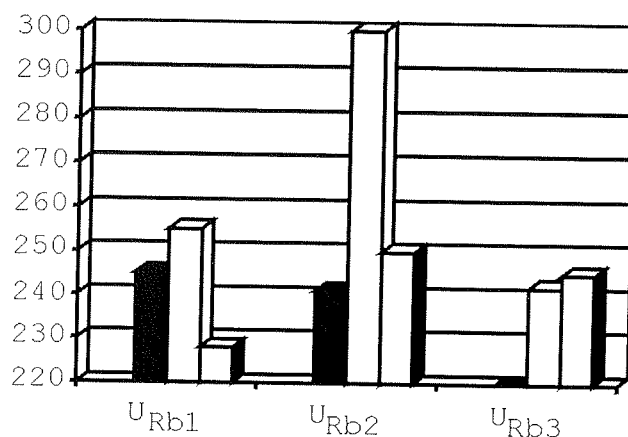
	$U_{Rb1}$	$U_{Rb2}$	$U_{Rb3}$
$R_{B1}$ iz $500\Omega$ na $250\Omega$	220	221	230
$R_{B2}$ iz $500\Omega$ na $250\Omega$	225	200	220
$R_{B3}$ iz $500\Omega$ na $250\Omega$	228	218	219



Slika 6: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 1

Tabela 2: Razbremenitev posamezne faze pri  $R_B = 500\Omega$

	$U_{Rb1}$	$U_{Rb2}$	$U_{Rb3}$
$R_{B1}$ iz $500\Omega$ na $\infty$	245	241	218
$R_{B2}$ iz $500\Omega$ na $\infty$	255	>300	242
$R_{B3}$ iz $500\Omega$ na $\infty$	228	250	245



Slika 7: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 2

## Literatura

- /1/ M. Milanovič, *Uvod v močnostno elektroniko*, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in infor-matiko, Univerzitetni učbenik, Maribor, 1997.
- /2/ M. Malengret, G. Naldrett in J. Enslin, Applying Parks Transformation to a single to Three Phase, *Proceedings IEEE Power Electronics Specialist Conference*, pp. 851–857, Atlanta, USA, 1995.
- /3/ D. Dolinar in P. Jereb, *Splošna teorija električnih strojev, izbrana poglavja iz dinamičnega modeliranja*, Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko, Univerzitetni učbenik, Maribor, 1995.
- /4/ P. Kuzman, *Pretvornik enofazne napetosti v trifazno z uporabo Parkove transformacije*, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in infor-matiko, Diplomaska naloga, Maribor, 2001.
- /5/ J.N. Bronštejn in K.A. Semendjajev, *Mate-matični priročnik*, Tehniška založba Slovenije v Ljubljani, Ljubljana, 1980.

*Dr. Miro Milanovič, univ.dipl.ing*  
*Univerza v Mariboru*  
*Inštitut za avtomatiko in robotiko*  
*Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo*  
*in informatiko*  
*Smetanova 17, Maribor, Slovenija*  
*e-mail milanovic@uni-mb.si*

*Peter Kuzman, univ.dipl.ing.*  
*Srednješolski center Celje*  
*Poklicna in tehniška elektro-kemijska šola*  
*Pot na lavo 22, Celje, Slovenija*

*Prispelo (Arrived): 18.11.2001*

*Sprejeto (Accepted): 25.04.2002*