

## ИЗСЛЕДВАНЕ ВЪЗМОЖНОСТТА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА КОМПЮТЪРНО УПРАВЛЕНИЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИ АСИНХРОННИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

Камен Христов

**Резюме:** В настоящата работа е представено приложението на софтуерен инструмент за компютърно управление на трифазен мрежов AC-DC преобразувател с двустранен обмен на енергия. Това се свежда до отработване на математически функции с достатъчно малък такт на дискретизация. Представени са експериментални данни от управляващата част на система за компютърно управление на трифазния мрежов преобразувател.

**Ключови думи:** компютърно управление, трифазен мрежов AC-DC преобразувател

## A STUDY OF THE POTENTIALITY FOR DEVELOPMENT OF REAL TIME COMPUTER CONTROLLED ENERGY EFFICIENT ASYNCHRONOUS ELECTRICAL DRIVES

Kamen Hristov

**Abstract:** This paper presents the appliance of a software tool for computer control of AC-DC three-phase converter with bilateral energy exchange. It's reduced to estimation of mathematical functions with small sampling time. Experimental results of the system for computer control of the three phase converter are being presented.

**Keywords:** computer control, three-phase AC-DC converter

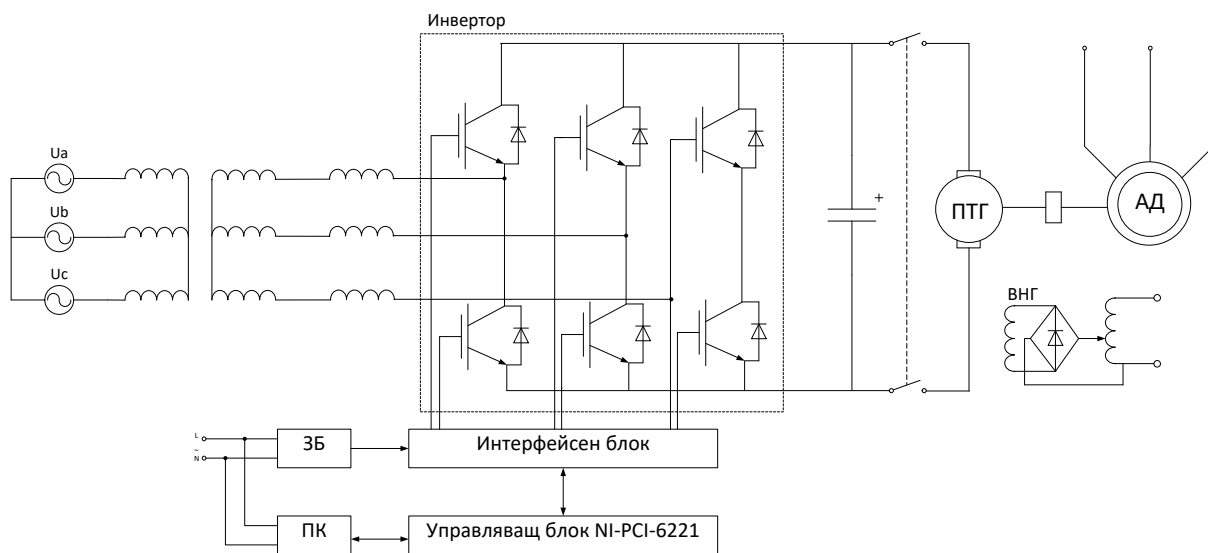
### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

При разработката и тестване в реално време все по-често се прилага компютърно управление с цел осигуряване на възможност за бързо реализиране на алгоритми за управление. Инструмент, намиращ широко приложение в компютърно управление е пакетът “xPC Target Software”. Използва се като част от системите за управление в реално време, даващ възможност за четене на информация от сензори, изграждане на обратна връзка и промяна на входните въздействия и сигнали [4], [5], [8]. Средата Matlab/Simulink се използва за създаването на модел на управляваната система и настройка на параметрите с цел подобряване на работоспособността. Характерно за този продукт е използването на отдалечен компютър (targetPC), на който се зареждат съставените модели и се извършва работата в реално и компютър, на който се извършва моделирането на системата

(hostPC). С цел повишаване работоспособността и осигуряване на възможност за отдалечен достъп комуникацията между машините се извършва по TCP протокол и Wi-fi. По време на експериментите бе установено, че комуникацията може да бъде изградена освен по стандартния начин чрез използването на суич, също така и с използването кръстосан мрежов кабел (crossover), но това води до ограничени достъпността до отдалечения компютър от само един потребител.

## 2. ФУНКЦИОНАЛНА СХЕМА НА ТРИФАЗЕН МРЕЖОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ С ДВУСТРАНЕН ОБМЕН НА ЕНЕРГИЯ И ИЗГРАЖДАНЕ НА ДОПЪЛНИТЕЛНИ РЕЛЕЙНИ РЕГУЛАТОРИ И КОМУНИКАЦИОННИ КАНАЛИ

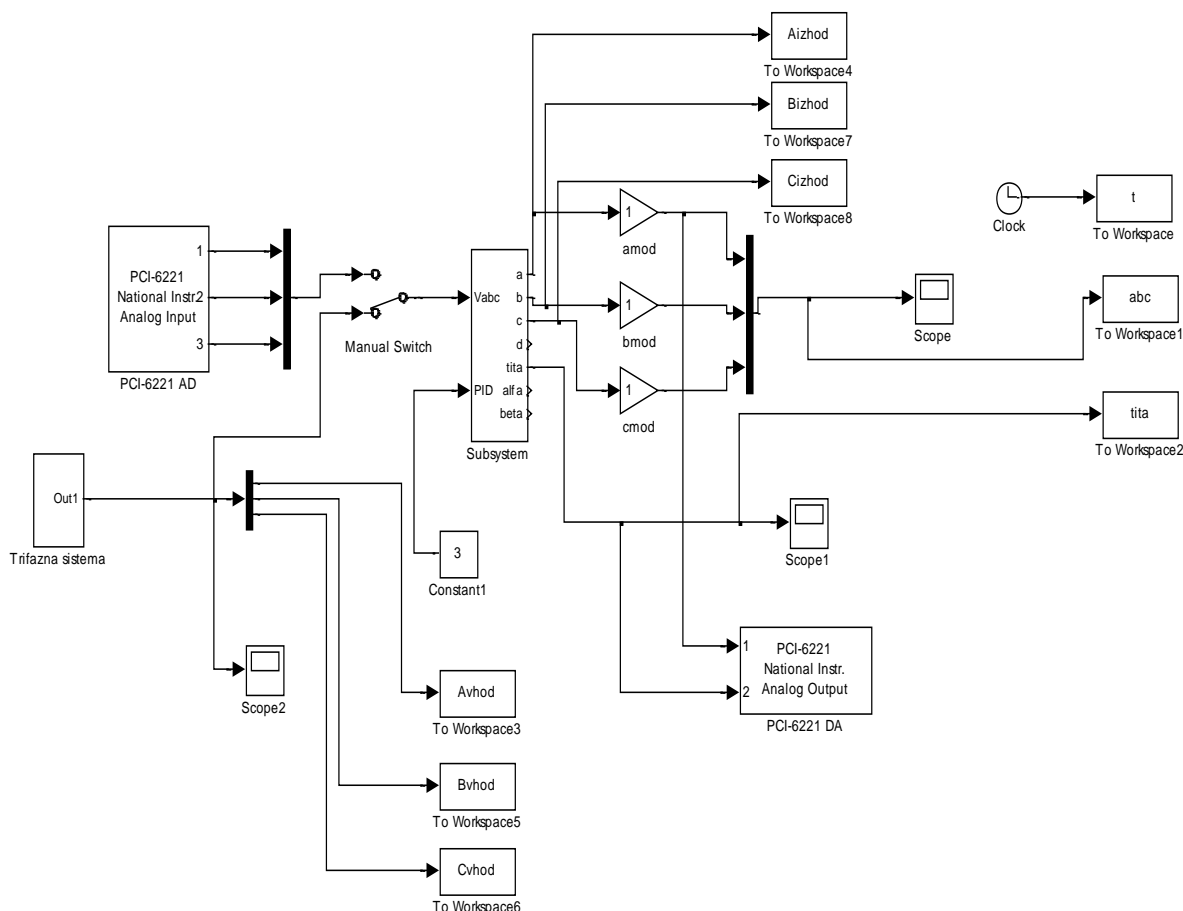
Трифазен мрежов преобразувател може да бъде представен чрез блоковата схема - фиг. 1 и силова схема фиг. 5 като електрическите уравнения са базирани на еквивалентната еднофазна заместваща схема (фиг. 3). С цел получаване на плавен заряд на кондензаторната батерия (фиг. 4) се използват кондензаторите (C2-C7) и контакторът K1. За управление на IGBT ключовете е разработен драйвер, който може да работи с чисто капацитивен товар [1], [3], [7], [9]. При използване на драйвери с трансформаторна връзка трябва да се има предвид, че точката от вторичната намотка, спрямо която се измерват променливите напрежения, има постоянно напрежение, равно на произведението от средната стойност на променливите съставни и коефициента на трансформация. В резултат при промяна на коефициента на запълване на драйверните импулси се мени и постоянното напрежение на постояннотоковата маса.



**Фиг. 1.** Блокова схема на мрежов преобразувател в двустранен обмен на енергия със захранващата мрежа

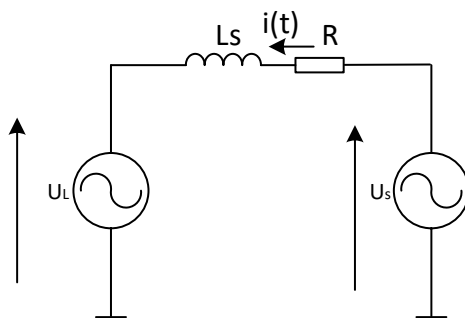
Управляващият блок е реализиран използвайки развойната платка и разширителният модул на фирмата National Instruments NI-PCI-6221. Необходими за реализацията на управляващия блок са аналоговите входове и изходи. Модулът разполага с 16 аналогови входа и два аналогови изхода. В работната среда Simulink

е съставен модел на управляващата част на трифазен АС-DC преобразувател, използващ представените аналогови входове и изходи (фиг. 2) [8], [10], [5]. Необходимостта от съставяне на този модел е наличието само на два аналогови изхода, от които се взема информация за напреженията на фази  $\alpha, \beta$ .



Фиг. 2. Обща блокова схема на система генерираща задания за ток на релейните регулатори

В интерфейсия блок се извършва обратната трансформация на Кларк. Той е реализиран посредством операционни усилватели на фирмата Texas Instruments TL084 (фиг. 7) и е захранен от захранващия блок ЗБ. В схемата на фиг. 3,  $R$  и  $L$  представят еквивалентното сумарно фазно активно съпротивление и индуктивност,  $U_s$  – фазното напрежение, а  $U_L$  е напрежението на звеното за постоянен ток [1], [2], [6].



Фиг. 3. Еднофазна заместваща схема

Уравнения за равновесие на напреженията в трифазна, непреобразувана координатна система:

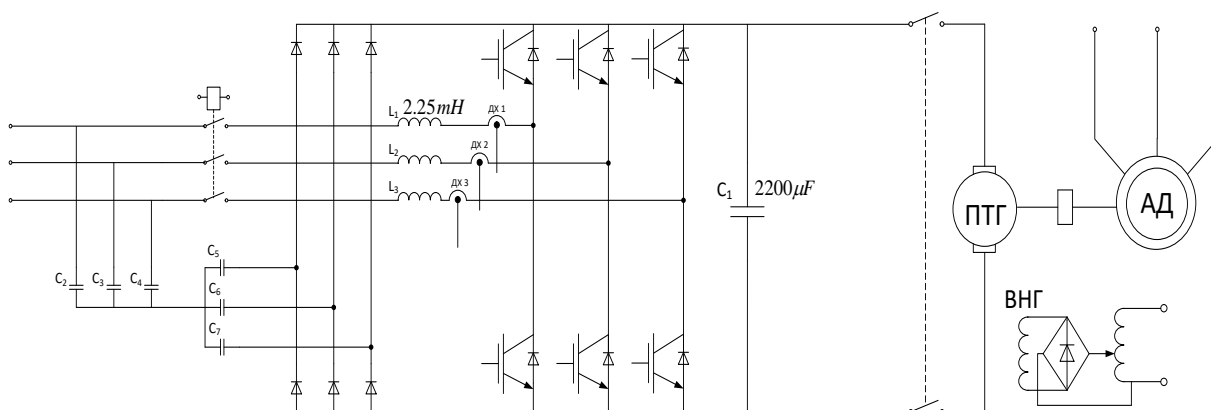
$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_{sa} \\ U_{sb} \\ U_{sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Преобразувания на системата уравнения (1) в стационарна двуфазна  $\alpha\beta 0$  координатна система:

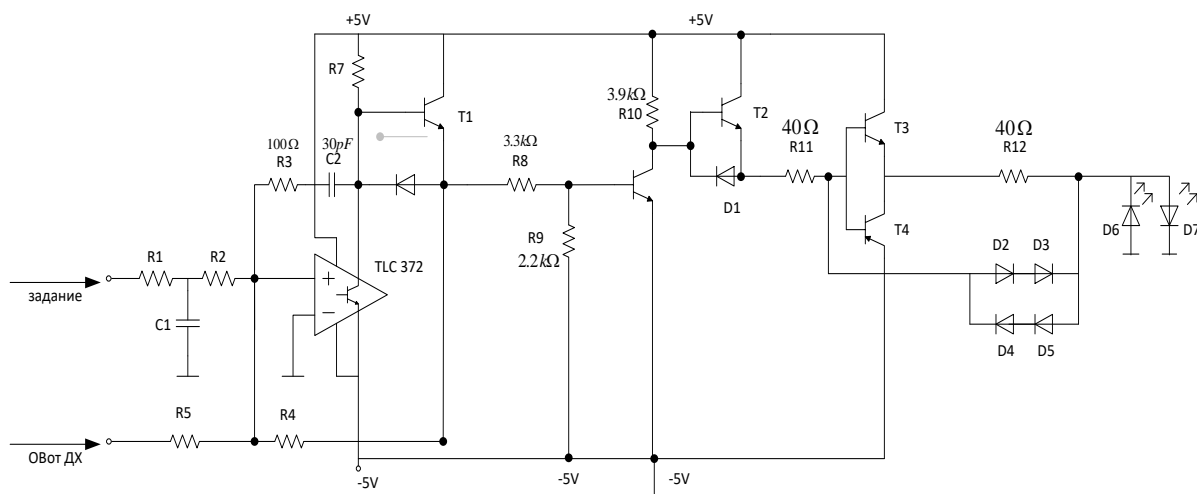
$$U_L = \begin{bmatrix} U_{L\alpha} \\ U_{L\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ 0 & \sqrt{\frac{3}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{ab} \\ U_{bc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Преобразувания на системата уравнения (2) в синхронно въртяща се с резултиращия вектор на фазното напрежение  $dq0$  координатна система:

$$\begin{bmatrix} U_{Ld} \\ U_{Lq} \end{bmatrix} = L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{Ld} \\ i_{Lq} \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} -i_{Lq} \\ i_{Ld} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_{sd} \\ U_{sq} \end{bmatrix} \quad (3)$$

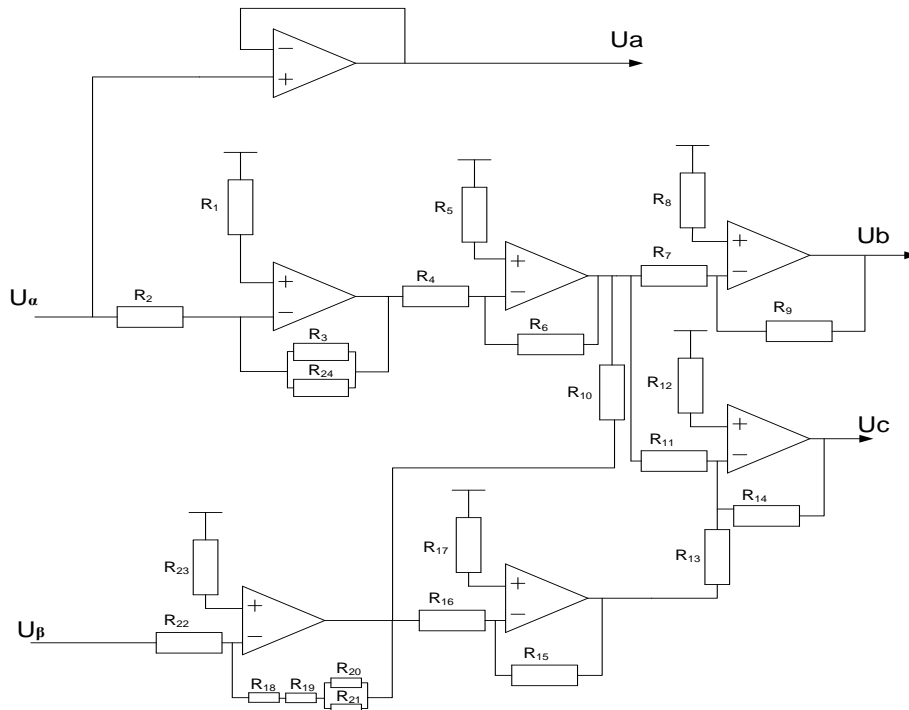


Фиг. 4. Силова схема на мрежовия преобразувател и системата за натоварване

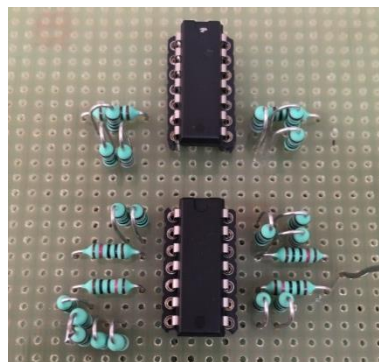


Фиг. 5. Схема на релеен регулатор за фаза

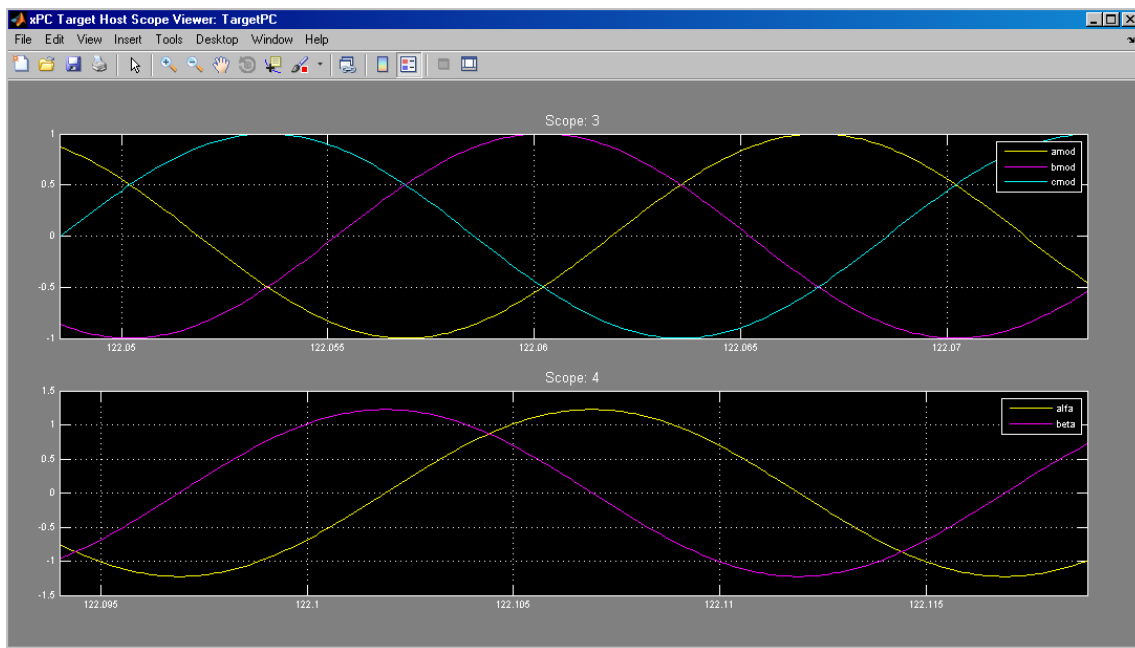
На база уравненията за равновесие на напреженията (1)-(3) допълнително е реализиран релеен регулатор на ток (фиг. 5) за всяка една от фазите, получаващ задание от блока на фиг. 7, с цел извършване обратно преобразуване на Кларк., Посредством операционни усилватели е реализирана схема, която извършва обратното преобразуване на Кларк. Целта е получаване на сигнали в стационарната  $(a,b,c)$  координатна система. С цел филтрация на сигналите са добавени електролитни кондензатори с изведена обща точка към маса. Принципна схема на фиг. 6 и физически реализираният модул (фиг. 7). Допълнително реализираният модул получава задания от подсистемата, извършваща координатни преобразувания  $(a,b,c-\alpha,\beta)$ . Тези преобразувания се извършват в работната среда Matlab/Simulink, пакетът xPC Target Software и се подават като сигнали чрез разширителният модул на National Instruments NI6221 за задания за релейните регулатори. На фиг. 8 са представени изходните и модулираните сигнали с цел проверка и валидация за коректното изчисляване на тригонометричните функции.



**Фиг. 6.** Принципна схема на блоковете, извършващи обратна трансформация на Кларк



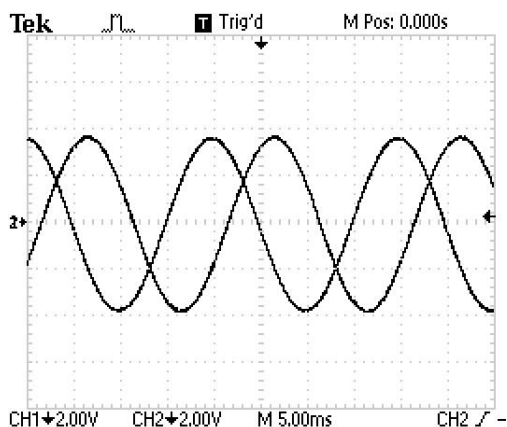
**Фиг. 7.** Физическа реализация на блоковете, извършващи обратната трансформация на Кларк



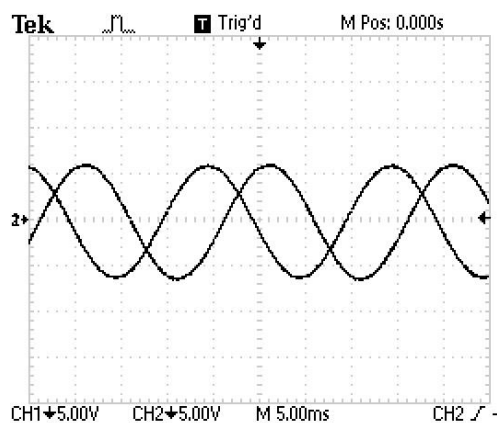
**Фиг. 8.** Монитор на хост компютъра за следене на сигнали в реално време

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА ИМПУЛСНИ ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ДВУСТРАНЕН ОБМЕН НА ЕНЕРГИЯ

Използвана е библиотеката SimPowerSystems, която осигурява преобразуването от въртяща се координатна система напрежения в стационарна. Разработено е програмно осигуряване за управление на преобразувателя, реализирани са защиты от понижено и повишено напрежение на захранващата мрежа и претоварване по ток, както и плавен заряд на кондензаторната батерия. С цел проверка на функционалните възможности на разработената система е направен анализ на експериментално снети данни от изходите на блока извършващ обратна трансформация на Кларк, осигуряващи заданията за ток (фиг.11). Физическите ограничения позволяват данните да бъдат представени спрямо две фази. Формата на напрежението измерено през постъпващата информация от развойната платка е показана на фиг. 9, фиг. 10.

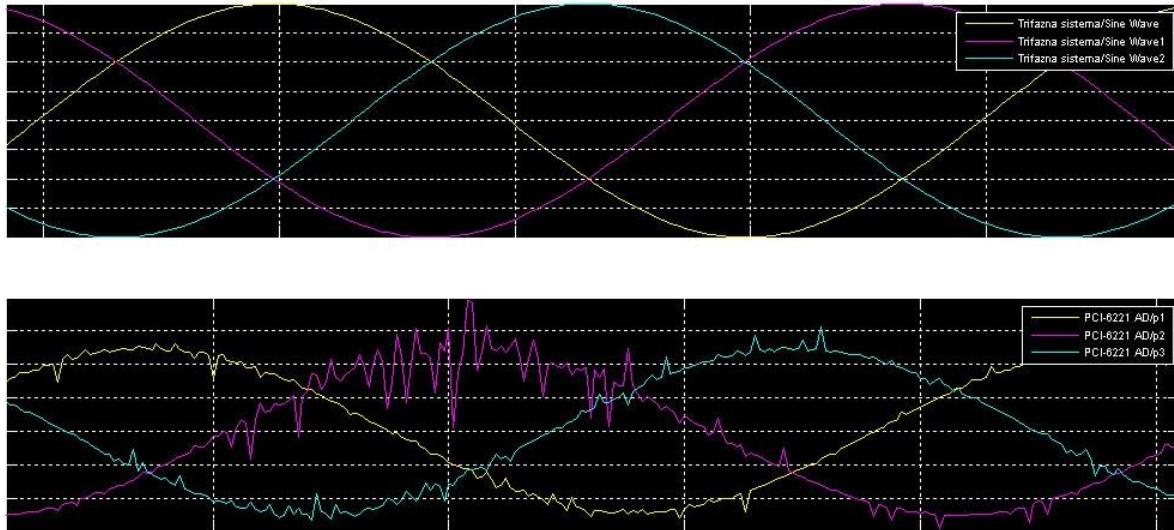


**Фиг. 9.** Модулирано фазно напрежение при големина на задаващия сигнал 3V

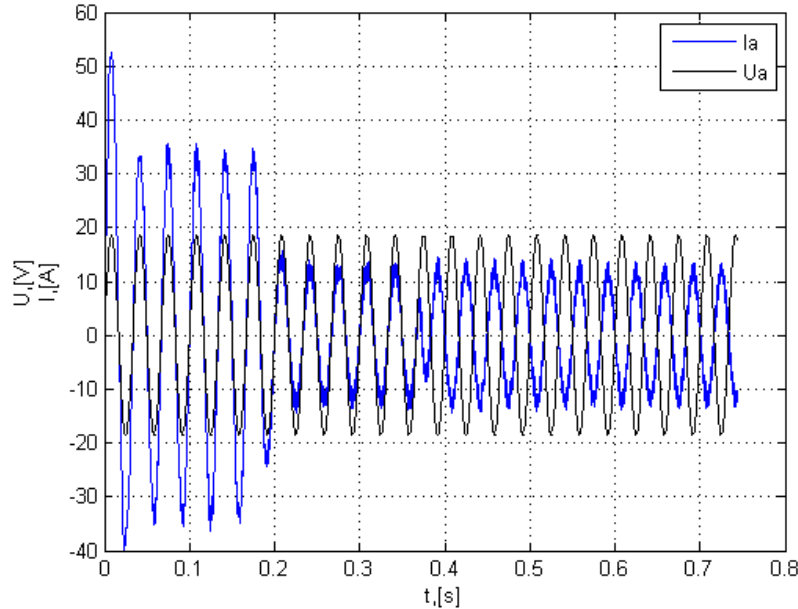


**Фиг. 10.** Модулирано фазно напрежение при големина на задаващия сигнал 5V

На фиг. 11 са представени снети фазни напрежения от блоковете за обратна трансформация на Кларк и разширителния модул. От изходните сигнали на модула се вижда, че разработеният модел успява да извърши заданията за координатни преобразувания спрямо желаната честота. Експериментирани са режими на консумация на енергия от мрежата - ток във фаза с напрежението и връщане на енергия – ток в противофаза (фиг. 12).



**Фиг. 11.** Фазни напрежения, снети от блока, извършващ обратна трансформация на Кларк и разширителния модул PCI-6221 при честота от 50 Hz



**Фиг. 12.** Фазно напрежение и фазен ток и консумация и връщане на енергия към захранващата мрежа

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата са представени функционални тествания на работоспособността на система за компютърно управление на трифазен мрежов AC-DC преобразувател. Реализирани са допълнително необходими интерфейсни блокове и драйвери

за управление. Изведени са уравнения за равновесие на напреженията, които са заложи в алгоритмите за управление на силовия преобразувател. От проведените експерименти може да бъде отбелязано, че разработената система с добавените филтриращи кондензатори успява да отработи заданията при захранващи напрежения от 3V и 5V и работни честоти 50Hz и 100Hz. Експериментално бе установено, че използването на филтриращи кондензатори, както и допълнителната реализация на модула използващ операционни усилватели за извършването на обратната трансформация на Кларк, доведе до намаляване на времето за заряд на кондензаторните батерии на преобразувателя с 10ms, при предходно време за заряд на батериите от 0.4 s. От фиг. 12 се вижда, че фазният ток е в противофаза спрямо фазното напрежение, което е показател за генериране на енергия към захранващата мрежа. От фиг. 12 също се наблюдава токът от фаза *a*, който е синфазен на напрежението на фаза *a*, което е показател за консумация на активна енергия от захранващата мрежа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Йончев Е. „Безсензорно управляеми асинхронни електрозадвигвания” – дисертация, ТУ-София, 2010
- [2] Уливеров И., Йончев Е., Йонков Т. „Управление на трифазни импулсни AC/DC преобразуватели с двустранен обмен на енергия със захранващата мрежа – част I“, Годишник на ТУ-София, том 64, книга 1, 2014
- [3] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, “Power Electronics: Converters, Applications, and Design”, John Wiley & Sons, Inc, 3rd Ed., 2003
- [4] K.-N. Areerak, S. V. Bozhko, G. M. Asher and D. W. P. Thomas, “DQ-Transformation Approach for Modelling and Stability Analysis of AC-DC Power System with Controlled PWM Rectifier and Constant Power Loads” International Power Electronics and Motion Control Conference, 2008
- [5] K. Wei and F. Xiao, “The Improvement of Current Feed-forward Control Strategy on Voltage Source PWM Rectifier” International Symposium on Computational Intelligence and Design, 2010.
- [6] Peter Vas, “Sensorless Vector and Direct Torque Control” London, 1998
- [7] Slobodan Ćuk, “Single-Stage, AC-DC Converter Topologies of 98% Efficient Single Phase and Three-Phase Rectifiers”, Nuremberg, 2011
- [8] F. C. Lin and S. M. Yang, “On-line tuning of an efficiency optimized vector controlled induction motor drive” Tam Kang Journal of Science and Engineering, vol. 6, no. 2, pp. 103-110, 2003.
- [9] 99% Efficient AC/DC Converter Topologies, Power Electronics Europe 3/2011
- [10] H. Sarén, “Analysis of the voltage source inverter with small dc-link capacitor,” Ph.D. thesis, Lappeenranta Technical University, 2005.

**Автор:** *Камен Христов*, гл. ас. д-р, Технически Университет-София, Факултет Автоматика, катедра „Автоматизация на електрозадвигванията“,  
*e-mail: khristov@tu-sofia.bg*

**Author:** *Assist prof. Dr. Kamen Hristov*, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Electrical Motion Automation Systems,  
*e-mail: khristov@tu-sofia.bg*