

**СЪЗДАВАНЕ НА МОДЕЛ НА УПРАВЛЯЕМИ ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ В  
SIMULINK ЗА ОБУЧЕНИЕ НА СТУДЕНТИ****Христо Ибришимов<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Технически университет-Габрово***CREATING A MODEL OF PHASE-CONTROLLED BRIDGE RECTIFIERS  
IN SIMULINK FOR STUDENT TRAINING****Hristo Ibrishimov<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Technical University of Gabrovo***Abstract**

*In this paper interactive simulation models of controllable single-phase and three-phase bridge rectifiers are made. The models allow a detailed examination of the principle of operation of rectifiers, study of the harmonic composition of current and voltage at different characteristics of the load - active, active-inductive, preparation of the control characteristic. The developed models are intended for students in the specialty "Electric Power Distribution and Electrical Equipment" Bachelor's and Master's degree at the Technical University of Gabrovo.*

**Keywords:** Matlab Simulink, Single phase full controlled bridge rectifiers, Three phase full controlled bridge rectifiers.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

В последните години интерактивните методи за обучение се превърнаха в основен методически подход в обучението в големите университети по света. Симулацията е вид интерактивно обучение и е основен използван подход, наред с класическото за обучение на студенти в инженерните специалности.

Развитието на компютърната техника позволи в последните години да се създават все по усъвършенствани софтуери за симулация. Такива са Matlab, Comsol Multiphysics, Ansys, Orcad PSpice, LT Spice, Multisim, PSim, Scilab и др. Посредством тях е възможно да се създаде модел с произволна сложност на система, устройство, схема и т.н.

Цел на настоящия доклад е създаване на интерактивни стимулационни модели за обучение на студенти на еднофазен и трифазен мостов управляем токоизправител в Matlab Simulink.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

В практиката често се налага да се регулира стойността на изправеното напреже-

ние. Най-често използваните методи са:

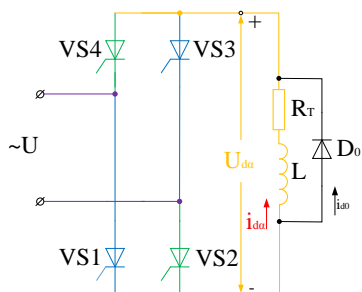
- Регулиране на стойността на мрежовото напрежение на входа на токоизправителя (ТИ);
- Регулиране на изправеното напрежение на изхода на ТИ;
- Регулиране чрез използване на управляеми ТИ[1-6].

Широко приложение за регулиране на изправеното напрежение са получили управляемите ТИ, с управляеми прибори-тиристори. Регулирането се осъществява като се изменя момента на отпушване на прибора по отношение на момента на естествената му комутация. Този способ позволява плавно да се регулира средната стойност на изправеното напрежение[1-3].

*1.Еднофазен мостов управляем токоизправител.*

Най-често използваната схема от еднофазните управляеми ТИ е на мостовата-фиг. 1 [2,7]. Предимството и пред схемата със среден извод на трансформатора е по-малката типова мощност на трансформатора и възможността за безтрансформаторно свързване. Принципа на действие на схема-

та е следния системата за управление подава управляващи импулси към двете двойки тиристори VS1, VS3 и VS2, VS4 - фиг. 2. При достатъчно голяма стойност на индуктивността в товара, токът през тиристорите се получава под формата на правоъгълни токови импулси.

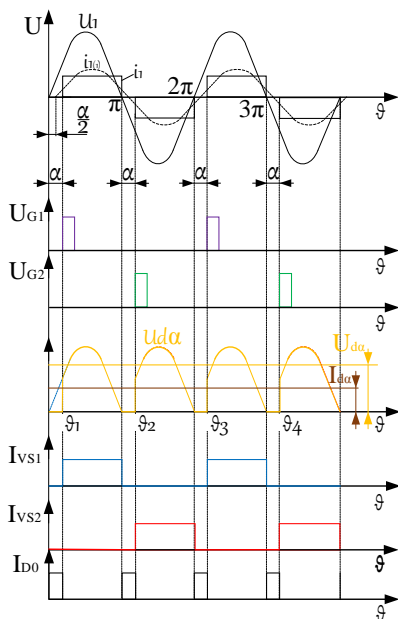


Фиг. 1. Схема на еднофазен мостов управляем токоизправител

Напрежението върху товара се определя от зависимостта:

$$U_{d\alpha} = U_d \cos \alpha, \quad (1)$$

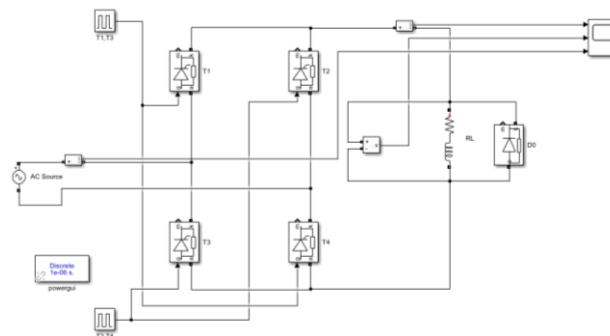
където  $\alpha$  е ъгъла на регулиране.



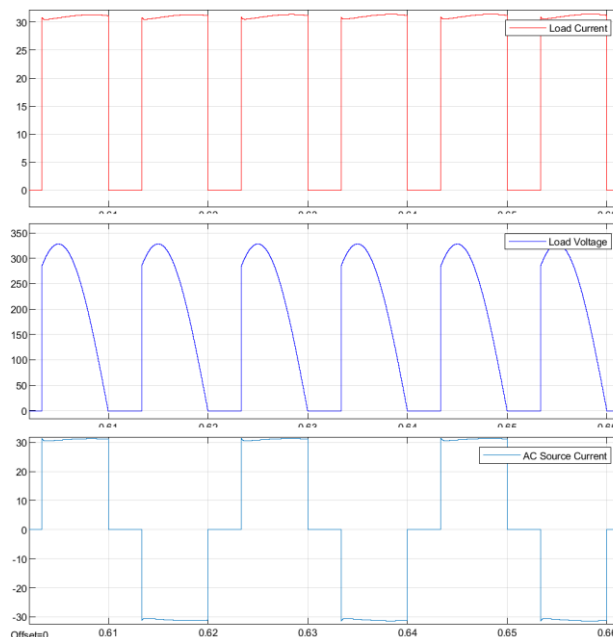
Фиг. 2. Времедиаграми.

Създаване на модел в Simulink.

За създаване на модел на еднофазен мостов управляем токоизправител се използва библиотеката Simscape. Елементите на схемата се извикват последователно от библиотеките Foundation library/ Electrical /Specialized power system/ Electrical sources, Elements и Measurement. Начертаната схема на еднофазен мостов управляем токоизправител е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Управляем мостов токоизправител



Фиг. 4. Симулирани времедиаграми на еднофазен мостов управляем токоизправител

Задаване на параметри на елементите на схемата:

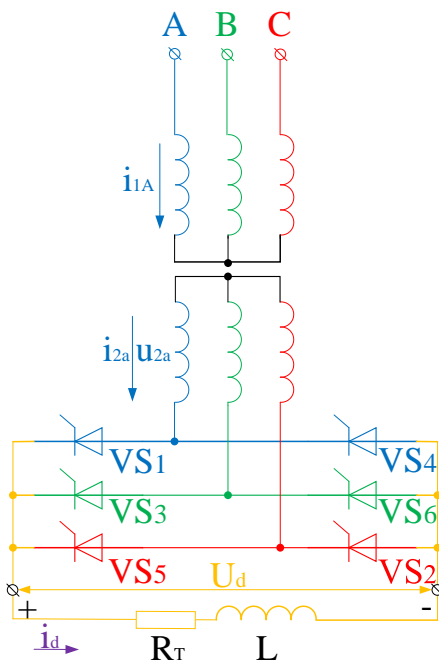
- AC Source-Peak amplitude (V): 330 V, Frequency (Hz): 50 Hz.
- Pulse generator-Amplitude (V):10 V, Period (secs): 0.02, Pulse Width (% of period): 20, Phase delay (secs):  $0.02 \cdot (0+60=60/360)$  за  $T_1$  и  $T_3$ ,  $0.02 \cdot (240/360)$  за  $T_2$  и  $T_4$ . Посредством Phase delay се задава ъгъла на регулиране  $\alpha$ . В показания пример е  $60^\circ$  ел.
- RL-Resistance (Ohms):5  $\Omega$ , Inductance (H): 0,5 H.
- Powergui блок схемата се преобразува като уравнения в пространството на състоянията и се избира тип на симулацията-дискретна, непрекъсната. Посредством вградените инстру-

менти в блока може да бъде направен хармоничен анализ на измерваните величини.

На фиг. 4 са резултати от направената симулация на еднофазен мостов управляем токоизправител.

## 2. Трифазен мостов управляем токоизправител.

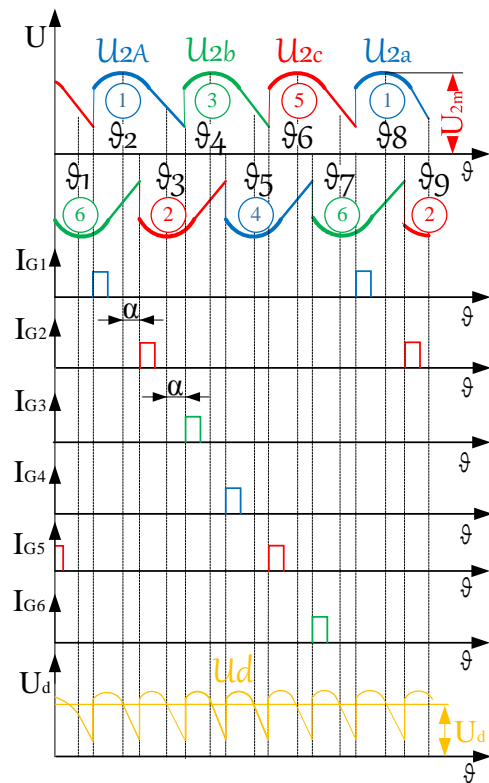
На фиг. 5 е представена схемата на трифазен мостов управляем токоизправител, а на фиг. 6 времедиаграми илюстриращи работата му.



Фиг. 5. Схемата на трифазен мостов управляем токоизправител

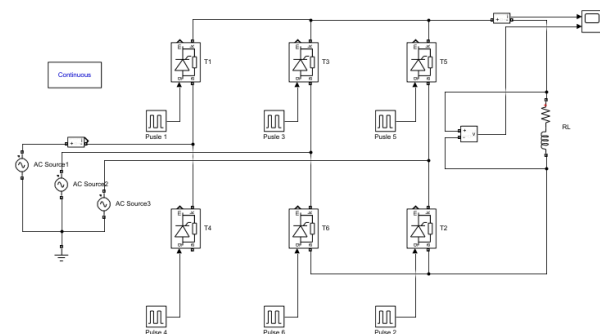
Трифазният мостов токоизправител е съставен от два еднополупериодни трифазни изправителя свързани последователно по отношение на товара. Управляемият токоизправител VS<sub>1</sub>, VS<sub>3</sub>, VS<sub>5</sub> изправя положителните полуцикли на напрежението, а изправителя съставен от VS<sub>2</sub>, VS<sub>4</sub> и VS<sub>6</sub> отрицателните полуцикли на фазните напрежения. Управляващите импулси са отместени на ъгъл  $\alpha$  спрямо пресечната точка на съответните фазни напрежения. Тиристорите се включват последователно, когато съответното им фазно напрежение е най-положително за катодната група или най-отрицателно за тиристорите от анодната група. Така на практика се получава 6 фазна

система[2,7]. Пулсациите на напрежението и тока са шест кратни. Средната стойност на изправеното напрежение се получава посредством израз (1).



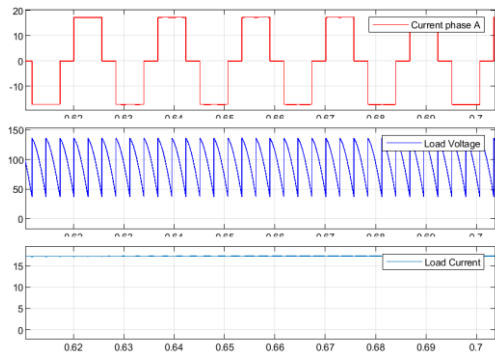
Фиг. 6. Времедиаграми на трифазен мостов управляем токоизправител

На фиг. 7 е представен модел на трифазен мостов изправител в Simulink. За съставяне на модела следва да се отчете, че отделните фази са дефазирани на 120° и 240°.



Фиг. 7. Трифазен мостов управляем токоизправител

На фиг. 8 са представени резултати от симулирането на работата на трифазен мостов управляем токоизправител при ъгъл на регулиране 45° ел.



Фиг. 8. Симулирани времодиаграми на трифазен мостов управляем токоизправител

### 3. Хармоничен състав на тока и напрежението при управляемите токоизправители

При токоизправителите изправеното напрежение съдържа две съставлящи: постоянна  $U_d$  и променлива - сума от висши хармоници, която може да се разложи в ред на Фурие[7]. Честотата на отделните хармоници е свързана с честотата на захранващата мрежа  $f_{mp}$  и се определя от израза:

$$f_v = \nu m f_{mp}, \quad (2)$$

където:  $\nu = 1, 2, 3 \dots$  (номер на хармоника);  $m$ -брой на фазите (за еднофазни двуполупериодни ТИ  $m=2$  при трифазен мостов  $m=6$ ).

Амплитудата на отделните хармоници  $U_{dvm}$  отнесена към средната стойност на изправеното напрежение (за управляеми токоизправители) се намира от съотношението[7,8]:

$$\frac{U_{dvm}}{U_d} = \frac{2}{\nu^2 m^2 - 1} \cos \alpha \sqrt{1 + \nu^2 m^2 \tan^2 \alpha}. \quad (3)$$

При управляемите ТИ консумираният от мрежата ток  $i_1$  и неговият първи хармоник  $i_{1(1)}$  са дефазирани на ъгъл  $\alpha$  от напрежението на мрежата  $u_1$ . Ако токът на еднофазните ТИ се разложи в ред на Фурие ще се получи[7]:

$$i_1(\vartheta) = \frac{4I_d}{\pi} \left( \sin \vartheta + \frac{1}{3} \sin 3\vartheta + \frac{1}{5} \sin 5\vartheta + \dots + \frac{1}{\nu} \sin(\nu\vartheta) \right), \quad (4)$$

където  $I_d$  е средната стойност на изправеният ток.

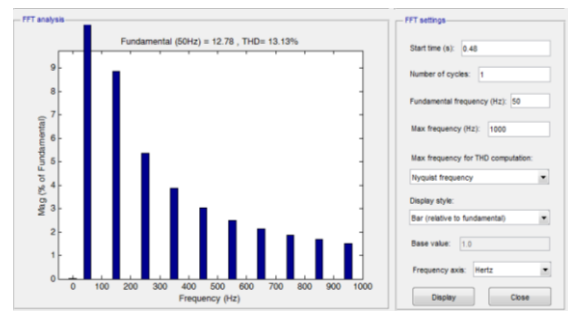
Хармоничният състав на тока на трифазния мостов ТИ се получава посредством израза[7]:

$$i_1(\vartheta) = \frac{2\sqrt{3}I_d}{\pi} \left( \sin \vartheta - \frac{1}{5} \sin 5\vartheta - \frac{1}{7} \sin 7\vartheta + \dots + \frac{1}{11} \sin 11\vartheta \dots \right). \quad (5)$$

От (5) се вижда, че при трифазния мостов ТИ няма трети хармоник и кратните на него.

При разглежданите зависимости не се отчита ъгълът на комутация  $\gamma$  на ключовите прибори и комутационните процеси в ТИ.

На фиг.9 е представен хармоничен анализ на тока на захранващия източник за еднофазен мостов управляем ТИ, при ъгъл на отпушване  $65^\circ$  ел.



Фиг. 9. Хармоничен състав на тока на еднофазен управляем ТИ

От фигурата е видно, че в хармоничният състав на тока на еднофазен мостов управляем ТИ има само нечетни хармоници.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящият доклад са съставени интерактивни симулационни модели на еднофазен мостов и трифазен мостов управляеми токоизправители за обучение на студенти от ОКС "Бакалавър". Моделите позволяват демонстрирането на принципа на действие на ТИ, снемане на регулировъчна характеристика и изследване на хармоничния състав на напрежението и тока. От получените графични зависимости се вижда работоспособността на симулационните модели.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Bobcheva, M., N. Gradinarov, N. Maleev, E. Popov, M. Anchev, Power electronics. Sofia, TU-Sofia, 1998.
- [2]. Bobcheva, M., S. Tabakov, P. Goranov, Power electronics convertors. Sofia, Techniks, 2002.
- [3]. Nachev, N., etc. Industrial electronics, Sofia, TU-Sofia, 1994.
- [4]. Popov, E., N. Hinov, Semiconductor electronics, Sofia, TU-Sofia, 2009.
- [5]. Simeonov, M. Power supplies, Gabrovo, Vasil Aprilov, 2015.
- [6]. Zabrodin, Y., Industrial electronics. Moscow, Graduate School, 1982.
- [7]. Gradinarov, N., E. Popov, M. Anchev, N. Hinov. Guide for laboratory exercises in electronics. Sofia, TU-Sofia, 2014.
- [8]. Matlab Simulink Documentation.