

## ASPECTE PRIVIND SIMULAREA FUNCȚIONĂRII PĂRȚII DE COMANDĂ PENTRU UN INVERTOR TRIFAZAT DE TENSIUNE UTILIZÂND INSTRUMENTE SOFTWARE DE TIP OPEN SOURCE

Dan Gabriel STĂNESCU<sup>1</sup>, Marian Cosmin BUȘE<sup>1</sup>, Ioana Gabriela SÎRBU<sup>1</sup>,  
Lucian MANDACHE<sup>1</sup>, Radu Cristian DINU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea din Craiova, Facultatea de Inginerie Electrică  
dan.stanescu@edu.ucv.ro<sup>1</sup>, buse.marian.c7f@student.ucv.ro<sup>1</sup>, ioana.sirbu@edu.ucv.ro<sup>1</sup>,  
lucian.mandache@edu.ucv.ro<sup>1</sup>, radu.dinu@edu.ucv.ro<sup>1</sup>

**Rezumat.** În această lucrare sunt prezentate o serie de aspecte privind simularea părții de comandă aferente unui invertor trifazat de tensiune cu modulație PWM. Simulările au fost realizate utilizând un software de tip open source. Avantajul utilizării acestui tip de software este legat de faptul că se pot realiza simulări rapid, se pot valida rezultate, se pot face analize, fără să mai fie necesare instrumente software comerciale.

### 1. INTRODUCERE

Este cunoscut faptul că etapa de simulare reprezintă un pas important în validarea la nivel de simulare a unor rezultate în cadrul unor circuite electrice, înainte de realizarea acestora. Invertoarele trifazate de tensiune sunt folosite într-o gamă din ce în ce mai largă de aplicații industriale. Pornind de la aspectele teoretice din literatura de specialitate s-a putut concepe o schemă de comandă analogică pentru invertoarele trifazate de tensiune. Această schemă a fost testată cu ajutorul unui instrument software de tip open source oferit de un prestigios producător de echipamente și componente electronice [1]. Astfel s-au putut valida rapid rezultatele simulărilor fără utilizarea unui instrument software comercial care impune anumite condiții și care presupune costuri suplimentare mai ales în cazul în care apar situații similare cu perioada de pandemie. Desigur că instrumentele software de tip open source au și anumite limitări, de exemplu nu pot să ofere unui suport tehnic dedicat, așa cum este în cazul instrumentelor software comerciale [2].

### 2. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII PĂRȚII DE COMANDĂ AFERENTE INVERTORULUI TRIFAZAT DE TENSIUNE

Pornind de la o serie de articole și cărți din literatura de specialitate [3-5] au fost realizate o serie de simulări pentru a studia modul în care funcționează un algoritm de comandă analogic aferent unui invertor trifazat de tensiune cu comandă analogică de tip PWM sinusoidal [6,7]. Ca și instrument software s-a utilizat programul de tip open source TINA, oferit de Texas Instruments [1].

Pentru partea de generare a semnalului sinusoidal s-a utilizat un oscilator în rețea Wien având frecvența semnalului calculată conform relației [3]:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (1)$$

Acest lucru este valabil în cazul în care  $R_4=R_1=R$  și  $C_1=C_2=C$  așa cum este ilustrat în Fig. 1 pentru blocul nr. 1 [3].

Ca și amplificatoare operaționale au fost folosite amplificatoarele operaționale de tip TL08 (în simulare s-au utilizat amplificatoare operaționale de tip TL081[8]). Frecvența de oscilație a fost impusă la valoarea de 53 Hz [3]. În Fig. 2 sunt prezentate rezultatele simulării. În cadrul simulărilor nu s-a luat în considerare timpul mort al invertorului.

Desigur că schemele de comandă pot fi modificate astfel încât să se obțină o comandă cât mai eficientă aferentă driverelor inverterului trifazat de tensiune.

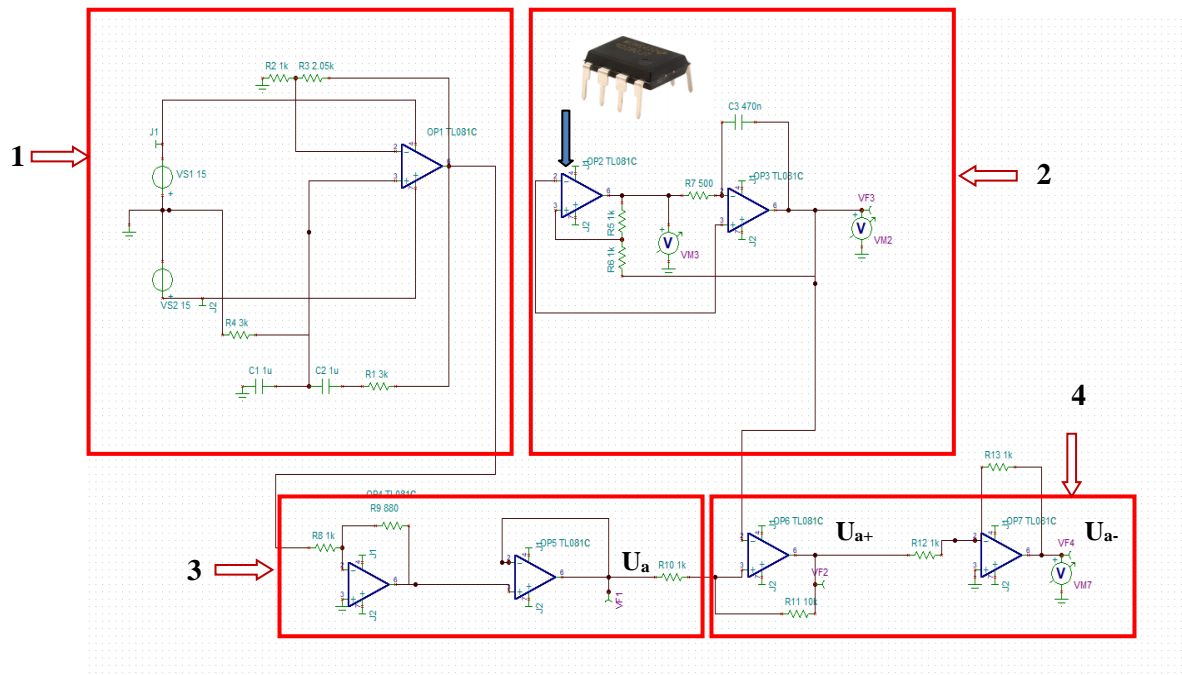


Fig. 1 – Circuitul electric utilizat pentru simularea semnalelor PWM aferente unui braț al inverterului trifazat utilizând amplificatoare operaționale:  
 1 - generator de semnal sinusoidal; 2 - generator de semnal triunghiular; 3 - circuit de adaptare pentru semnalul de comandă sinusoidal ( $U_a$ ); 4 - generator de semnal PWM pentru cele două elemente de pe primul braț al inverterului.

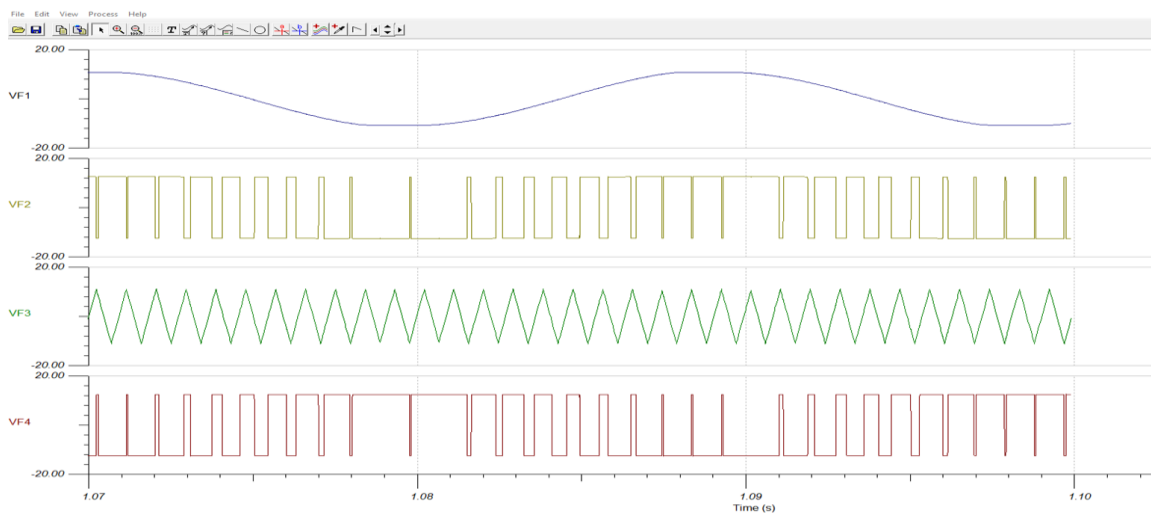


Fig. 2 – Ilustrativă privind generarea semnalului de comandă PWM pentru un braț al inverterului:  
 a) VF1-reprezintă semnalul sinusoidal ( $U_a$ ); b) VF3 reprezintă semnalul triunghiular;  
 c) VF2( $U_{a+}$ ) și VF4( $U_{a-}$ ) reprezintă impulsurile dreptunghiulare aferente celor două tranzistoare de pe un braț al inverterului, obținute prin compararea semnalului sinusoidal cu cel triunghiular.

În continuare sunt prezentate circuitele utilizate în simulare pentru realizarea defazajului semnalului sinusoidal de la ieșirea oscilatorului în rețea Wien cu  $120^{\circ}$  și respectiv  $240^{\circ}$ , pentru comanda de pe brațele 2 și 3 ale inverterului. În realizarea acestora au fost folosite următoarele relații [9]:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{15} \cdot C_4}$$

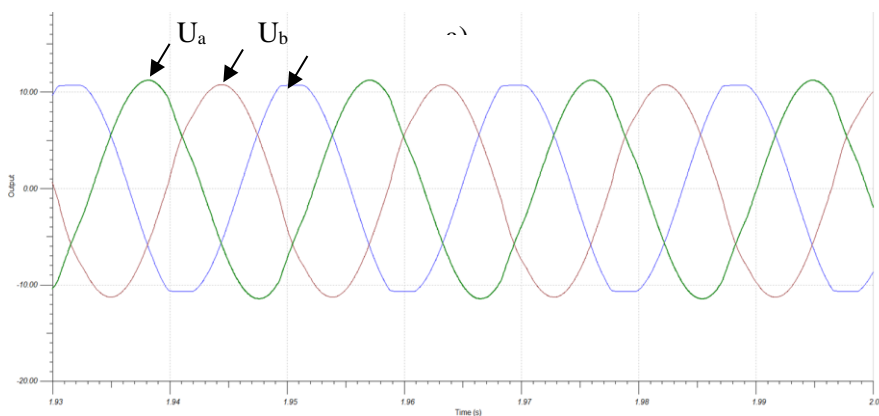
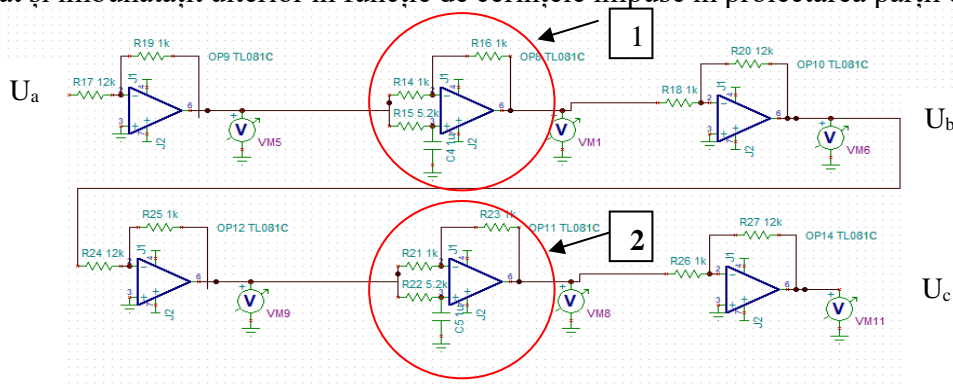
$$\varphi = -2 \arctg \frac{f}{f_0} \quad (2)$$

$$A = 1$$

în care  $f_0$  este frecvența de tăiere,  $\varphi$  este defazajul, iar  $A$  valoarea amplitudinii semnalului (în volți).

Pentru obținerea unghiurilor de defazaj de  $120^\circ$  și respectiv  $240^\circ$  este nevoie ca frecvența semnalului sinusoidal  $f$  să fie de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decât  $f_0$ . În cazul de față frecvența semnalului sinusoidal de la ieșirea rețelei Wien este de 53 Hz [3]. Pentru o amplitudine de 1V a semnalului sinusoidal aplicat la intrarea circuitului de defazare (blocul 1, Fig. 3.a), frecvența  $f_0$  a acestuia va fi egală cu 30 Hz. Impunând valoarea condensatorului  $C_4=1\mu\text{F}$ , rezultă o valoare a rezistenței  $R_{15}$  de 5.2 k $\Omega$ . În mod asemănător se procedează și pentru al doilea circuit de defazare (blocul 2, Fig. 3.a), valorile elementelor pasive rămânând aceleași.

Au fost utilizate două blocuri de adaptare ale valorilor semnalelor de comandă înainte și după blocurile de defazare (atenuare la 1 V și amplificarea la valoarea echivalentă semnalului de comandă  $U_a$ ), așa cum este ilustrat în Fig. 3.a. Circuitul de defazare prezentat poate fi modificat și îmbunătățit ulterior în funcție de cerințele impuse în proiectarea părții de comandă.



b)

Fig. 3. – Ilustrativă privind blocul de realizare defazaj semnale sinusoidale de comandă pentru brațele 2 și 3 ale invertorului trifazat de tensiune:

Pe baza celor prezentate anterior se poate realiza schema pentru generarea semnalelor PWM pentru brațul 2 ( $U_{b+}$ ,  $U_{b-}$ ), respectiv brațul 3 ( $U_{c+}$ ,  $U_{c-}$ ) ale inverterului trifazat de tensiune (Fig. 4).

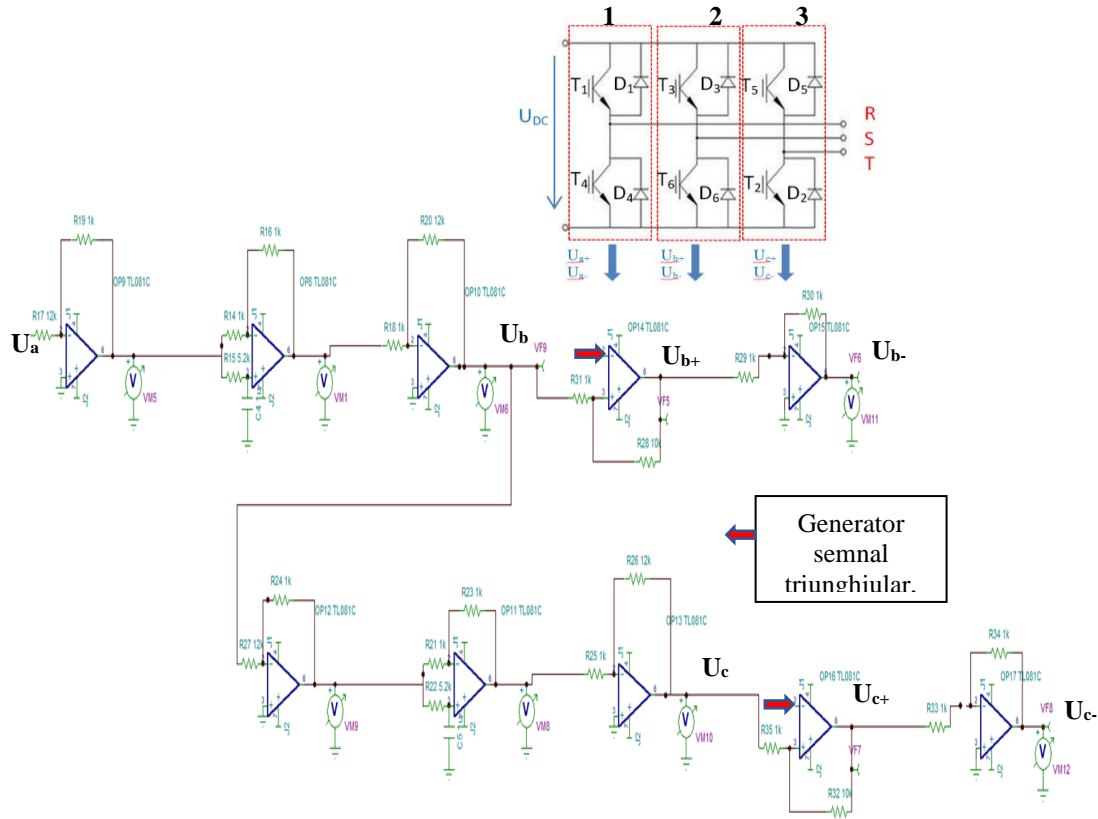
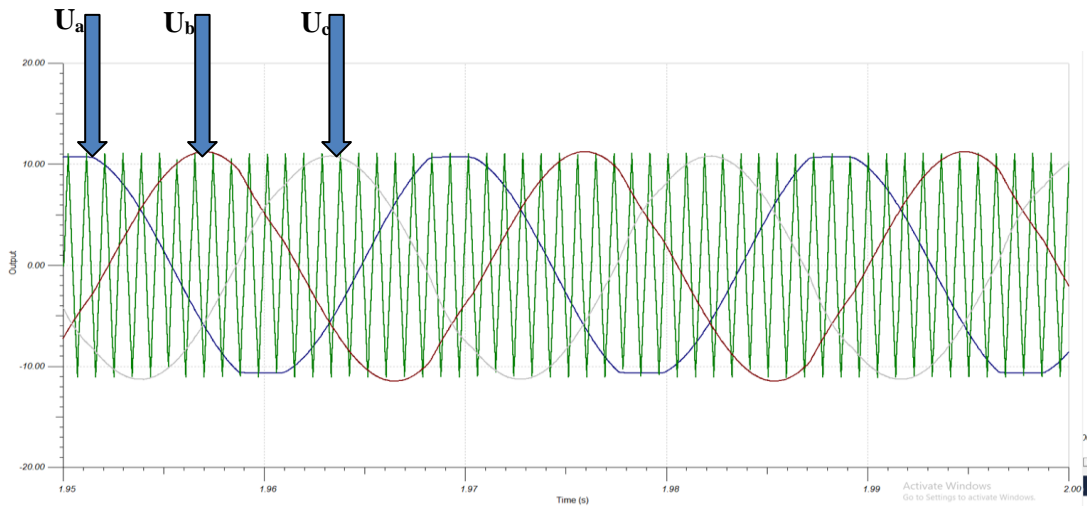


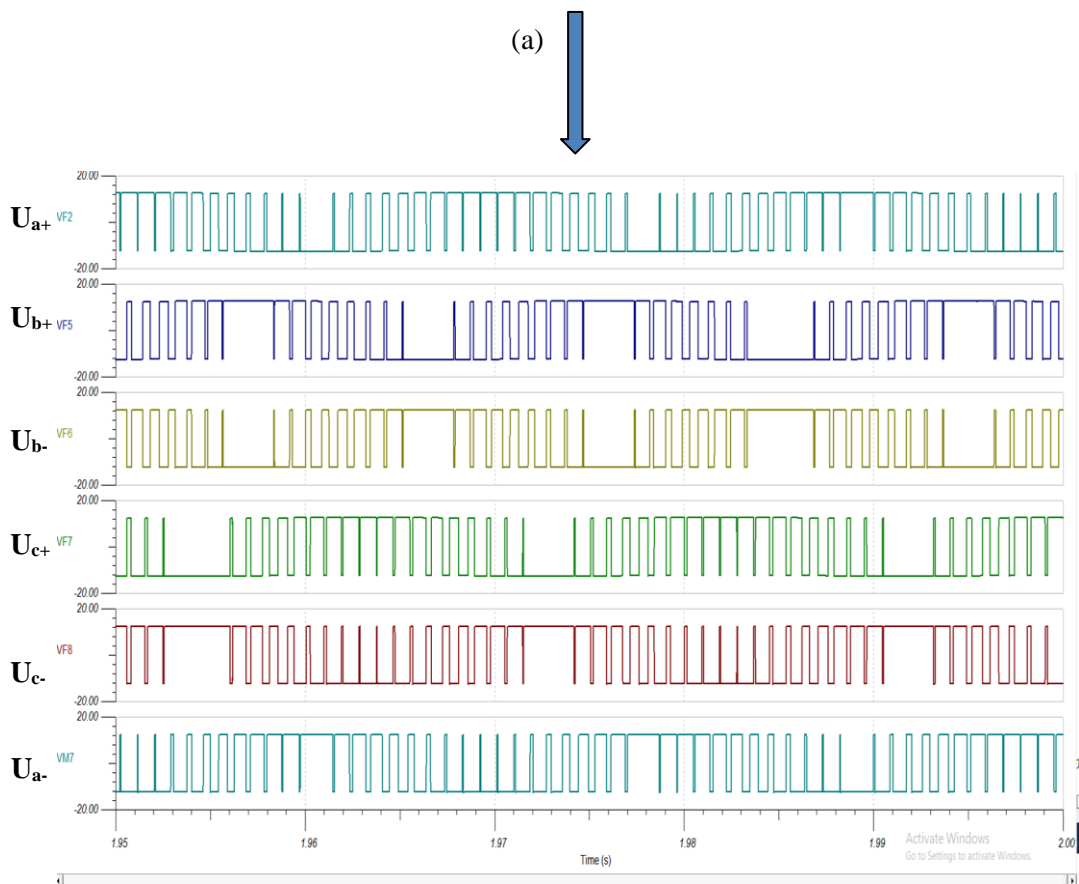
Fig.4. – Circuitul realizat pentru generarea semnalelor PWM pentru brațele 2 și 3 ale inverterului trifazat de tensiune.

Ținând seama de schemele din Fig. 1, 3.a și 4, au fost realizate simulări privind comportarea întregului circuit de comandă. Rezultatele obținute la nivel de simulare sunt prezentate în Fig. 5. În Fig. 5 a) sunt prezentate rezultatele obținute prin compararea celor trei semnale sinusoidale cu cel triunghiular pentru determinarea momentelor de comutație.

La intersecția celor trei semnale sinusoidale cu cel triunghiular se obțin momentele de comutație. Semnalele PWM rezultate pentru elementele de pe cele 3 brațe ale inverterului trifazat sunt prezentate în Fig. 5 b). Pe baza schemelor și rezultatelor obținute se poate concluziona faptul că circuitul de comandă simulat poate fi un punct de plecare pentru realizarea unei comenzi analogice de tip PWM sinusoidal.



(a)



(b)

Fig. 5 Ilustrativă privind simularea momentelor de comutație și obținerea semnalelor PWM pentru cele 3 brațe ale invertorului trifazat de tensiune.

#### 4. CONCLUZII

În cadrul lucrării a fost prezentat la nivel de simulare un circuit pentru comanda analogică de tip PWM sinusoidal aferentă unui invertor trifazat de tensiune. Circuitul a fost realizat utilizând amplificatoare operaționale. Circuitul poate fi dezvoltat ulterior pentru a crește eficiența sau pentru dezvoltarea de strategii de comandă performante pentru invertore de tensiune trifazate. Ca și instrument software a fost utilizat un program de tip open source, ușor

de utilizat și avantajos în cazul în care se dorește obținerea rapidă de rezultate la nivel de simulare.

## CONFIRMARE

Lucrarea a fost prezentată la Simpozionul de Mașini Electrice SME'22, ediția 2022.

## BIBLIOGRAFIE

1. [\\*\\*\\*https://www.ti.com/tool/TINA-TI](https://www.ti.com/tool/TINA-TI).
2. [\\*\\*\\*https://opensourcepentruinstitutii.wordpress.com/](https://opensourcepentruinstitutii.wordpress.com/).
3. M.K.K. Prince, Md. ZahedIqbal, M. AbrarFahim, *Small scale two level pwm driver design for single phase sine wave inverter and total harmonic distortion mitigation*, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), **44**, No. 2, pp. 78-84, February, 2017.
4. N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins, *Elettronica di potenza.convertitorii e applicazioni*, Ediția a treia, Ed. Hoepli, 2005.
5. R. Hossain, M.Ahmed, H. Zaman, A. Nazim, *A comparative study of various simulation software for design and analysis of operational amplifier based integrator circuits*, 8th Annual Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference (IEMECON), pp.278-282 (August 2017).
6. M. Mahbub, M.A. Hossain, *Design, simulation and comparison of three-phase symmetrical hybrid sinusoidal PWM fed inverter with different PWM techniques*, 2nd International Conference. on Robotics,Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), pp.1-5 (January 2021).
7. L. Mandache, D. Topan, *Simularea circuitelor electrice. Algoritmi și programe de calcul*, Ed. Universitaria, Craiova, 2009.
8. [\\*\\*\\*https://ardushop.ro/ro/home/2153tl081cp.html?gclid=EA1aIQobChMIkf2Tt6bT\\_AIVkuN3Ch023wyUEAQYASABEgKy0\\_D\\_BwE](https://ardushop.ro/ro/home/2153tl081cp.html?gclid=EA1aIQobChMIkf2Tt6bT_AIVkuN3Ch023wyUEAQYASABEgKy0_D_BwE).[\\*\\*\\*https://electronics.stackexchange.com/questions/487136/how-does-this-opamp-phase-shifter-produce-2x-phase-shift-at-the-output-without-c](https://electronics.stackexchange.com/questions/487136/how-does-this-opamp-phase-shifter-produce-2x-phase-shift-at-the-output-without-c).