

# **STUDIUL UNUI INVERTOR MONOFAZAT CU MICROCONTROLLER**

**Autor:**

**ILIE Octavian**

Rezumat: Articolul prezintă experimentarea unui invertor monofazat de putere cu transformator (cu priză mediană în circuitul intermediar) care are forma tensiunii la ieșire dreptunghiulară sau cvasi-sinusoidală. Controlul bobinelor transformatorului se realizează cu tranzistoare MOSFET de putere. La experimentări, se va utiliza o sursă de putere în comutație, care alimentează cu tensiune continuă invertorul. În articol se vor realiza măsurători electrice (curenți, tensiune, puteri) pentru mai multe tipuri de control, când la ieșirea invertorului este conectată o lampă incandescentă.

Abstract: This article presents experimenting of a single-phase power inverter (with intermediate connection) which has the output voltage rectangular or quasi-sinusoidal shapes. The inverter control is performed with 8-bit PIC microcontroller and command of transformer is performed with power MOS-FET transistors. On experiments will be used a commutation power supply which supplies the inverter. In the article will be used electronic measurement (currents, voltage, powers) for multiple types of when the inverter output is connected to an incandescent lamp.

## 1. Introducere

Invertoarele de tensiune sunt dispozitive electronice care transform curenul continuu în curent alternativ necesar multor aparate electrice folosite de oameni. Curentul alternativ obținut are formă de sinusoid, calitatea curentului fiind aceeași sau mai bună decât a curentului de la rețea.

Un invertor de putere utilizează o sursă de putere de tensiune continuă capabilă să asigure un curent suficient de mare. Valoarea tensiunii continue de alimentare depinde de construcția și utilizarea invertorului:

- 12 V c.c. pentru consumatori de mică putere și comerciali care sunt alimentați de la acumulatorii cu plumb (de ex. auto);
- 24 V sau 48 V c.c. care se utilizează la invertoarele de putere mică (de ex. instalații cu panouri fotovoltaice);
- 200 până la 400 V c.c. pentru parcurile fotovoltaice de putere;
- 200 până la 450 V c.c. pentru vehiculele electrice sau hibride;
- sute sau mii de volți pentru transmisia la distanță a energiei electrice în curent continuu.

Pentru sistemele de energie alternativă, invertoarele de tensiune sunt o verigă importantă între energia în curent continuu a bateriei și energia în curent alternativ pe care o necesită aparatura electrică obișnuită.

## 2. Formele de undă ale invertoarelor de putere monofazate

Există două tipuri de invertoare monofazate care transform tensiunea continuă de nivel mic în tensiune alternativă joasă (230 V c.a.): convertoarele boost (surse în comutație) și cele cu transformator de putere (ex. la frecvența de 50 Hz) [3].

Majoritatea consumatorilor electrici industriali și casnici funcționează optim când tensiunea de alimentare este sinusoidală. Totuși, există consumatori electrici care funcționează aproape la fel, dacă unda este sinusoidală modificată (de exemplu consumatorii electrici care au surse în comutație).

Pentru a produce forme de undă sinusoidale se utilizează tehnica PWM (modulare în lăime de puls). Modificarea amplitudinii și a frecvenței tensiunii de ieșire se face prin intrarea în conducție și blocarea elementelor semiconductoare de putere (tranzistoare BJT, MOS FET, IGBT) la momente bine stabilite, la frecvență ridicată, după un anumit algoritm (în cazul utilizării microcontrolerelor la controlul invertoarelor). Un filtru LC serie acordat la frecvența fundamentală diminuează nivelul armonicilor [1].

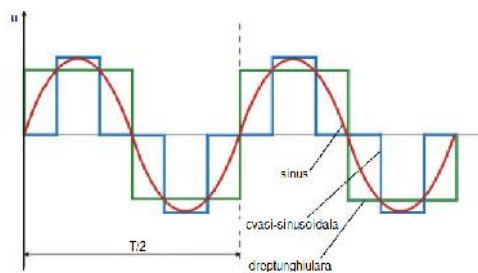


Fig.1. Forme de undă ale tensiunii de ieșire la invertoarele de putere monofazate: dreptunghiular , cvasi-sinusoidal și sinusoidal

Formele de undă ale tensiunii alternative de la ieșirea invertoarelor pot fi: undă dreptunghiulară , undă modificată sinusoidală , pulsuri sinusoidale, undă pur sinusoidală (fig.1). Prețul de cost și complexitatea cresc spre ultimul tip de inverter. La invertoarele de putere, forma de undă sinusoidală se obține cel mai dificil (controlul este complex, iar transformatorul și elementele semiconductoare se încălzesc puternic pentru că funcționează la frecvență ridicată ).

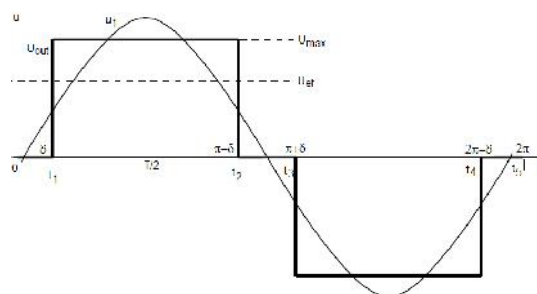


Fig.2. Tensiune cvasi-sinusoidală și armonica fundamentală de tensiune de la ieșirea invertoarelor monofazate

Tensiunea dreptunghiulară și cvasi-sinusoidală se obțin mai ușor decât forma de undă sinusoidală (fig.2). Teoretic, tensiunea dreptunghiulară se obține din seria Fourier. Pentru semnalele simetrice față de timp, armonicile de ordin par lipsesc (componentele care au funcția cos sunt 0) [1,5]:

$$u = \sum_{i=1}^n U_i \cdot \sin(i \cdot \omega_0 \cdot t) \quad (1)$$

unde  $U_i$  este tensiunea maximă a unei armonice,  $i$  este rangul armonice,  $\omega_0$  este pulsația semnalului, iar  $n$  numărul maxim de armonice care se iau în considerare. Tensiunea fundamentală este:

$$u_1 = U_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) \quad (2)$$

Dacă se notează cu:

$$\varphi_0 = \omega_0 \cdot t \quad (3)$$

Pentru un semnal dreptunghiular, tensiunea fundamentală se poate calcula cu:

$$U_1 = \frac{2 \cdot U_{DC}}{\pi} \int_{\delta}^{\pi-\delta} \sin(\varphi_0) d\varphi_0 = \frac{4 \cdot U_{DC}}{\pi} \cdot \cos \delta \quad (4)$$

unde  $U_{DC}$  este tensiunea continuă de alimentare a invertorului.

### 3. Invertoare monofazate de putere cu transformator

Aceste tipuri de invertoare au un transformator de putere, care funcționează de obicei la frecvență industrială. Pentru puteri mici comanda transformatorului (cu priză mediană în primar) se poate face cu două (uneori grupuri-fig.3) tranzistoare de putere (BJT, MOSFET sau IGBT) care funcționează în contra-timp [2,3].

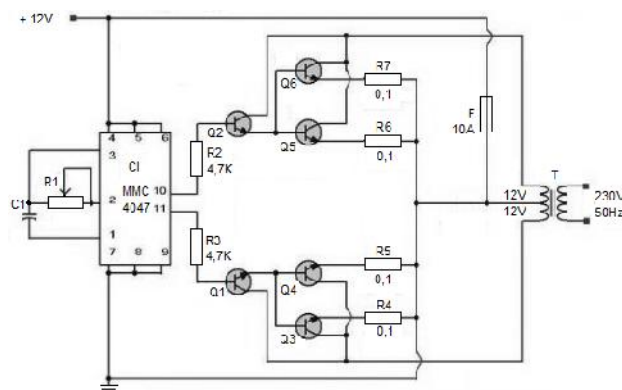


Fig. 3. Invertor de putere comandat de circuitul astabil MMC 4047

În fig.3 este prezentată schema electronică a unui invertor monofazat care utilizează la comanda lui un circuit astabil MMC 4047. Perioada semnalului dreptunghiular de la ieșire depinde de  $R_1$  și  $C_1$ :

$$T = 4,4 \cdot R_1 \cdot C_1 \quad (5)$$

Pentru frecvența de 50 Hz, se pot alege:  $R_1=45,45 \text{ k}\Omega$ , iar  $C_1=100\text{nF}$ . La ieșirea astabilului (fig.3) se utilizează tranzistoare amplificatoare în curent ( $Q_1$  și  $Q_2$ ) și tranzistoare de putere (BJT) conectate în paralel ( $Q_3$  cu  $Q_4$ ,  $Q_5$  cu  $Q_6$ ) pentru a comanda alternativ înfășurările primare ale transformatorului de putere T. Se menționează că există scheme de comandă a invertoarelor și fără circuit astabil, prin utilizarea unor înfășurări suplimentare în circuitul primar care comandă

alternativ tranzistoarele de putere (între B și E). Cu aceste tipuri de control nu se poate face modificarea timpului de comutație al tranzistoarelor de putere, pentru perioada constantă a tensiunii.

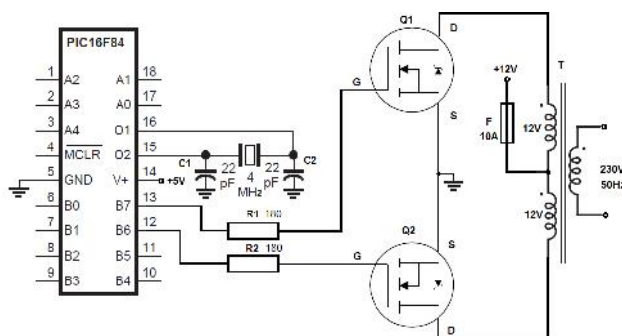


Fig. 4. Invertor de putere comandat de microcontroler PIC

Tranzistoarele de putere MOSFET pot înlocui tranzistoarele de putere BJT în invertoare. Comanda lor se face mai simplă (în tensiune). Comanda unui invertor de putere se poate realiza cu microcontroler PIC 16F84A (fig.4).

Programele s-au făcut în JAL (versiunea 2.18), iar programarea microcontrolerului s-a realizat cu ajutorul lui PicKit 2 Programmer (Microchip). La realizarea experimentelor s-a utilizat placa de dezvoltare K8048 (Velleman). Microcontrolerul utilizat este PIC 16F84A cu quartz de 20 MHz.

JAL (Just Another Language) este un limbaj de programare, un editor și un compilator creat și distribuit gratuit de către Wouter van Ooijen în anul 2003. Este asemănător cu Pascal, dependent și configurabil prin intermediul bibliotecilor și poate chiar fi combinat cu assembly (PIC assembly language). În anul 2006 Stef Mientki a inițiat dezvoltarea unei noi versiuni de JAL (JALV2) care a fost programat de către Kyle York.

#### 4. Experimentarea invertorului monofazat

La experimente s-a utilizat invertorul prezentat în fig.4. Sursa de alimentare de tensiune continuă ( $U_{DC}$ ) este tip MPS-52350, 230 V/4A/50Hz și +12V/29A. La această sursă există un potențiometrul de reglare a tensiunii de ieșire  $U_{DC}$  între 10,83 și 13,22 V. Transformatorul de putere este în primar, cu priză mediană (2x12V/230V). Miezul este realizat din tole. Pentru că transformatorul este de mică putere, experimentele s-au realizat la o tensiune de ieșire de 100,6 V. Tranzistoarele de putere ale invertorului sunt MOSFET de tip IRFP 260 cu diodă între dren și sursă. Consumatorul electric al invertorului a fost o lampă incandescentă 100W/230V (fig.5).

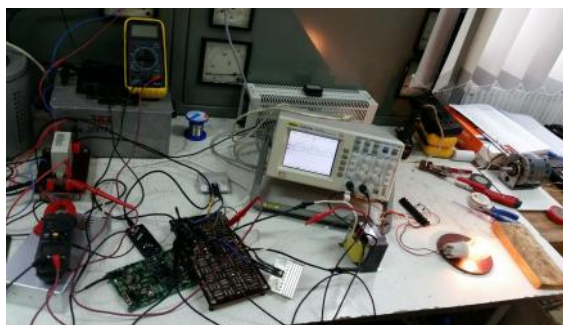


Fig. 5. Aspect de la experimentarea inverterului monofazat

În figurile 6, 7, 8, 9 și 10 sunt reprezentate rezultatele experimentelor, prima imagine din figuri reprezintă semnalele PWM generate de către microcontroler, a doua imagine din figuri reprezintă forma de undă la ieșirea fir condensator, iar ultima imagine din figuri reprezintă forma de undă la ieșire în paralel cu un condensator:  $C=5\mu\text{F}/400\text{V}$  c.a. .

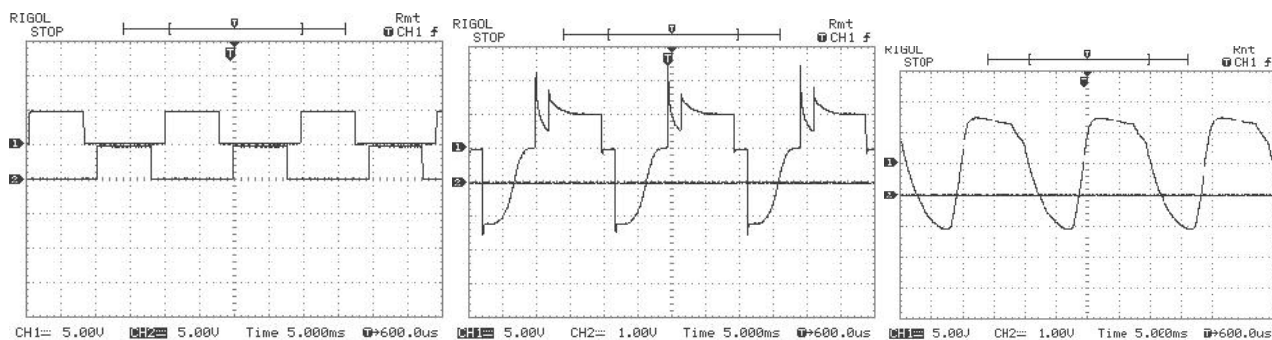


Fig. 6. Experiment 1

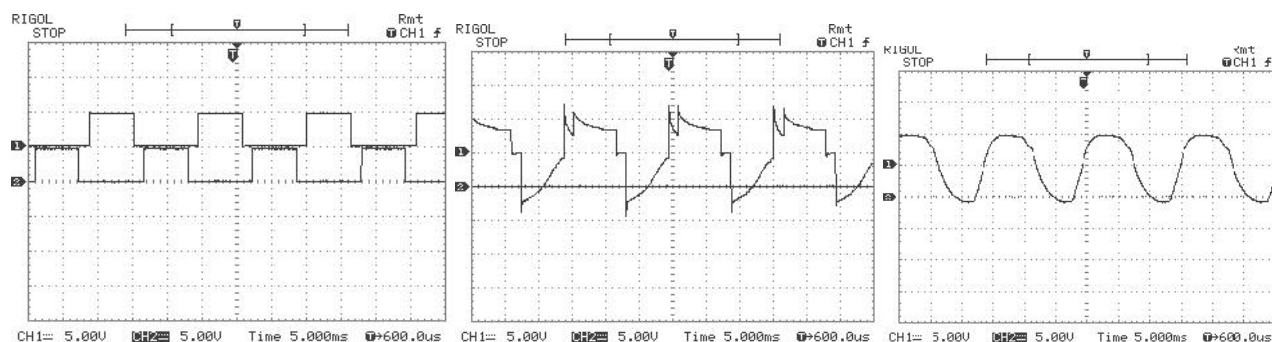


Fig. 7. Experiment 2

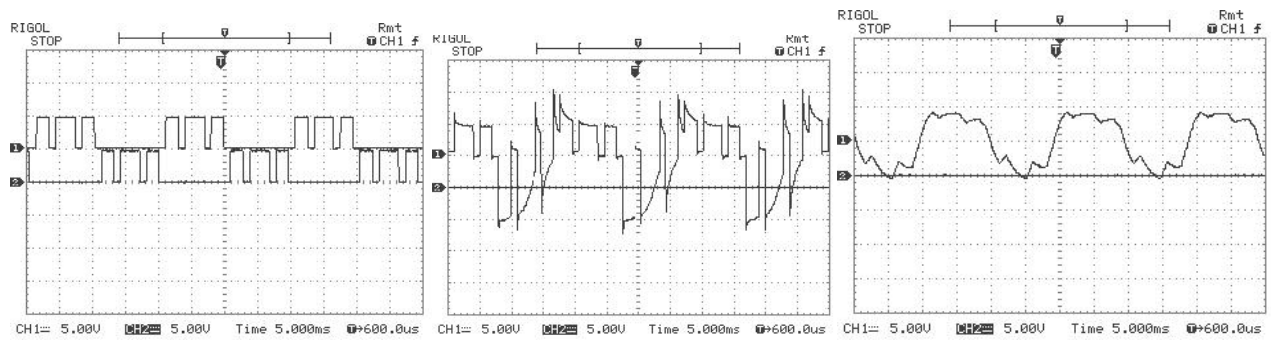


Fig. 8. Experiment 3

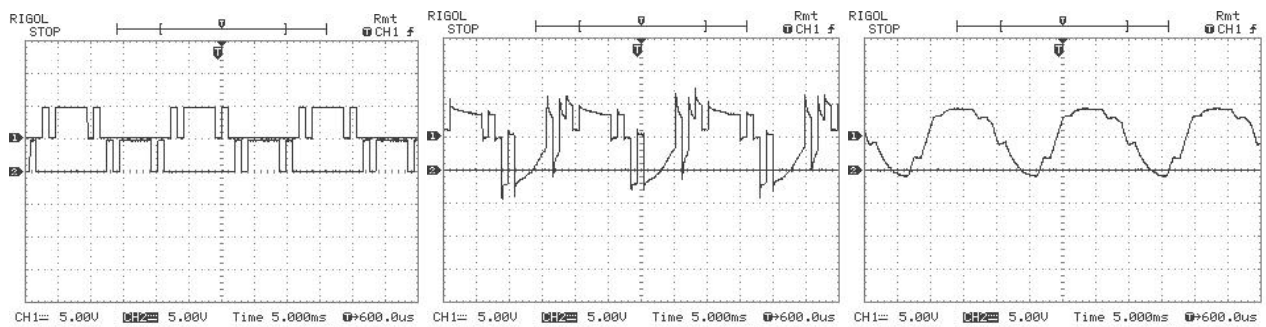


Fig. 9. Experiment 4

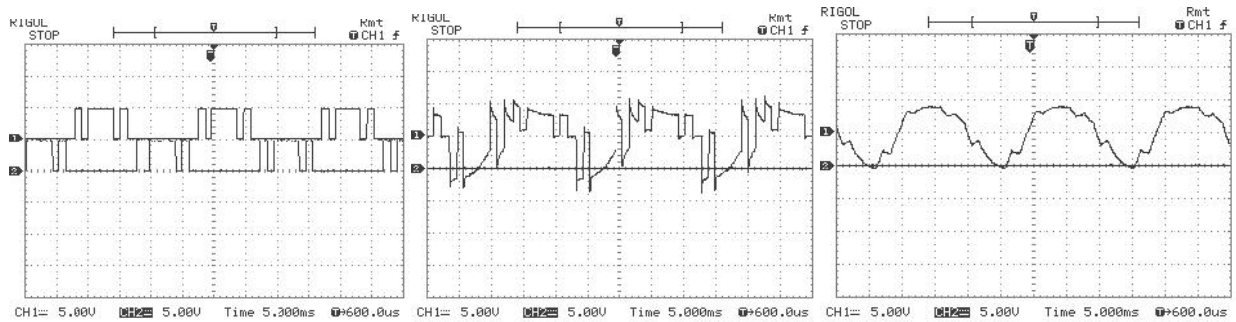


Fig. 10. Experiment 5

În următoarele două tabele, sunt reprezentate măsurătorile pe care le-am efectuat în cadrul acestui experiment, în Tabelul 1 sunt înscrise valorile măsurate în cadrul experimentului fără condensator la ieșire, iar în Tabelul 2 sunt înscrise valorile măsurate folosind un condensator la ieșire:  $C=5\mu F/400V$

Tabel 1. Puterile măsurate fără condensator la ieșire

	U[V]	P[W]	Q[VAR]	S[VA]	PF[cos φ]
1	120	107	139	175	0.60
2	100	110	145	180	0.63
3	128	97	127	161	0.62
4	103	98	132	162	0.61
5	93	91	122	157	0.60

Tabel 2. Puterile măsurate cu condensator la ieşire  $C=5\mu F/400V$  c.a.

	U[V]	P[W]	Q[VAR]	S[VA]	PF[cos φ]
1	145	111	154	187	0.63
2	96	116	157	201	0.61
3	100	102	136	168	0.61
4	84	106	135	171	0.59
5	74	101	133	168	0.61

## 5. Concluzii

Lucrarea prezintă un studiu asupra conversiei curentului continuu în curent alternativ cu scopul de a obține o formă de undă cât mai sinusoidală și o frecvență cât mai apropiată de cea a rețelei folosind impulsuri PWM generate de către un microcontroler PIC. Prin utilizarea unui condensator la ieşirea inverterului monofazat, forma de undă a tensiunii se apropie mai mult de forma de undă sinusoidală.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] D. Czarkowski, D.V. Chudnovsky, G.V. Chudnovsky, I.W. Selesnick – *Solving the Optimal PWM Problem for Single-Phase Inverters*, *IEEE Transactions on Circuits and Systems – I: Fundamental Theory and Applications*, vol.49, nr.4, aprilie 2002, pag. 465-475.
- [2] G. Gerards – *Simple 12 to 230 V Power Inverter*, *Elektor Electronics*, nr.2, 2004, pag.30-34.
- [3] J.H. Hahn – *Modified Sine-Wave Inverter Enhanced*, *Power Electronics Technology*, August 2006, pag 20-23.
- [4] D. Perreault – *Power Electronics*, curs no.6334, MIT Open Course Ware, USA, 2007.
- [5] A.S. Samosir, A.H.M. Yatim – *Dynamic Evolution Controller for Single Phase Inverter Application*, 2009 *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*, octombrie 4-6, Kuala Lumpur, Malaysia, pag 530-535.