

Laborator nr. 3

Invertor monofazat comandat cu microcontroler

În Figura.1 este prezentat configurația de bază a invertorului monofazat în punte. Schema prezentată conține tranzistoare, iar funcționarea de bază a invertorului este independent de tipul dispozitivului semiconductor din punte folosit.

Fiecare dintre tranzistoarele prezentate în figura 1 permite conducția curentului de la colector spre emitor, iar diodele montate în antiparalel cu tranzistorul permit conducția curentului în sens invers. Aceste diode de regim liber sunt caracteristice invertoarelor de tensiune, furnizând o cale inversă pentru curentul de sarcină. În acest mod se poate recupera dinspre invertor spre sursa de c.c. energia înmagazinată în inductivitatea circuitului de sarcină.

În funcționarea normală (Fig.1.a) sunt comandate simultan tranzistoarele T_1 și T_4 în contra timp cu tranzistoarele T_2 și T_3 . Durata dintre două comenzi succesive de intrare în conducție a perechii T_1 și T_4 este π radiani sau 180° . Identic este și durata dintre două comenzi succesive ale perechii T_2 și T_3 .

Neglijând căderea de tensiune în starea de conducție, terminalul A al sarcinii este conectat alternativ spre borna pozitivă (când conduc T_1, T_4) și negativă (când conduc T_2, T_3). Analog, terminalul B al sarcinii este cuplat la borna pozitivă a sursei de tensiune continuă când conduc T_2 și T_3 și respectiv la borna negativă când conduc T_1 și T_4 . Pentru cazul în care tranzistoarele T_1 și T_4 sunt în starea ON, tensiunea continuă de alimentare se aplică la bornele sarcinii. Analog, când tranzistoarele T_2 și T_3 se află în conducție tensiunea continuă este aplicată sarcinii cu polaritate inversă.

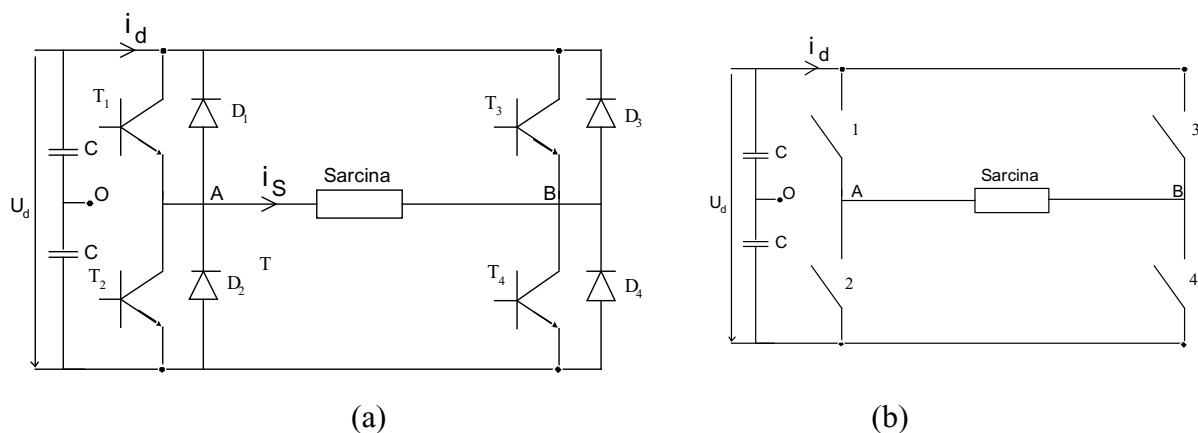


Fig. 1. Invertor monofazat – configurațiile de bază : circuit în punte (a) și circuit echivalent în punte folosind întrerupătoare mecanice ideale (b)

Considerând că fenomenul de comutație (regimul dinamic) al tranzistoarelor durează o fracțiune neglijabilă din semiperioada de funcționare, tensiunea dintre bornele A și B are o formă dreptunghiulară. Pentru explicarea modului de funcționare al invertorului este convenabil să fie luat ca punct de referință punctul median zero al sursei de tensiune continuă, care de altfel practic nici nu este folosit. Formele de undă ale tensiunilor față de punctul median al bateriei de

condensatoare (u_{AO} , u_{BO} – numite u_i tensiuni de pol) sunt prezentate în figura 2.a și (b) și au formă dreptunghiulară cu amplitudinea $U_d/2$. tranzistoarele sunt comandate în diagonală două câte două (spre exemplu, T_1 și T_4 comută în starea *ON* respectiv *OFF* simultan; la fel T_2 și T_3). Tensiunea rezultată la bornele sarcinii este diferența dintre tensiunile de pol, deci:

$$u_{AB} = u_{AO} - u_{BO}$$

are o formă dreptunghiulară, de amplitudine U_d ca în figura 2.c.

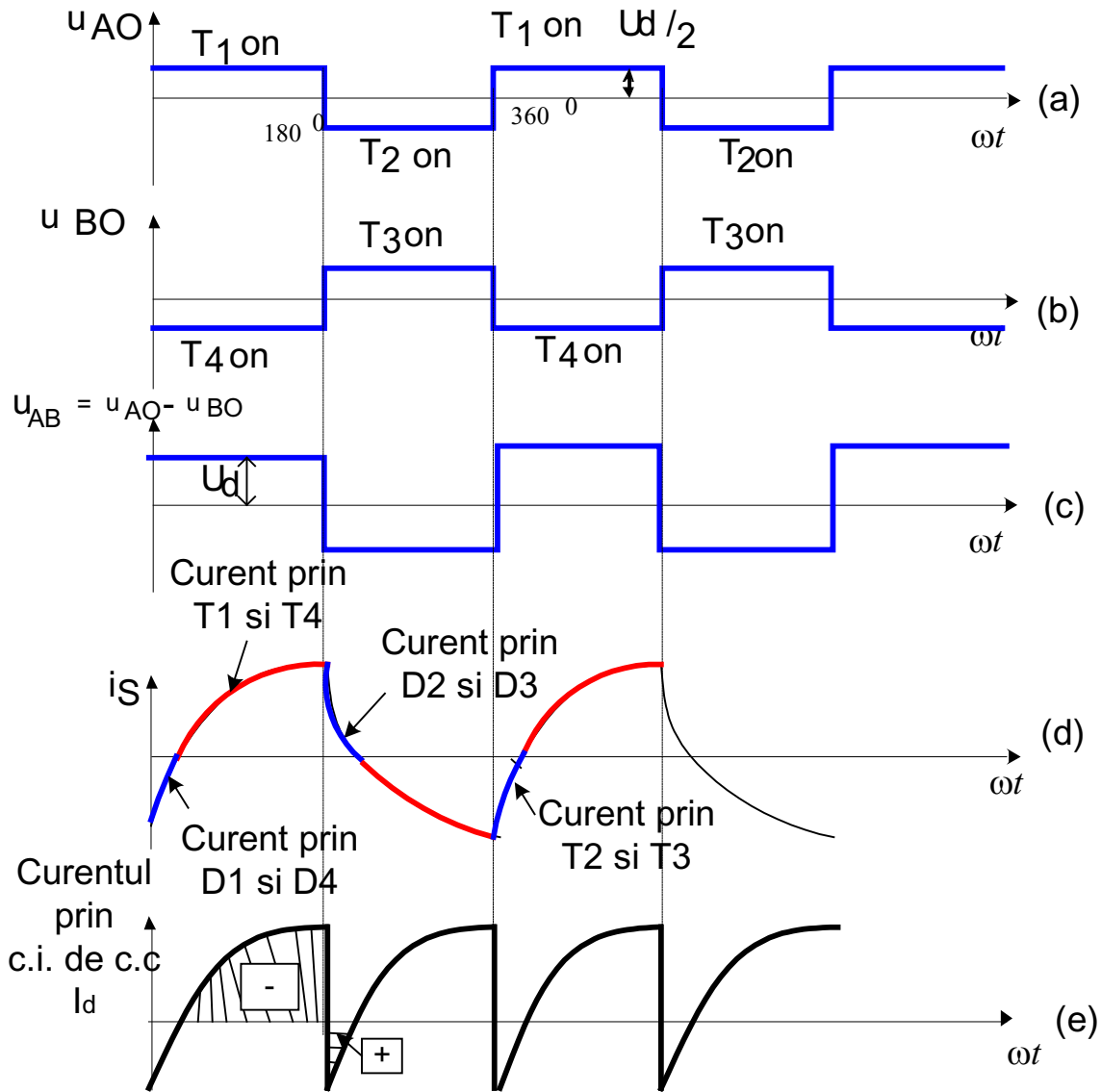


Fig.2. Formele de undă ale tensiunii și curentului pentru un invertorul monofazat în punte cu sarcină RL: tensiunea de pol (a), (b), tensiunea la bornele sarcinii (c), curentul la bornele sarcinii (d) și curentul din circuitul intermediar de c.c. (e)

Pentru o sarcină pur rezistivă, curentul are aceeași formă de undă dreptunghiulară, iar diodele de regim liber nu mai sunt necesare.

În figura 2.d este prezentată forma de undă a curentului de sarcină în regim permanent când invertorul funcționează cu sarcină RL inductivă. Curentul prin sarcină este format dintr-o

serie de exponențiale, iar pe un interval de timp după ce tensiunea \hat{u}_i inversează polaritatea, puterea instantanee consumată de sarcină este negativă. Pe acest interval tensiunea u_i și curentul prin sarcină au semne opuse, fapt ce se datorează returnării către sursa de c.c. a energiei înmagazinată în inductivitatea circuitului de sarcină.

Comportarea circuitului de sarcină este identică celei a unui circuit RL serie din teoria clasică a circuitelor monofazate de c.a., unde formulele de undă ale tensiunii u_i și curentului sunt sinusoidale iar curentul este defazat în urma tensiunii. În intervalul dintre trecerea prin zero a tensiunii u_i și trecerea prin zero a curentului, puterea instantanee consumată este negativă. Aceasta înseamnă o returnare de energie spre rețeaua de alimentare de c.a.

Mecanismul de recuperare a energiei poate fi urmărit pe forma de undă a curentului de sarcină din figura 2.d, unde sunt indicate pentru fiecare interval al ciclului de c.a. dispozitivele semiconductoare aflate în conducție. La momentul $t=0$, T_2 și T_3 sunt comandate *OFF*, iar T_1 și T_4 sunt comandate *ON*; curentul de sarcină fiind stabilit de caracterul inductiv al sarcinii va circula în sensul considerat negativ, de la B spre A. Acest curent negativ de sarcină va circula prin D_1 , D_4 și sursa de c.c., returnând sursei de c.c. energia înmagazinată în inductivitatea sarcinii.

Tranzistoarele T_1 și T_4 preiau conducția curentului în aceeași jumătate de perioadă atunci când curentul de sarcină trece prin zero și \hat{u}_i inversează semnul curentului. Momentul de inversare a curentului este dependent de sarcină și poate să apară la orice moment de timp în jumătatea de perioadă. Intrarea în conducție a diodelor D_1 și D_4 la momentul $t=0$ apare ca un rezultat al inversării tensiunii pe sarcină.

După o jumătate de perioadă, T_1 și T_4 sunt comandate *OFF*, iar T_2 și T_3 sunt comandate *ON*. Prin diodele D_2 și D_3 continuă să circule curentul de sarcină considerat pozitiv. Pe durata acestui interval din jumătatea de perioadă, are loc din nou recuperarea de energie spre sursa de c.c.

Forma curentului din circuitul intermediar din c.c. prezentat în Figura 2. e) se poate defini ca fiind o replică la curentul de sarcină, cu excepția inversării de polaritate pe fiecare semialtenanță negativă a tensiunii u_{AO} .

Este evident că duratele de conducție ale diodelor de regim liber sunt identice cu intervalele cu valori negative ale curentului din circuitul intermediar de c.c., confirmând astfel fenomenul de recuperare de energie. Valoarea medie a curentului din circuitul intermediar de c.c. este determinată de valoarea medie a puterii de intrare a inverterului.

Observații:

Inverterul de tensiune monofazat în punte poate să alimenteze un motor de c.a.. Dacă acest motor frânează sau decelerează brusc (trece în regim de generator) se poate observa cum valoarea medie a curentului din circuitul intermediar de c.c. este negativă.

Curentul negativ indică o recuperare netă a energiei înmagazinată în circuitul de sarcină. O baterie de c.c. poate absorbi această energie regenerată, pe când un redresor cu diode nu. În acest ultim caz tensiunea la bornele capacității de filtrare va crește, fiind necesar un circuit de disipare dinamică a energiei pe un rezistor.

Schema electronică a lucrării practice este dată în Figura 3 iar o fotografie a circuitului practic este prezentată în Figura 4.

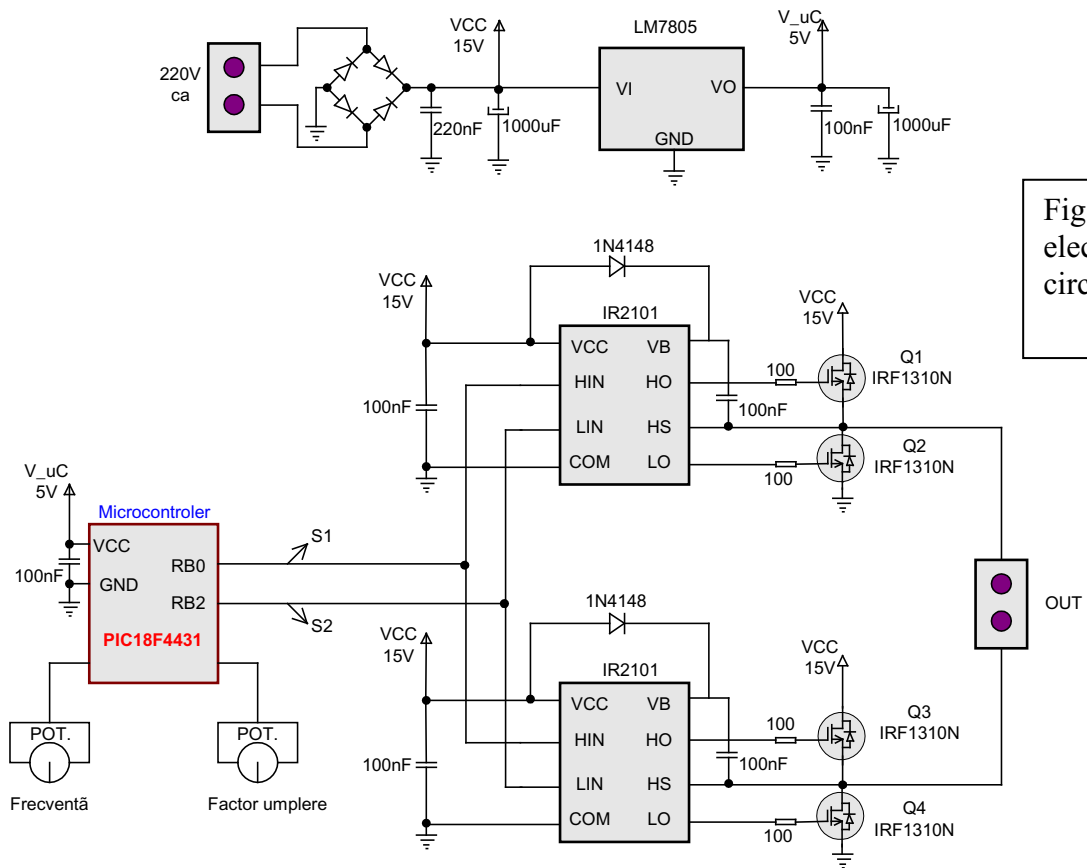


Fig. 3 Schema electronic a circuitului practic

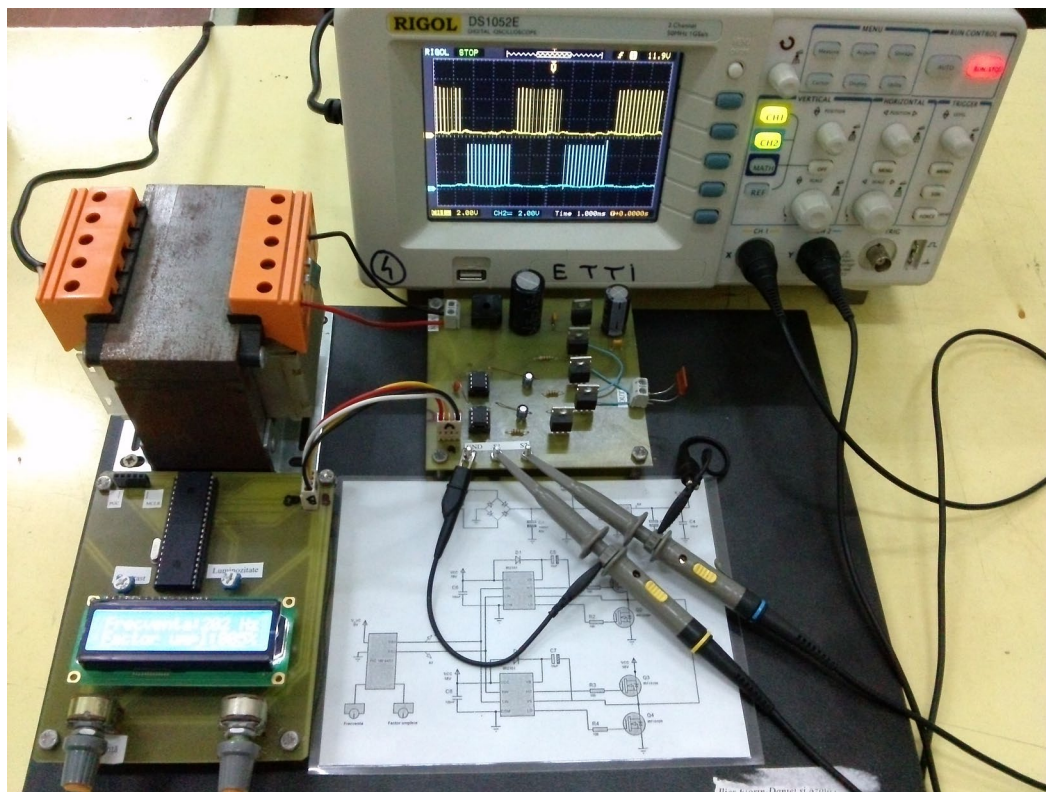


Fig. 4 Fotografie a circuitului practic

În Figurile 4 - 10 se dau forme de undă ale tensiunii de ieșire, semnalelor de comandă generate de microcontroler și spectrul în frecvență al tensiunii de ieșire. În Fig. 9 și 10 este scos în evidență existența *impulșului mort* în forma de undă a tensiunii de ieșire.

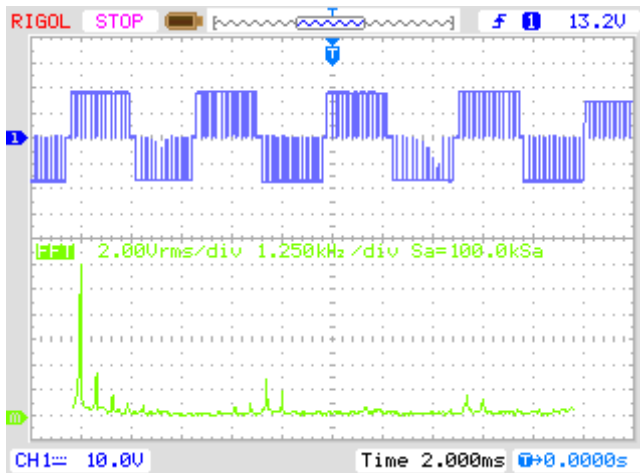


Fig. 5 Forma de undă a tensiunii de ieșire și spectrul în frecvență al acesteia

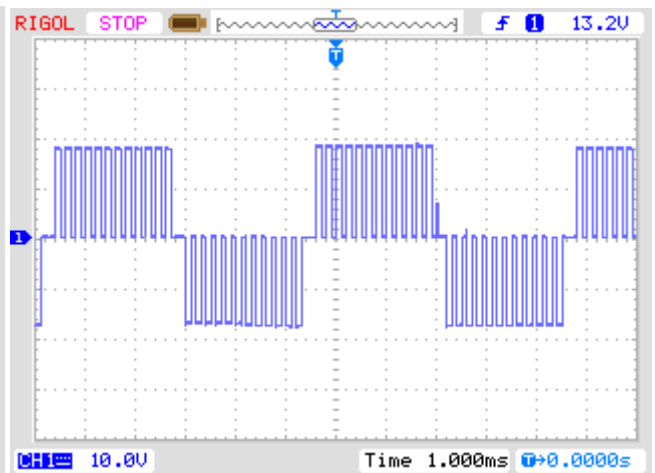


Fig. 6 Forma de undă a tensiunii de ieșire

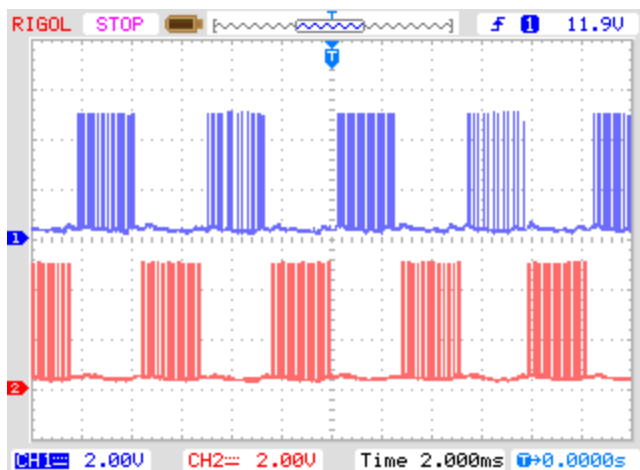


Fig. 7 Forma de undă semnalelor de comandă S1 și S2

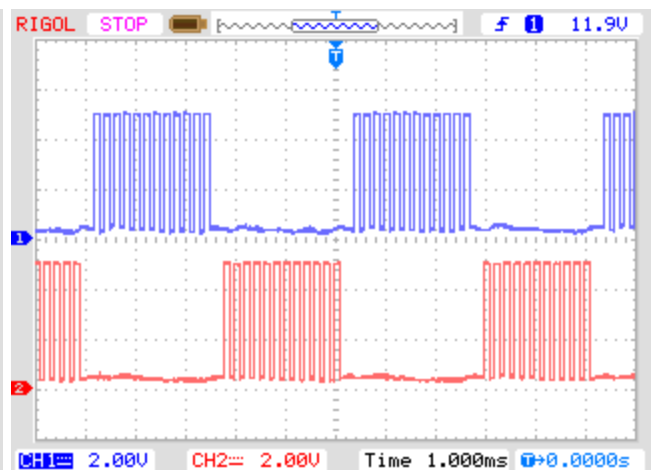


Fig. 8 Forma de undă semnalelor de comandă S1 și S2 (zoom in)

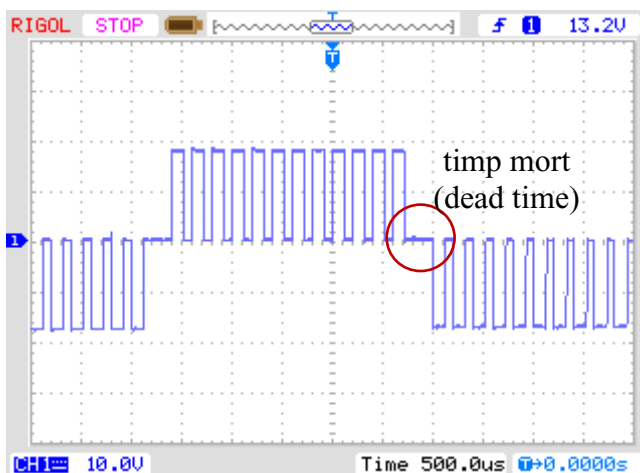


Fig. 9 Forma de undă a tensiunii de ieșire cu evidențierea timpului mort

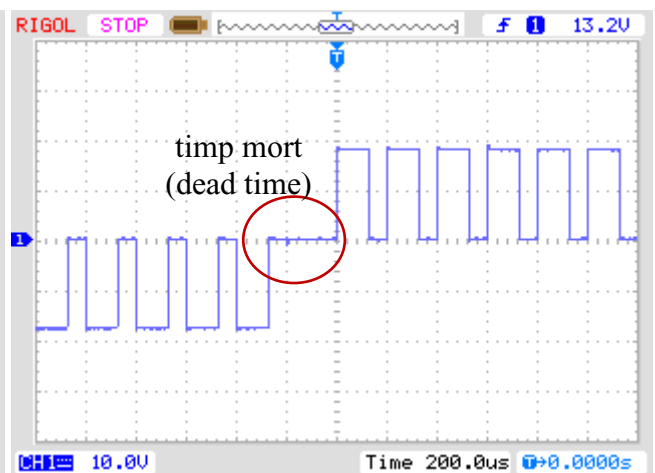


Fig. 10 Forma de undă a tensiunii de ieșire cu evidențierea timpului mort (zoom in)