

Macromodelarea Invertoarelor și a Convertoarelor de Putere în Aplicația Matlab.

Eugeniu CATLABUGA
Universitatea Tehnică a Moldovei
ecatlabuga@mail.md

Abstract. În proiectarea invertoarelor și a convertoarelor de curent continuu-alternativ se întâlnesc unele deficiențe în calcularea componentelor electronice cât și a elementelor feromagnetice. Calculele nu întodeauna pot asigura rezultate precise. În acest caz, prealabil, utilizând metodele macromodelării se poate ajunge la rezultate satisfăcătoare. Cu acest scop, în lucrare se prezintă macromodele cu blocuri MOSFET și IGBT pentru invertoare și convertoare și variante de macromodelare interpretate în versiunea SimPowerSystems.
Cuvinte cheie. inverter, macromodel, analiză spectrală.

I. INTRODUCERE

Instalațiile de putere contemporane includ în componența sa diferite componente electronice, de exemplu, diode, tranzistoare, tiristoare, transformatoare, și în special, predominant tranzistoare cu efect de câmp cu grilă izolată de structură MOSFET. După parametrii energetici acestea puțin rămân în urmă față de tiristoare și IGBT-uri, dar comparativ cu mult le întrec după caracteristicile dinamice. Domeniile de utilizare a tranzistoarelor MOSFET sunt destul de vaste, începând cu invertoare de putere mică pentru telefoane mobile, notebucuri și până la instalații de puteri mari cum ar fi cele energetice.

În practica de cercetări deseori apare necesitatea de a efectua testarea și compararea diferitor variante de instalații de putere, dar aceasta cere mari cheltuieli și timp.

În continuare se demonstrează cum se poate de ocolit aceste deficiențe prin mijloace cu mult mai eficiente și care în final ne asigură aceleași rezultate ca și în încercările practice. Aceasta se poate realiza prin utilizarea multiplilor variante de macromodelare a instalațiilor energetice pe baza ultimilor realizări a sistemului matricial MATLAB R2010 a,b, care conține un set reînnoit pentru modelarea instalațiilor energetice de putere- Simulinc și SimPowerSistem [1].

II. ROLUL MATLAB & SIMULINC ÎN MODELARE.

Sistemul MATLAB reprezintă un set de programe aplicative pentru rezolvarea problemelor de calcul tehnic. În componența sa sistemul include cele mai performante mecanisme de efectuare a operațiilor matriciale. Anume aceste procedee matriciale se utilizează în modelarea matematică a modelelor de imitație a dispozitivelor și instalațiilor energetice de putere. Sistemul MATLAB are în componența sa setul extins Simulinc, care permite efectuarea modelării modulare vizual-orientată a diferitor sisteme și instalații și concomitent crearea cu ajutorul redactorului grafic a diagramelor pentru modele. Simulinc automat poate alcătui sisteme de ecuații algebrice și diferențiale pentru descrierea funcționării modelelor și a instalațiilor în mod static sau dinamic.

Pentru afișarea rezultatelor modelării în forma vizuală sau grafică se utilizează un set vast de instrumente virtuale.

În continuare se analizează câteva modele pentru dispozitivele frecvent utilizate în schemele convertoarelor de putere modelate în versiunea MATLAB & Simulinc R2010 a,b, care a fost completată și reînnoită cu setul SimPowerSystems V5.2.1 (Fig.1) și SimElectronics V. 1.4, și cu o librărie cu blocuri și modele pentru diferite dispozitive și instalații de putere.

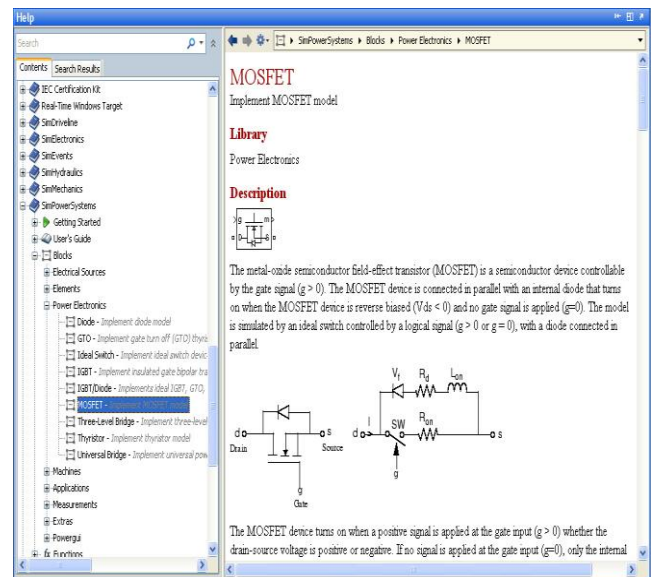


Fig.1. Fereastra Help a setului extins SimPowerSystems cu datele necesare pentru tranzistorul de putere cu efect de câmp.

Modelarea instalațiilor de putere cu scheme complicate la calculatorul personal cu procesor multinuclear cere mult timp, atât pentru modelare cât și pentru determinarea parametrilor modelelor, care de la început nu sunt cunoscuți. Aceste probleme pot fi evitate prin macromodelarea instalațiilor de forță, care nu va influența asupra preciziei modelării.

III. MACROMODELUL TRANZISTORULUI DE PUTERE CU EFECT DE CÂMP (TPEC).

În fereastra Help (Fig.1) este prezentată o variantă a macromodelului MOSFET şuntat cu o diodă şi o altă a unui model idealizat. Dispozitivul conectat este prezentat printr-un comutator ideal cu o rezistenţă R_{on} în regim de comutaţie. Tensiunea aplicată la drenă poate fi de orice polaritate. MOSFET este în stare conducţie, dacă tensiunea pe grilă este pozitivă faţă de sursă, iar pentru valoarea $U = 0$ la grilă tranzistorul va fi închis. Deci modelul poate fi comandat cu-n semnal logic. Dioda idealizată este legată în serie cu rezistorul R_d (rezistenţa internă a diodei) şi inductivitatea sa L_{on} . Modelul are ieşirele pentru măsurarea tensiunii sursă-drenă şi a curentului sursei.

La modelul tranzistorului de putere (MOSFET), în versiunea nouă SimPowerSystems, inductivitatea este legată cu dioda, faţă de cea precedentă, unde L_{on} se leagă în serie şi se afla în circuitul sursei.

Parametrii modelului se înscriu în fereastra pentru parametri (Fig.2).

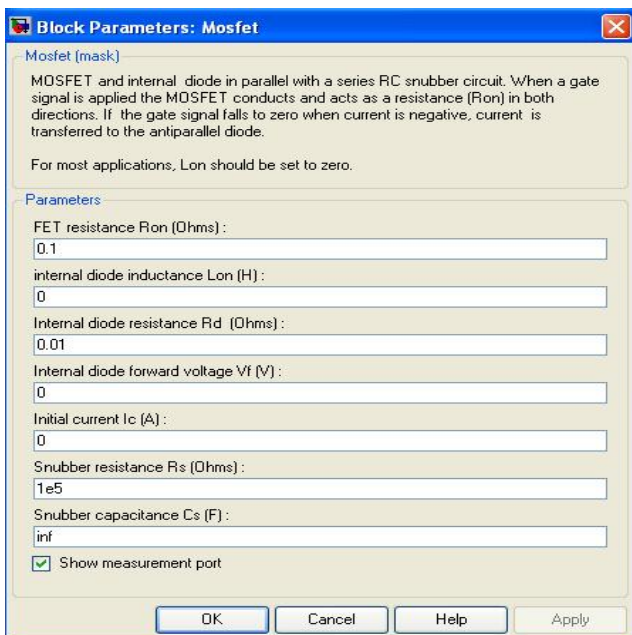


Fig.2. Fereastra parametrilor pentru macromodelul tranzistorului MOSFET.

În afară de parametrii indicaţi, în fereastră se introduc şi parametrii circuitului snubber RC conectat între sursă şi drenă tranzistorului MOSFET. Acest circuit se utilizează mai frecvent pentru a determina variaţia tensiunii la sursă în cazurile reconectării (TPEC)

IV. MACROMODELE CU TRANZISTOR DE PUTERE MOSFET.

- a) Macromodelul invertorului.

În Fig.3 este prezentat un macromodel simplu a convertorului cu tranzistor MOSFET, în care este conectată o sarcină inductiv-capacitivă cu o sursă de curent la ieşire.

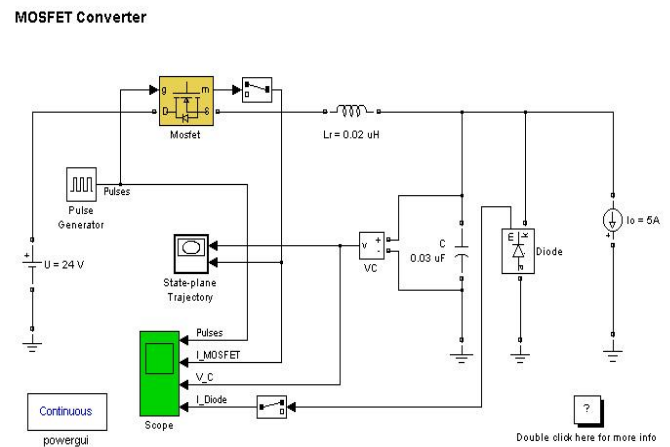


Fig.3 Schema macromodelului MOSFET-invertor.

Acest macromodel se descrie cu o ecuaţie diferenţială de gradul doi [3]. Rezolvarea acestei ecuaţii se reduce la construirea dependenţii tensiunii la condensator de curentul în sursa MOSFET.

Oscilogramele macromodelului MOSFET-invertorului se prezintă în Fig.4.

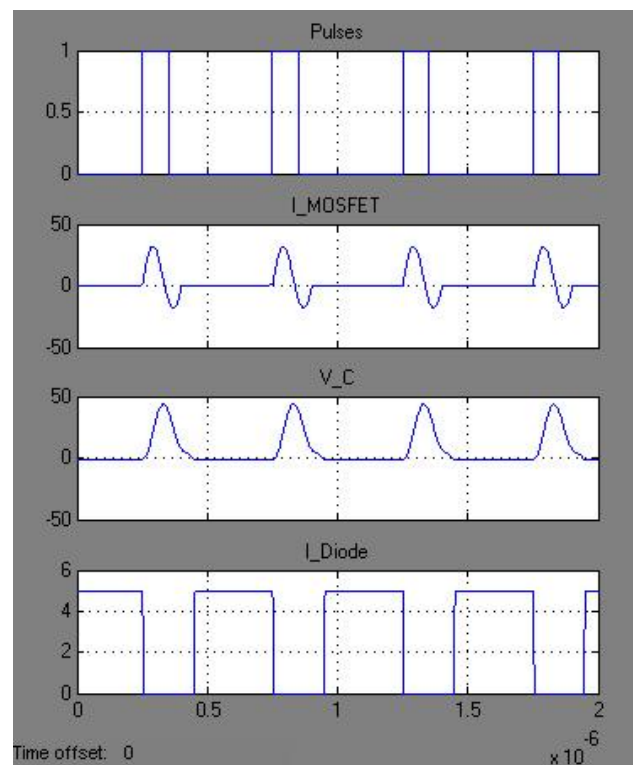


Fig.4. Oscilogramele invertorului MOSFET în procesul de funcţionare.

Necătând la simplitatea macromodelului, curbele trasate sunt destul de complicate.

b) Macromodelul convertorului de tip DC/DC[2].

În exemplul următor se prezintă diagrama convertorului, care transformă tensiunea de curent continuu de la o mărime joasă la o mărime înaltă, deasemenea în Fig.5 se prezintă schema modelului.

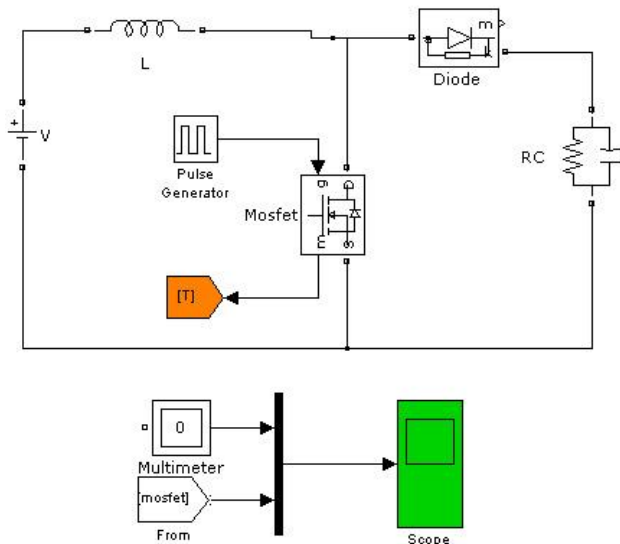


Fig.5. Schema modelului de conversie a tensiunii de curent continuu.

În cazul de studiu tensiunea de intrare $U = 110V$ se transformă în tensiune dublă $U = 220V$ la o sarcină $R = 100\Omega$. Curbile oscilografiate de oscilograful virtual Scope se prezintă în Fig.6.

Tensiunea la ieșirea convertorului se determină cu expresia:

$$U_{ies} = U / (1 - m),$$

unde m este coeficientul de umplere a impulsului de comandă.



Fig.6. Oscilogrammele convertorului de transformare a tensiunii.

De menționat că diagramele prezentate în Fig.6 puțin diferă de cele redată în diviziunea Demos a setului de extindere SPS. Aceasta confirmă că aceleași caracteristici ale instalațiilor de putere pot fi realizate cu diferite dispozitive de comutație.

c) Macromodelarea simultană a mai multora convertoare de putere.

Utilizarea macromodelor permite modelarea simultană a mai multora instalații pe o diagramă Simulinc. În cazul de studiu sa luat două macromodele pentru convertoare(Fig.7), în schemele cărora se utilizează modulul universal Universal bridge. Parametrii MOSFET-urilor corespund celor din Fig.2. Alegerea tranzistorului MOSFET cu diodă este dată de parametrul Power Electronic Device.

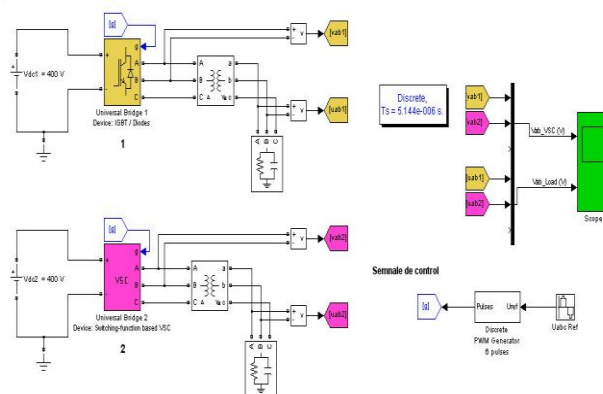


Fig.7. Macromodelele convertoarelor cu module Universal bridge.

Macromodelele din Fig.7. compară două tensiuni(VSC) la ieșirea convertoarelor, folosind diferite modele Universal Bridge. Fiecare model este comandat în buclă deschisă de un generator (g) de impulsuri cu o frecvența de 1000 Hz. În ambele modele se folosesc câte două surse de tensiuni, una de curent continuu $U_{dc} = 400V$, și alta de curent alternativ cu o tensiune liniară $U=380V$.

În Fig.8 sunt prezentate oscilogrammele pentru ambele convertoare, numerotate cu 1 și 2. Fiecare convertor are două ieșiri (canale), conectate la voltmetrele V, iar acestea conectate la rândul său prin conectorii V_{ab1} , V_{ab2} la un singur osciloscop (Scope). Necătând la aceia că blocurile universale ale convertoarelor au la bază diferite componente, primul este realizat cu IGBT/diodă iar al doilea cu tranzistoare cu efect de câmp, ambele la ieșire asigură același tensiuni după amplitudine și mărime. Pentru a verifica indentitatea oscilogramelor, după o altă schemă, (în lucrare nu este prezentată) au fost conectate separat la ieșirile convertoarelor în fiecare

canal voltmetere și osciloscoape, și s-a efectuat simularea proceselor electrice. În rezultatul acestor simulări pentru diferite valori ale perioadei T_s , s-au primit aceiași curbe indentice ale convertoarelor.

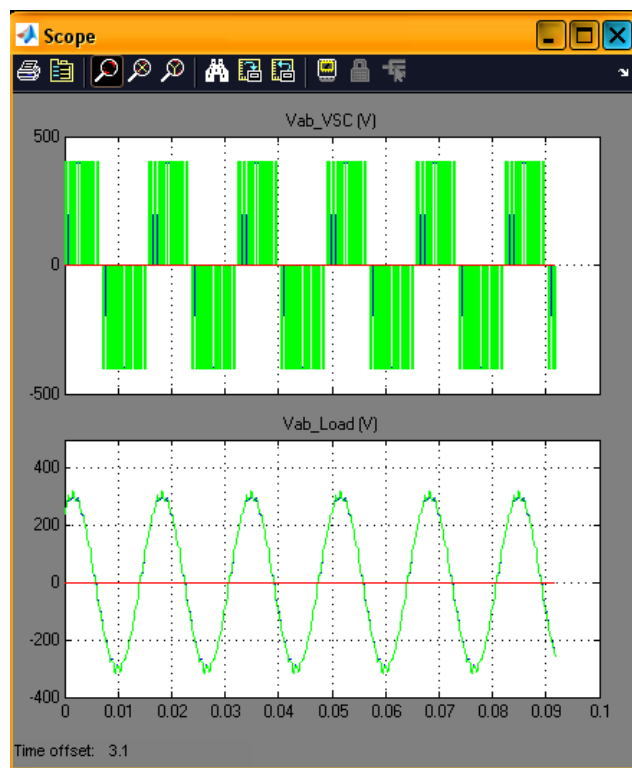


Fig.8.Oscilogrammele indentice ale macromodelării convertoarelor cu module Universal bridge.

V. ANALIZA SPECTRALĂ A SEMNALELOR LA IEȘIREA CONVERTOARELOR.

Pentru analizarea calității mărimilor electrice de ieșire a acestor instalații de putere este necesar de studiat spectru tensiunilor și curenților la ieșirile fiecărui canal a convertorului sau a invertorului. Pentru aceasta în SPS se utilizează un instrument special numit Power GUI. Se recomandă ca acest bloc să se anexeze la orice diagramă creată, chiar dacă acest instrument nu va fi utilizat.

Pentru a efectua analiza spectrală a semnalelor la ieșirea convertoarelor de putere se aplică metoda Fourier Transform. În aplicația Power GUI pentru acest caz se utilizează butonul FFT Analysis. Acționând acest buton se va afișa fereastra Powergui FFT Analysis Tool în care sunt indicate următoarele date: timpul inițial, numărul ciclurilor pentru analiză, frecvența de bază. În domeniu analizei spectrale se mai arată tipul de afișare a rezultatelor, unitatea de măsură pe axa frecvenței și frecvența maximală.

În Fig.9. se prezintă fereastra analizei spectrale pentru tensiunea de ieșire a convertorului cu

nr.1(Fig.7) a cărui bloc universal are în componența sa IGBT/diode. Se observă că nivelul armonicilor superioare este moderat iar coeficientul armonicilor atinge o valoare satisfăcătoare de 2%. Pasul de discretizare este de 0,01s.

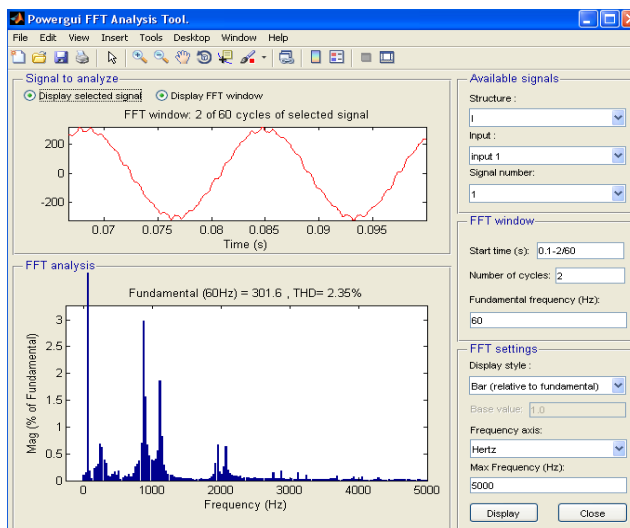


Fig.9. Fereastra analizei spectrale a tensiunii la ieșirea convertorului cu modul universal realizat cu IGBT/ diode.

VI. CONCLUZII.

1. Macromodelarea convertoarelor de putere, până a fi realizate în practică, ne permite să studiem cele mai amănunțite procese electromagnetice care pot să apară în funcționarea reală a acestora, prealabil să apreciem după caracteristicile oscilografiate, prin metoda simulării, calitatea tensiunii și a curentului în sarcină.
2. Macromodelarea schematică a invertoarelor nu numai că utilizează rezultatele calculului teoretic, dar și esențial va preciza și va completa acestea.

REFERINȚE

- [1] Pachetul de programe Matlab R2010a. Corporația MathWorks.
- [2] В. Дьяконов. Макромоделирование устройств. Силовая электроника. nr.1,2. 2011г.
- [3] В.П.Дьяконов, Пеньков А.А., MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. М. Горячая линия- Телеком. 2009.