

ATEE - 2004

**SIMULAREA CIRCUITELOR ELECTRICE CE CONTIN
CONVERTOARE STATICE DE PUTERE CU AJUTORUL
PROGRAMELOR DE CALCUL**

Drd.ing.D.A.Croitoru, Prof.dr.ing. F.Ionescu

***Abstract :** Acest articol prezintă câteva posibilități de simulare cu ajutorul unor programe de calcul, a circuitelor electrice ce conțin convertoare statice de putere. Studiul acestor circuite cu ajutorul programelor de calcul este util pentru obținerea unor soluții rapide, în situația efectuării unor modificări asupra parametrilor circuitului, ca și în cazul studierii interacțiunilor dintre convertor și rețeaua de alimentare și între convertor și sarcina sa.*

The article presents the main computation softwares that engineers/professors/students in the electrical domain can use to obtain solutions, to measure and study the behaviour of electrical circuits which include static power converters. Thus, we may use computation softwares to simulate and analyze dedicated electrical/electronic circuits (SimCad, Spice, Caspoc, PSCAD) based on the electrical scheme of the analyzed circuit or complex computation softwares which need to write the mathematical model equations for the electrical circuit simulation and analysis (Matlab-Simulink Toolbox, LabView, VisSim).

The study of the electrical circuits using computation softwares is useful in order to obtain rapid solutions when modifying the circuit parameters as when studying the interactions between the converter and the power supply network on the one hand and between the converter and its load on the other hand.

The simulations of the electrical circuits presented in this paper (ac-dc, dc-ac power converters) and the results obtained with the computation softwares prove their high degree of implementation possibilities in electrical engineering.

1. INTRODUCERE.

Analiza circuitelor electrice ce conțin dispozitive electronice de putere poate fi realizată cu ajutorul programelor de calcul dedicate (*SIMCAD, SPICE, CASPOC, PSCAD*) dar și cu programe de calcul mult mai complexe (*MATHCAD, MATLAB VISSIM, LABVIEW*).

Programele din prima categorie utilizează o interfață grafică pentru ca utilizatorul să-și poată genera circuitul ce urmează să fie analizat. Circuitul odată creat poate fi modificat cu ușurință, mai ales valorile componentelor din cadrul acestuia. Această categorie de programe furnizează informații despre caracteristicile dispozitivelor semiconductoare în momentul comutației, informații despre tensiunile și curenții din cadrul circuitului atât în domeniul timp cât și frecvență.

A doua categorie de programe se bazează pe crearea unui model matematic care să definească dinamica sistemului analizat. Modelul matematic al sistemului este definit cu ajutorul unor diagrame bloc elementare, sistemul fiind reprezentat prin funcțiile de transfer. De asemenea se poate opta și pentru descrierea sistemului analizat printr-un set de ecuații diferențiale în limbajul de programare inclus. Rezolvarea modelului matematic al sistemului considerat implică în majoritatea cazurilor integrarea unor ecuații diferențiale ordinare. Ieșirile generate de program sunt obținute în formă text sau grafică. Un alt avantaj al acestor programe este acela că printr-o interfață hardware adecvată se poate realiza comanda anumitor circuite electronice în timp real.

ATEE - 2004

Cu ajutorul acestor tipuri de programe se poate face o analiză amănunțită a sistemelor hibride, complexe formate din: sursă de alimentare cu energie electrică, circuite electrice ce conțin dispozitive electronice de putere, partea de comandă a acestora, elementul acționat (motor electric) și sarcina mecanică. Astfel se pot determina influențele sarcinii mecanice asupra circuitului electric și comportarea dinamică a întregului sistem.

În cadrul acestui articol vor fi prezentate rezultatele simulărilor catorva circuite electrice ce conțin echipamente electronice de putere, obținute cu ajutorul câtorva programe de calcul.

2. SIMULAREA CIRCUITELOR ELECTRICE CU AJUTORUL PROGRAMELOR DE CALCUL DEDICATE.

Majoritatea programelor specializate în analiza circuitelor electrice sunt formate din trei subprograme: editare, simulare și afișare rezultate. Subprogramul de simulare este cel mai important din cadrul programului. El rulează algoritmi de calcul implementați atât pentru obținerea rezultatelor cât și pentru micșorarea timpului de simulare. Majoritatea programelor (SIMCAD, PSCAD) utilizează analiza nodală a sistemului creat, iar ca algoritm de integrare: metoda trapezului.

În comparație cu programul SPICE clasic, programe ca SIMCAD, PSCAD, CASPOC au fost special create pentru analiza circuitelor ce conțin dispozitive electronice de putere și pentru circuitele de comandă ale motoarelor electrice, deci a unor sisteme mai complexe. În cadrul lor se regăsesc blocuri deja create care îndeplinesc în cadrul circuitului rolul unor convertoare statice (redresoare, invertoare, etc.), astfel realizarea circuitelor electrice este ușor de realizat. Pot fi analizate și simulate un număr larg de aplicații care conțin convertoare statice de putere. De asemenea anumite probleme legate de ne-convergența soluțiilor care puteau apărea uneori în cadrul programului SPICE și pentru eliminarea cărora se faceau diverse artificii, au fost eliminate.

Utilizând PSCAD (Visual Power System Simulation) se poate construi un circuit, simula, analiza rezultatele într-un singur mediu grafic, flexibil și ușor de utilizat. Utilizatorul poate interacționa dinamic pe parcursul simulării cu sistemul creat modificând parametrii, anumite stări, etc. Programul efectuează analiza electromagnetică a sistemului modelat furnizând în același timp utilizatorului formele de undă pe care acesta le dorește. Programul conține numeroase modele pre-programate și testate începând de la elemente pasive simple și funcții de comandă elementare până la modele complexe cum ar fi mașini electrice, linii de transmisie, etc. Utilizatorul își poate crea propriile modele pe care le poate utiliza în cadrul altor aplicații.

3. SIMULAREA CIRCUITELOR ELECTRICE CU AJUTORUL PROGRAMELOR DE CALCUL GENERALE.

Pentru a realiza o analiză mai profundă a convertoarelor statice de putere prezentate în cadrul acestei secțiuni, acestora li se va asocia un model matematic care va fi validat cu ajutorul programelor de calcul de modelare și simulare complexe gen Matlab-Simulink Toolbox, Mathcad, LabView.

Pachetul Matlab-Simulink (Mathworks) este un program de simulare a sistemelor dinamice, bazat pe integrarea ecuațiilor diferențiale ordinare. Pentru simularea unui circuit sau scheme în Simulink este necesară crearea unui model matematic care să definească dinamica sistemului analizat. Modelul matematic al sistemului este definit în Simulink cu ajutorul diagramei bloc elementare, sistemul fiind reprezentat prin funcțiile sale de transfer. De asemenea se poate opta și pentru descrierea sistemului analizat printr-un set de ecuații diferențiale în limbajul de programare inclus în cadrul programului general Matlab.

Programul Simulink oferă utilizatorului mai mulți algoritmi de integrare pentru

ATEE - 2004

rezolvarea și simularea acestor ecuații (min-max, Runge-Kutta, Gear, Adams), însă pentru obținerea unor rezultate precise și elocvente trebuie să se aleagă pe lângă metoda potrivită și parametrii de simulare (pasul de timp minim, pasul de timp maxim, toleranța, durata simulării) optimi.

Simularea sistemelor dinamice în Simulink presupune două faze: o fază de inițializare în care sunt evaluați parametrii blocurilor și se efectuează o verificare a conexiunilor dintre acestea și simularea propriu-zisă în care este calculată ieșirea fiecărui bloc, rezultatele fiind transmise integratorului care calculează noi parametri de stare ai sistemului și apoi se actualizează datele de ieșire.

Un program asemănător cu Matlab-Simulink este VisSim (Visual Solutions). Cu acest program se pot modela și simula sisteme dinamice complexe, liniare, neliniare, în regim permanent sau tranzitoriu, obținându-se rezultate foarte bune. Totodată programul oferă suportul necesar pentru proiectarea sistemelor de comandă și control pentru diverse procese complexe.

LabView (National Instruments) este un program complex care acoperă toate cele trei segmente ale unui sistem de măsurare: achiziție de date, prelucrarea informațiilor și prezentarea lor. În cadrul segmentului de prelucrare a informațiilor se pot crea și simula și circuite electrice ce au în componența lor elemente de electronică de putere plecând de la scrierea ecuațiilor matematice funcționale ale sistemului.

Cu ajutorul programului LabView este posibilă achiziționarea în timp real prin intermediul unor interfețe hardware a unui număr foarte mare de semnale (temperatură, tensiune, forță, vibrații, sunete, etc) de la senzorii existenți în cadrul sistemului analizat. Prin calitățile sale de achiziție de semnale programul LabView poate fi utilizat ca instrument complex de măsură sau pentru monitorizarea și comanda sistemelor industriale.

Capacitatea programului de a prezenta datele obținute, atât cele achiziționate cât și cele rezultate în urma calculelor este foarte variată. Se pot crea interfețe grafice interactive, anumite segmente de cod se pot refolosi pentru alte aplicații, aplicațiile finale pot fi distribuite, instalate și testate cu ușurință. Programul are posibilitatea de a genera rapoarte în diverse formate xcel, word, html.

Alt program care poate fi utilizat în studiul circuitelor electrice având ca punct de plecare tot ecuațiile matematice funcționale ale sistemului este Mathcad (Mathsoft). Principala caracteristică a acestui program este aceea a efectuării calculelor și a vizualizării prezentării rezultatelor în același timp, la final generându-se un singur document care include întreaga documentație (grafice, tabele, formule, note explicative).

4. EXEMPLE DE SIMULARI.

În cadrul acestei secțiuni vor fi prezentate câteva simulări ale catorva tipuri de convertoare statice de putere, utilizând programele de calcul menționate în cadrul lucrării. Astfel, se va simula funcționarea următoarelor tipuri de convertoare statice de putere: redresor de tensiune, invertor de tensiune, variator de tensiune alternativă.

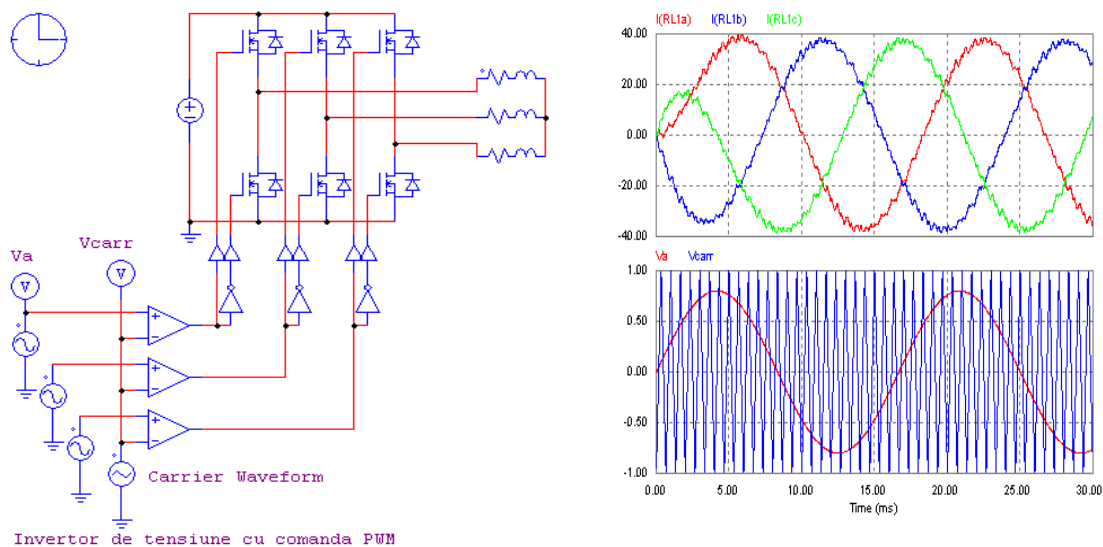


Figura 1: SIMCAD - Invertor trifazat de tensiune cu comandă PWM sinusoidală.

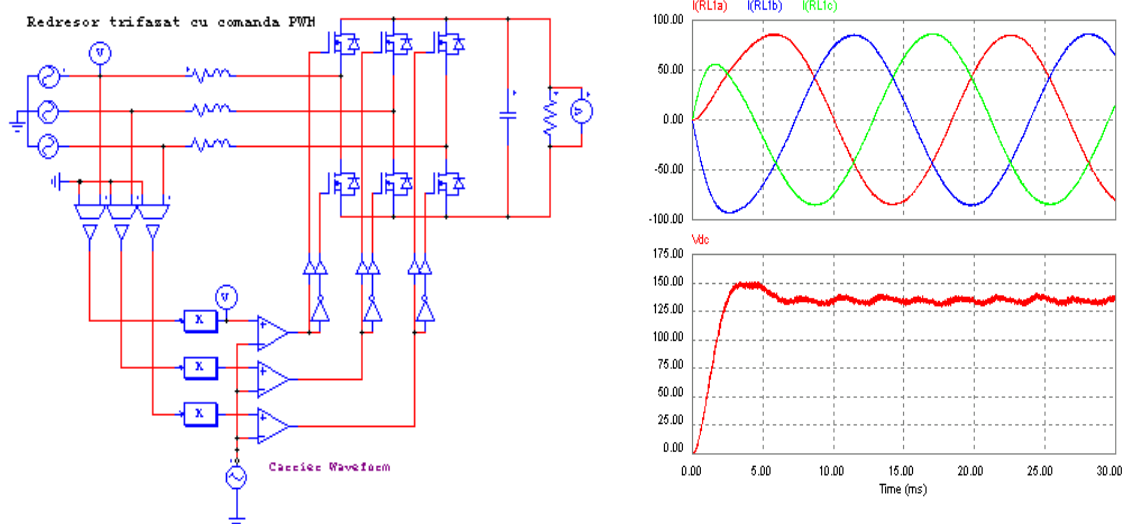


Figura 2: SIMCAD – Redresor trifazat cu comanda PWM sinusoidală.

ATEE - 2004

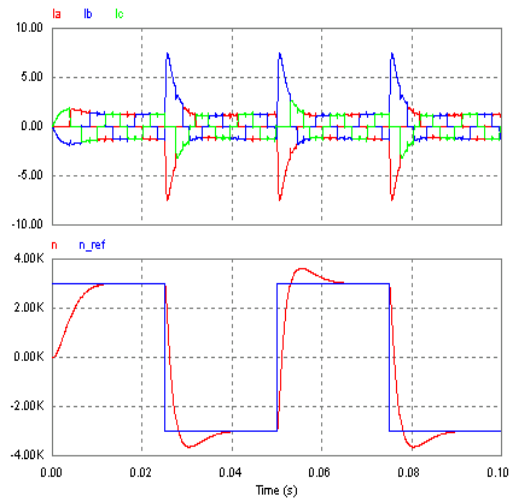
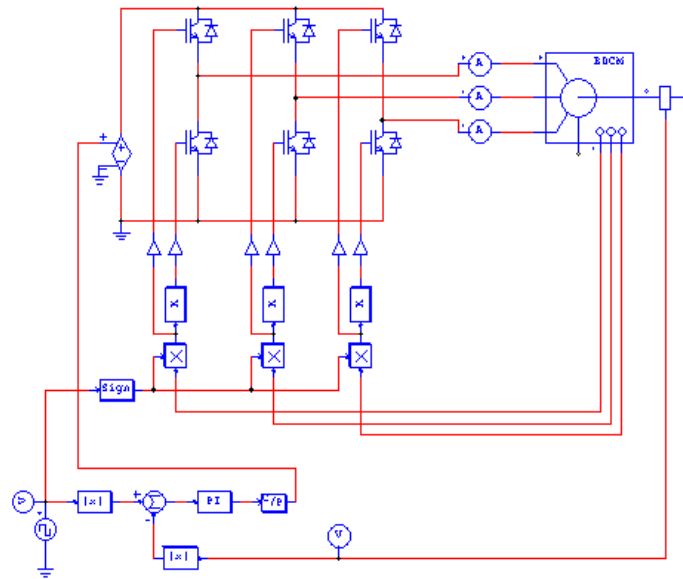


Figura 3: SIMCAD – Reglajul vitezei motorului de c.c. cu magneti permanenti.

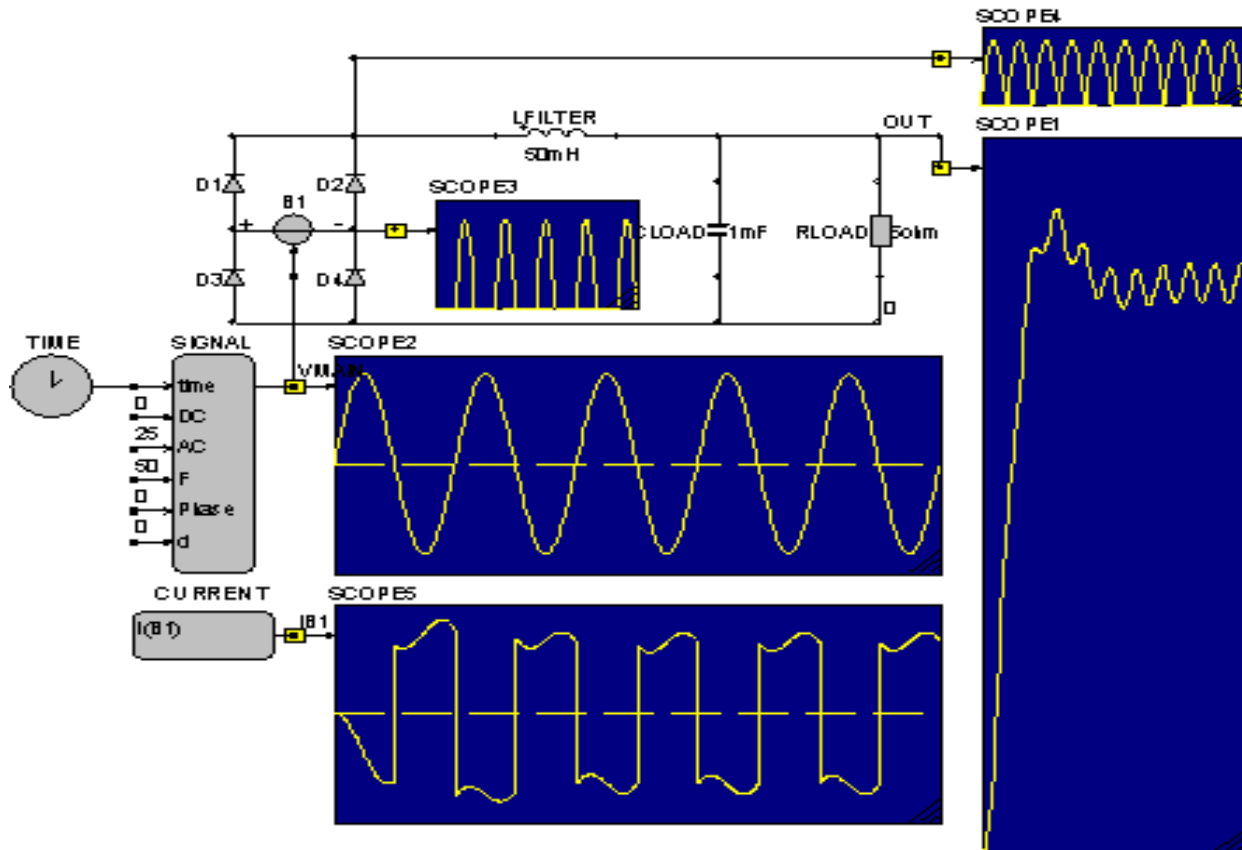


Figura 4: CASPOC - Redresor monofaz de tensiune

ATEE - 2004

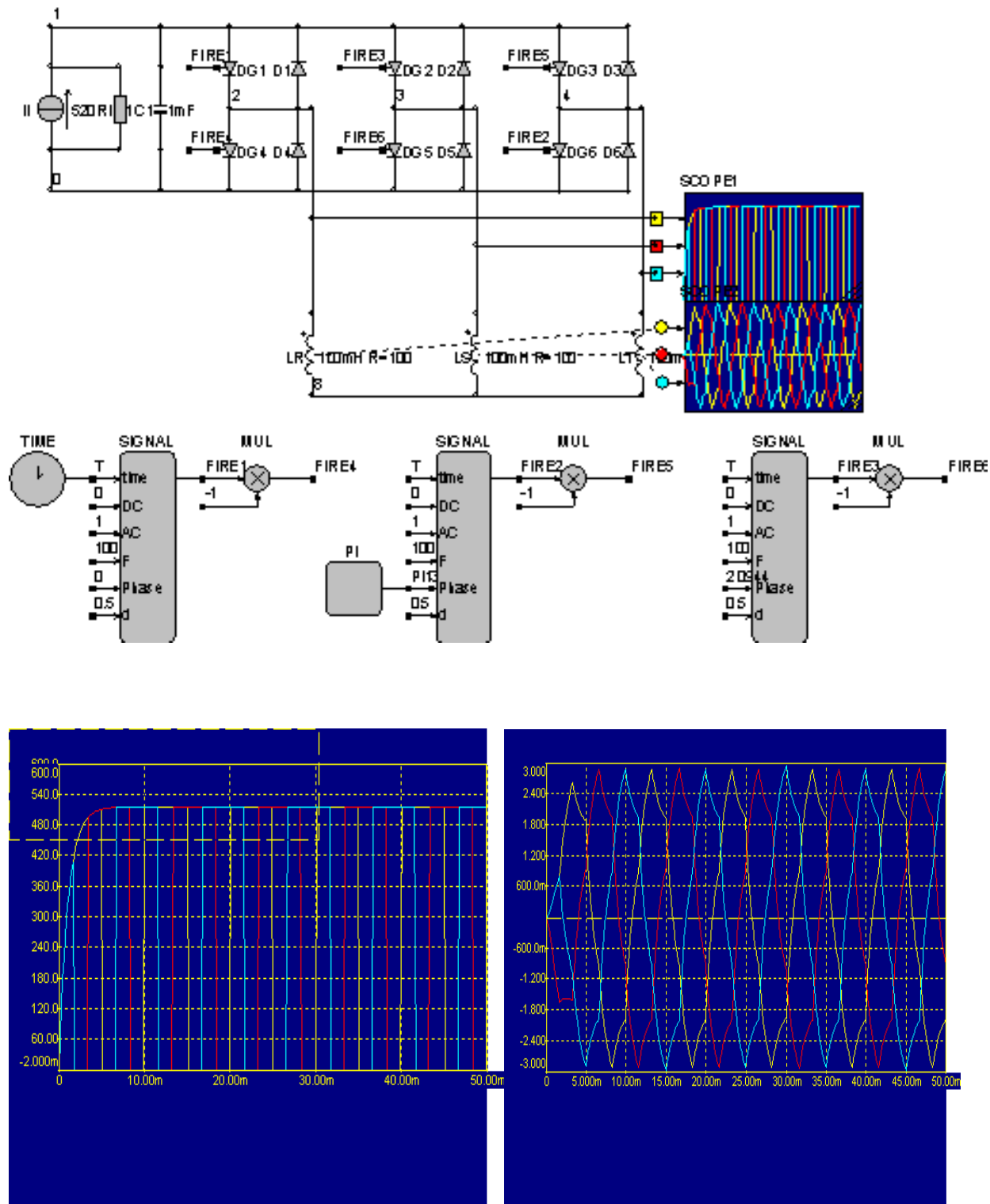


Figura 5: CASPOC - Invertor trifazat de tensiune comandat.

ATEE - 2004

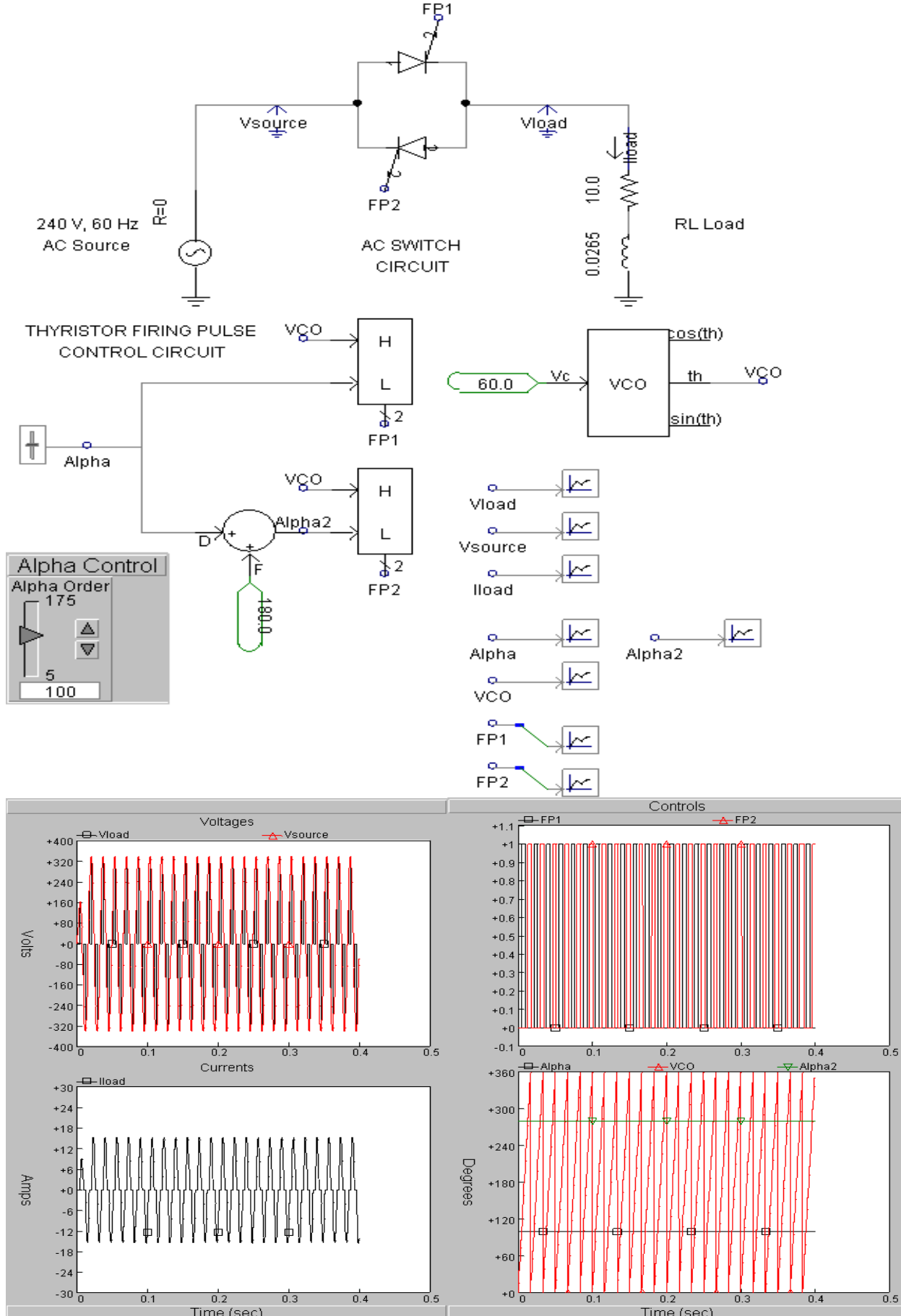
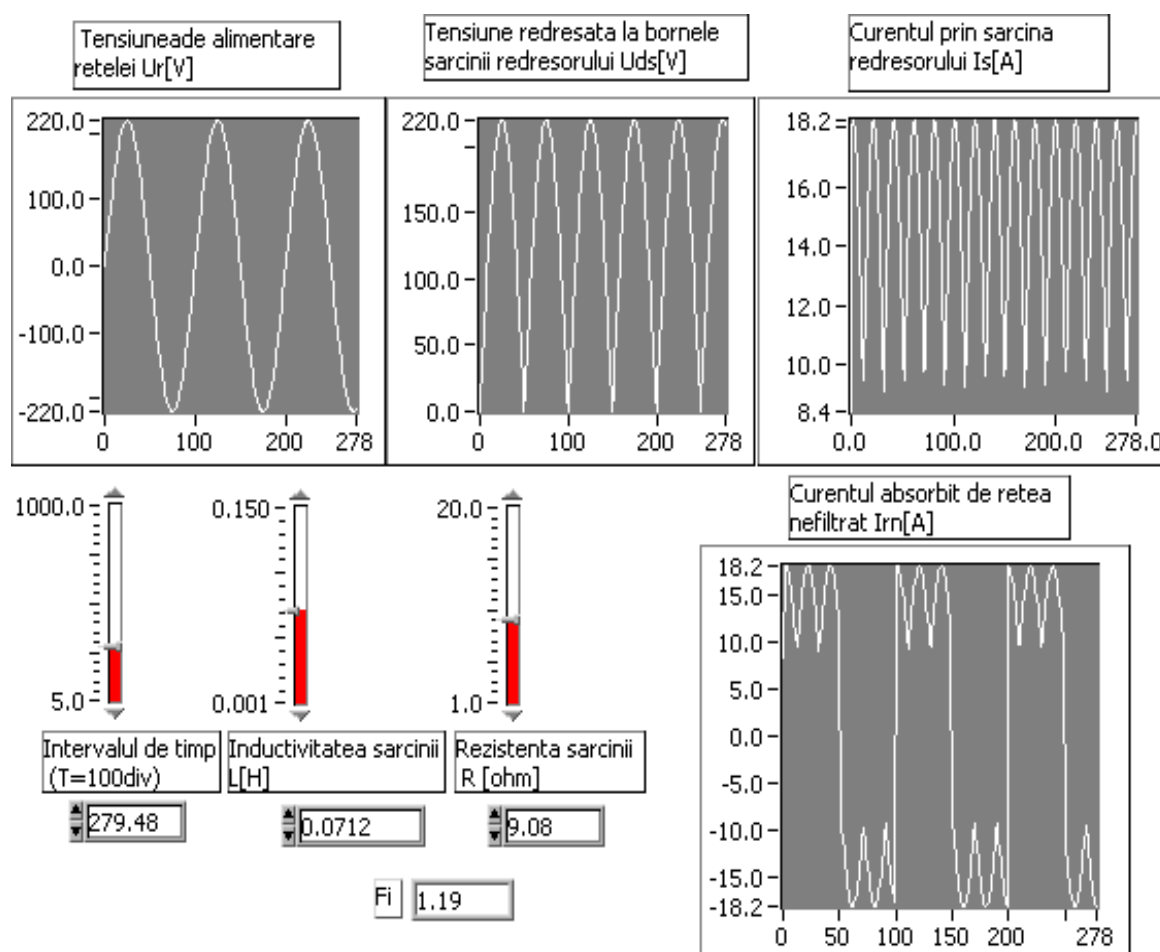


Figura 6: PSCAD - Variator de tensiune alternativa

În cadrul oricărui sistem energetic simulat cu ajutorul acestor tipuri de programe pot fi identificate cu ușurință părțile componente : partea de forță (elementele de circuit), partea de comandă și elementele de interfață dintre structura de forță și cea de comandă. Există blocuri pre-definite, atât în cea ce privește structurile de forță (convertoare statice, motoare, circuite RLC, etc), cele de comandă (elemente logice, funcții matematice, filtre de diverse ordine) cât și cele de legătură (diverse tipuri de senzori, elemente de comandă al dispozitivelor semiconductoare, etc).

Reprezentarea formelor de undă obținute se poate face în același timp cu rezolvarea circuitului (CASPOC, PSCAD) sau după rezolvarea numerică a circuitului (SIMCAD, PSPICE).

Formele de undă pot fi reprezentate atât în domeniul timp cât și în domeniul frecvență.



Model de funcționare a unui sistem monofazat compus din sursa de alimentare, redresor monofazat în punte cu sarcină RL

Figura 7: Labview – Redresor monofazat de tensiune.

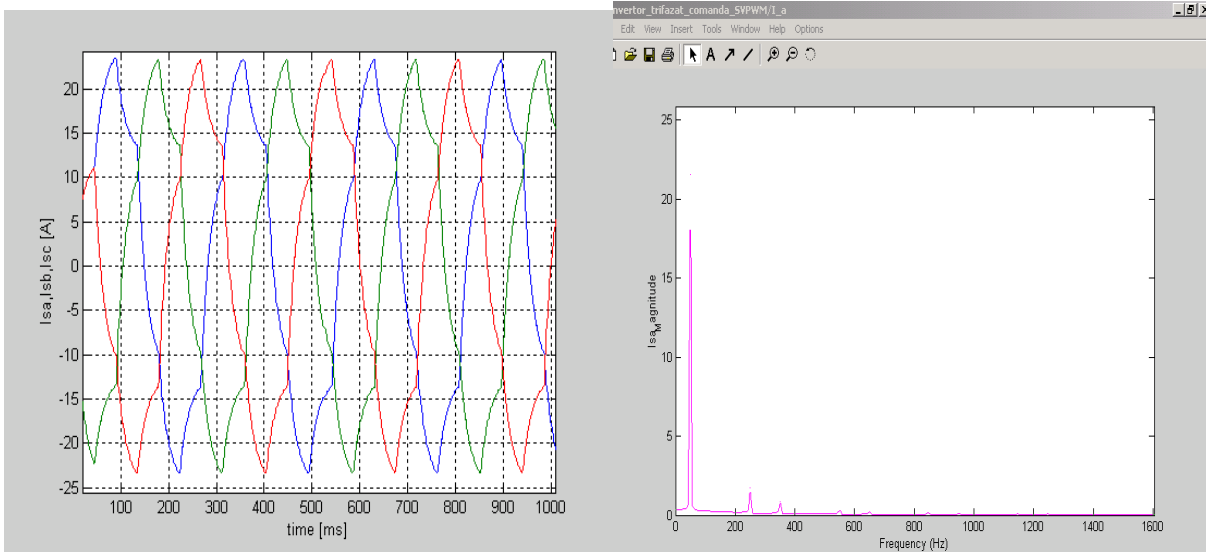
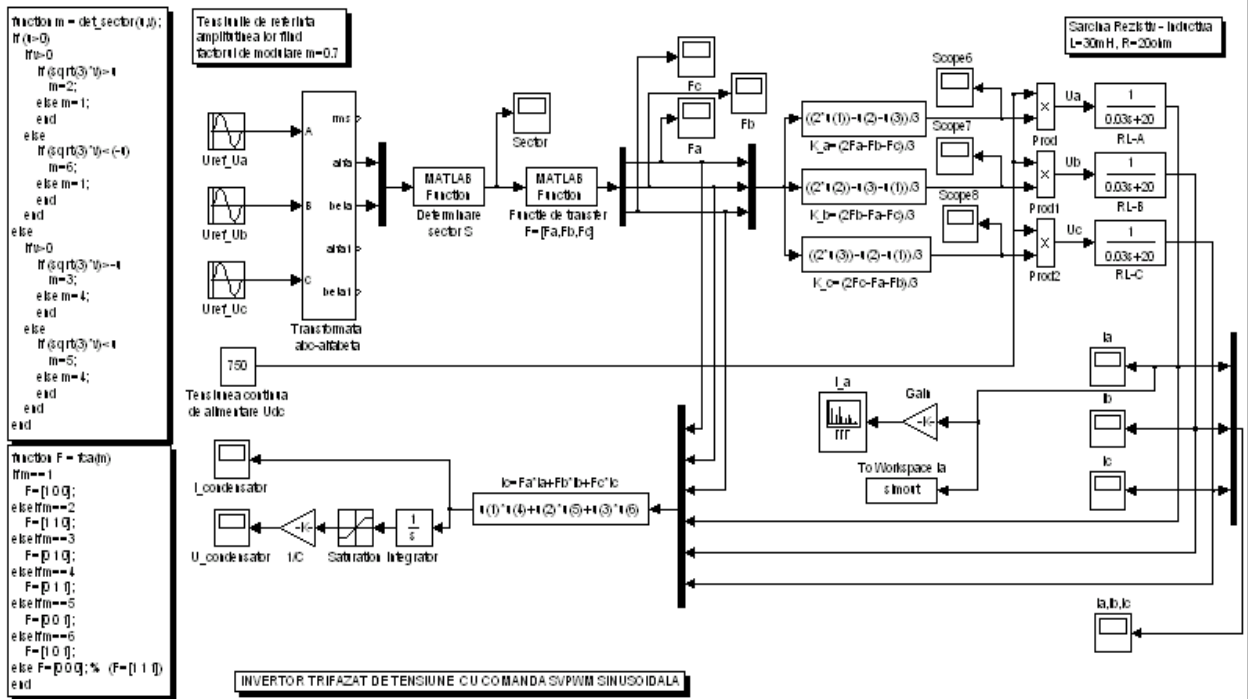


Figura 8 : Matlab Simulink – Invertor trifazat de tensiune cu comandă SPWM.

Programele de calcul complexe Labview, Matlab oferă posibilitatea modelării matematice a sistemelor electrice pornind de la ecuațiile matematice funcționale într-un mediu de programare text (Matlab, Mathcad) sau pot fi reprezentate prin blocuri operaționale simple (Labview, Matlab-Simulink, VisSim).

În cazul programului Matlab există creat sistemul de blocuri ce reprezintă elementele de circuit și comandă des utilizate în analiza circuitelor electrice. Prin utilizarea acestor blocuri mediul de programare Matlab-Simulink se apropie foarte mult de programele de simulare dedicate analizei circuitelor electrice menționate mai sus. Deasemenea și în cadrul programului Mathcad există biblioteca de formule «Electrical engineering» care face posibilă scrierea mult mai rapidă a ecuațiilor des utilizate în cadrul analizei circuitelor electrice.

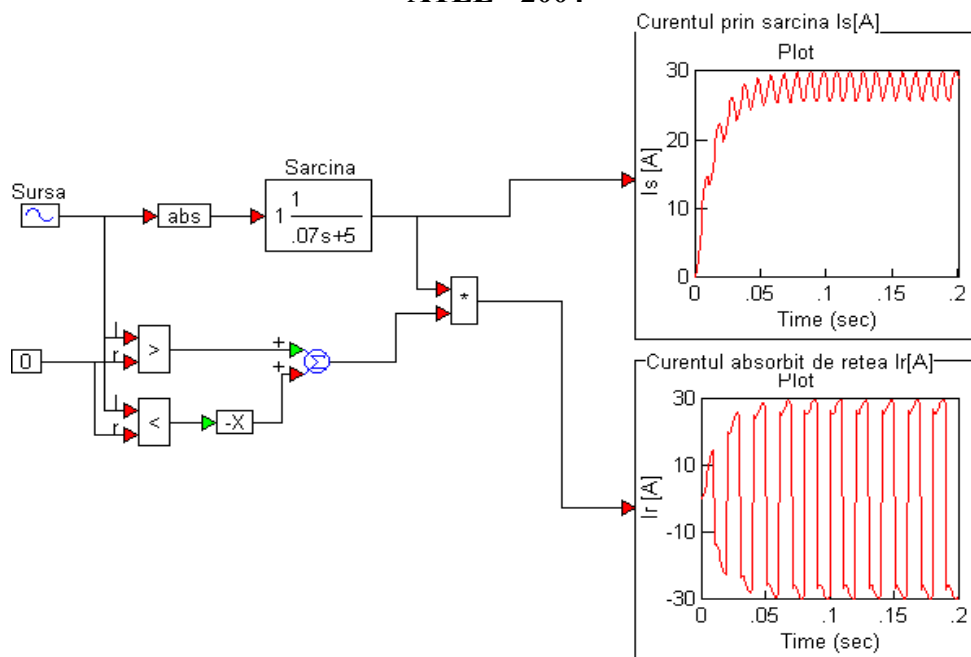


Figura 9: VisSim – Redesor monofazat de tensiune

Având caracteristici similare cu ale programului Matlab – Simulink este programul VisSim (Visual Solutions). Cu acest program se pot simula sisteme liniare, neliniare, continue și discrete. Unul din avantajele pe care îl are programul VisSim este acela că poate simula sisteme ce conțin funcții de transfer continue și discrete. În cadrul simulărilor, pentru obținerea unor rezultate corecte din punct de vedere matematic și fizic sunt foarte importanți parametrii simulării (pasul de calcul, intervalul de timp, eroarea, metoda de integrare) cât și condițiile inițiale ale sistemului analizat.

5.

CONCLUZII.

În cadrul lucrării au fost prezentate câteva simulări ale unor circuite electrice ce conțin convertoare statice de putere necomandate sau comandate după o anumită strategie (control de fază, PWM, etc.)

Simulările efectuate cu ajutorul programelor de calcul dedicate au marele avantaj că au un grad foarte mare de adaptabilitate, utilizatorul putând efectua modificări de parametri funcționali ai circuitului foarte ușor, obținând rapid noile rezultate determinate de modificări.

Utilizarea programelor complexe de calcul se bazează pe modelul matematic al circuitului electric analizat. Simularea circuitelor în acest caz devine ceva mai dificilă iar rezultatele obținute în urma simulărilor sunt similare cu cele obținute utilizând programe de calcul dedicate.

Lucrarea de față a încercat să prezinte utilizatorilor posibilitățile multiple pe care le au pentru analiza funcționării unor montaje electrice complexe ce conțin convertoare statice de putere și a influenței acestora asupra rețelei de alimentare utilizând diverse medii de programare.

6.

BIBLIOGRAFIE.

- [1] "Electronica de putere. Modelare și simulare" – F. Ionescu & Co. (U.P.B), D. Alexa & Co (U."Gh.Asachi" Iasi), E. Milent (USTL), M.E. Rosu (U."Dunarea de Jos" Galati).
- [2] Simcad, Caspoc, PSCAD, LabView, Matlab-Simulink, VisSim - online help.
- [3] National Instruments, Visual Solutions, Mathworks,.... internet files