

Abordarea unei teme de examinare din cadrul capitolului II – modul II de examinare – „Sisteme de calcul în timp real bazate pe procesoare digitale de semnal”

IPOTEZĂ: „Într-un atelier de micro-producție (sau într-o gospodărie), situat(ă) la periferia orașului, (în mediu rural), apare necesitatea de alimentare a unor mașini – unelte cu motor asincron trifazat (care are rol de mașină principală de antrenare în unealta respectivă) în scopul prelucrării materiei prime lemnoase (ex. $P_N = 1.1 \text{ [kW]} = 1100 \text{ [W]}$; $U_N = 380 \sim 400 \text{ [V]}$, $I_N = 1.6 \sim 10 \text{ [A]}$). Atelierul fiind situat la periferia orașului, nu beneficiază de punct de racord la rețeaua trifazată, iar în lunile de iarnă, datorită cererii de consum mare de energie, au loc în mod repetat întreruperi de scurtă durată ale alimentării cu energie de la rețeaua monofazată existentă. Proprietarul dispune de un banc de acumulatori industriali având tensiunea nominală de $U_N = 100 \text{ [V]}$ și puterea $P_N = 15 \text{ [kW]}$, care ar putea asigura puterea necesară mașinilor de lucru și a unor corpuri de iluminat cu tub fluorescent ($U_N = 220 \text{ [V]}$, $P_N = 100 \text{ [W]}$, $I_N = 0.45 \text{ [A]} = 450 \text{ [mA]}$), pe parcursul întreruperii alimentării de la rețea. Acești acumulatori se încarcă de la rețea (când alimentarea este prezentă), iar când alimentarea este sistată, asigură puterea de consum necesară (sistemul de încărcare este deja instalat în bancul de acumulatori. Bancul de acumulatori este o instalație completă cu circuit de gestiune a celulelor și circuit de încărcare). În acest scop, proprietarul face apel la cunoștințele studenților din anii terminali, pentru o soluție viabilă (din punct de vedere electronic) la problema de inginerie electrică propusă. El menționează de asemenea, că nu este evoiie să se modifice turația motorului asincron, ci doar să funcționeze la turația nominală normală la care ar ajunge în cazul în care mașina este pusă la rețea! Mai precizează și faptul că acest motor NU A FOST PROIECTAT să lucreze în regim MONOFAZAT, și că ar dori o soluție acoperitoare atât pentru alimentarea de la rețea, cât și pentru alimentarea în mod de urgență de la un banc de acumulatori. De asemenea, proprietarul menționează că, motorul nu poate fi înlocuit cu unul de curent continuu sau cu unul de curent alternativ monofazat, deoarece, acesta face parte din mașina-unealtă ca un tot unitar. Mașina-unealtă, funcționează momentan la randament mult mai scăzut decât cel nominal deoarece, proprietarul, ca să poată folosi această unealtă a ales să o alimenteze de la rețeaua monofazată, având un condensator de pornire. Mașina deci funcționează doar în două faze (regim bifazat), și nu poate dezvolta cuplul necesar procesului.”

OBSERVAȚIE: În scopul abordării acestei cerințe, se vor avea în vedere următoarele aspecte:

-identificarea tipurilor de convertoare electronice de putere, și a topologiilor lor constructive, acoperitoare cerinței / ipotezei formulate mai sus **(se vor acorda 2 PUNCTE)**;

-conceperea, implementarea și manipularea unui aparat matematic, prin care să se modeleze logica de comandă și control pentru convertoarele identificate, dar și pentru reglarea / coordonarea procesului general **(se vor acorda 2 PUNCTE)**;

-simularea funcționării întregului sistem în mediul Matlab - Simulink utilizând paleta de instrumente Sim Scape și Sim Power Systems; Testarea sistemului **(se vor acorda 2 PUNCTE)**;

Realizat de: Ing. mast. Pintilie Lucian Nicolae
Pentru disciplina: „Sisteme de calcul în timp real”
Adresă de e-mail: Lucian.Pintilie@emd.utcluj.ro



-Realizarea practică a unui prototip simplu de invertor ($U_N = 12$ [V]), (**OPȚIONAL - AVANTAJ**);

-Generarea semnalelor de comandă utilizând platformele de simulare / testare D.S.P. Texas Instruments C2000 (F2877s - Delfino) și mediul de simulare / testare Altair VisSim – Solid Thinking Embed 2017; Importarea logicii de comandă și control din mediul Matlab – Simulink în mediul Altair VisSim – SolidThinking Embed 2017; Adăugarea blocurilor de interfațare / comunicare cu platforma (Jtag, intrări / ieșiri digitale / analogice), realizarea setărilor necesare pentru comunicarea cu platforma, și simularea în timp real; Evidențierea conceptului de Rapid Control Prototyping (**OPȚIONAL - AVANTAJ**);

MENȚIUNI: 1. Se acordă **4 (patru) puncte din oficiu** în mod **condiționat (ȘI SE CONSIDERĂ CRITERIU ELIMINATORIU)** pentru acest mod de examinare, capitolul II - „Sisteme de calcul în timp real bazate pe procesoare digitale de semnal” DACĂ se dă un răspuns CORECT la cerința:

INDICAȚI (prin argumentare) **TREI CARACTERISTICI DISTINCTIVE DINTRE MICRO-CONTROLLER ȘI PROCESOR DIGITAL DE SEMNAL (ENG. DIGITAL SIGNAL PROCESSOR – D.S.P.)**, (a se face referire la regiștrii în plus sau în minus, la perifericele optimizate sau dedicate, la arhitectura comună sau nu) (vezi. laboratorul nr. 6 - tabel + scheme arhitecturi);

2. **Cerințele asupra setărilor fundamentale de simulare sunt valabile, la fel ca și în capitolul I (alegerea timpului de eșantionare (eng. Sample Time), configurarea directorului de lucru...);**

3. În vederea rezolvării cerinței propuse, studentul **poate** utiliza **documentația proprie** (adică noțiunile din caietul PERSONAL) și **TOATE resursele paginii Web:**
<http://epe.utcluj.ro/index.php/sisteme-de-calcul-in-timp-real/>

4. Se propune ca și **timp efectiv de lucru: două ore (2 [h])**.

METODĂ DE ABORDARE A CERINȚEI PROPUSE (pași de rezolvare):

În scopul rezolvării acestei probleme de inginerie electrică, se vor **identifica** (de către student) **toate cerințele efective** impuse de către „proprietarul atelierului”, anume:

I. IDENTIFICAREA CERINȚELOR ȘI RESURSELOR STABILITE DE PROPRIETAR:

1. Este **necesară ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A UNOR MAȘINI – UNELTE ȘI A UNOR CORPURI DE ILUMINAT**. Se precizează (de către proprietar) faptul că: **O Mașina - unealtă** este antrenată de către un **motor de curent alternativ trifazat asincron** având următoarele date tehnice: $P_N = 1.1$ [kW] = 1100 [W]; $U_N = 380 \sim 400$ [V], $I_N = 1.6 \sim 10$ [A] iar **corpul de iluminat** are următoarele date tehnice: $U_N = 220$ [V], $P_N = 100$ [W] $I_N = 0.45$ [A] = 450 [mA];

2. Se pune la dispoziție **un banc de acumulatori industriali** având datele tehnice următoare:
- tensiune nominală de $U_N = 100$ [V];
 - putere $P_N = 15$ [kW] = 15000 [W];



Preluat de la:

[\[https://www.indiamart.com/supreme-technoservice/other-products.html/#power-backup\]](https://www.indiamart.com/supreme-technoservice/other-products.html/#power-backup)

fig. 1 - Banc de acumulatori industrial

3. Stabilirea **tipurilor de convertoare electronice de putere**: - Conform datelor prezentate în ipoteza de mai sus, se înțelege faptul că este nevoie de:
- un convertoar de **curent alternativ** (monofazat) la **curent continuu (redresor monofazat)**;
 - un convertor de **curent continuu** la **curent continuu ridicător** (convertor dc – dc – BOOST);
 - un convertor de **curent continuu** la **curent alternativ trifazat (invertor trifazat)**;

Aceste trei convertoare vor îndeplini următoarele **roluri**:

-va fi **un redresor monofazat**: - pentru **alimentarea invertorului direct de la rețeaua monofazată** (redresor de putere și tensiune mare (250 [Vca] – 220 [Vcc] – **fără transformator coborât**);

Realizat de: Ing. mast. Pintilie Lucian Nicolae
Pentru disciplina: „Sisteme de calcul în timp real”
Adresă de e-mail: Lucian.Pintilie@emd.utcluj.ro



-va fi un **convertor de curent continuu la curent continuu ridicător** (eng. dc – dc – BOOST converter), care va asigura **tensiunea continuă de 800 - 850 [V]** pentru **alimentarea inverterului trifazat**, de la bancul de acumulatori când alimentarea de la rețea va fi sistată și pentru ridicarea tensiunii furnizate de redresorul monofazat;

-va fi un **inverter trifazat** care va asigura **conversia din curent continuu în curent alternativ trifazat** necesar pentru **alimentarea mașinii asincrone trifazate**, iar **una din fazele inverterului**, va fi utilizată la **alimentarea corpului de iluminat** (între fază și nulul sarcinii).

4. **Semnalele care intervin** în „logica de comandă” sunt:

- prezența / absența tensiunii de alimentare (semnal generat de comparator);
- semnalele de comandă pentru elementele comutatoare (eng. gate signals – de grilă);
- curenții de ieșire;
- tensiunile de ieșire;

5. **Logica de comandă:**

a. **Valoarea medie a tensiunii de alimentare de la rețeaua monofazată** este **monitorizată în permanență** de către un **comparator** (dacă, comparatorul nu sesizează **absența tensiunii**, acesta **nu furnizează nici un semnal** (adică starea „logic 0”). Atunci, **etajul redresor de putere este cuplat** la alimentarea convertorului ridicător boost, prin intermediul căruia se **alimentează inverterul trifazat**.

b. Când **valoarea medie** devine **ZERO**, comparatorul, va genera un semnal digital de tip „**logic 1**” altfel „**logic 0**”;

c. **Prin intermediul semnalului furnizat de comparator** se va comuta **alimentarea de la rețea** (se decuplează redresorul de putere și cel de încărcare) **la bancul de acumulatori** (se cuplează etajul ridicător (eng. BOOST) la bancul de acumulatori și la inverter);

d. **Inverterul** funcționează pe baza tehnicii de comandă cu **modulare în durată / lățime a impulsurilor după o lege de variație sinusoidală** (sau o funcție trigonometrică „sinus” / „cosinus”) (eng. Sinusoidal Pulse Width Modulation – S.P.W.M.). Aceasta se va obține prin **generarea / sintetizarea numerică a trei sinusoide decalate în fază la 120°** - asemănător sistemului trifazat, și **compararea lor** cu o **undă purtătoare / modulatorie** (eng. Carrier Wave) **de formă triunghiulară**, cu o **frecvență mult mai mare** decât a **fundamentalei sinusoidale**, care va **intersecta punctual** formele de undă sinusoidale. Astfel, se vor obține **trei trenuri de impulsuri** cu **lățimi de puls** (eng. pulses widths) **variabile în timp, după o funcție sinusoidală**.

e. **Convertorul ridicător (boost)** va menține **tensiunea de ieșire constantă** la valoarea de **800 - 850 [V]**, prin **adjustarea automată factorului de umplere / lățimii impulsului** (eng. Pulse Width) în funcție de **dinamica sarcinii**. **Lățimea pulsului / factorul de umplere în acest caz**, este generată prin **compararea unei forme de undă contiună** și o **formă de undă triunghiulară**. Rezultă un **tren de impulsuri cu factor de umplere variabil** în funcție de **nivelul**

componentei contiune comparată cu forma de undă purtătoare / modulatori triunghiulară; Pentru **stabilizarea tensiunii de ieșire** se vor avea în vedere **tensiunea** și **curentul de ieșire** pentru convertorul ridicător boost.

II. SPECIFICAȚIILE ȘI RESURSELE DISPONIBILE STUDENTULUI:

Fiind vorba despre o problemă de **generare / procesare de semnal** este evident că, sistemul de calcul în timp real ales pentru a îndeplini această cerință va fi un **procesor digital de semnal** (eng. Digital Signal Processor – D.S.P.) (conform tabel Lab. 6);

REZOLVAREA CERINȚEI ELIMINATORII: TREI CARACTERISTICI DISTINCTIVE ALE PROCESOARELOR DIGITALE DE SEMNAL FAȚĂ DE MICROCONTROLLER SUNT:

- **Pot realiza calcule aritmetice complexe într-un timp mai scurt** deoarece procesoarele de semnal (eng. D.S.P.) au **regiștrii dedicați** pentru **adunare** și **înmulțire**, astfel că **nu mai este nevoie** să se realizeze un **număr mare de operații de rutină** (precum: deplasare de biți, mascare, translație, stocare) **în vederea îndeplinirii unei astfel de sarcini** (eng. task); De asemenea acest lucru este posibil și datorită **principiului arhitecturii Harvard**, în care, procesul de **adresare (alocare de memorie)** și **citirea datelor din memorie** decurge în **mod paralel / chiar simultan** fără a fi nevoie de memoria „cache” prezentă la arhitectura Von Neumann din computerele personale;
- **Au periferice dedicate achiziției și generării de semnal, cum ar fi:**
 - ✓ **Convertoare Analog - Numerice / Digitale (C.A.N.) - (eng. Analog to Digital Converter – A.D.C.)** – se folosesc pentru a **prelua semnalele analogice** în Sistemul de Calcul în Timp Real (S.C.T.R.) sub **formă discretă / numerică**;
 - ✓ **Convertoarele Numeric / Digital – Analogice (C.N.A.) – (eng. Digital to Analog Converter – D.A.C.)** – se folosesc pentru **generarea semnalelor analogice** folosind valori numerice / discrete ale amplitudinii;
 - ✓ **Comparatoarea și generatoare P.W.M.;**
 - ✓ **Intrări digitale rapide pentru encoder;**
 - ✓ **Ieșiri digitale pentru generarea impulsurilor rapide;**
- **Pot realiza operații de analiză și sinteză asupra semnalelor** deoarece au **funcții specifice** (unități centrale de procesare) **pre-implementate** precum: **Transformata Fourier Rapidă** (eng. Fast Fourier Transform – F.F.T.), analiza pe baza **Răspunsului la Impuls Finit** (eng. Finite Impulse Response – F.I.R.), **calcul de valoare efectivă** sau **rădăcină medie pătratică** (eng. Root Mean Square – R.M.S.) etc...;

1. Resurse fizice (hard):

- Platforma Texas Instruments C2000 - F28377s (procesor digital de semnal – eng. D.S.P.);
- Componente electronice și aparatură de laborator pentru analiza rezultatelor;**

2. Resurse logice (soft):

- Mediul de **programare al platformei** Texas Instruments F28377s - Code Composer Studio;
- Mediul de **testare / simulare** Matlab – Simulink împreună cu paleta de instrumente / bibliotecă - SimScape și SimPowerSystems - pentru simularea circuitelor electronice;
- Mediul de **simulare și testare** Altair – VisSim – SolidThinkind Embed 2017;

3. Documentație: Pentru abordarea acestui subiect, se vor avea în vedere materialele următoare, disponibile pe pagina materiei „Sisteme de calcul în timp real” anume:

- Laboratorul nr. 3 – „Testarea și simularea convertoarelor electronice de putere”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Laborator/SCTR_Lab3_TSCEPSc_PPT.pdf
- Laboratorul nr. 4 – „Aplicarea metodelor de comandă și control în acționări electrice”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Laborator/SCTR_Lab4_AMCCAE_PPT.pdf
- Schema electronică a unui convertor Buck – Laboratorul nr. 4:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Scheme/SCTR_Lab4_AMCCAE_buck_SCH.pdf
- Schema electronică a unui Invertor monofazat – Laboratorul nr. 4:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Scheme/SCTR_Lab4_AMCCAE_inverter_SCH.pdf
- Principiu „Generarea semnalelor cu modulare în durată a impulsului”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_PWM_WP.slx
- Model Simulink pentru „convertorul Buck”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_BUCK_WP_SL.slx
- Model Simulink pentru „convertorul Boost”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_BOOST_WP_SL.slx
- Model Simulink pentru „invertor trifazat”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_TPI_WP_SL.slx
- Model Simulink pentru „invertor monofazat”:
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_SPI_WP_SL.slx

III. MOD DE LUCRU:

IMPORTANT: Deoarece se cunosc doar limitările / constrângerile, și nu sunt precizate toate datele despre topologia circuitului electronic general (valori pentru: bobine, condensatoare, tranzistor, comportament la scurt-circuit / mers în gol etc...), se va proceda în felul următor:

- Se va realiza, pentru fiecare etaj, un model Simulink (SimScape + SimPowerSystems) anume:
 - redresor monofazat fără transformator – alimentare directă a invertorului;
 - convertor c.c. – c.c. ridicător de tensiune (eng. d.c. – d.c. boost converter);
 - invertorul trifazat c.c. – c.a. trifazat;

- În urma realizării fiecărui etaj (sub-circuit) se va construi logica de comandă generală;
- Valorile rezistențelor, inductivităților, capacităților, se vor determina prin simulare;
- Mașina electrică asincronă trifazată și corpul de iluminat se vor modela ca sarcini R-L;
- După ce se va ajunge la o variantă funcțională de topologie generală și logică de comandă, se vor efectua testele doveditoare la nivel de sistem (scurt – circuit / mers în gol);

-Se va exporta logica de comandă din mediul Matlab – Simulink în mediul Altair VisSim – SolidThinking Embed 2017, și se vor realiza setările necesare pentru conectarea la platforma D.S.P. a unui model fizic / prototip de convertor;

OBSERVAȚIE: 1. Parcurgerea etapelor enumerate mai sus constituie procesul de întocmire a logicii de comandă pe baza simulării în timp real a modelului și a prototipului fizic de convertor (eng. Rapid Control Prototyping);

2. Modelele Simulink vor porni de la topologiile clasice / standard de convertoare, dar vor fi adaptate de la caz la caz, după necesitățile impuse de beneficiar;

Modelarea redresorului monofazat cu diode:

SE VOR AVEA ÎN VEDERE ETAPELE INIȚIALE PARCURSE ÎN ABORDAREA CAPITOLULUI I:

- STABILIREA DIRECTORULUI DE LUCRU;
- ADJUSTAREA PARAMETRILOR OSCILOSCOAPELOR;
- CREAREA UNUI MODEL SIMULINK NOU;
- STABILIREA TIMPULUI DE EȘANTIONARE (eng. Sample Time);

A. SETĂRI INIȚIALE:

Pentru a modela un circuit electric / electronic în mediul Matlab – Simulink, se vor avea în vedere următoarele paleta de instrumente din Simulink:

Categoria: **SimScape** și Sub-categoriile: **SimPowerSystems**; **SimScape Components**, **Semiconductors**, **Fundamental Components**;

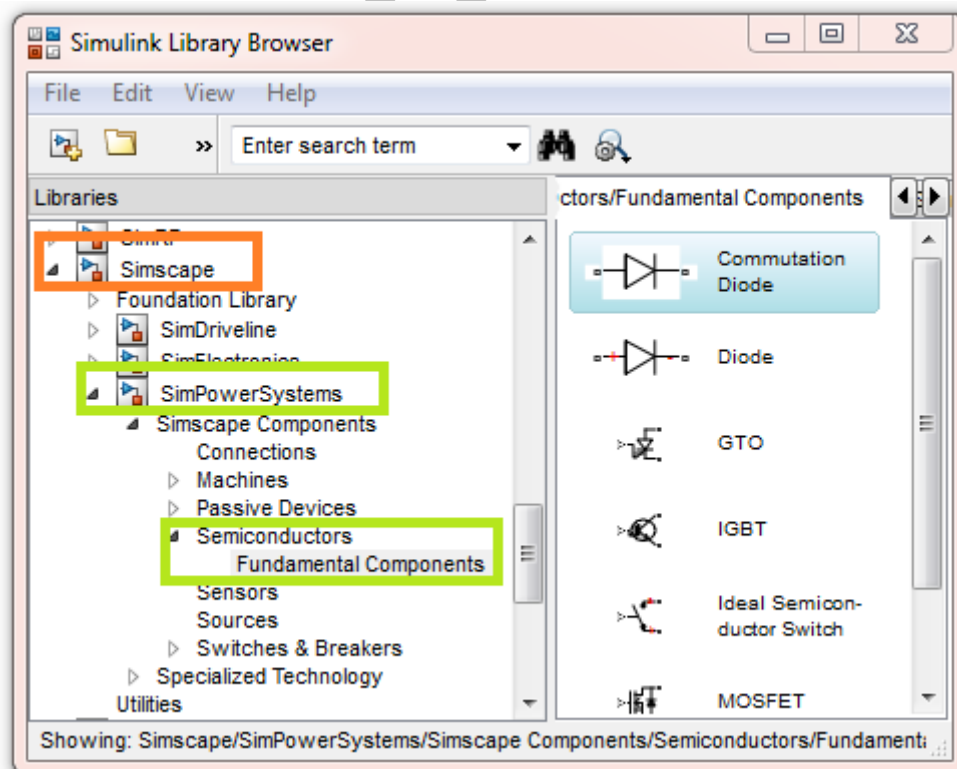


fig. 2 – Paleta de instrumente SimScape

Din aceste categorii, se vor obține componentele necesare pentru realizarea simulărilor de circuite electrice și electronice.

Se va începe un model Simulink nou, și se va salva pentru a crea un fișier nou; (a se vedea modul de abordare al primului capitol în care s-a tratat procedura de salvare, crearea a unui model nou, și stabilirea directorului de lucru);

B. SETĂRI NECESARE ÎN REALIZAREA MODELULUI DE SIMULARE:

Se vor stabili parametrii pentru timpul de eșantionare / simulare din meniul „Simulation” > sub-meniul > „Model Configuration Parameters”. În categoria „Simulation time”, pentru parametrul „Start time” se alege valoare „0.0” și pentru „Stop time”, „0.08”. În categoria „Solver options” opțiunea „Type” se alege „Variable-step” iar pentru „Max. / Min. / Initial step size” se menține valoarea „auto”. Pentru opțiunea „Solver” se alege valoarea „ode45 (Dormand-Prince)”. Pentru opțiunea „Relative tolerance” se alege valoarea „1e-6”. Pentru opțiunea „Absolute tolerance” se alege valoarea „auto” iar restul opțiunilor se vor păstra ca și predefinite.

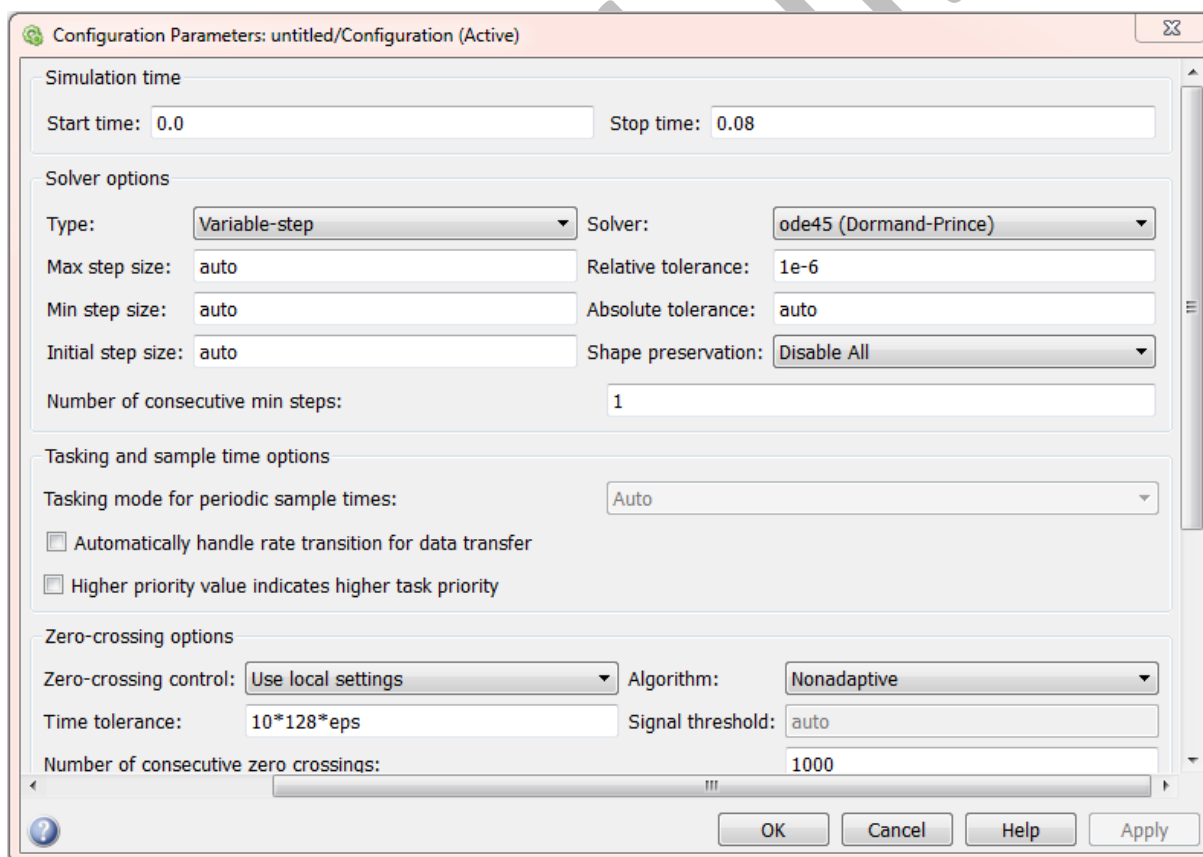


fig. 3 – Stabilirea parametrilor de simulare

După realizarea setărilor generale de simulare, se poate trece la modelarea efectivă a topologiei de convertor, și a logicii de comandă și control. Folosind paleta de instrumente SimScape și SimPowerSystems, se va realiza topologia următoare de

circuit (fig. 4 – redresor monofazat, necomandat, cu diode). Pentru a găsi elementele necesare, se recomandă consultarea tabelului cu simboluri (fig. 5).

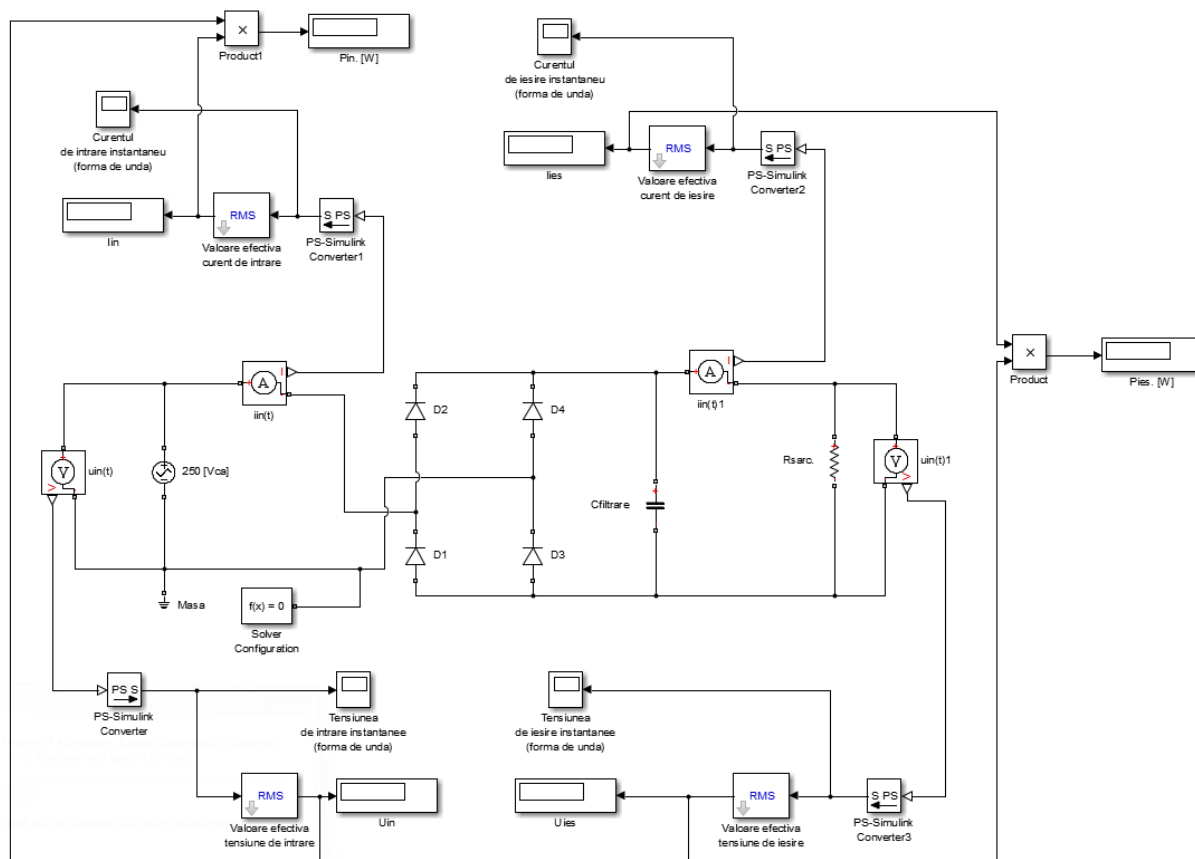


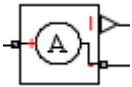

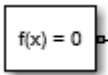



fig. 4 – Redresor monofazat, necomandat, cu diode diagrama generală a modelului Simulink
[http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/Redresor cu diode.pdf](http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/Redresor%20cu%20diode.pdf)
[http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/Redresor cu diode.slx](http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/Redresor%20cu%20diode.slx)

Simbol	Numele afișat în paletă	Rol funcțional	Categorie	Subcategoriile
	Diode (simple)	Permite sau nu trecerea curentului (prin intermediul lor se realizează redresarea)	Simscape	SimPowerSystems: →Simscape components; →Semiconductors; →Fundamental Components;
	Capacitor	Netezește tensiunea de la ieșirea redresorului	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical elements;

	Resistor	Consumator	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical elements;
	AC Voltage Source	Asigură alimentarea de la o rețea de tensiune alternativă monofazată	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical Sources;
	Current Sensor	Măsoară curentul care parcurge latura de circuit în care a fost instalat	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical Sensors;
	Voltage Sensor	Măsoară tensiunea la bornele elementului de circuit la care a fost atașat	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical Sensors;
	Solver Configuration	Asigură soluționarea / rezolvarea ecuațiilor diferențiale sau matriceale impuse de topologia circuitului	Simscape	Utilities
	PS. (Physical) – Simulink Converter	Asigură interfațarea / interconectarea părții de forță (sau a topologiei de circuit SimScape) cu partea de comandă (logica Simulink)	Simscape	Utilities



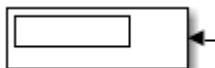

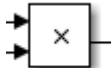
	RMS (Root Mean Square)	Calculează valoarea efectivă a semnalului măsurat	Simscape	SimPowerSystems: →Specialized Technology; →Control and Measurements Library; →Measurements;
	Electrical Reference (GND)	Asigură conectarea la potențial nul / zero sau împământare (permite soluționarea problemelor Millman)	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical elements;
	Display	Afișează valori numerice	Simulink	Sinks
	Scope	Afișează evoluția în timp a semnalului	Simulink	Sinks
	Product	Realizează operația matematică de înmulțire	Simulink	Math Operations

fig. 5 – Notă explicativă asupra elementelor utilizate în modelul Simulink

CUM S-A IMPLEMENTAT ACEST TIP DE MODEL:

1. TOPOLOGIA REDRESORULUI: - Se vor plasa elementele de circuit în așa fel încât inter-conectarea lor să fie cât mai simplă. Se vor redenumi componentele

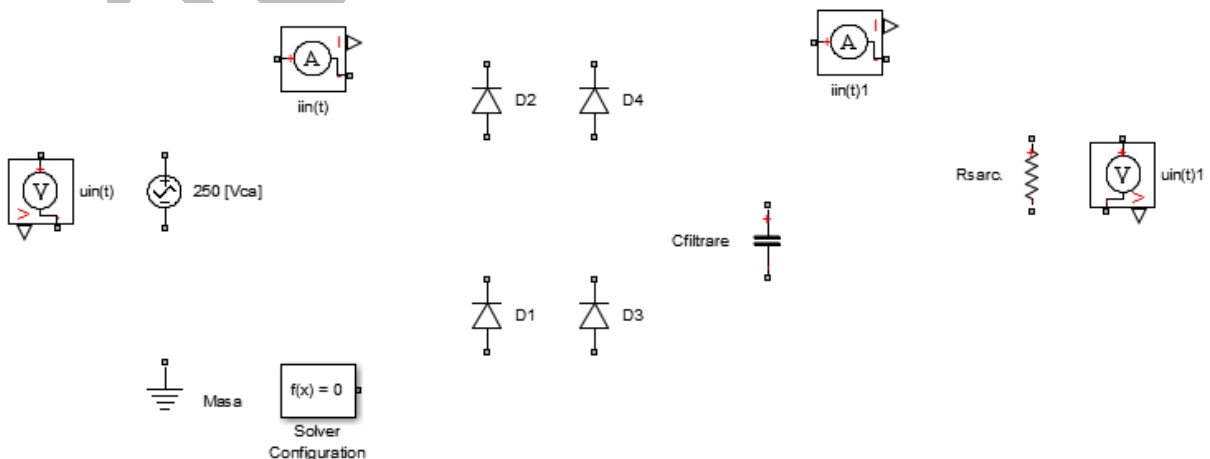


fig. 6 – Plasarea componentelor și redenumirea lor

-Se vor realiza conexiunile între componente după topologiile clasice studiate;

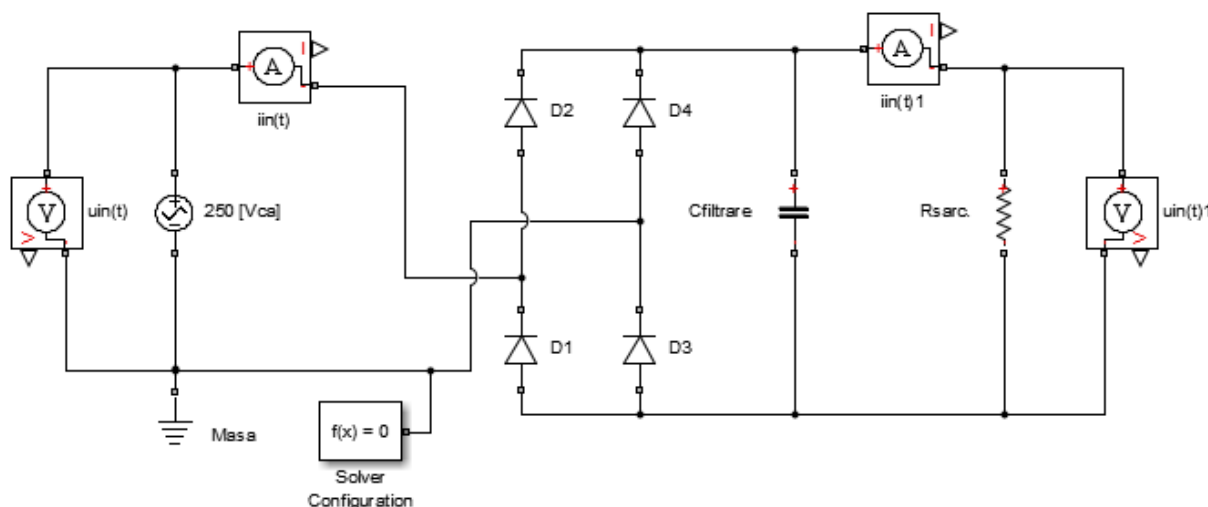


fig. 7 – Realizarea conexiunilor între componente

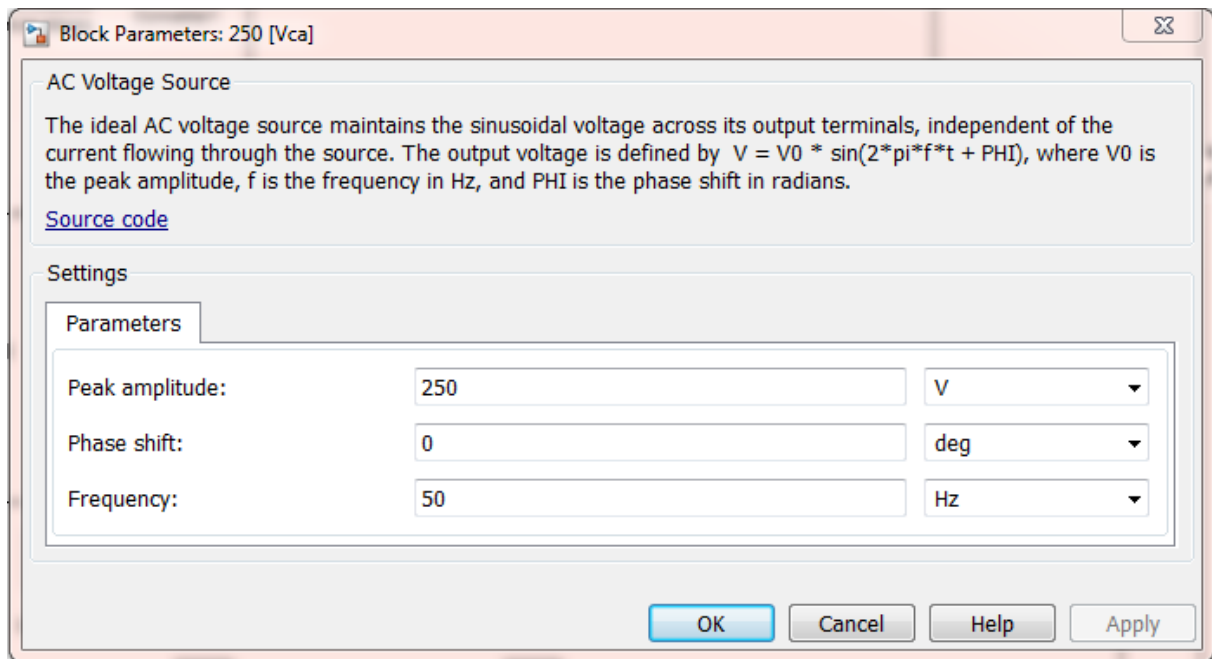
-Se vor parametriza următoarele componente:

- **Sursa de curent alternativ:** Peak amplitude: 250 [V]; Phase Shift: 0 [deg]; Frequency: 50 [Hz] (a se vedea fig. 8);
- **Solver Configuration:** se de-bifează opțiunea „Start simulation from steady state” (adică ignorarea regimului tranzitoriu); Consistency tolerance: $1e-9$ (adică 10^{-9}); se bifează opțiunea „Use local solver” și se va alege valoarea „Backward Euler”; pentru opțiunea „Sample Time” alegem valoarea „ $1e-6$ ”; Restul opțiunilor se vor debifa, iar valorile se vor păstra cele implicite (a se vedea fig. 9);
- **Condensator:** Capacitance: 1 [mF]; Series resistance: $1e-6$ [Ohm]; Parallel conductance: 0 [1/Ohm] sau 0 [S] (Siemens) (a se vedea fig. 10);
- **Rezistența:** Resistance: 450 [Ohm] (a se vedea fig. 11);

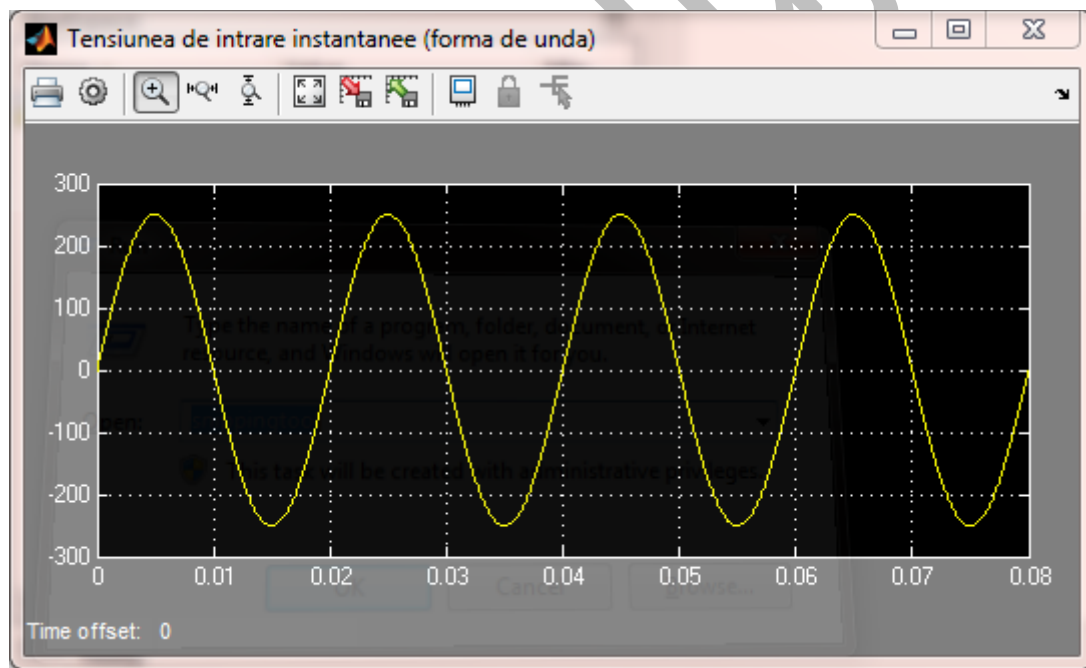
2. PARTEA DE MĂSURARE ȘI ANALIZĂ A FUNCȚIONĂRII: -Pentru a evidenția buna funcționare a convertorului electronic de putere, se vor avea în vedere:

- tensiunea instantanee de intrare „ $u_{in}(t)$ ”;
- curentul instantaneu de intrare „ $i_{in}(t)$ ”;
- valoarea efectivă a tensiunii de intrare „ U_{in} ”;
- valoarea efectivă a curentului de intrare „ I_{in} ”;
- valoarea efectivă a puterii active de intrare „ P_{in} ”;
- tensiunea instantanee de ieșire „ $u_{ies}(t)$ ”;
- curentul instantaneu de ieșire „ $i_{ies}(t)$ ”;
- valoarea efectivă a tensiunii de ieșire „ U_{ies} ”;
- valoarea efectivă a curentului de ieșire „ I_{ies} ”;
- valoarea efectivă a puterii active de ieșire „ P_{ies} ”;

Pentru calculul valorilor efective se vor utiliza blocurile „RMS” (eng. Root Mean Square – rădăcină medie pătratică).



A.



B.

fig. 8 – Parametrizarea sursei de curent alternativ (A.)
Forma de undă sau evoluția în timp a tensiunii de alimentare de la rețea (B.)

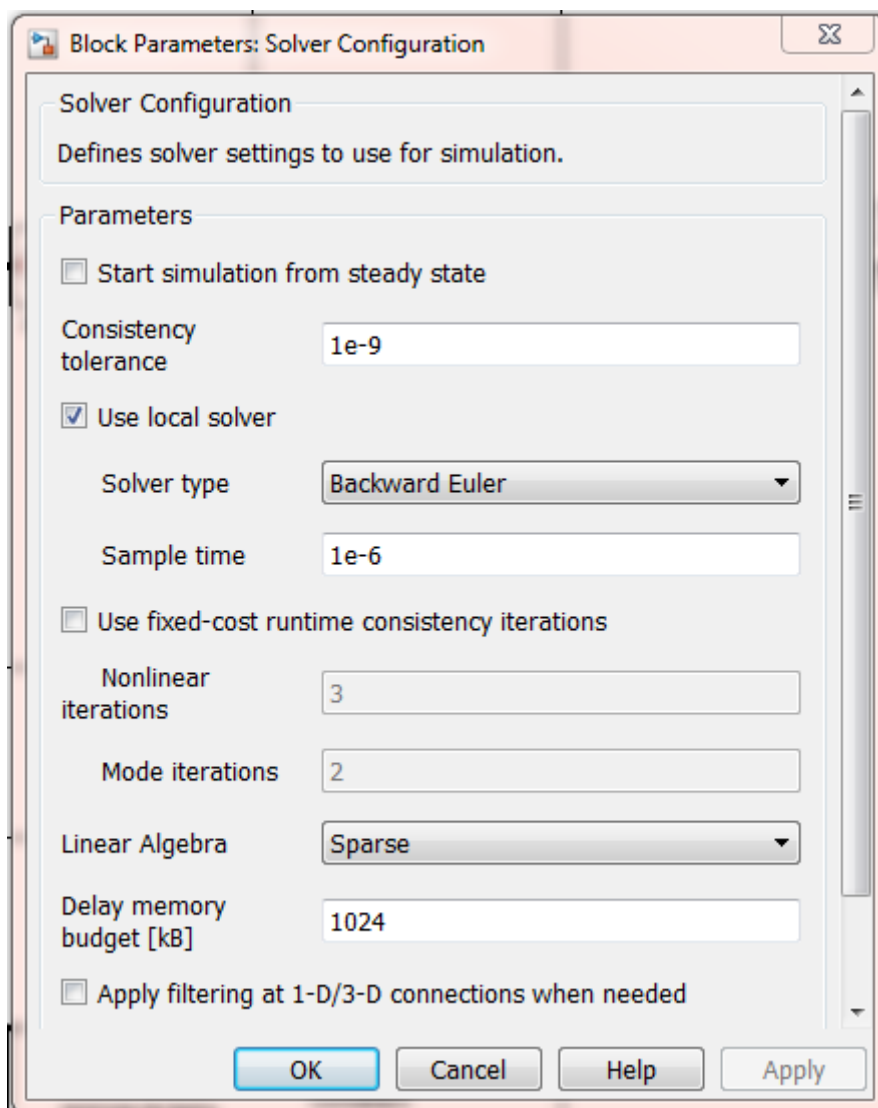
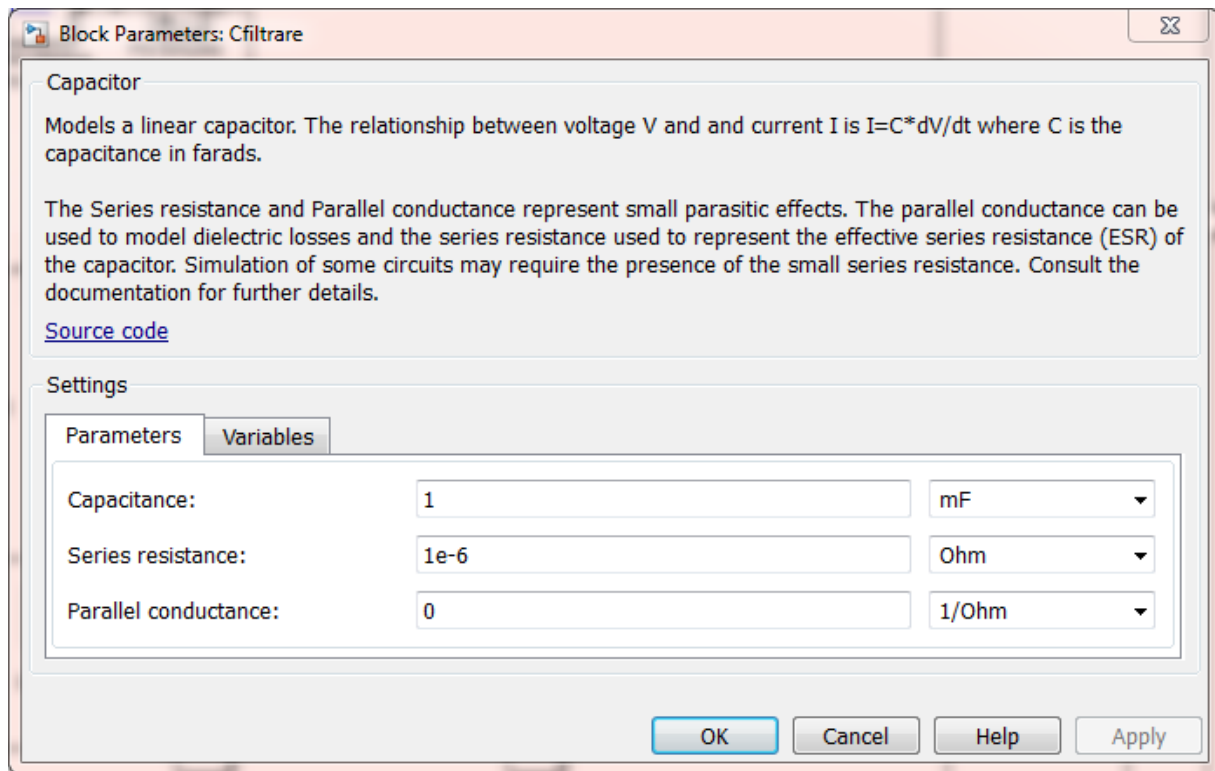
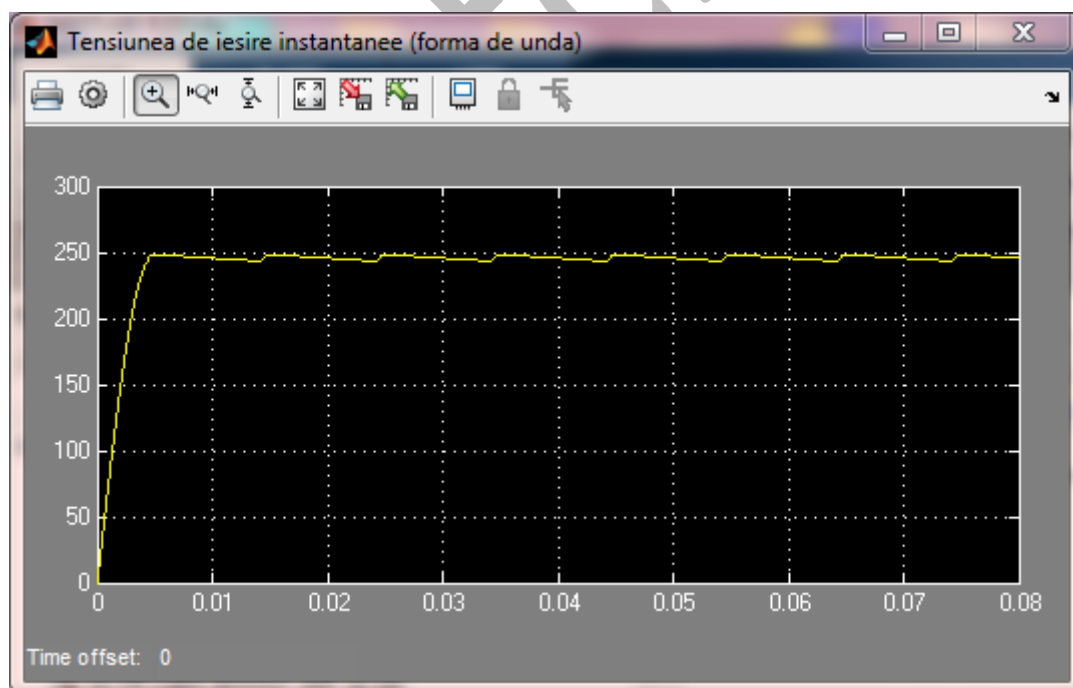


fig. 9 – Parametrizarea opțiunilor de rezolvare a circuitului

Pentru calculul puterii active efective se va face produsul între valoarea medie a tensiunii și intensității. Se recomandă, de asemenea, monitorizarea în timp real, (pe parcursul simulării) atât a valorilor numerice ale mărimilor măsurate, cât și evoluția lor în timp. În acest scop se vor utiliza elemente de afișaj numeric (eng. Display), și osciloscopia virtuale (eng. Scope). Astfel, se vor putea trasa / ridica unele caracteristici de funcționare ale convertorului, și se vor putea trage concluziile privitoare la regimurile limită de lucru ale convertorului (ex. regim nominal / normal sau mers în sarcină, mers în gol, mers în scurt-circuit); În baza acestor rezultate se va putea cuantifica eficiența metodei / topologiei / soluției adoptate la o problemă de inginerie electrică, prin calculul pierderilor, randamentelor, puterilor de intrare / ieșire, factorilor de atenuare sau amplificare, impedanțelor de intrare / ieșire. Totodată, pe baza mărimilor măsurate se vor putea concepe strategii de comandă și control pentru convertor (vezi fig. 4 cu trimiterile de legătură (eng. link)).

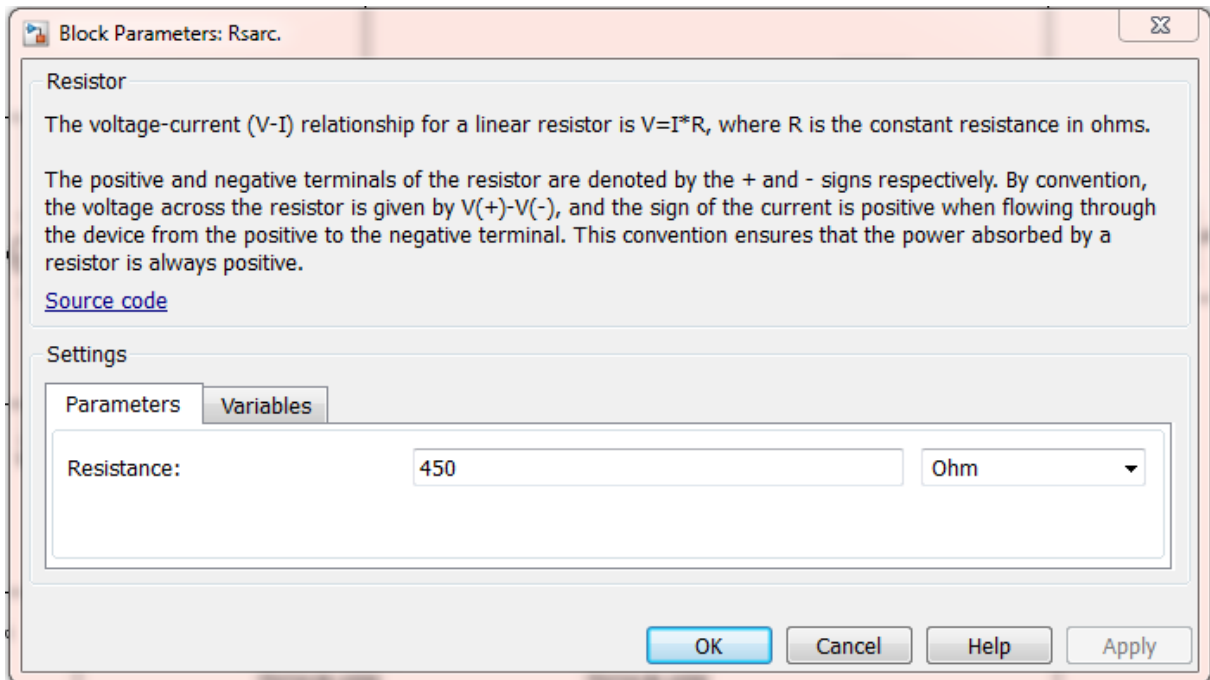


A.

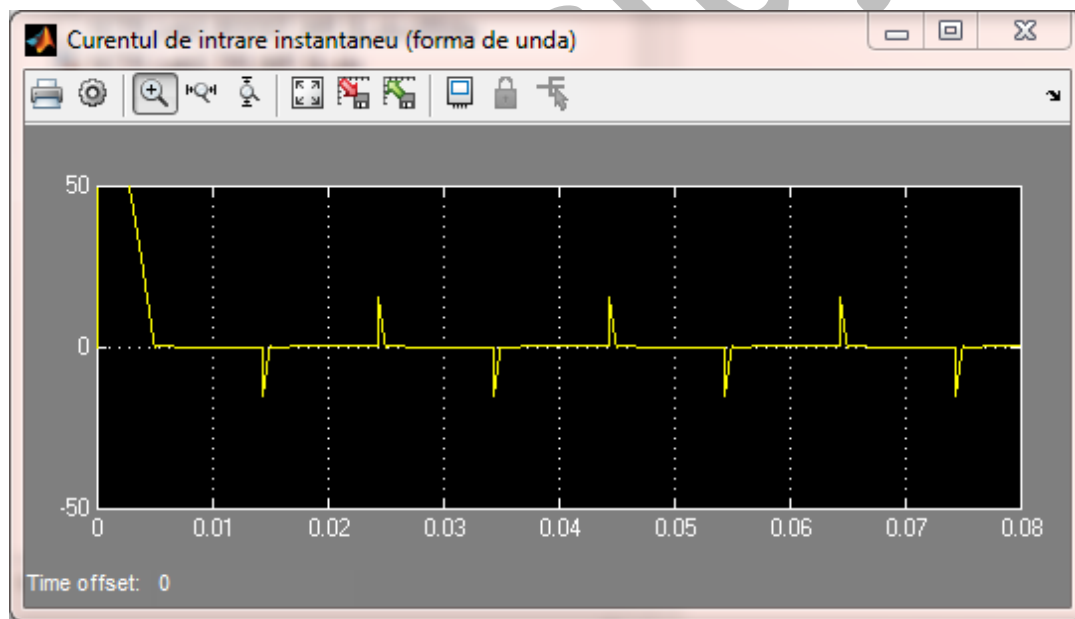


B.

fig. 10 – Parametrizarea proprietăților condensatorului (A.)
Evoluția tensiunii de ieșire în funcție de capacitatea de filtrare / netezire (B.)



A.



B.

fig. 11 – Parametrizarea proprietăților rezistenței (A.)
Influența sarcinii asupra curentului de intrare de la rețea la redresor (B.)

În cazul de față, redresorul monofazat cu diode, este un convertor electronic de putere necomandat, adică, el funcționează natural, fără comandă, datorită principiului de funcționare al diodei (polarizarea directă și inversă). Deci, în curent alternativ, când va apărea semi-alternanța pozitivă, prima pereche de diode va conduce, iar a doua se va bloca. La o semi-alternanță negativă, se va schimba sensul curentului deci prima pereche de diode se va bloca, iar a doua pereche va conduce. Rezultă deci, o tensiune și un curent cu valori pozitive, pulsatorii. Pentru a reduce efectul de pulsație, se va utiliza un condensator cu capacitate mare pentru a compensa absorbția de curent / tensiune a consumatorului de la redresor. Condensatorul joacă rol de element de acumulare a energiei electrice.

IMPORTANT: PENTRU PRELUAREA / MĂSURAREA SEMNALELOR, VOR FI NECESARE BLOCURILE DE CONVERSI DE LA SEMNAL FIZIC (eng. Physical) LA SEMNAL NUMERIC / SIMULINK (S-PS);

Modelarea convertorului de curent continuu ridicător (BOOST):

Față de redresorul monofazat cu diode, convertorul de curent continuu ridicător va avea în plus elementul comutator comandat (tranzistor MOSFET) și elementul reactiv „bobină” (eng. Inductor). Pentru conceperea convertorului ridicător, vor fi necesare următoarele componente, și sub forma topologiei clasice de convertor boost:


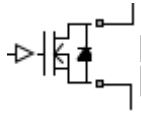
	Inductor	Filtrarea curentului dar și element de înmagazinare în câmp reactiv	Simscape	Foundation Library: →Electrical; →Electrical elements;
	MOSFET	Tranzistor cu efect de câmp, comandat în tensiune, asigură comutația în circuitul electronic	Simscape	SimPowerSystems: →Simscape components; →Semiconductors; →Fundamental Components;

fig. 12 – Notă explicativă pentru elementele de circuit suplimentare

IMPORTANT: Pentru a avea o viziune mai bună asupra funcționării convertorului ridicător este necesară, abordarea modelului implementat în SimPowerSystems deja existent:

http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_BOOST_WP_SL.slx

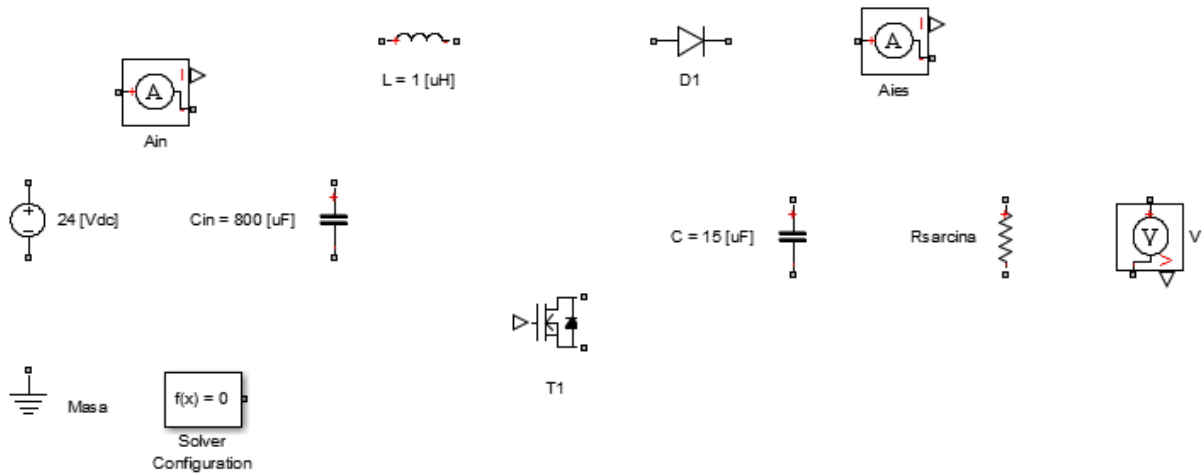


fig. 13 – Componentele electronice necesare în vederea realizării convertorului ridicător

Se vor realiza conexiunile între elementele circuitului convertorului astfel:

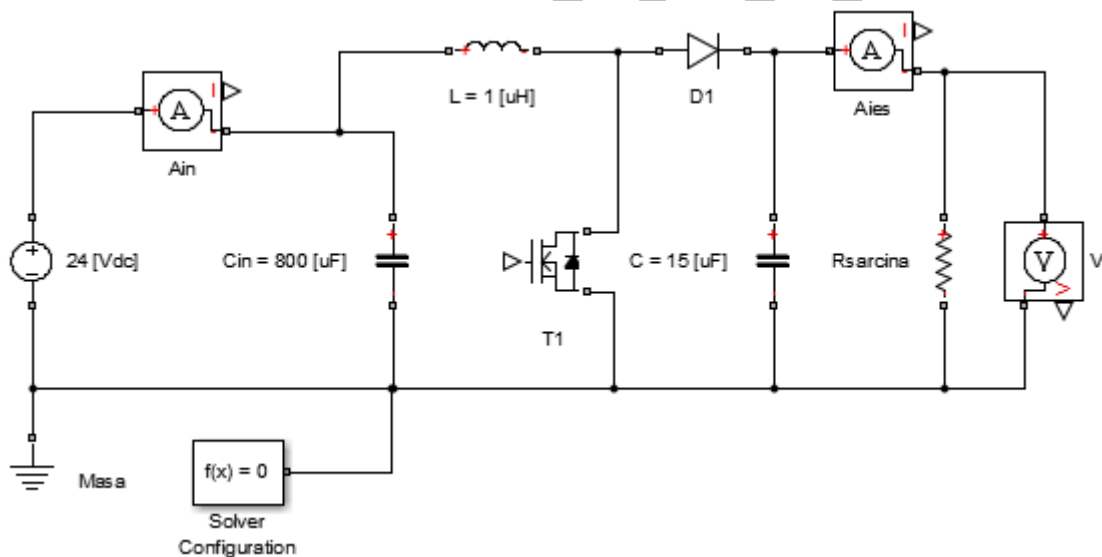


fig. 14 – Topologia circuitului ridicător

Se va modela următoarea logică de comandă:

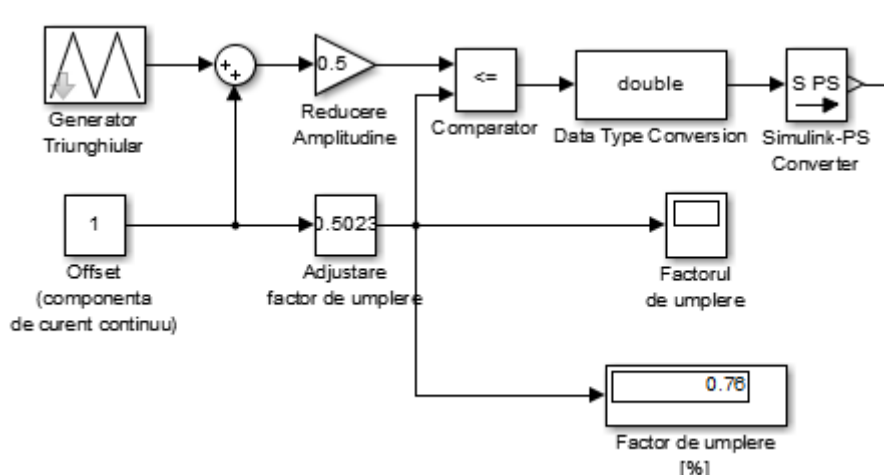


fig. 15 – Logica de comandă a circuitului ridicător

Respectiva logică de comandă permite doar ajustarea manuală a factorului de umplere, prin intermediul căruia este controlată tensiunea de la ieșirea convertorului. În vederea obținerii unui reglaj digital sau numeric, este necesar să se genereze un tren de impulsuri cu factor de umplere variabil sau modulare în durată a impulsurilor (eng. Pulse Width Modulation – P.W.M.). Pentru a obține acest lucru, este necesar să se genereze o undă purtătoare sau modulatorie triunghiulară cu frecvență constantă, și amplitudine unitară. Generatorul de semnal triunghiular implicat, furnizează un semnal cu amplitudine de $A = + / - 1$ [V]. Pentru a aduce această formă de undă la o valoare pozitivă (adică $A = 0 \rightarrow 1$ [V]), va fi necesar să însumăm acestui semnal o componentă de curent continuu care, va deplasa referința semnalului inițial din zero în „1” (deci vom aduna o componentă de curent continuu cu valoarea amplitudinii egală cu 1 [V]). Va rezulta deci, un semnal triunghiular cu amplitudine pozitivă între 0 și 2 [V]. Pentru a reduce amplitudinea la valoarea unitară (1 [V]), se va înmulți (amplifica) semnalul triunghiular cu un coeficient de atenuare de 0.5 [V] adică $1 / 2$. Ceea ce se va obține va fi un semnal triunghiular cu amplitudine unitară pozitivă. Pentru a produce deci trenul de impulsuri cu factor de umplere ajustabil, se va folosi o sursă ajustabilă de tensiune continuă (blocul „Slider Gain” (factor de amplificare variabil) din categoria „Simulink” și sub-categoria „Math operations”). La intrarea blocului de factor de amplificare ajustabil, se va aplica o valoare constantă egală cu elementul neutru față de înmulțire „1” (deoarece $1 \times 0,1 = 0,1$; $1 \times 0,5 = 0,5$). Folosind un bloc comparator din categoria „Simulink” și sub-categoria „Logic and bit operations” se vor compara cele două semnale generate, anume, forma de undă triunghiulară modulatorie / purtătoare și semnalul continuu variabil generat de blocul cu factor de amplificare variabil (eng. Slider Gain). În funcție de logica impusă de comparator, ceea ce va rezulta, va fi un tren de impulsuri modulate în durată.

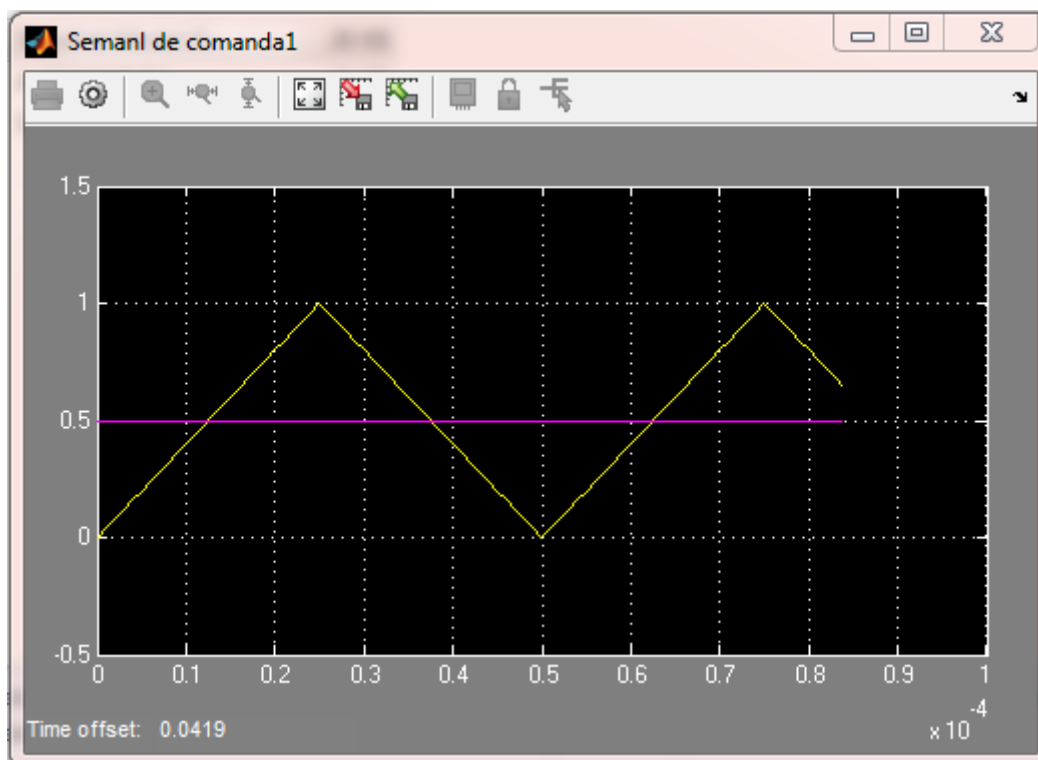


fig. 16 – Unda purtătoare (modulatoare) triunghiulară și componenta de curent continuu prin intermediul căreia se stabilește factorul de umplere sau lățimea impulsului

Acest semnal, va fi transmis înspre grila elementului comutator al convertorului (adică tranzistorul cu efect de câmp – comandat în tensiune – M.O.S.F.E.T.). Pentru acest lucru, se va utiliza un bloc de conversie al tipului de date (de la „boolean” / digital la tip de date fracționat cu virgulă mobilă în dublă precizie (eng. double precision floating point number)) „Data type converter”. După acest bloc, se va utiliza un element de conversie al semnalelor numerice „Simulink” în semnale fizice (tensiune, curent, forță) „S. to PS. converter” (eng. Simulink to Physical converter).

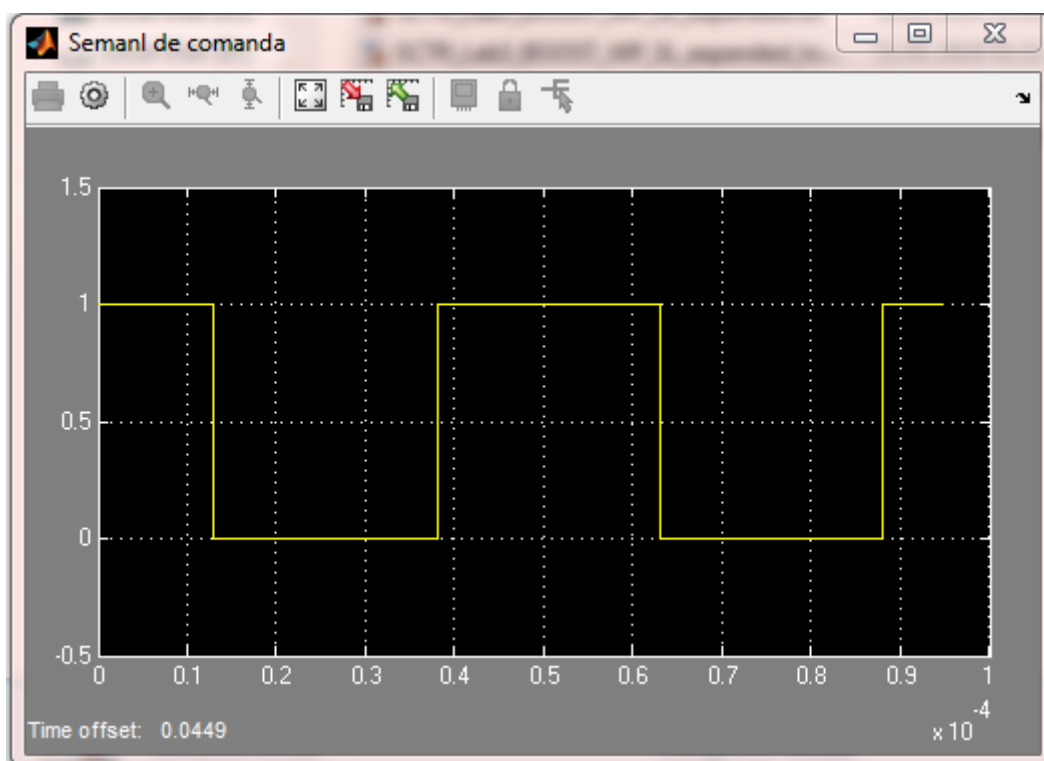


fig. 17 – Semnalul dreptunghiular / trenul de impulsuri cu modulație în lățime a impulsului

Este necesară de asemenea parametrizarea componentelor din circuit precum:

Sursă: $U_{in} = 24$ [Vcc];

Condensator de intrare: $C_{in} = 800$ [μ F];

Bobină: $L = 1$ [μ H];

Condensator de ieșire: $C_{ieș} = 15$ [μ F];

Rezistență de sarcină: $R_{sarc} = 800$ [Ω];

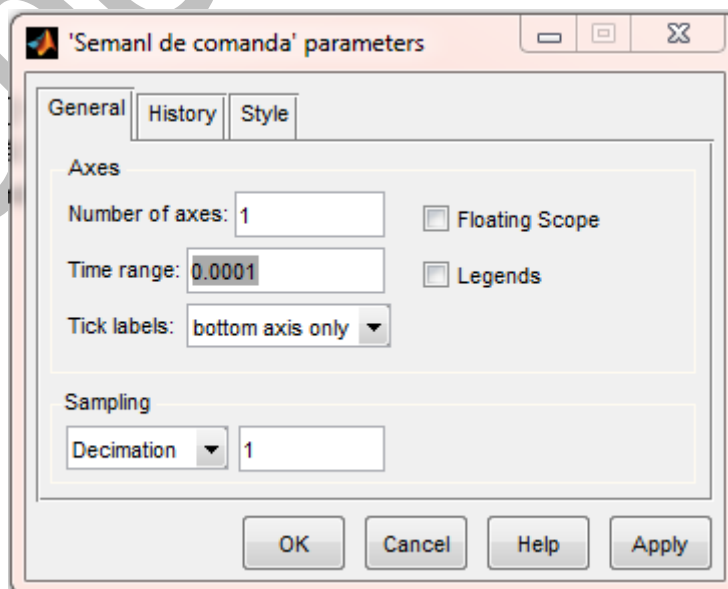


fig. 18 – Stabilirea timpului de urmărire pentru osciloscopul virtual

Mărimi adiționale:

Frecvența semnalului triunghiular: 20 [kHz] = 20000 [Hz];

Timp / perioadă de eșantionare: $1e-7$ adică 10^{-7} ;

Timpul de urmărire a formelor de undă pentru semnalele de comandă ($T_s = 0.0001$ [s]);

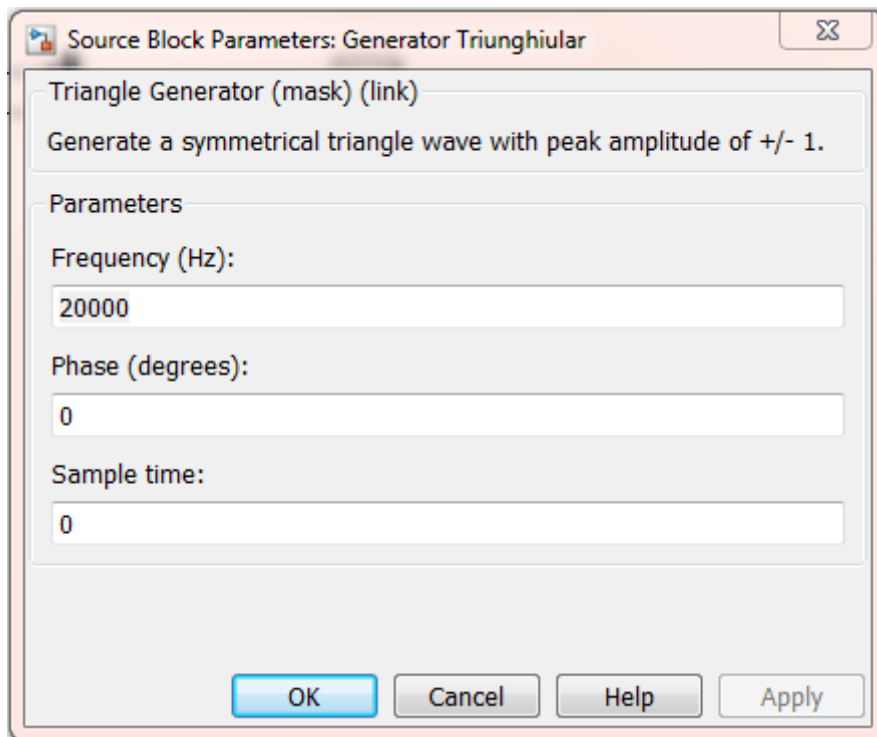


fig. 19 – Frecvența unei purtătoare / modulatorie sau frecvența de comutație

În urma parametrizării componentelor, se vor avea în vedere următoarele rezultate:

- tensiunea de intrare;
- curentul de intrare;
- tensiunea de ieșire;
- curentul de ieșire;

Pe baza acestor rezultate se va dovedi sau nu funcționalitatea convertorului. Adică pentru un convertor ridicător de tensiune (eng. d.c. – d.c. boost converter) se va avea în vedere ca tensiunea de ieșire să fie mult mai mare decât tensiunea de la intrarea în convertor. De asemenea, curentul de la intrarea în convertor va trebui să fie mult mai mare decât curentul de la ieșirea din convertor. Practic, convertorul boost / ridicător este un convertor „curent – tensiune”, adică dintr-o tensiune mică și un curent mare „ridică” la o tensiune mare și un curent mic. Elementul principal al convertorului este bobina, deoarece pe baza efectului de decuplare și cuplare al unei sarcini inductive în circuit funcționează convertorul boost.

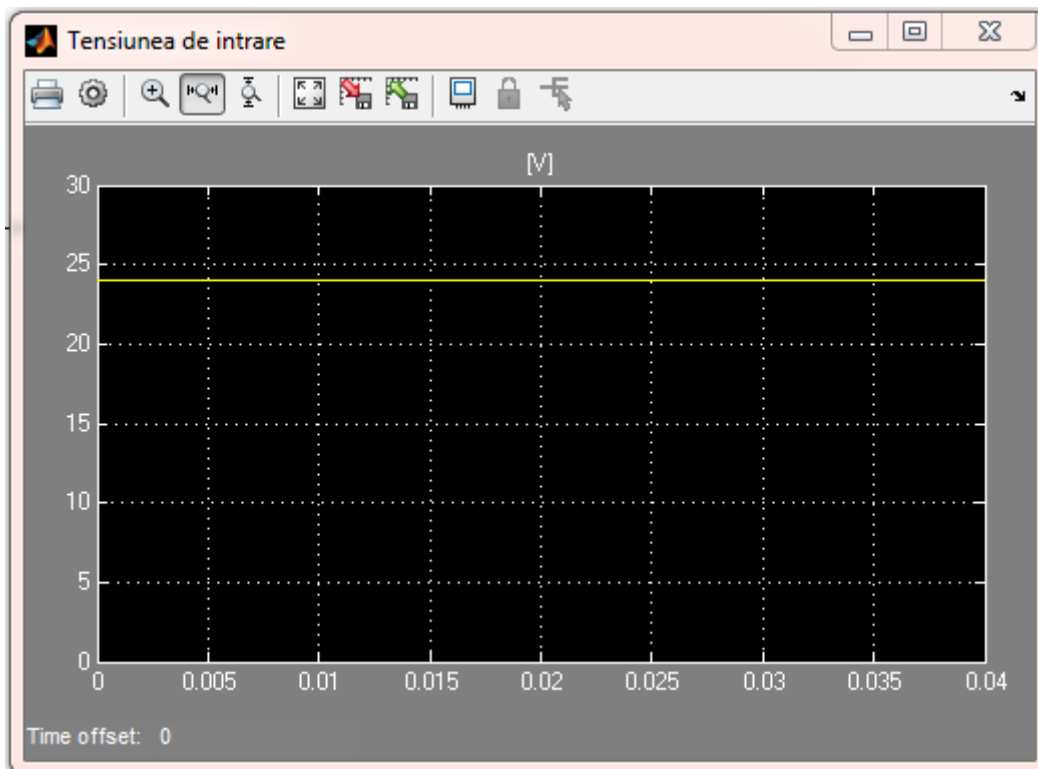


fig. 20 – Tensiunea de alimentare / intrare a convertorului (aprox. 24 [V])

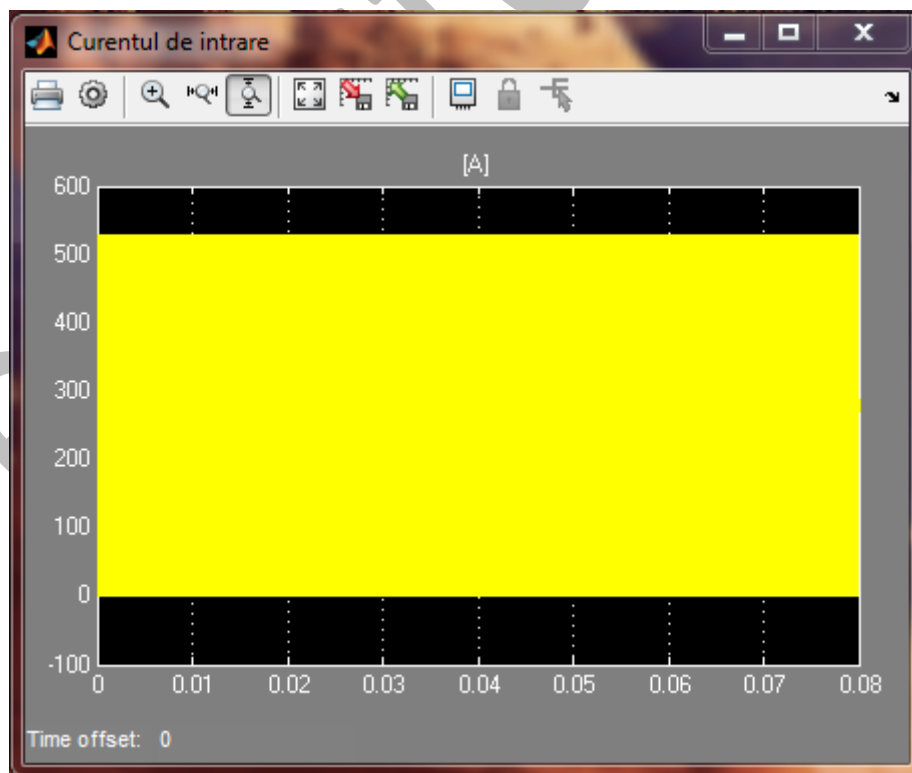


fig. 21 – Curentul de intrare
(ripluri pulsatorii de aprox 500 [A]) pentru $L = 1 \mu\text{H}$

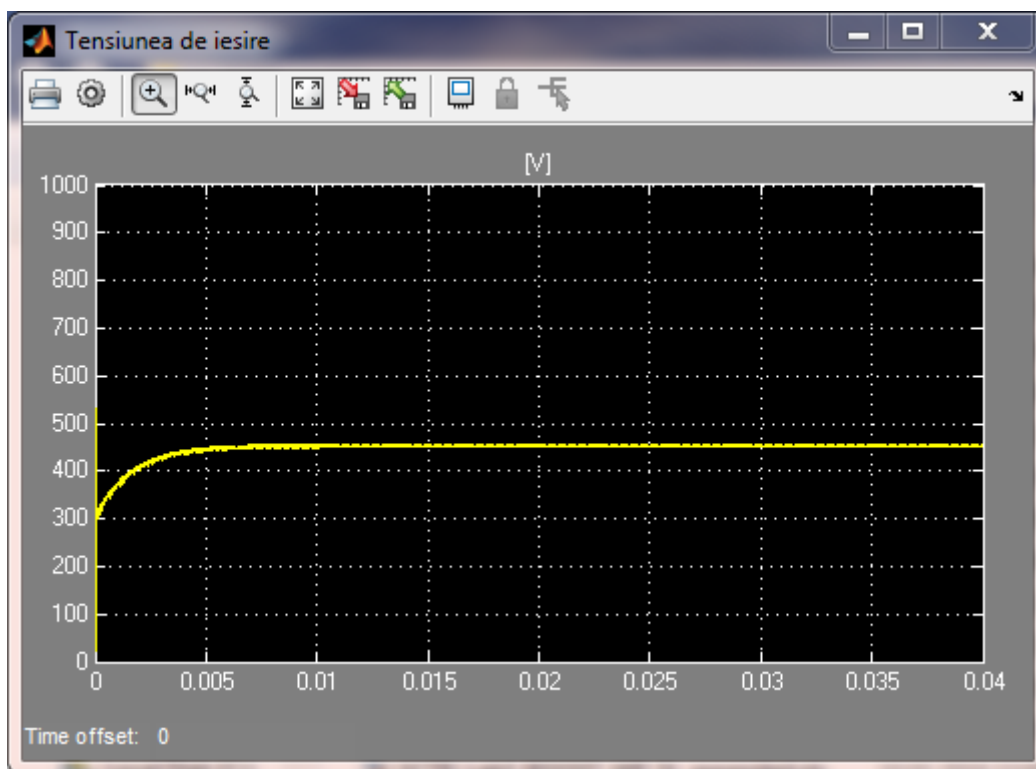


fig. 22 – Tensiunea de ieşire (aprox. 450 [V])

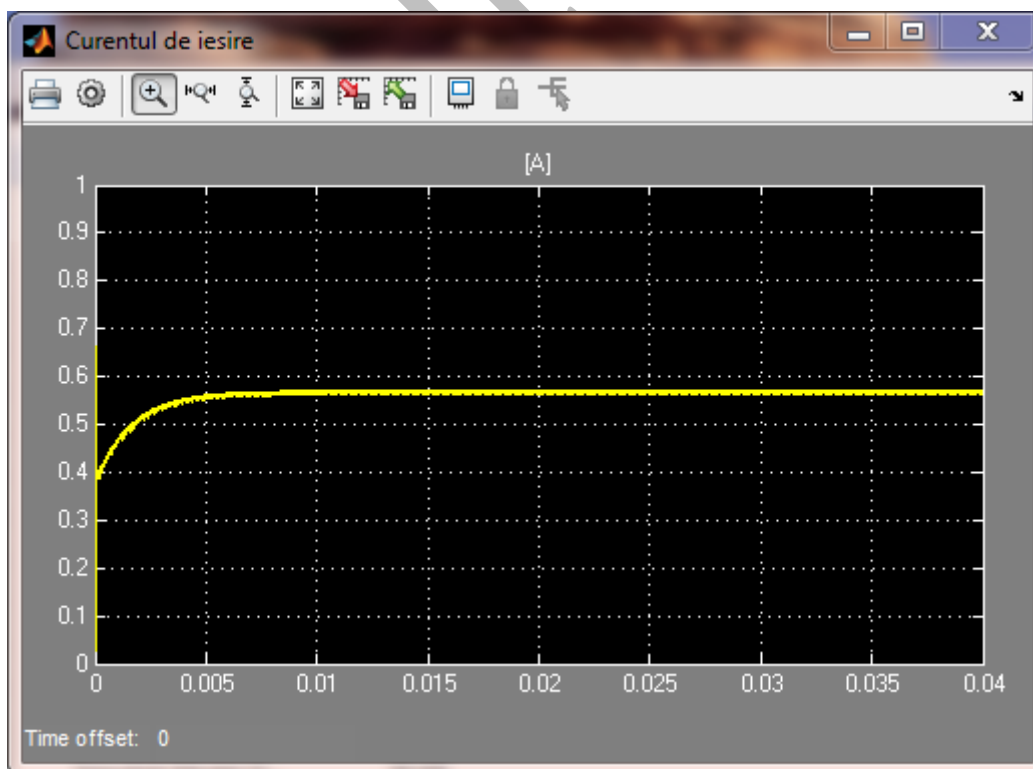


fig. 23 – Curentul de ieşire (aprox. 0,5 [A] = 500 [mA])

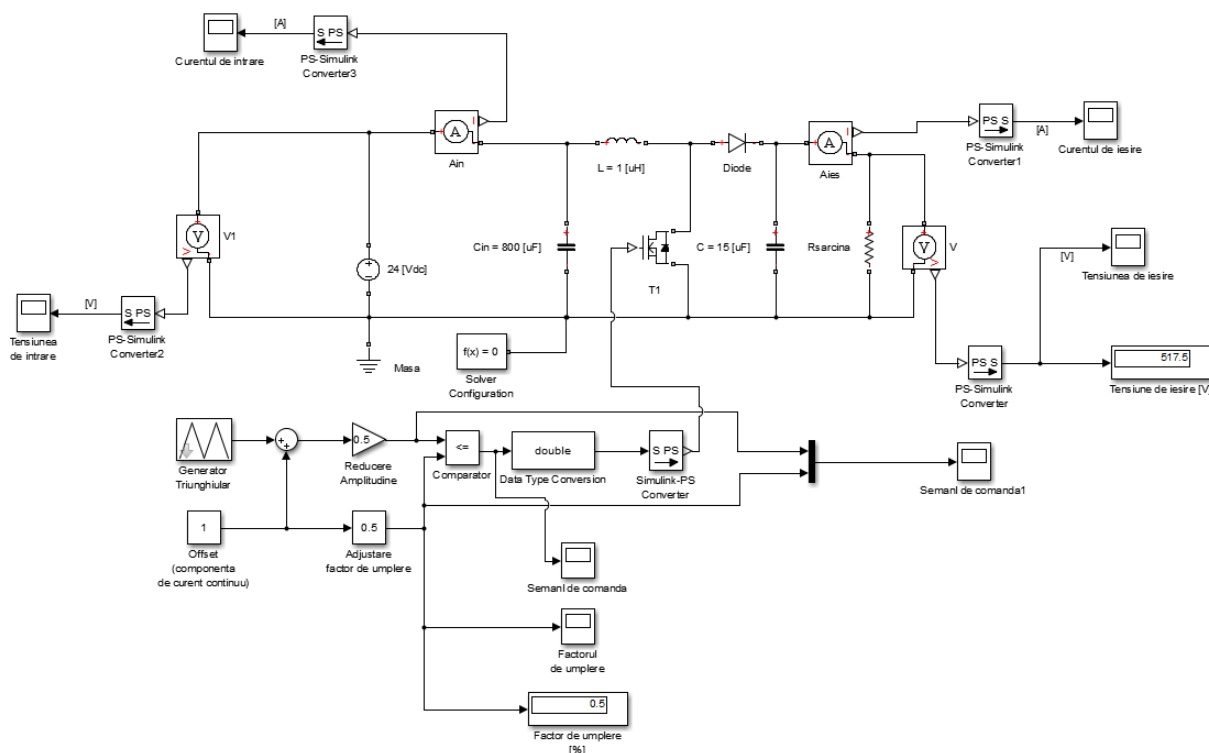


fig. 24 – Convertor ridicător (eng. boost) - diagrama generală a modelului Simulink
<http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/Boost.pdf>
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_BOOST_WP_SL_manual_control.slx

IMPORTANT: Pentru a avea o viziune mai bună asupra funcționării inverterului trifazat este necesară, abordarea principiului de funcționare al inverterului monofazat!

Modelarea inverterului monofazat:

http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_SPI_WP_SL.slx

Inverterul monofazat, are patru elemente comutatoare (tranzistoare M.O.S.F.E.T.) dispuse într-un montaj / circuit de tip „punte H”, astfel că, alimentarea se realizează pe latura circuitului în care drenele tranzistoarelor sunt cuplate împreună la potențial pozitiv, iar partea negativă comună, este legată la sursele comune ale tranzistoarelor. Deci, prin comutarea simultană a doi tranzistori pe același braț se va produce fenomenul de scurt-circuit. Pentru a evita scurt-circuitarea brațului de tranzistoare, s-a introdus o logică de comandă complementară (adică dacă la grila unui tranzistor apare semnal adică are loc starea „logic 1” (ex. +15 [V]), atunci celălalt tranzistor din braț (adică cel de jos) trebuie să fie în starea „logic 0” (ex. 0 [V]). Dintr-o astfel de logică, rezultă două trenuri de impulsuri, generate în anti-fază sau contra-tact. Pentru a alimenta sarcina care este legată în mijlocul punții, va fi necesară o comandă în diagonală. Astfel că, s-a ales următoarea topologie:

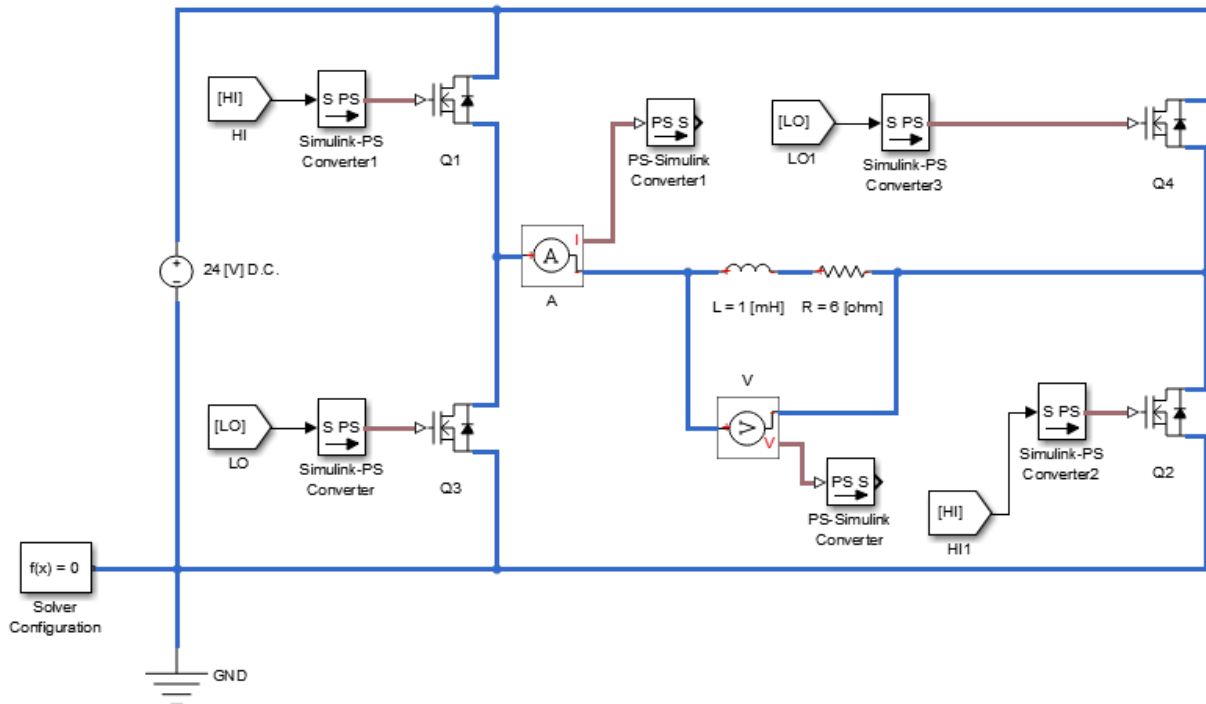


fig. 25 – Topologia unui inverter monofazat (acest model a fost realizat în Matlab 2015)

Logica de comandă, consta în același principiu, ca și la convertorul ridicător (eng. BOOST), doar că tensiunea care controlează factorul de umplere (sau lățimea pulsului) este de data aceasta o sinusoidă. Acest semnal sinusoidal, este introdus într-un comparator împreună cu unda modulatoare / purtătoare triunghiulară. Prin intermediul frecvenței unei purtătoare (a formei triunghiulare de undă) se poate controla frecvența de comutație. Raportul dintre amplitudinea fundamentalei sinusoidale și amplitudinea fomezii triunghiulare redau indicele de modulare sau adâncimea de modulare. Prin intermediul adâncimii se vor putea regla amplitudinile tensiunilor de la ieșire implicit amplitudinile curenților. De obicei, amplitudinea unei purtătoare este constantă (+/- 1 [V]) iar amplitudinea fundamentalei sinusoidale se reglează de la (0.1 la 0.95 [V]). Atunci când amplitudinile sunt egale, nu mai are loc modularea, când deoarece raportul este 1, iar când amplitudinea se apropie de 0.9 s-a atins regimul de supra-modulare, și forma fundamentală a curenților de ieșire poate fi deformată.

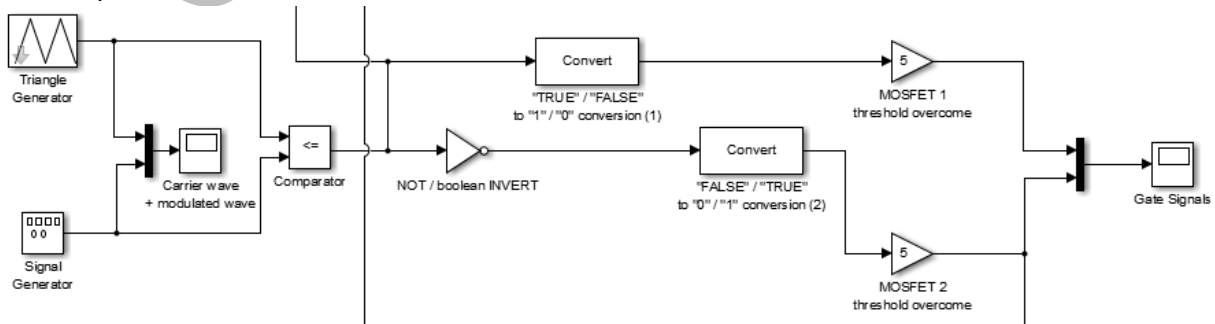


fig. 26 – Logica de comandă standard pentru metoda SPWM (sinusoidal P.W.M.) – Modulare în durată a impulsurilor după o lege sinusoidală

Legăturile dintre circuitul fizic (topologia SimScape) și logica de comandă (logica Simulink) se realizează prin intermediul blocurilor de conversie „S to PS” (eng. Simulink to Physical) pentru a transmite un semnal dinspre logică înspre circuit / topologie iar pentru a prelua un semnal de la circuit / topologie la logica Simulink se va utiliza blocul „PS to S” (eng. Physical to Simulink). Respectivul blocuri se regăsesc în sub-categoria „Utilities” din categoria SimScape. De asemenea, se va avea în vedere ca frecvența de comutație sau frecvența formei de undă triunghiulară să fie $f_{com} = 10000$ [Hz] = 10 [kHz], iar frecvența fundamentale sinusoidale să fie $f_{sin} = 50$ [Hz] frecvența standard a rețelei în Europa. Pentru a prelua rezultate de la circuit, vom utiliza și două blocuri „senzor” (ampermetru și voltmetru), pentru a cuantifica semnalele fizice de tensiune și curent. Se vor introduce și blocuri de afișaj numeric și osciloscop virtuale. Blocurile de multiplexare (eng. MUX / Multiplexer) se folosesc pentru suprapunerea simultană a mai multor semnal (afișarea în vederea afișării);

Conexiunile de la logica de comandă înspre topologie se vor realiza în diagonală (prima pereche de tranzistoare „HIGH – LOW” a doua pereche „LOW – HIGH”) pentru a realiza cuplarea inversată a bornelor de alimentare prin intermediul punții (ex. ca și la inversarea de sens la un motor se curent continuu „+ / -” invers „- / +”). Acest lucru (comanda complementară diagonală) ajută la formarea semnalului bipolar la ieșire (adică similar curentului alternativ). Comutarea decurge secvențial, astfel că, odată ce semi-alternanța pozitivă s-a încheiat, semi-alternanța negativă, este declanșată de logica de comandă.

IMPORTANT: ACEST LUCRU ESTE VALABIL DOAR PENTRU INVERTORUL MONOFAZAT. LA CEL TRIFAZAT COMANDA SE VA LEGA LA FIECARE BRAȚ ÎN PARTE („HIGH – LOW”, „HIGH – LOW”, „HIGH – LOW”) DEOARECE SEMI-ALTERNANȚA NEGATIVĂ, SE CONTRUIEȘTE DIN DEFAZAJUL NATURAL AL SISTEMULUI DE REFERINȚĂ (CELE TREI SINUSOIDE DEFAZATE LA 120° PE CARE LE IMPUNEM CA ȘI FUNDAMENTALE). ASTFEL CĂ, ATUNCI CÂND PE PRIMUL BRAȚ S-A ÎNCHEIAT SEMI-ALTERNANȚA POZITIVĂ, PE AL DOILEA BRAȚ, SE DECLANȘEAZĂ SEMI-ALTERNANȚA NEGATIVĂ, CÂND ACEASTA SE ÎNCHEIE, PE AL TREILEA BRAȚ SE PRODUCE SEMI-ALTERNANȚA POZITIVĂ. CEEA CE SE OBSERVĂ EVIDENT ESTE CĂ, APORTUL FIECĂRUI BRAȚ DIN CELE TREI, DUCE LA CONSTRUIREA UNEI MĂRIMI SINGURE SINUSOIDALE, CEEA CE SE NUMEȘTE ÎN PRACTICĂ FAZOR RESULTANT. FAZORUL RESULTANT, DECI REFLECTĂ CONTRIBUȚIA TUTUROR FAZELOR LA PRODUCEREA MĂRIMII DE IEȘIRE (FIE TENSIUNE, FIE CURENT). PRIN INTERMEDIUL LUI SE POT FACE ANALIZE AMĂNUNȚITE ASUPRA PROCESULUI DE COMUTAȚIE, ASUPRA COMPORTAMENTULUI SARCINII ÎN DIFERITE REGIMURI LIMITĂ, DAR ȘI ASUPRA FUNCȚIONALITĂȚII CORECTE A INVERTORULUI.

Rezultatele relevante ale simulării unui invertor monofazat sunt următoarele:

- Semnalele modulatorie;
- Semnalele de grilă / de comandă ale tranzistoarelor;
- Tensiunea de ieșire a invertorului;
- Curentul de ieșire pe o sarcină rezistiv - inductivă (R - L);

Pentru analiza unui astfel de circuit, se recomandă următorul model matematic Simulink:

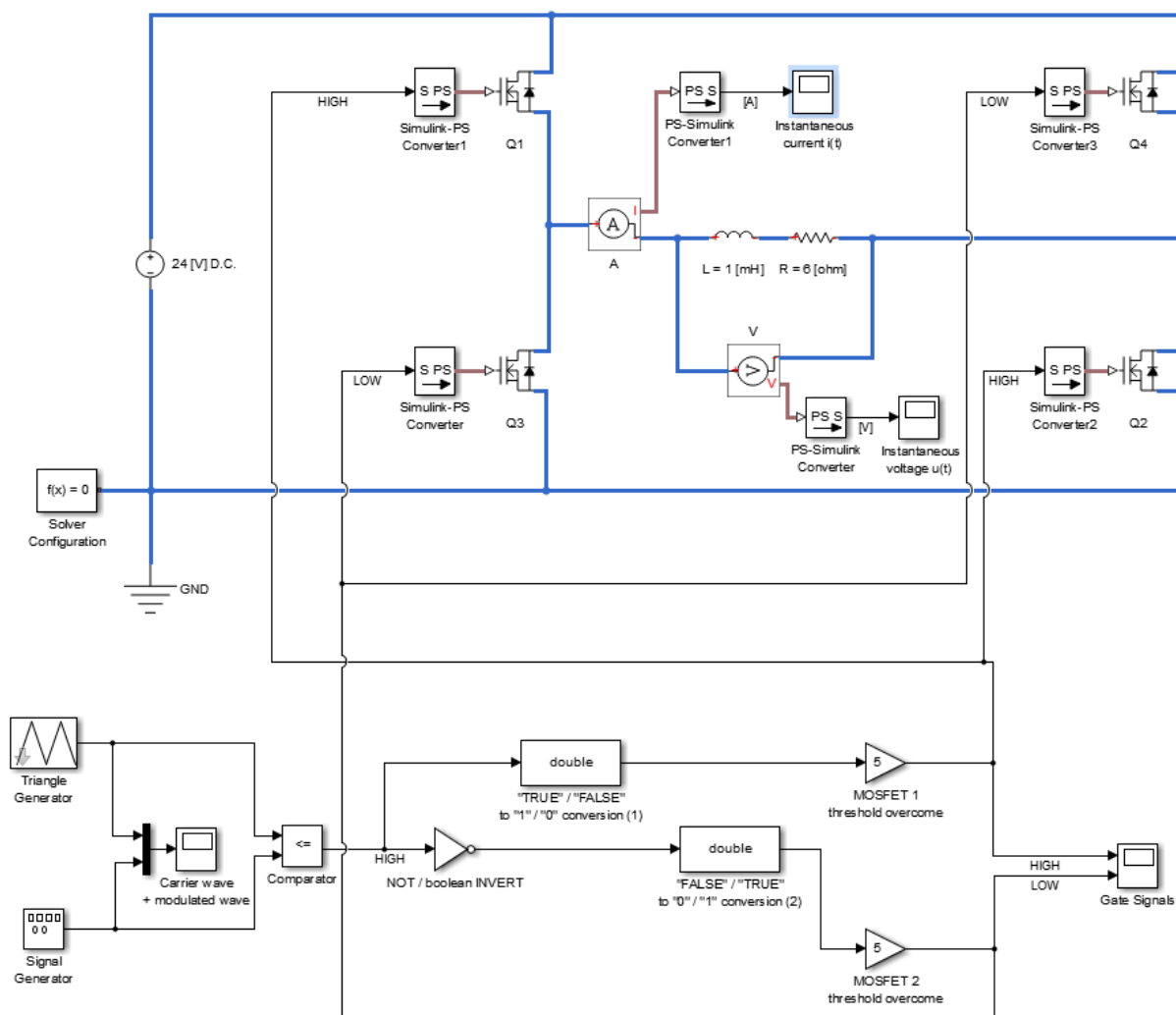


fig. 27 – Diagrama Simulink generală a unui invertor monofazat (se pot accesa următoarele resurse):
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/single_phased_inverter.pdf
http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/single_phased_inverter.slx

Este necesară de asemenea parametrizarea componentelor din circuit precum:

Sursă: $U_{in} = 24$ [Vcc];

Bobină: $L = 1$ [mH];

Rezistență de sarcină: $R_{sarc} = 6$ [Ω];

$f_{com} / \text{triunghi} = 10000$ [Hz] = 10 [kHz];

$A_{sinus} = 0.5$ – adâncime de modulare / amplitudinea sinusoidei;

$f_{sin} = 50$ [Hz];

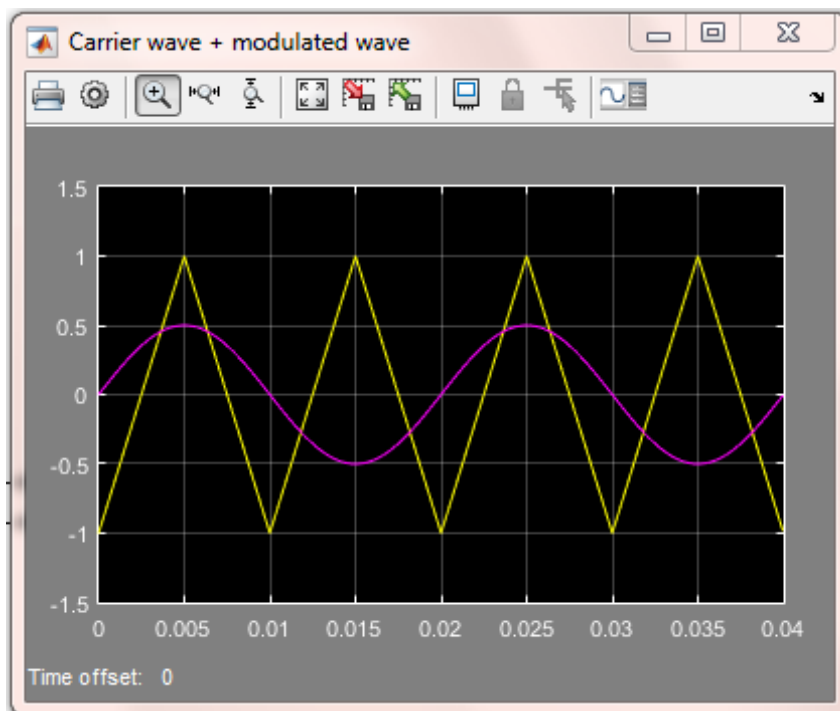


fig. 28 – Semnale modulatoroare

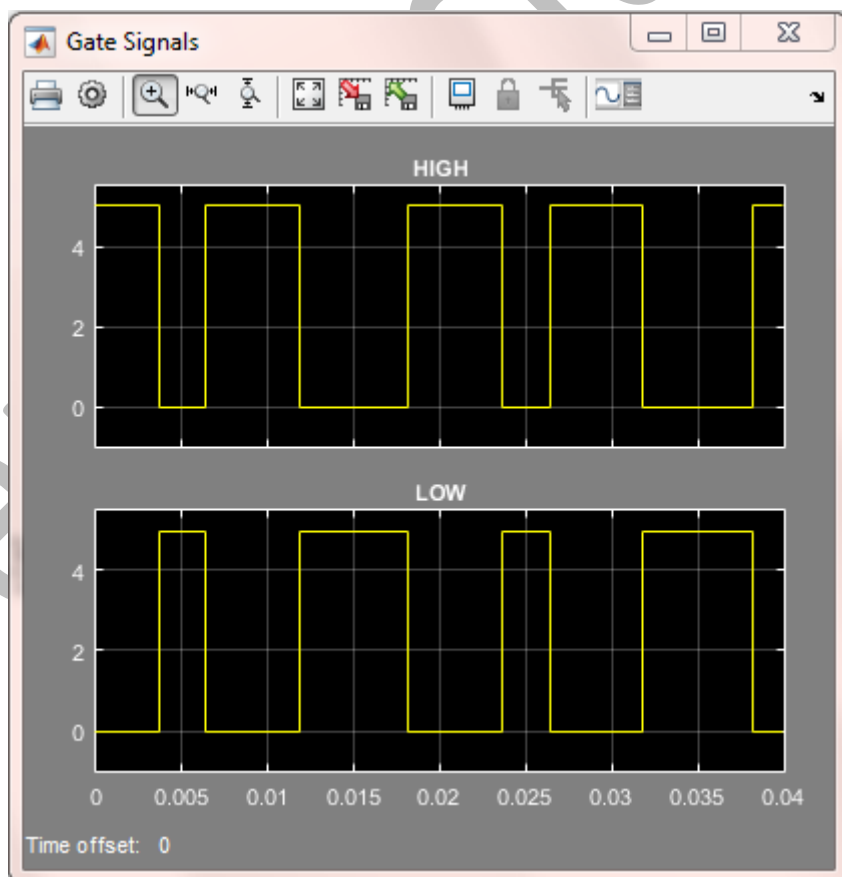


fig. 29 – Semnalele de grilă / comandă a tranzistoarelor

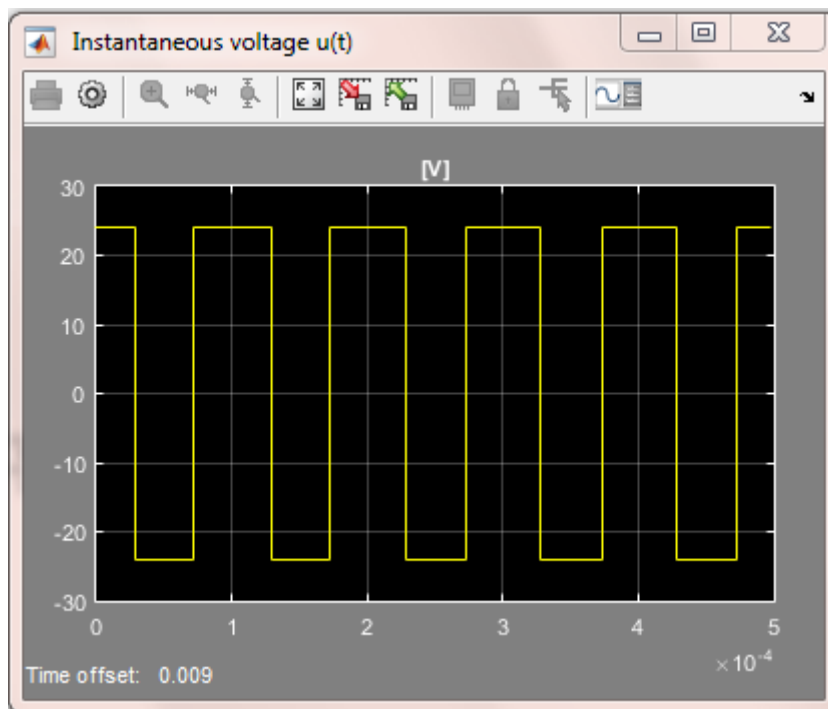


fig. 30 – Tensiunea de ieșire a inverterului monofazat (bipolară / alternativă)

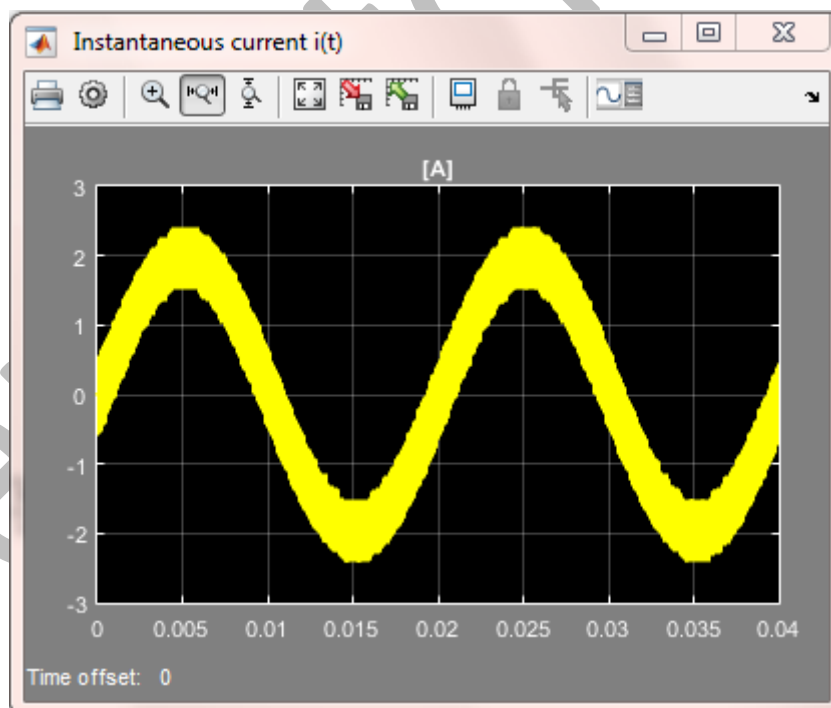


fig. 31 – Curentul debitat de inverter pe o sarcină inductiv -rezistivă (R-L)

Modelarea inverterului trifazat:

SE RECOMANDĂ CONSULTAREA MODELULUI URMĂTOR:

http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_TPI_WP_SL.slx

Inverterul trifazat, are în componența sa 6 (șase) elemente comutatoare (tranzistoare cu efect de câmp eng. M.O.S.F.E.T. – Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor) comandate în tensiune (pulsuri cu lățime variabilă în timp). La baza funcționării lui, este principiul modulării în durată a impulsului (asemănător cu controlul manual al convertorului boost, doar că de această dată, acea componentă continuă va fi fundamentală sinusoidală. Pe măsură ce sinusoida crește în amplitudine, lățimea pulsului se va mări, iar timpul de conducție al tranzistorului va fi mai mare. Deși tensiunea va avea variații dreptunghiulare, curentul va avea o evoluție lentă (în pantă, datorită sarcinii inductiv-rezistivă „R – L” atașată la ieșirea inverterului (adică, bobina limitează variația bruscă a curentului)). Pentru comanda inverterului trifazat se va utiliza tehnica de modulare în durată a impulsului după o lege de variație sinusoidală a factorului de umplere (eng. duty cycle). Aceasta se va putea realiza prin compararea unui semnal cu formă de undă periodică / sinusoidală cu o undă purtătoare / modulatorie triunghiulară. Rezultatul va fi un tren de impulsuri având factor de umplere variabil în timp după o lege sinusoidală. Acest semnal constituie comanda pentru grila elementului comutator / de comutație. Pentru a produce un sistem trifazat, se vor utiliza ca și semnale sinusoidale de referință, trei sinusoidale defazate la 120° ($(2 \cdot \pi) / 3$ [rad]) cu amplitudinea de 0,7 [V]. Prin reglajul de amplitudine, se va putea stabili indicele sau adâncimea de modulare (adică raportul dintre amplitudinea undei purtătoare triunghiulare și amplitudinea fundamentalei sinusoidale de referință). Prin modificarea adâncimii de modulare se va putea regla amplitudinea tensiunii de la ieșirea inverterului. Topologia inverterului, nu permite conducția a două tranzistoare de pe același braț, deoarece s-ar produce scurt-circuit. Pentru acest motiv, se va aplica operația logică de inversare / complementare a trenului de impuls furnizat de logica de comandă (comparator + poartă logică „NU” / „COMPLEMENT” (eng. NOT logic gate)).

IMPORTANT: SEMNALUL GENERAT DE BLOCUL LOGIC DE COMANDĂ, TREBUIE SĂ FIE MAI MARE DECÂT TENSIUNEA DE PRAG A TRANZISTORULUI (ACEASTA SE GĂSEȘTE ÎN FEREAȘTRA DE PROPRIETĂȚI A TRANZISTORULUI SUB NUMELE DE „THRESHOLD VOLTAGE”);

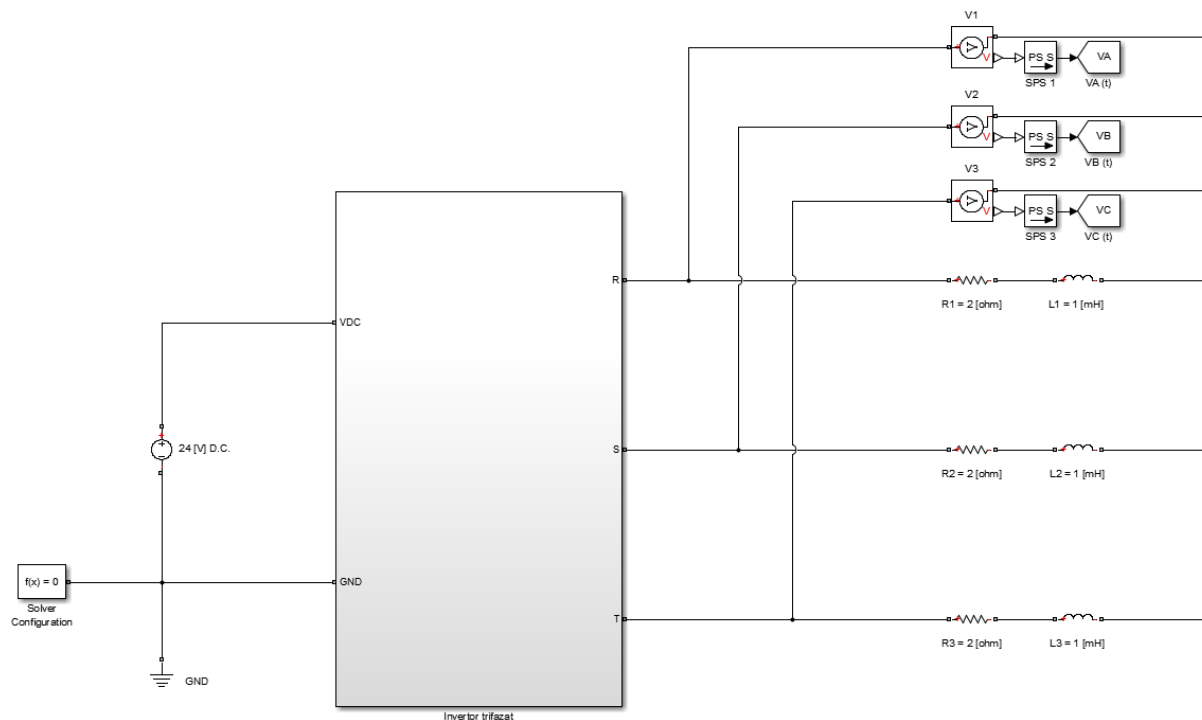


fig. 32 – Inverter trifazat - diagrama generală a modelului Simulink

Modelul Simulink al inverterului a fost realizat sub forma modularizată (cu subsisteme), deci fiecare subsistem conține elementele specifice topologiei părții de forță, părții de comandă, și a blocurilor de măsură. Consumatorul, a fost modelat sub forma unei rețele de componente pasive rezistiv – inductive (R – L) în exteriorul blocului inverterului, la fel și sursa de alimentare. Un astfel de consumator, poate echivala orice tip de sarcină reală de curent alternativ, astfel că, formele de undă ale curentului debitat pe sarcina respectivă, ar trebui să urmărească fundamentală modulată în lățime.

Se vor construi blocurile modularizate, sau se vor conecta direct logica de comandă (fără blocuri modularizate) și grilele tranzistoarelor după cum se specifică în următoarele figuri:

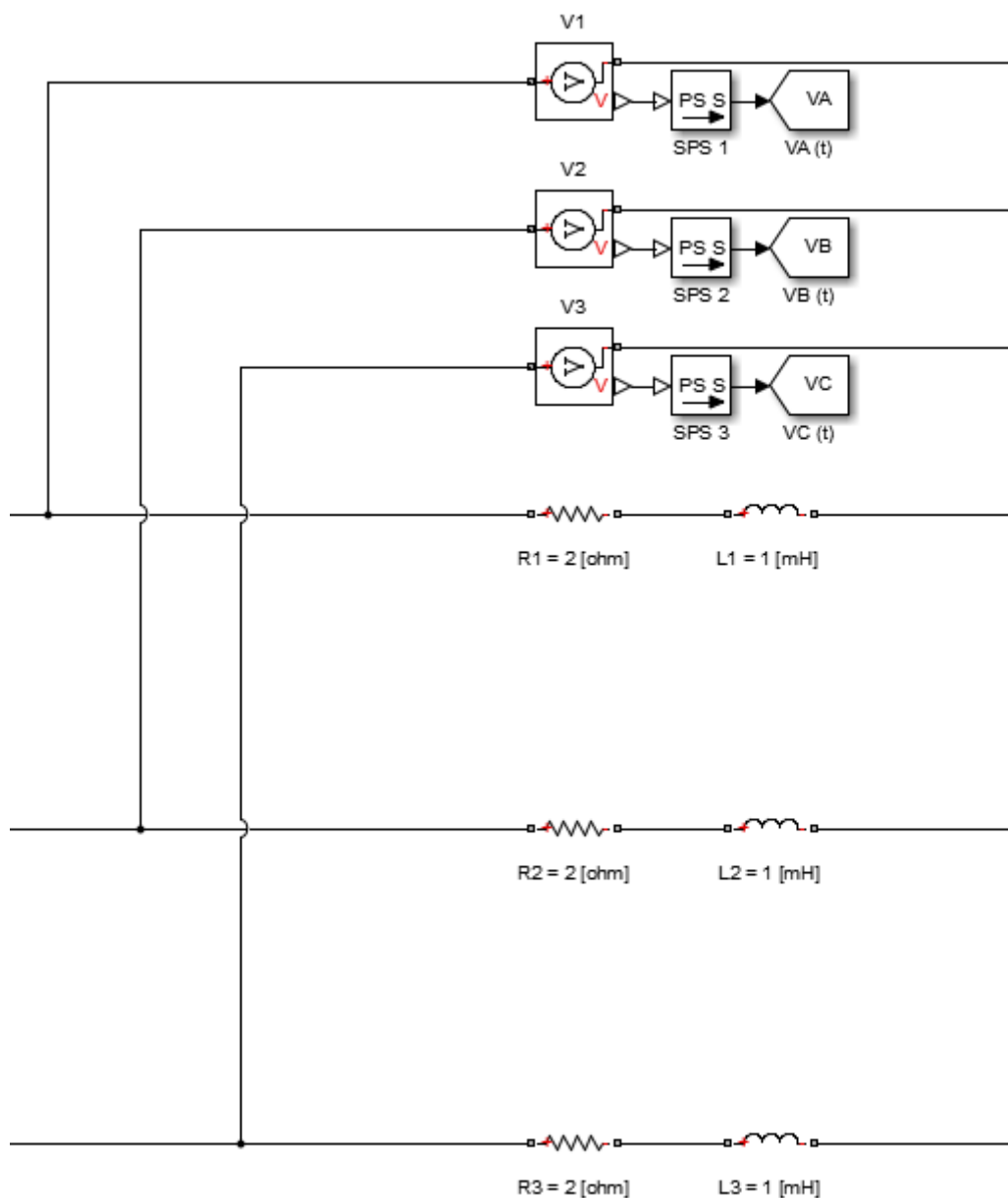


fig. 33 – Sarcină trifazată rezistiv – inductivă

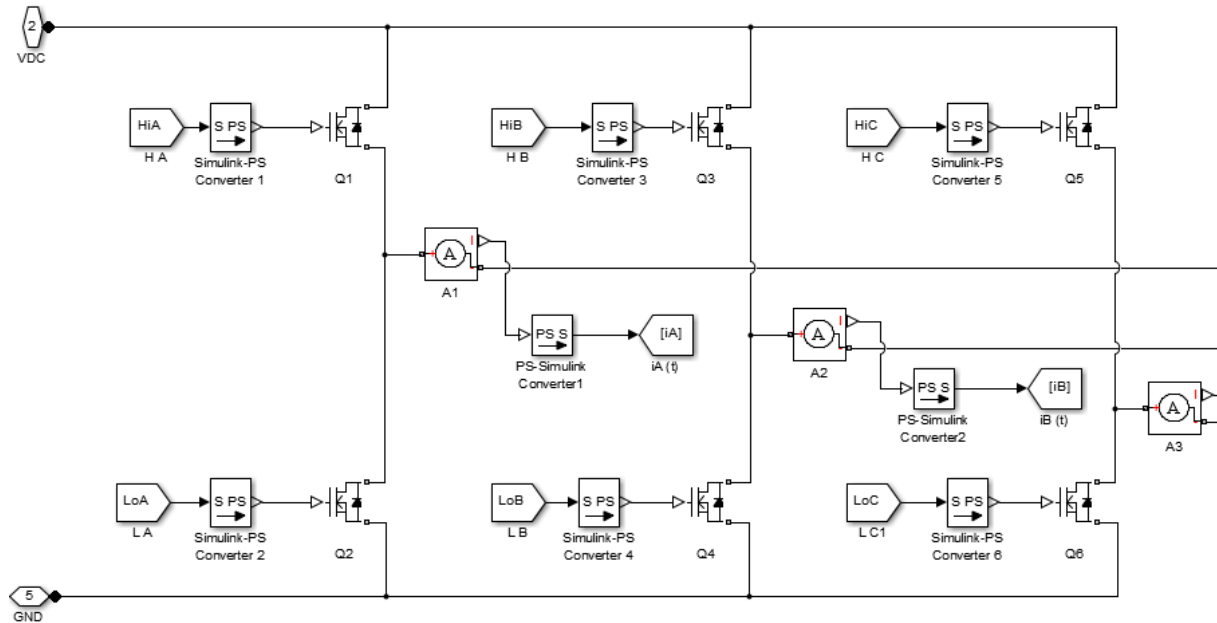


fig. 34 – Topologia invertorului trifazat (în interiorul blocului mare)

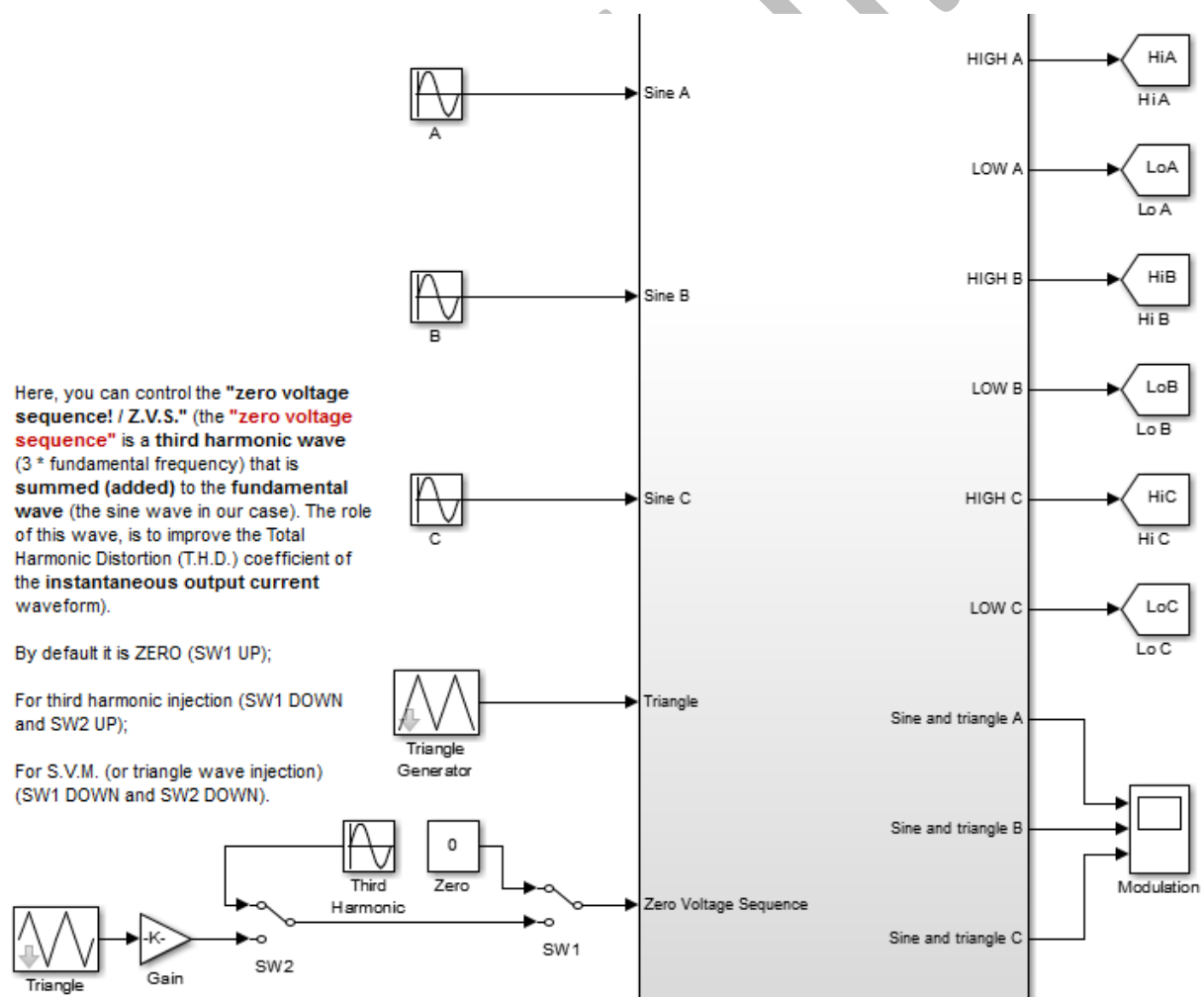


fig. 35 – Blocul logic de control (referințele sinusoidale, unda modatoare și componenta de secvență zero / homopolară) (în interiorul blocului)

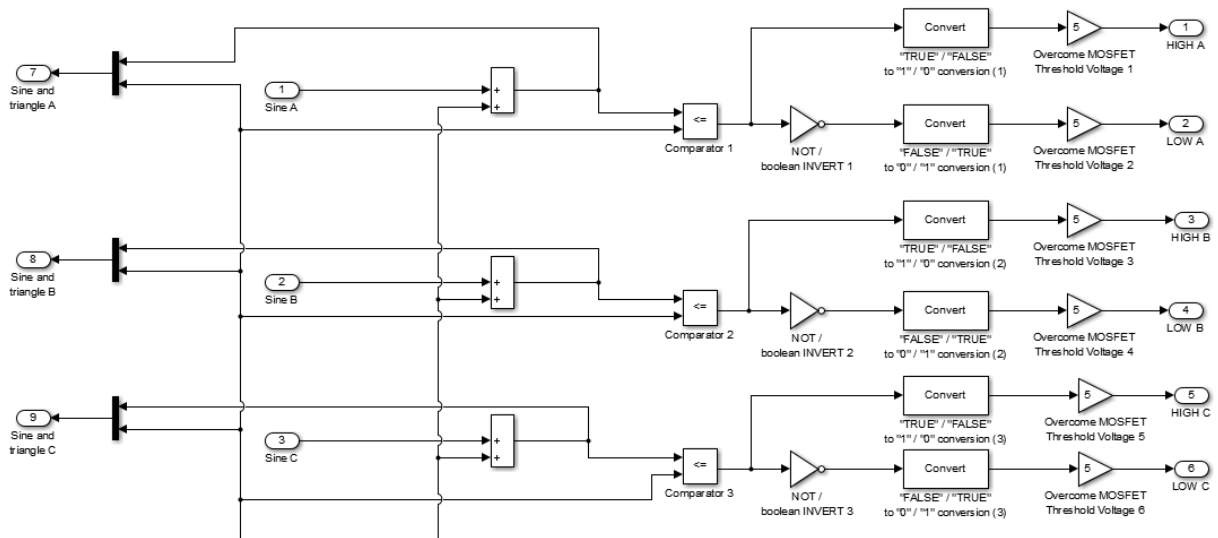


fig. 36 – Logica de comandă a inverterului (comparatoarele și blocurile însumare a componentei de secvență zero / homopolară) (în interiorul blocului)

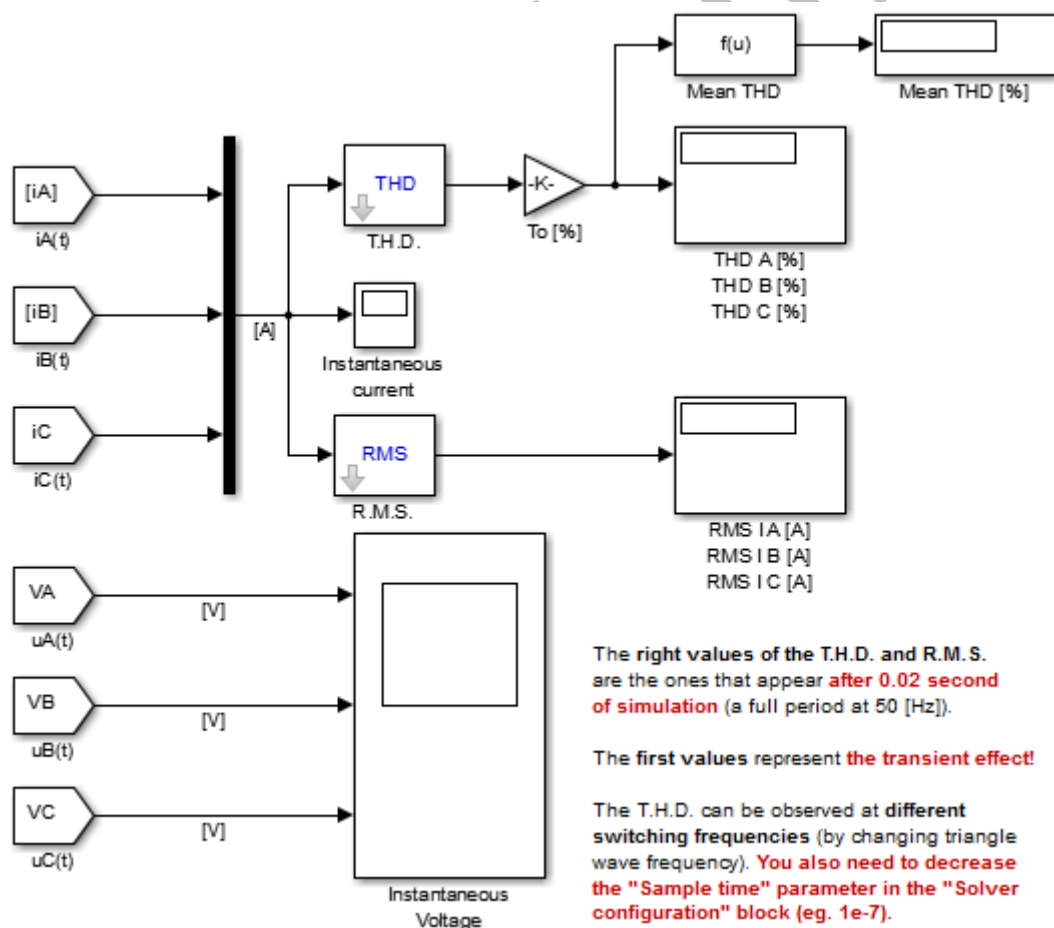


fig. 37 – Blocuri de măsură (osciloscopie și afișaje numerice)

Pentru mai multe detalii asupra conexiunilor, se recomandă consultarea modelului de inverter trifazat (din documentație auxiliară pagina web);

http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_Lab3_TPI_WP_SL.slx

Pentru evaluarea funcționalității acestui convertor, vom vizualiza formele de undă:

- forme de undă pentru semnalele de modulare;
- forme de undă pentru semnalele de comandă în grila elementelor comutatoare;
- forme de undă pentru tensiunea de ieșire;
- forme de undă pentru curenții de la ieșire;

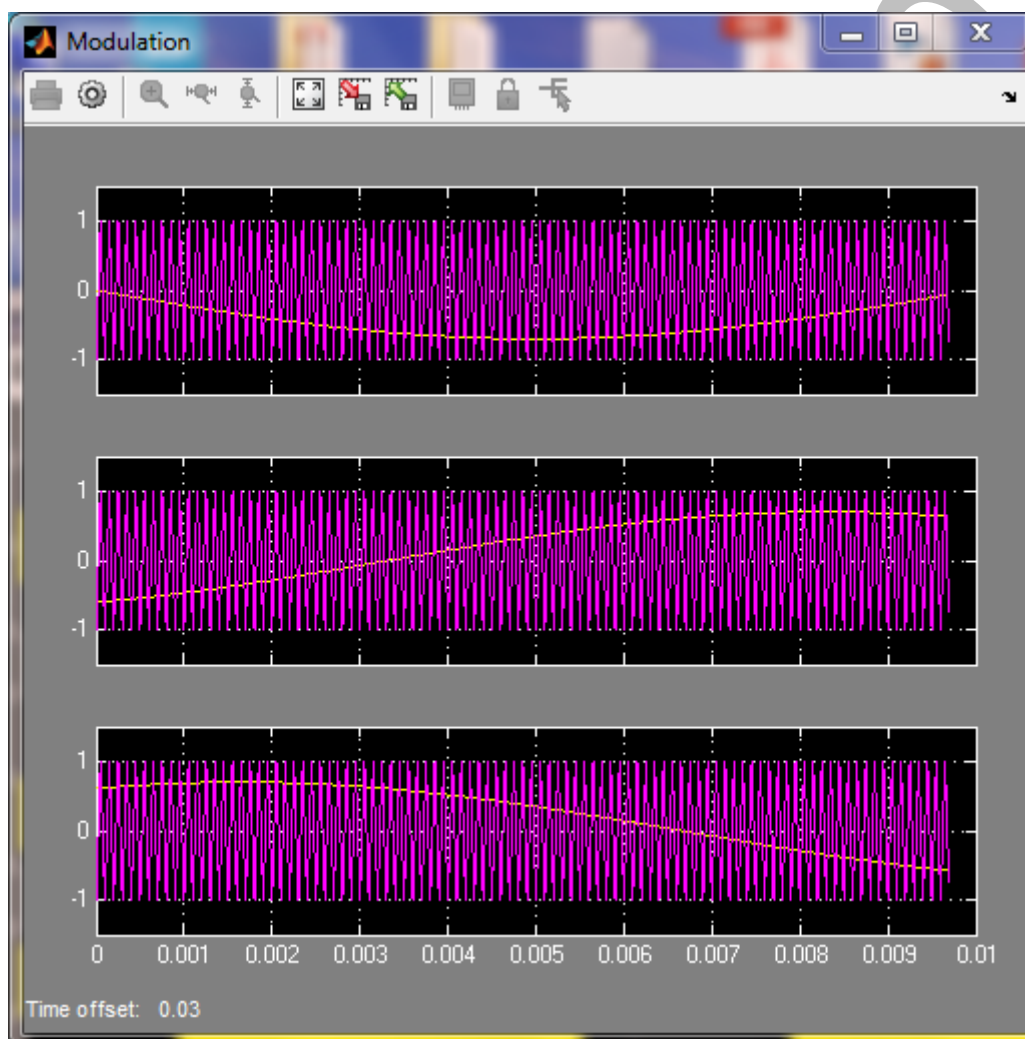


fig. 38 – Formele de undă pentru semnalele modulate

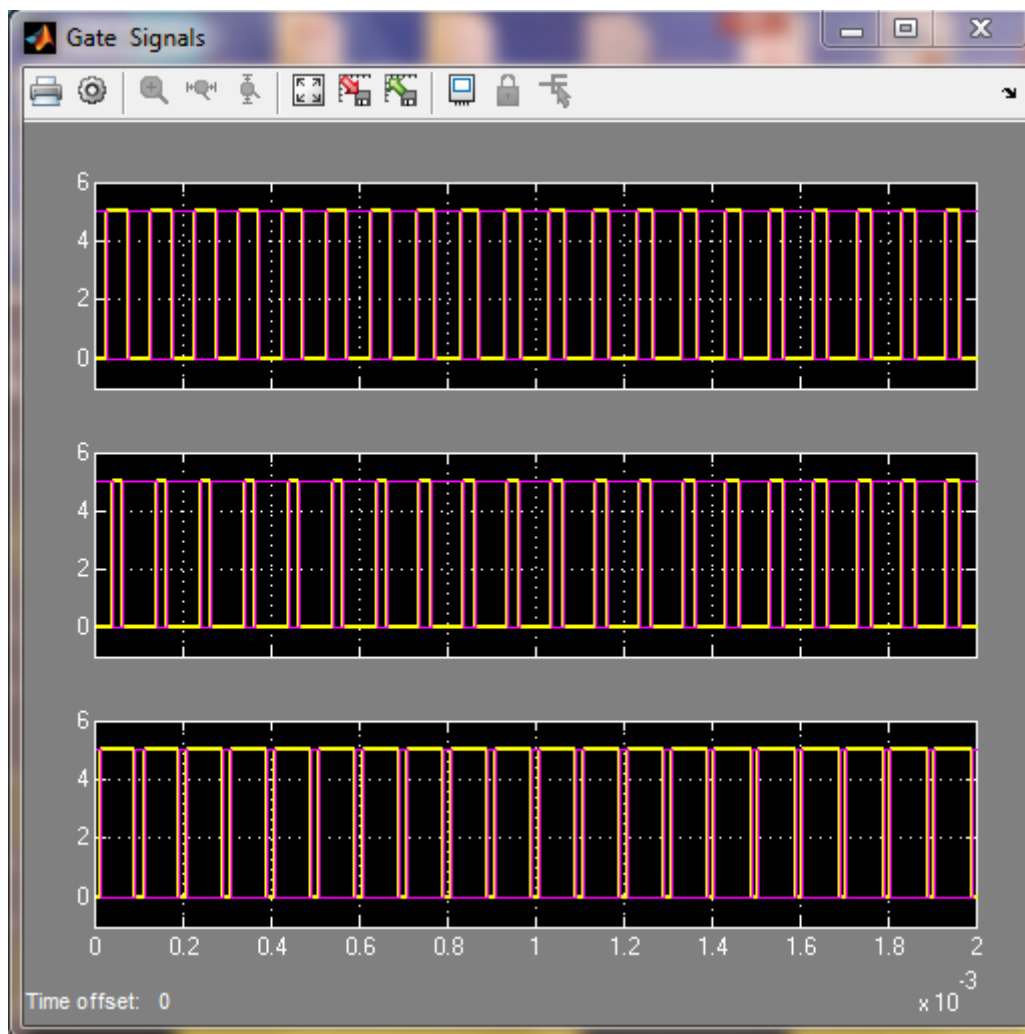


fig. 39 – Formele de undă pentru semnalele de comandă

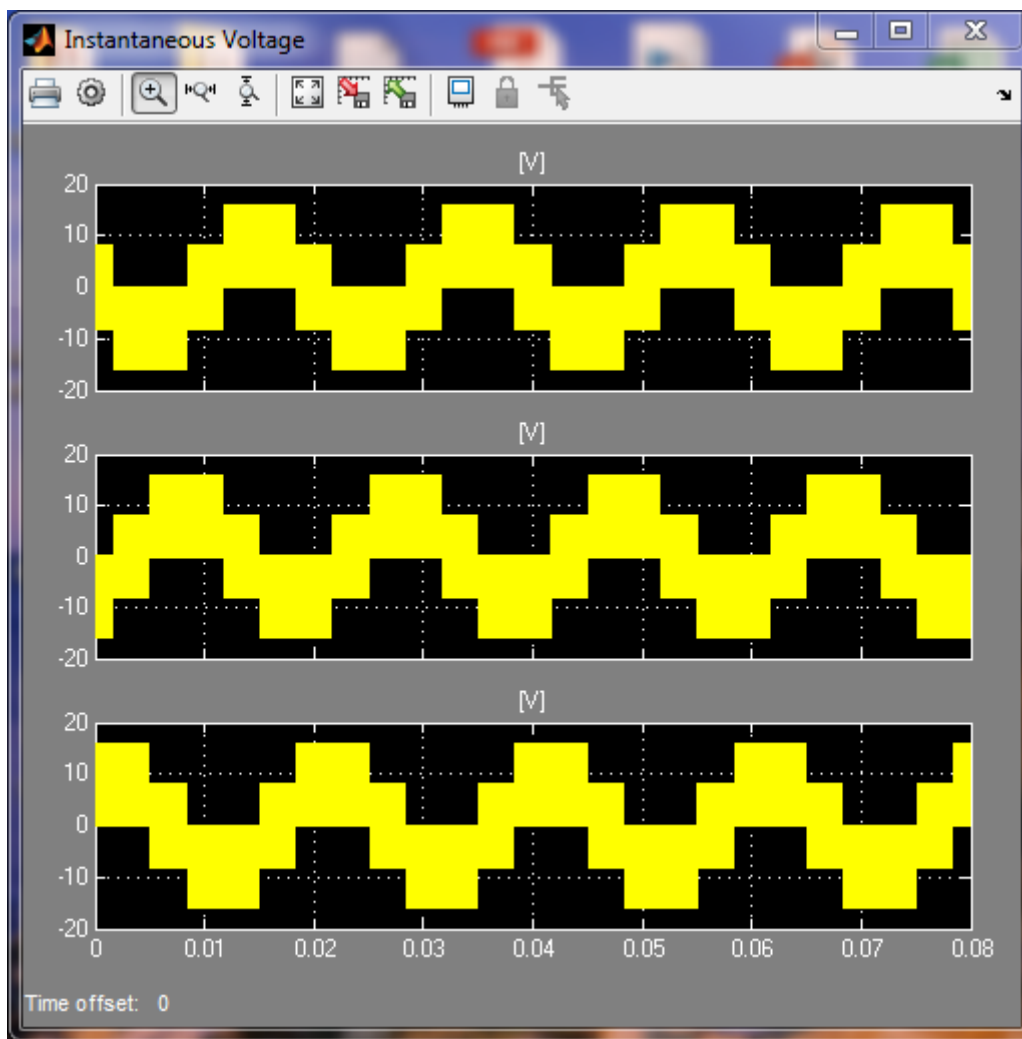


fig. 40 – Formele de undă pentru tensiunile de ieșire

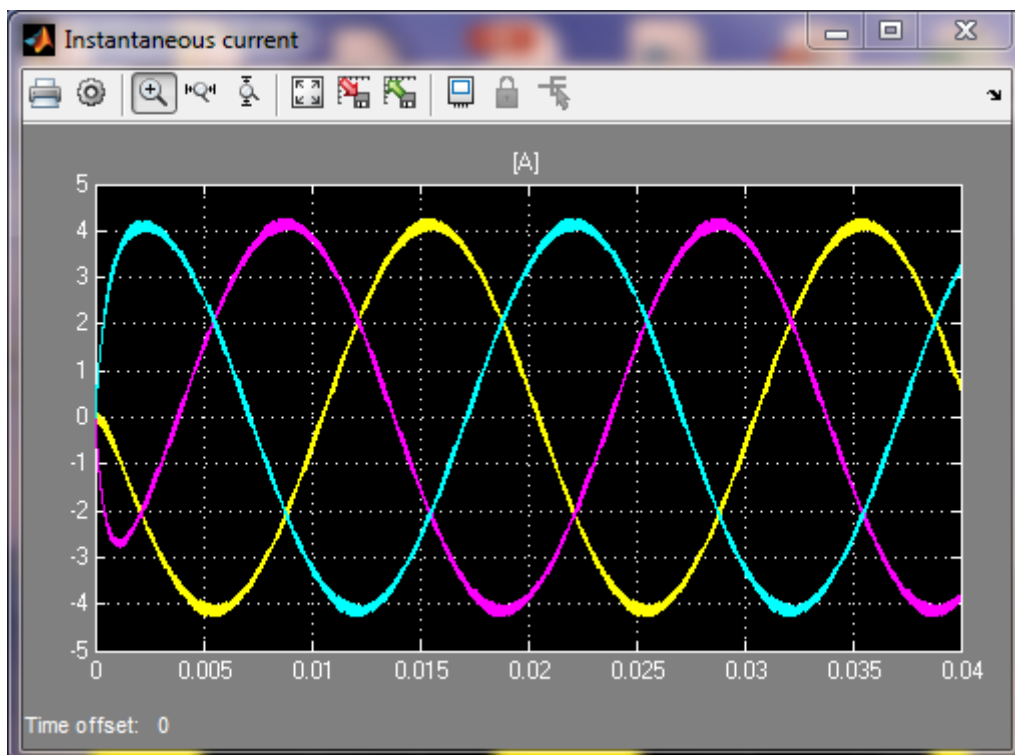


fig. 41 – Formele de undă pentru tensiunile de ieșire

PREZENTAREA SOLUȚIEI:

De ce s-au ales modelele:

- Redresor monofazat cu diode ne-comandat;
- Convertor de curent continuu ridicător (eng. boost);
- Invertoare mono / tri – fazate;

Pentru că, în realitate, orice sursă ne-interruptibilă de alimentare (eng. U.P.S. – Un-interruptible Power Supply) conține cele trei etaje (monofazată sau trifazată la ieșire, depinde de puterea instalată și natura aplicației de destinație).

Soluția deci, la ipoteza impusă în începutul acestei abordări a capitolului II „Sisteme cu DSP”, constă în înglobarea celor trei mari modele într-unul singur, anume, un model generalizat al unei surse de alimentare ne-interruptibilă, cu capacitatea de a alimenta un consumator trifazat de la o rețea monofazată (adică va conține un inverter trifazat și un etaj ridicător, împreună cu bancul de acumulatori industriali și un redresor de mare putere cu diode);

Modelul matematic generalizat al unui sistem ne-interruptibil de alimentare de la rețea conține patru sub-sisteme Simulink, anume:

- Redresor monofazat (necomandat) cu diode;
- Convertor c.c. - c.c. ridicător;
- Inverter trifazat;
- Sarcina modelată;

Desigur, că, modelul mai conține și blocuri anexe de măsură și calcul precum osciloscopae virtuale, afișaje numerice, blocuri de calcul al puterii, valorii efective, și al coeficientului de distorsiune armonic C.D.A. (eng. T.H.D. – Total Harmonic Distortion);

LOGICA DE FUNCȚIONARE A SISTEMULUI:

-De la rețeaua de alimentare monofazată, se preia tensiunea de $U_{IN} = 230 [V_{ca}]$, la intrarea unui redresor de putere monofazat cu diode dispuse în punte, fără transformator sau circuit de coborâre a valorii tensiunii. Tensiunea de ieșire a redresorului are valoarea $U_{ieș.} = 210 - 220 [V_{cc}]$ și, va fi netezită de un condensator;

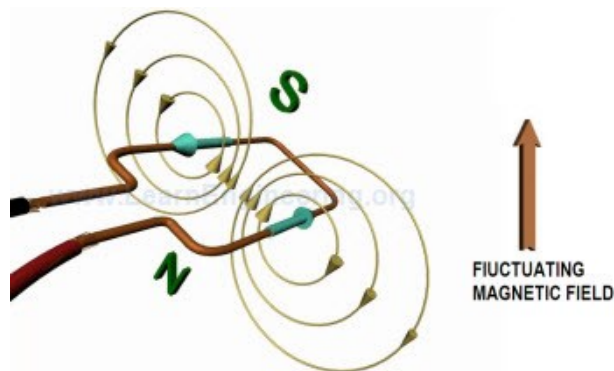
-Tensiunea continuă deci, poate fi asigurată prin două metode:

- Fie alimentând din redresor de la rețea;
- Fie alimentând dintr-un banc de acumulatori industriali;

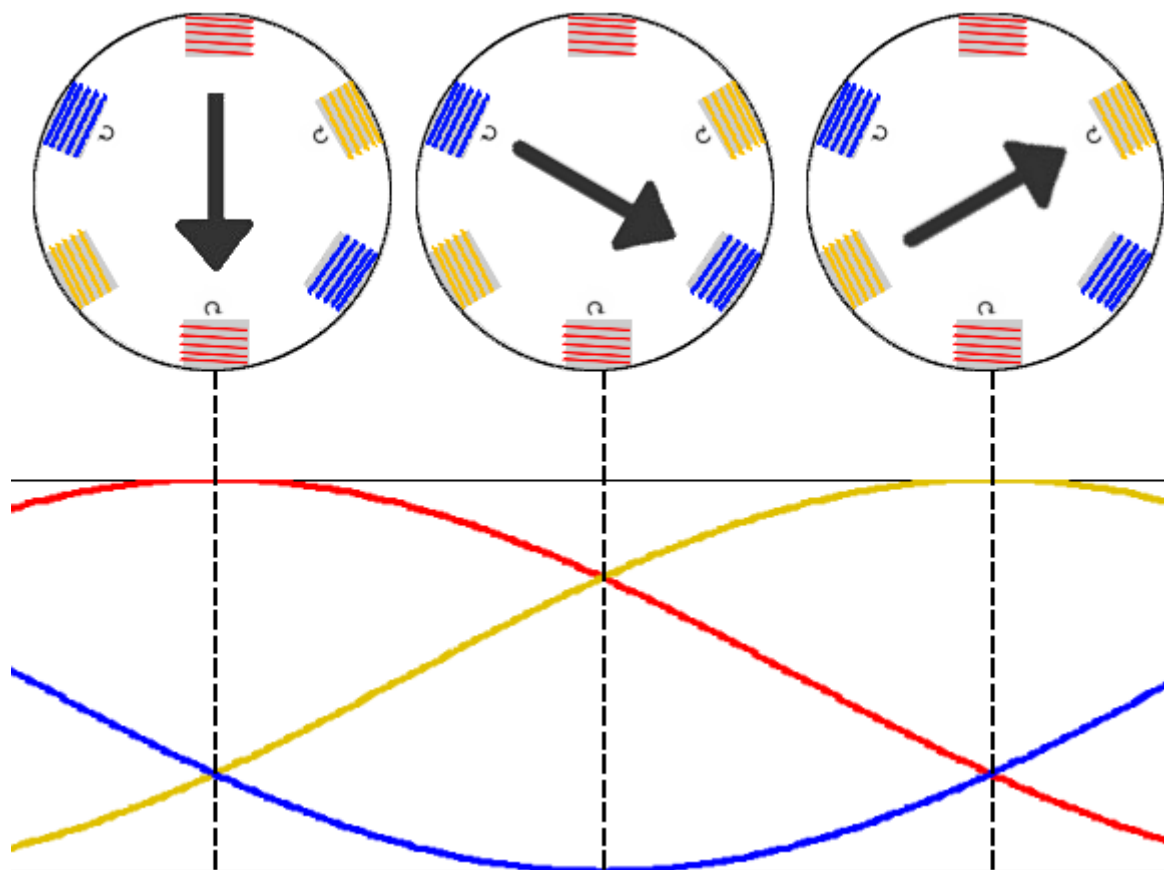
Astfel, deci, sistemul are flexibilitate la apariția fenomenului de pierdere a rețelei. Singura „problemă” este că, pentru a alimenta un invertor care are la ieșire o tensiune în jur de $U_{ieș.} = 380 - 400 - 450 [V_{ca}]$ pe trei faze, este necesar un nivel de tensiune continuă de aproximativ $800 - 850 [V_{cc}]$.

-Soluția la această problemă, constă în instalarea unui convertor ridicător de tensiune „boost” (de curent continuu), prin intermediul căruia să fie asigurată tensiunea la intrarea invertorului trifazat;

-De ce trebuie un invertor trifazat? – Deoarece, majoritatea mașinilor – unelte industriale și / sau din gospodărie, au în componența lor o mașină electrică de curent alternativ de inducție în regim asincron și înfășurare statorică trifazată. O astfel de mașină deși are înfășurare statorică trifazată, poate fi alimentată de la o sursă / rețea monofazată și să dispună de un condensator de pornire, dar cuplul și randamentul de conversie vor fi mult mai mici. Rețeaua trifazată sau sursa trifazată (invertorul), oferă avantajul superior rețelei monofazate, de a produce sistemul de tensiuni într-un mod secvențial (adică pe rând) în așa fel în cât bobinele mașinii să fie alimentate una câte una, rând pe rând să pulseze secvențial, iar acest lucru, evident va rezulta într-o undă electro-magnetică, având un caracter rotațional (mai simplu câmp magnetic învârtitor);



A.



B.

fig. 42 – „A.” - Notă explicativă asupra imposibilității de producere a câmpului magnetic învârtitor în regim monofazat [preluat: <http://www.learnengineering.org/2013/08/rotating-magnetic-field-synchronous-speed-motor-single-phase.html>]

„B.”- Notă explicativă asupra utilității unui sistem trifazat în alimentarea mașinilor de inducție asincrone trifazate [preluat: https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor#/media/File:Rotatingfield.png]

Astfel, inverterul trifazat, va realiza conversia tensiunii continue cu nivelul de 800 – 820 [V_{cc}] în tensiune alternativă pe trei faze, cu nivel în jur de 400 – 450 [V_{ca}];

-Pe lângă blocurile de calcul și de măsură, mai există și blocuri de declanșare / decuplare ale modulelor prin intermediul cărora se pot scoate din funcțiune modulele / etajele circuitului. Astfel, la momentul pierderii alimentării de la rețea, aceste „comutatoare” comandate, vor scoate etajul redresor din funcțiune (vor decupla de la alimentarea de la rețea redresorul, dar și de la alimentarea convertorului ridicător boost, pentru a nu polariza invers diodele de putere). În urma decuplării redresorului, drept sursă de alimentare se va cupla bancul de acumulatori industriali.

Modelul generalizat are următoarea diagramă Simulink:

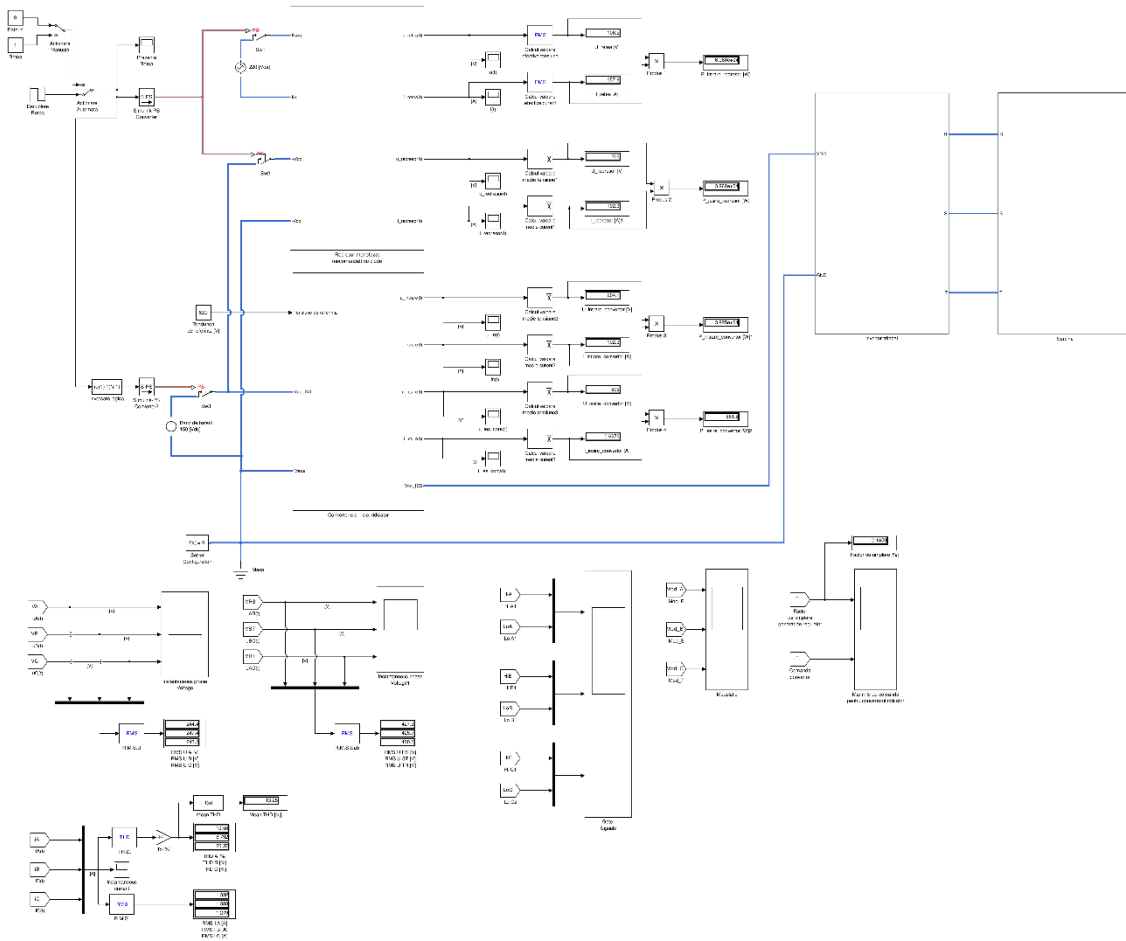


fig. 43 – Sistem / sursă de alimentare neinteruptibilă - diagrama generală a modelului Simulink (modelul poate fi preluat de la http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/SCTR_UPS_R2014a.slx pentru a fi vizualizat la o rezoluție mai bună: <http://epe.utcluj.ro/SCTR/Model/UPS.pdf>)

S-au impus următoarele parametrizări și condiții modelului:

- Pas de eșantionare (eng. Sample Time) - Solver Configuration: $T_{\text{sample}} = 1e-6 = 10^{-6}$ [s];
- Durata simulării: $T_{\text{simulation}} = 0.08$ [s];
- Momentul de aplicare al treptei de decuplare a rețelei: $T_{\text{step}} = 0.04$ [s];
- Tensiunea alternativă de la rețea: 220 [V_{ca}];
- Tensiunea continuă furnizată de bancul de baterii: 150 [V_{cc}]; Referința boost: 820 [V];
- Rezistența sarcinii: $R_{\text{sarc}} = 100$ [Ω];
- Inductivitatea Sarcinii: $L_{\text{sarc}} = 100$ [mH];
- Condensator de filtrare pentru redresor $C_{\text{filtrare}} = 1$ [mF];
- Condensatorii de intrare și ieșire pentru convertorul ridicător $C_{\text{boost}} = 1$ [mF];
- Bobina convertorului ridicător: $L_{\text{boost}} = 10$ [μH];
- Coeficienții regulatorului proporțional – integrator: $P = 0.1$; $I = 0.5$;
- Limitele factorului de umplere pentru convertorul boost: [0 – 0.8];
- Adâncime de modulare (amplitudinea sinusoidelor de fază): $A_{\text{sin}} = 0.5$ [V];

ANALIZA REZULTATELOR DE SIMULARE:

La momentul $T_{\text{step}} = 0,04$ [s] se produce fenomenul de pierdere a rețelei (eng. grid loss), deci, se vor avea în vedere (înainte și după perioada respectivă de timp) evoluția următoarelor mărimi:

- Prezența / absența rețelei („logic 1” / „logic 0”);
- Factorul de umplere și comanda convertorului ridicător boost;
- Tensiunea la intrarea redresorului (tensiunea rețelei monofazate) „u(t)”;
- Tensiunea ieșirea convertorului ridicător: „u_ies_conv(t)”;
- Tensiunile de fază la ieșirea inverterului „u_R(t)”, „u_S(t)”, „u_T(t)”;
- Tensiunile de linie la ieșirea inverterului „u_{RS}(t)”, „u_{ST}(t)”, „u_{TR}(t)”;
- Curenții debitați de inverter pe sarcină: „i_R(t)”, „i_S(t)”, „i_T(t)”;

DE PRECIZAT FAPTUL CĂ:

- Tensiunea de la ieșirea convertorului ridicător este redată în ambele situații: alimentat de la rețea, alimentat de la acumulatori;
- Simularea începe cu sistemul racordat la rețea, deci, etajul redresor este cuplat inițial;

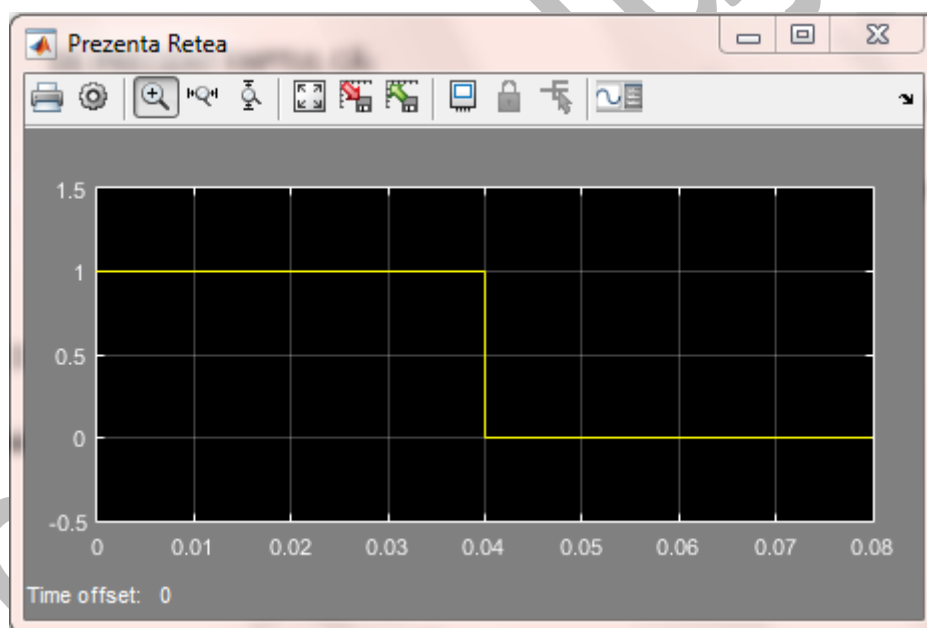


fig. 44 – Prezența / absența tensiunii la rețeaua monofazată

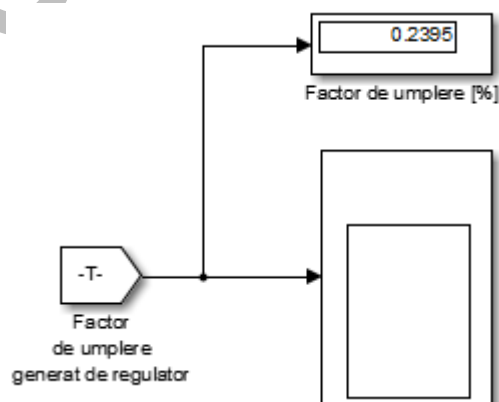
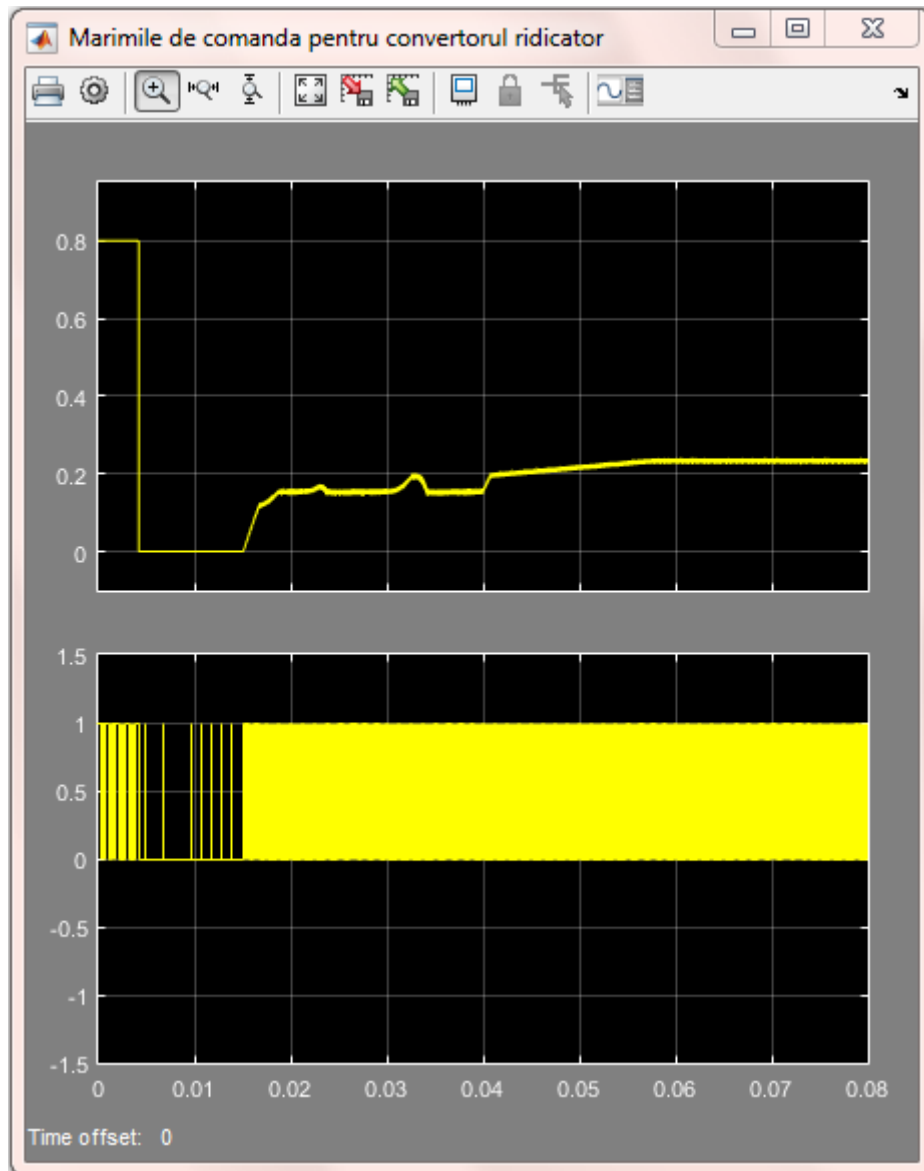
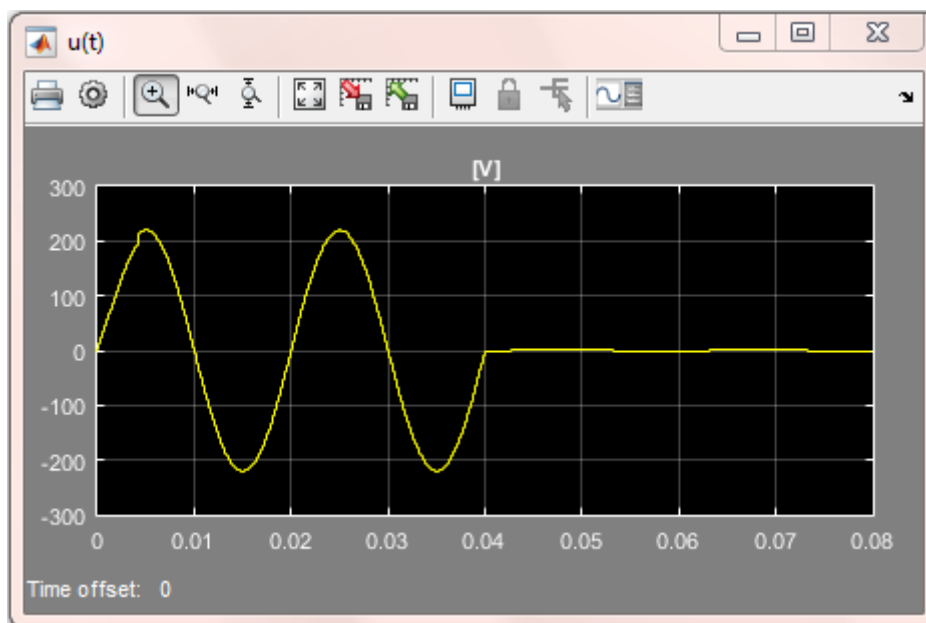
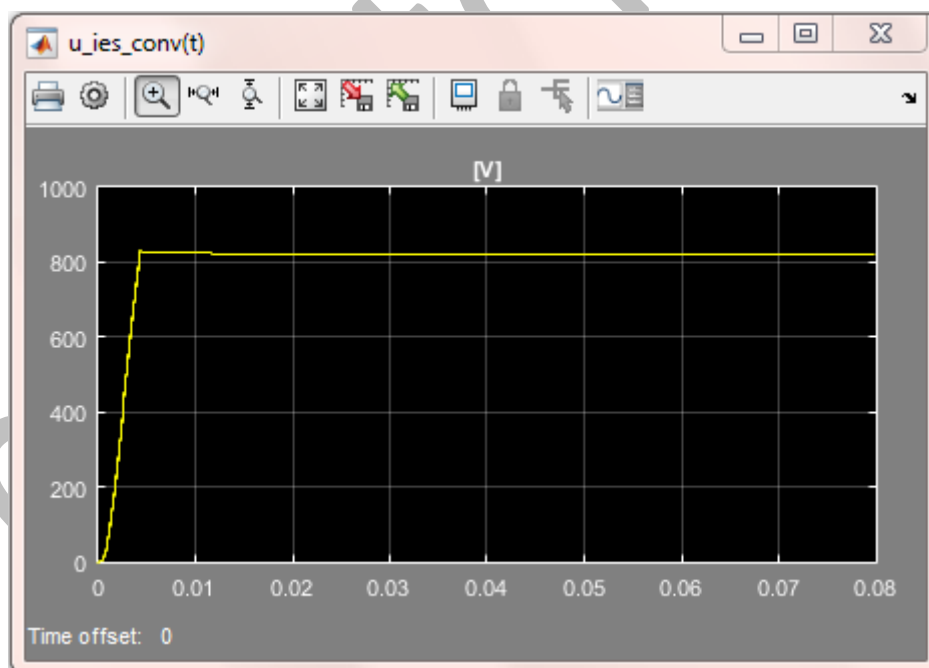


fig. 45 – „A.” – Factorul de umplere / lăţimea impulsului
„B.” – Semnalul de comandă pentru tranzistor



→
U_retea [V]

fig. 46 – Tensiunea de la rețea / de la intrarea redresorului



→
U_iesire_converter [V]

fig. 47 – Tensiunea de la ieșirea convertorului ridicător
(sau tensiunea de la intrarea în invertor)

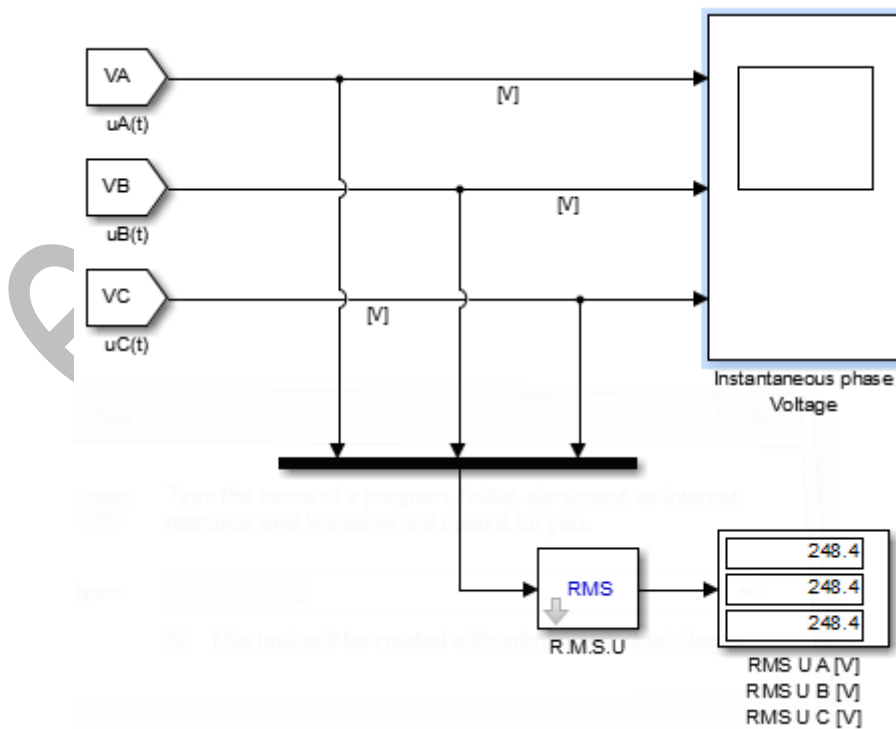
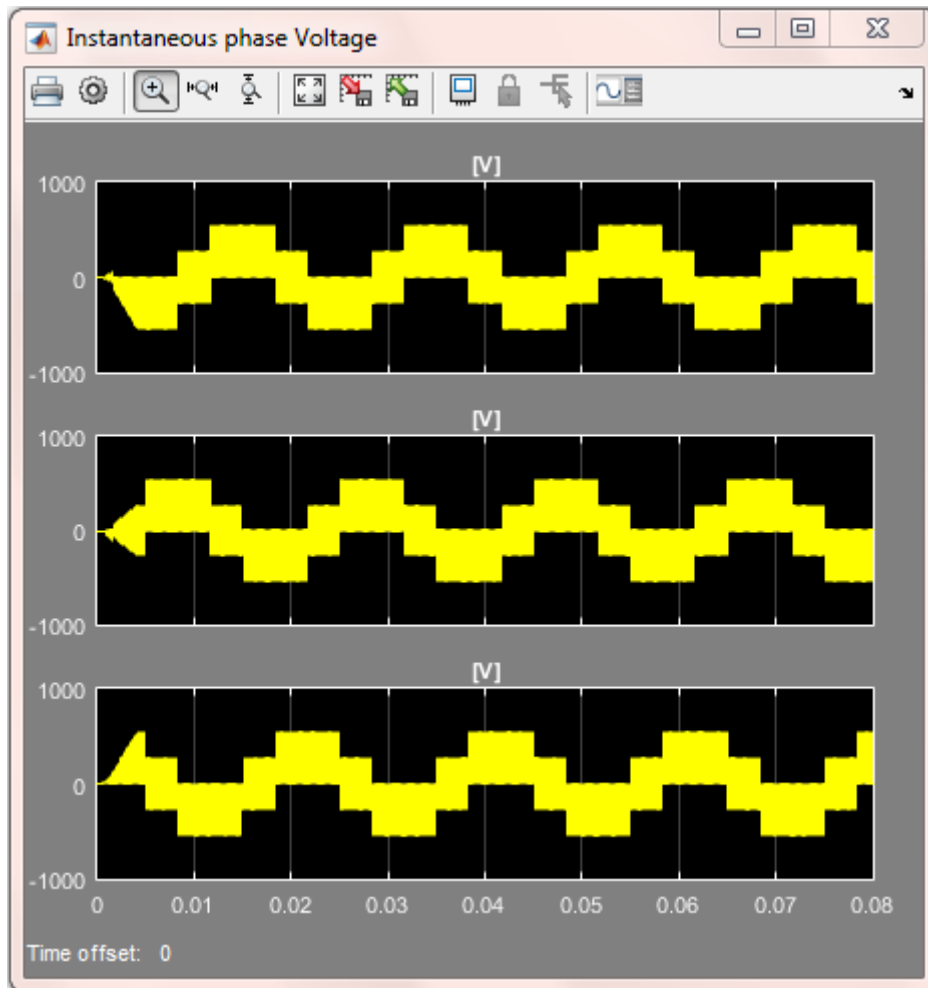


fig. 48 – Tensiunile de fază la ieșirea inverterului (fază și nul)

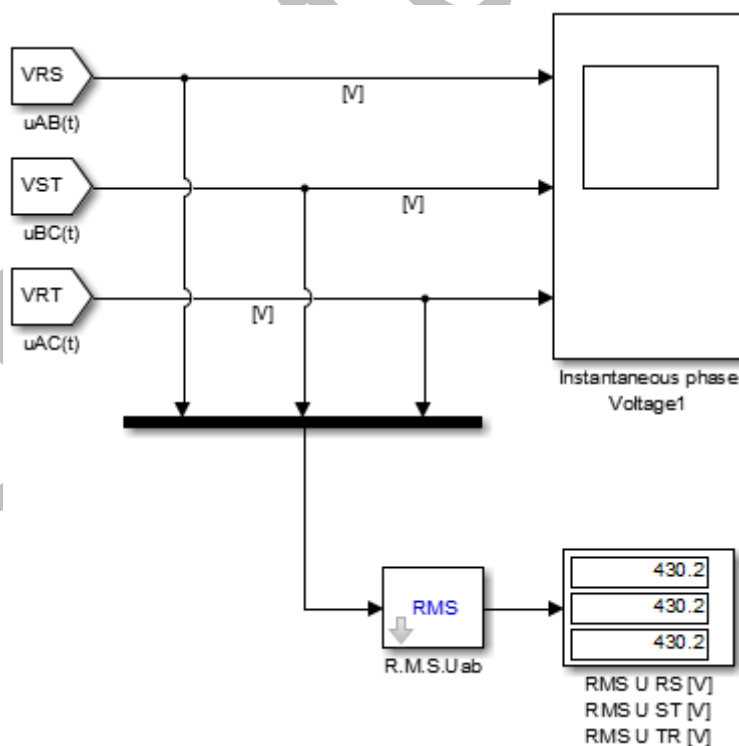
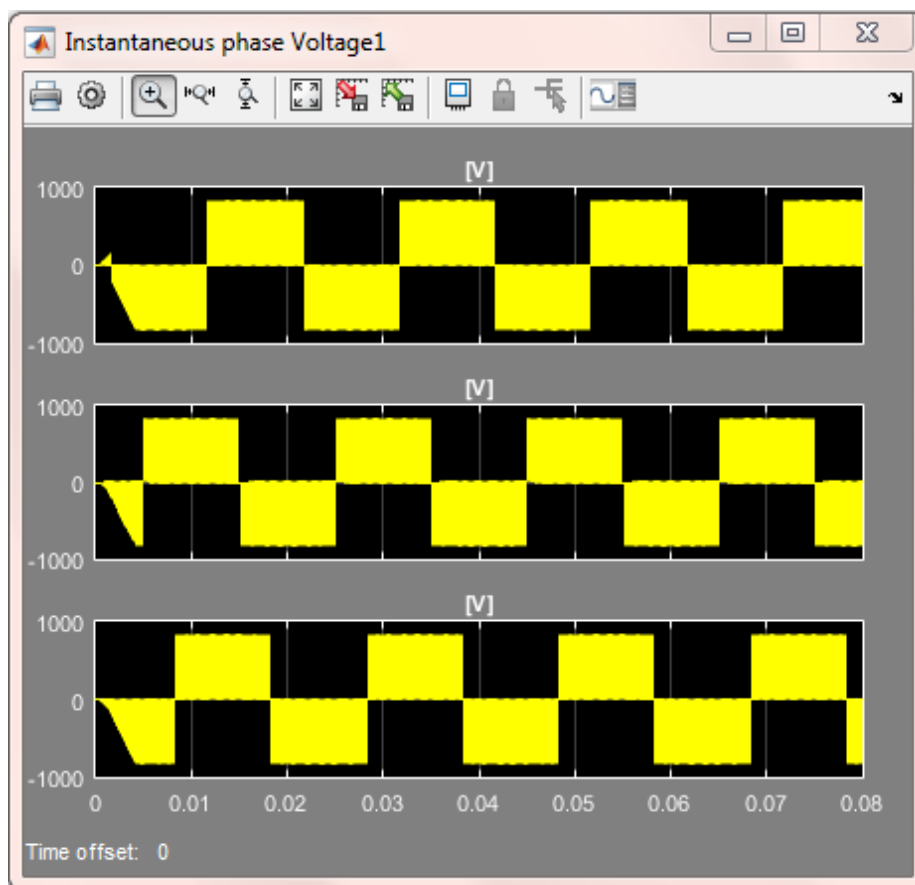


fig. 49 – Tensiunile de linie la ieșirea inverterului (fază și fază)

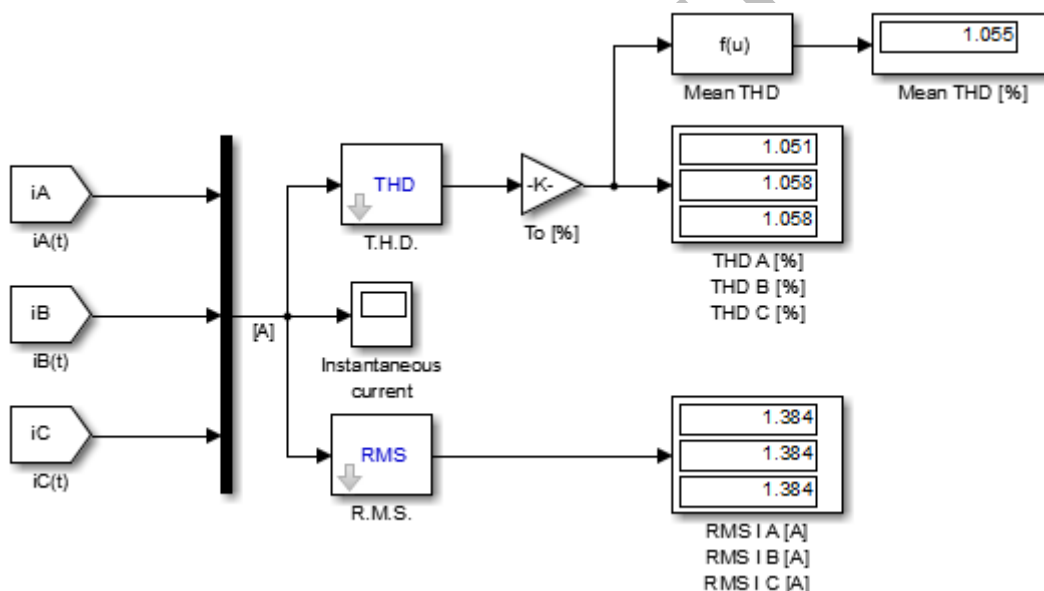
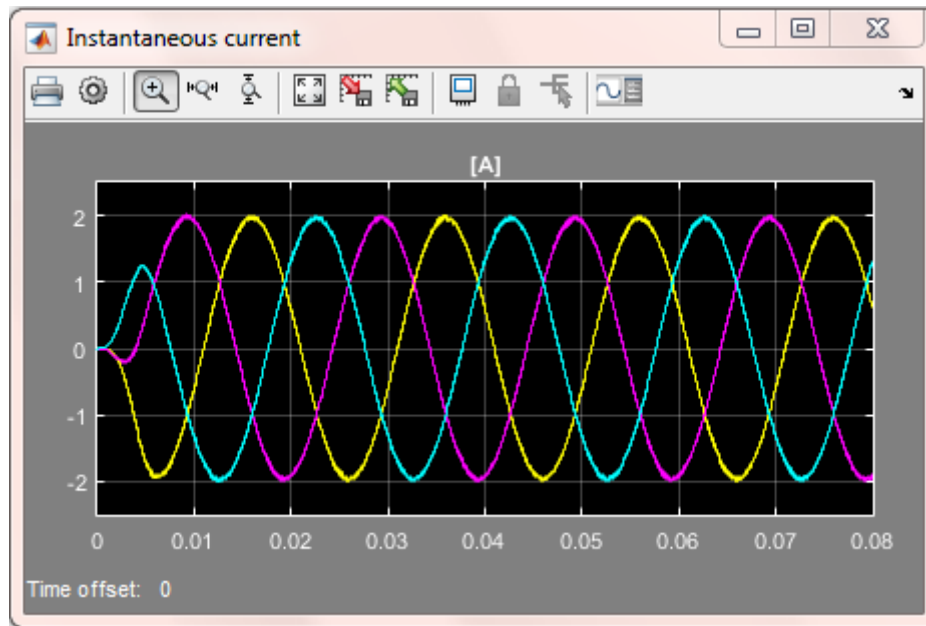


fig. 50 – Curenții debitați de inverter pe cele trei sarcini (sarcina este legată în stea „Y”)

După cum rezultă din oscilografii au loc următoarele fenomene:

- La momentul $T_{step} = 0.04$ [s] se produce întreruperea rețelei (fig. 44);
- Tensiunea de la intrarea redresorului devine zero (fig. 46);
- Se va cupla bancul de acumulatori, drept alimentare pentru convertorul ridicător;
- Factorul de umplere pentru comanda tranzistorului convertorului ridicător va crește în așa fel încât să mențină referința de 820 [V] impusă (fig. 45). Logica de control a convertorului ridicător este una auto-adaptivă în funcție de tensiunea de alimentare;
- Tensiunea la ieșirea convertorului este stabilizată la 820 [V_{cc}];

-Din sistemele de curent și tensiuni la ieșirea inverterului trifazat observăm că **NU AU LOC PERTURBAȚII SEMNIFICATIVE ÎN MOMENTUL DE TRANZIȚIE $T_{step} = 0,04$. REZULTĂ CĂ SISTEMUL SE COMPORTĂ CA ȘI O SURSĂ NEINTERUPTIBILĂ DE ALIMENTARE!**

IMPLEMENTAREA STRATEGIEI DE CONTROL PE PLATFORMA D.S.P.:

-În faza în care procesul de simulare s-a încheiat, și sistemele funcționează după logica așteptată, se poate trece la etapa importării logicii de comandă și control în mediul Altair VisSim sau SolidThinking Embed.

-În acest caz, se vor înlătura blocurile SimScape și blocurile de măsură din model;

-Se vor păstra elementele de control și generare de semnal Simulink;

-Se vor redenumi intrările și ieșirile sub-sistemelor;

Prin urmare se vor obține trei mari sub-sisteme:

- Logica de cuplare a redresorului / acumulatorului;
- Logica de comandă a convertorului ridicător boost;
- Logica de control a inverterului;

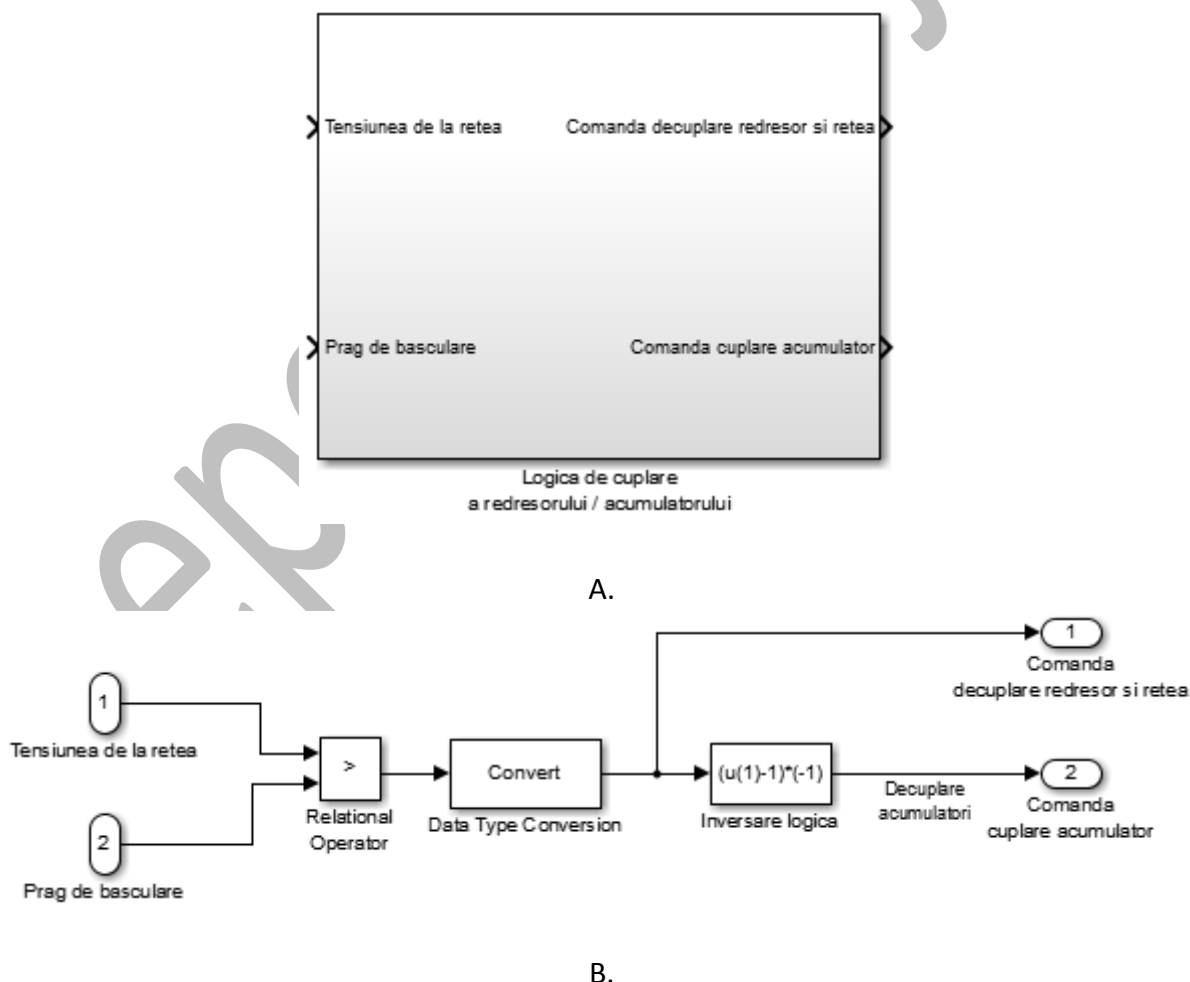
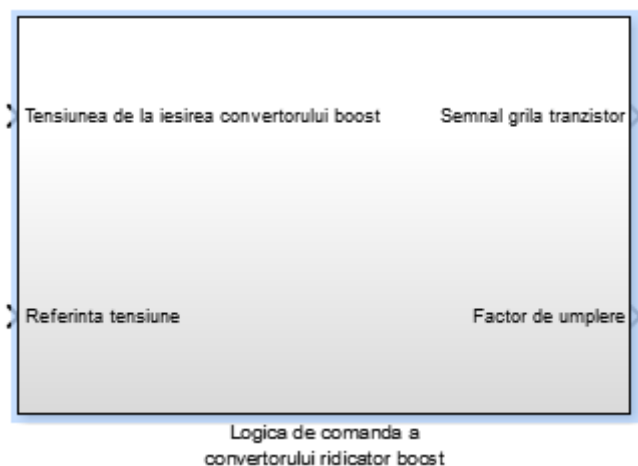
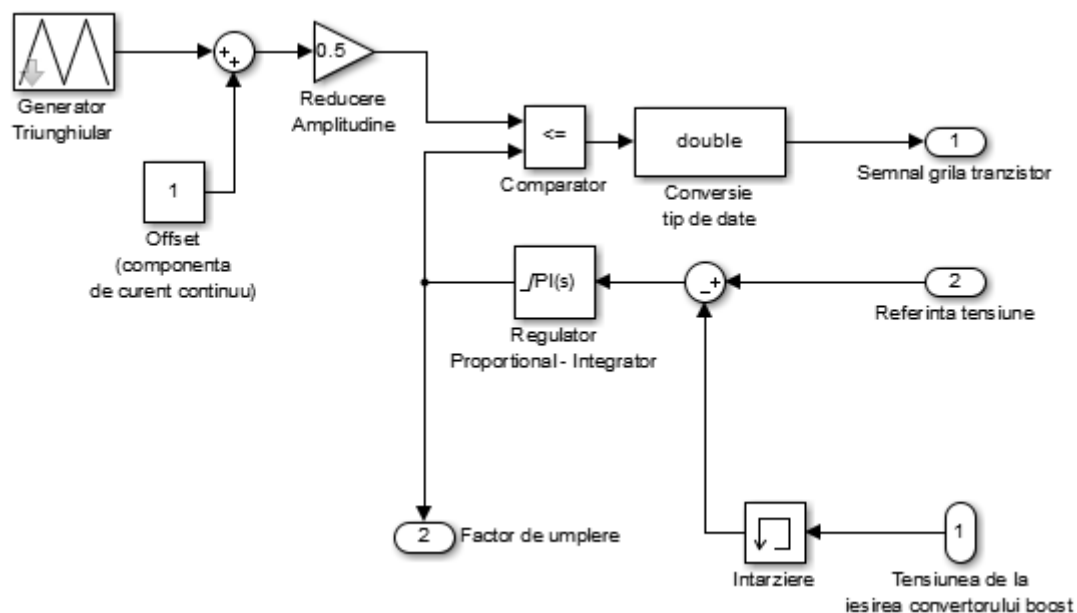


fig. 51 - A. – (bloc) Logica de cuplare a redresorului / acumulatorului

B. – Diagrama modelului Simulink intern al sub-sistemului

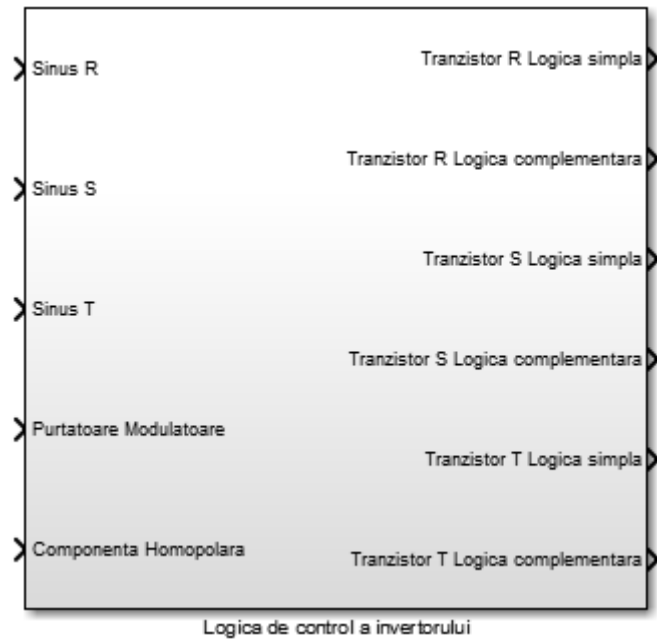


A.

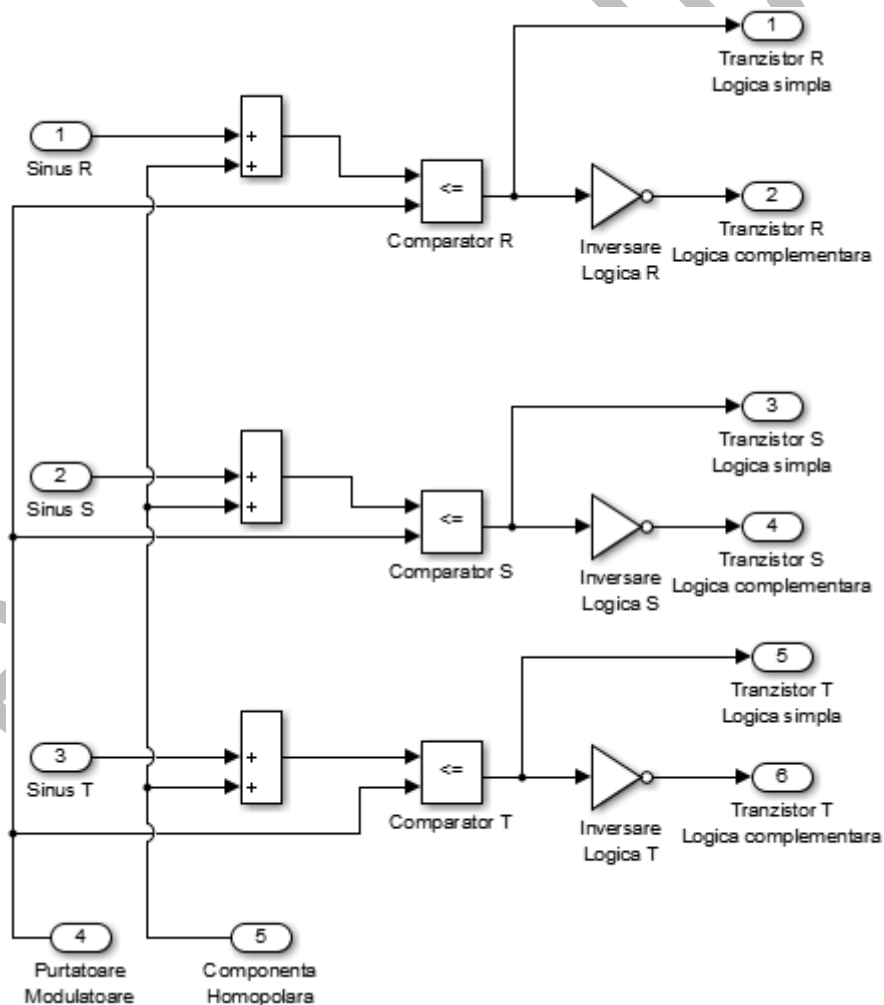


B.

fig. 52 – A. – (bloc) Logica de comandă a convertorului ridicat boost
B. – Diagrama modelului Simulink intern al sub-sistemului



A.



B.

fig. 53 – A. - (bloc) Logica de control a invertorului
B. – Diagrama modelului Simulink intern al sub-sistemului

În continuare, modelul cu cele trei sub-sisteme, se va salva sub formatul / extensia „.mdl” (eng. mathematical model file):

- Din meniul „File” al ferestrei spațiului de lucru Simulink se alege „Save As”;
- În fereastra nou deschisă, se va specifica tipul fișierului în căsuța însoțită de textul „Save as type”, și se va alege „.mdl”, se va completa și nume (File name);
- Se va alege o locație cunoscută pentru salvarea modelului;
- În urmă se vor valida acțiunile prin apăsarea butonului „Save”;
- În cazul în care, se utilizează o versiune mai nouă decât Matlab 2014, procedura se va repeta, doar că, în loc de comanda „Save As” se va utiliza comanda „Export Model to” și din submeniu, se va alege „Previous Version”
- După ce se va deschide fereastra de salvare, se va alege în căsuța însoțită de textul „Save as type” opțiunea „Simulink 8.3/2014a Models (*.mdl)”;

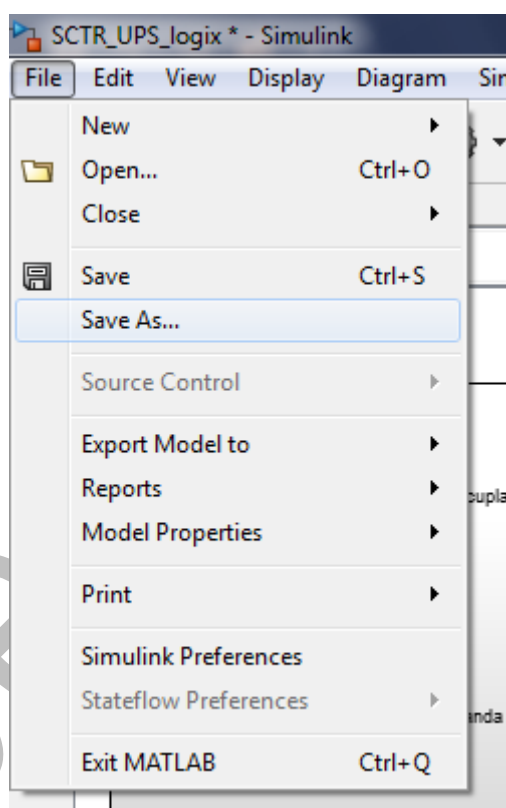


fig. 54 – „...din meniul „File” al ferestrei spațiului de lucru Simulink se alege „Save As” ...”

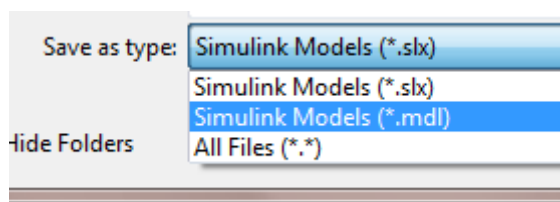


fig. 55 – „...în căsuța însoțită de textul „Save as type”, și se va alege „.mdl” ...”

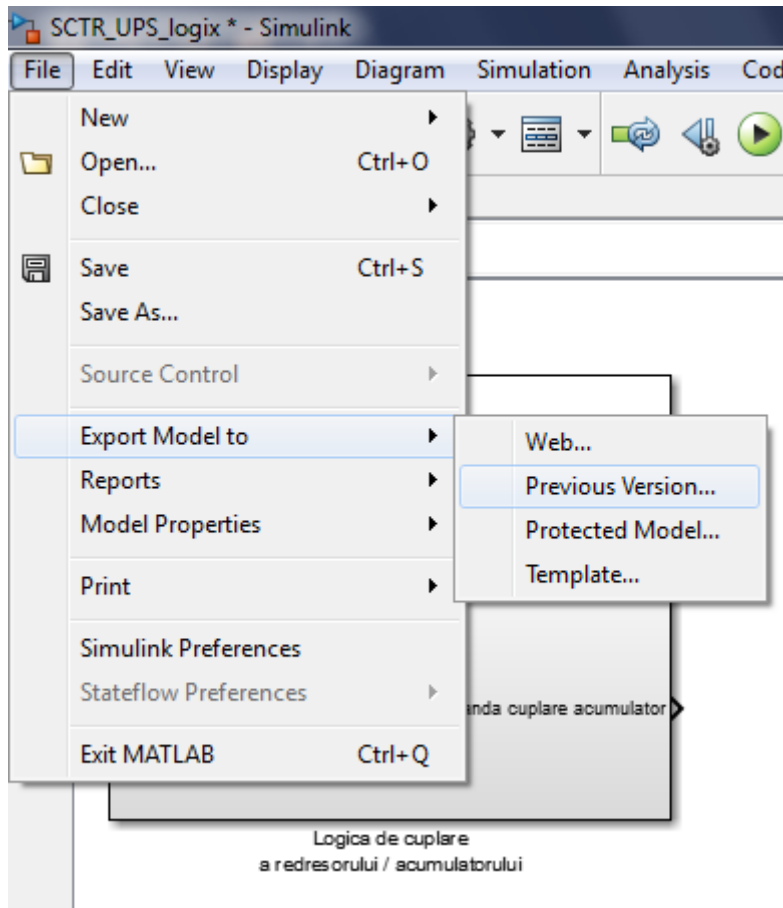


fig. 56 – „...se va utiliza comanda „Export Model to” și din submeniu, se va alege „Previous Version”...”

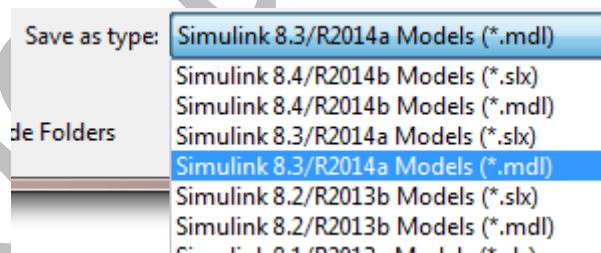


fig. 57 – „...se va alege în căsuța însoțită de textul „Save as type” opțiunea „Simulink 8.3/2014a Models (*.mdl)”...”

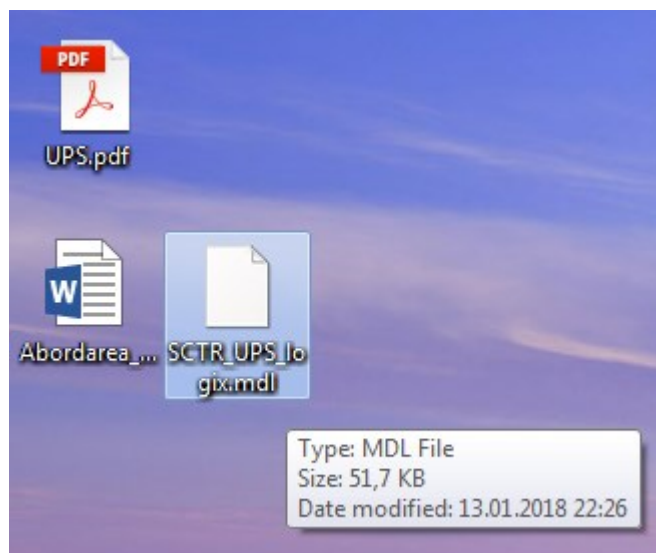


fig. 58 – Fișierul „.mdl” creat

După crearea fișierului de model „.mdl” se va trece la importarea în mediul Altair VisSim – SolidThinking Embed 2017:

- Se va lansa în execuție programul;
- Se va crea un fișier nou, din meniul „File” se va alege comanda „New”;
- În urma acestor acțiuni se va deschide o fereastră nouă de lucru;
- De asemenea, vor apărea și alte meniuri precum „Tools”;
- În meniul „Tools” se va alege opțiunea „Import”;
- Iar din submeniul ce se va deschide se va alege „Simulink Diagram...”;
- Se va specifica, numele și calea de acces a fișierului „.mdl” prin intermediul butonului „...” (ex. C:\Users\W7PCWS\Desktop\SCTR_UPS_logix.mdl);
- Se va apăsa butonul „Next” (următoarea etapă);
- În cazul în care vor apărea ferestre de interogare cu privire la supra-scrierea fișierelor de raport / jurnal se va răspunde afirmativ (adică „OK”);
- După aceea, va apărea o fereastră de raport, în care este descris modul cum a decurs procesul de importare a modelului;
- Se va încheia procedura prin apăsarea tastei „Finish” (finalizare);
- Prin intermediul cursorului vom plasa în spațiul de lucru elementele importate;

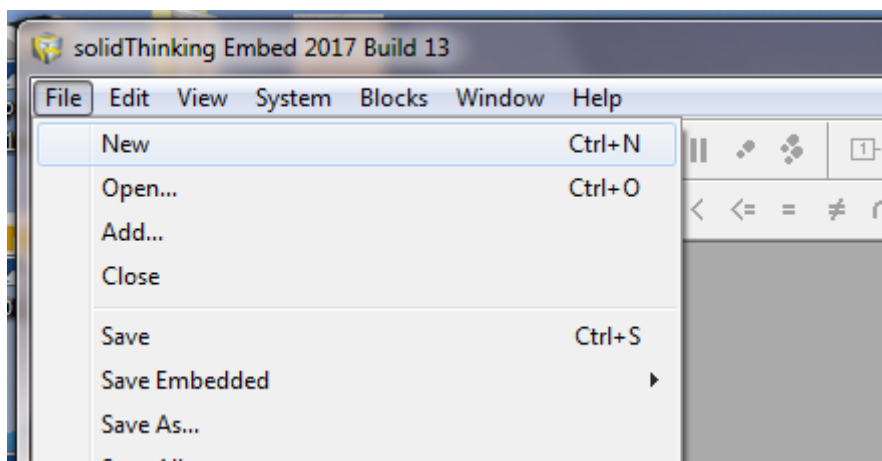


fig. 59 – „...din meniul „File” se va alege comanda „New”...”

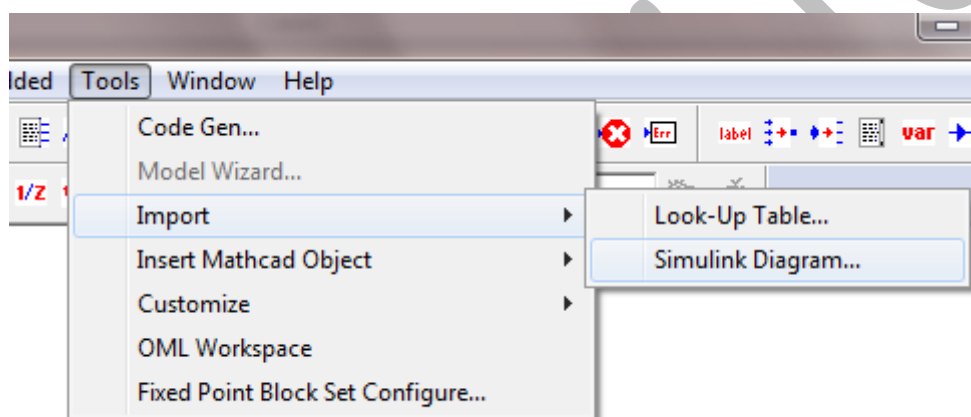


fig. 60 – „...în meniul „Tools” se va alege opțiunea „Import”, „Simulink Diagram...” ...”

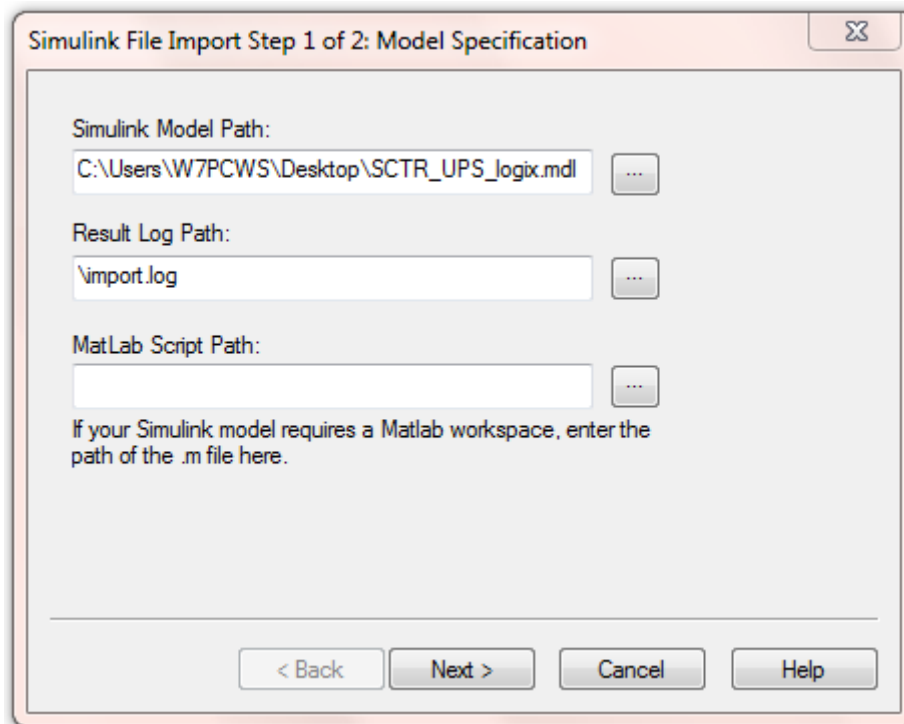


fig. 61 – „...se va specifica, numele și calea de acces a fișierului „.mdl” prin intermediul butonului „...” ...”

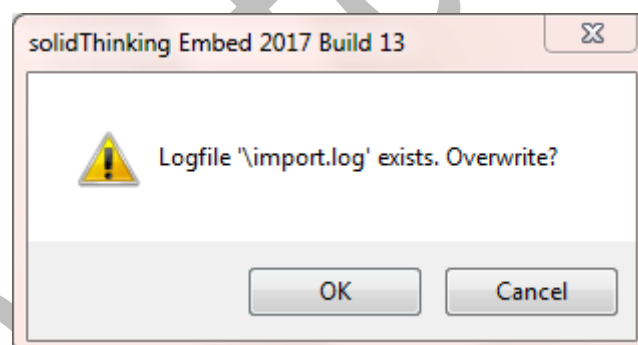


fig. 62 – „...În cazul în care vor apărea ferestre de interogare, se va răspunde afirmativ (adică „OK”)...”

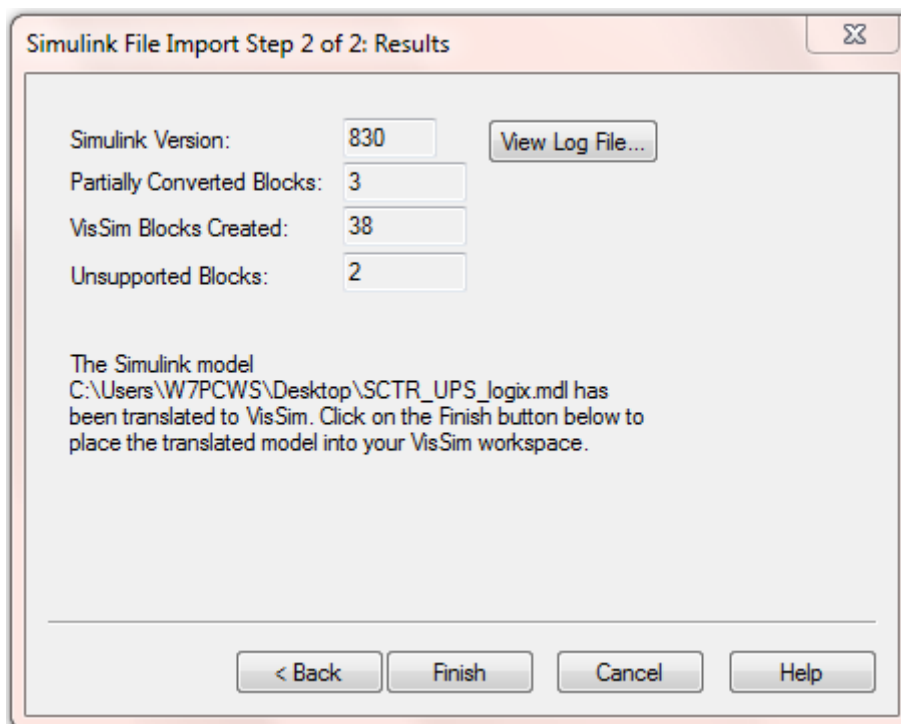


fig. 63 – „...o fereastră de raport, în care este descris modul cum a decurs procesul de importare a modelului...”

Se vor obține cele trei blocuri importate din Simulink (blocurile cu numele „Compound” se pot șterge):

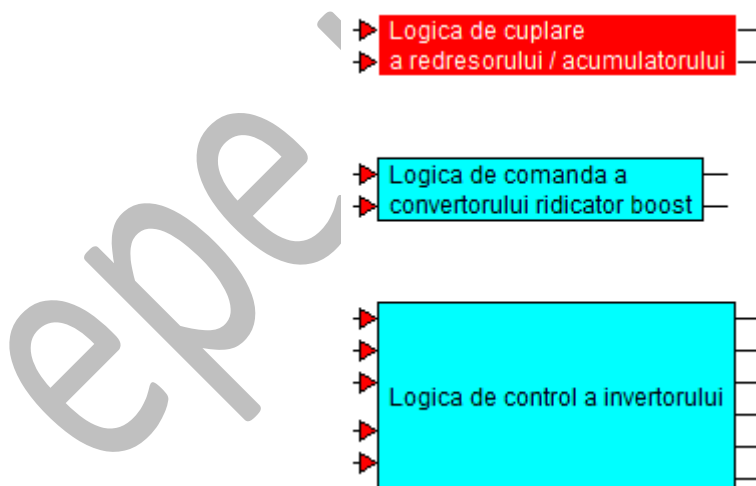


fig. 64 – Blocurile importate din Simulink

În interior, ele conțin sub-sistemele create în Matlab – Simulink, numai că, unele dintre elemente nu corepsund cu cele din VisSim. Blocurile care se pot importa fără probleme sunt cele standard în limbajul acționărilor electrice și al automaticii (ex. sumator, amplificator, regulator etc...);

IMPORTANT: DE CE NU AU FOST IMPORTATE TOATE ELEMENTELE?

-În primul rând având în vedere faptul că, se dorește coneperea unui algoritm pentru D.S.P., nu este practic necesar, să se aducă un generator triunghiular în model, sau să executăm comparații succesive pentru a construi un tred de impulsuri, ci, vom folosi direct blocul D.S.P. – ului pentru generarea semnalelor modulate în durată a impulsurilor (eng. P.W.M.);

-În al doilea rând, cu bună știință și bună intenție unele elemente au fost neglijate, deoarece, ele fac parte doar, din etapa de simulare (ex. blocurile de amplificare cu „15” pentru semnalul de grilă al tranzistoarelor; sau comparatoarele cu forma de undă triunghiulară).

-Procesoarele digitale de semnal au deja pre-implementate funcțiile P.W.M. Deci ceea ce vor trebui să se reconstruiască, vor fi formele de undă sinusoidale defazate similar sistemului trifazat, și vor fi introduse într-un bloc specific platformei D.S.P.

ADAPTAREA LOGICII DE COMANDA ȘI CONTROL LA PLATFORMA F28377s DSP:

-Platforma F28377s este un procesor digital de semnal (eng. D.S.P.) produs de Texas Instruments și face parte din familia C2000 de DSP-uri dedicate acționărilor electrice și electronicii de putere în mod deosebit controlului de motoare electrice.

-Mediul de programare aferent acestor platforme se numește Code Composer Studio;

-Mediul de simulare / proiectare grafică a logicii de comandă și control este Altair VisSim – acum SolidThinking Embed 2017. Acest mediu pune la dispoziția inginerilor o gamă largă de instrumente și aparate matematice, dar și un mod foarte intuitiv și bine justificat de lucru anume **Real-Time Interraction sau Jtag Hotlink**. Prin intermediul acestui mod de lucru, se vor putea ajusta parametrii în timpul funcționării (în timp real) cu ajutorul interfeței programului. Este bine-justificată utilizarea unui astfel de mod de lucru deoarece în proiectarea logicii de control este imperios necesară etapa de ajustare succesivă / acordare a parametrilor, iar acest lucru, ar aduce multă uzură memoriei platformei, dacă ar fi fost reprogramată de fiecare dată la fiecare actualizare de parametrii. Mediul Altair VisSim pune la dispoziție acest mod de lucru:

Pentru a configura platforma F28377s:

- Se va salva modelul VisSim cu blocurile importate din Simulink (din meniul „File”, opțiunea „Save As”);
- Se va introduce blocul de configurare al platformei din meniul „Embedded”, sub-meniul „Delfino”, „F28x Config...”;
- Se va deschide o fereastră de dialog, în care se va alege platforma „F28377s”, și conexiunea cu platforma prin intermediul interfeței J-tag „TI XDS100v2 USB”;

- Celelalte setări rămân predefinite, iar prin intermediul cursorului, se va plasa în model, blocul de configurare al platformei;



fig. 65 – „...din meniul „Embedded”, sub-meniul „Delfino”, „F28x Config...”...”

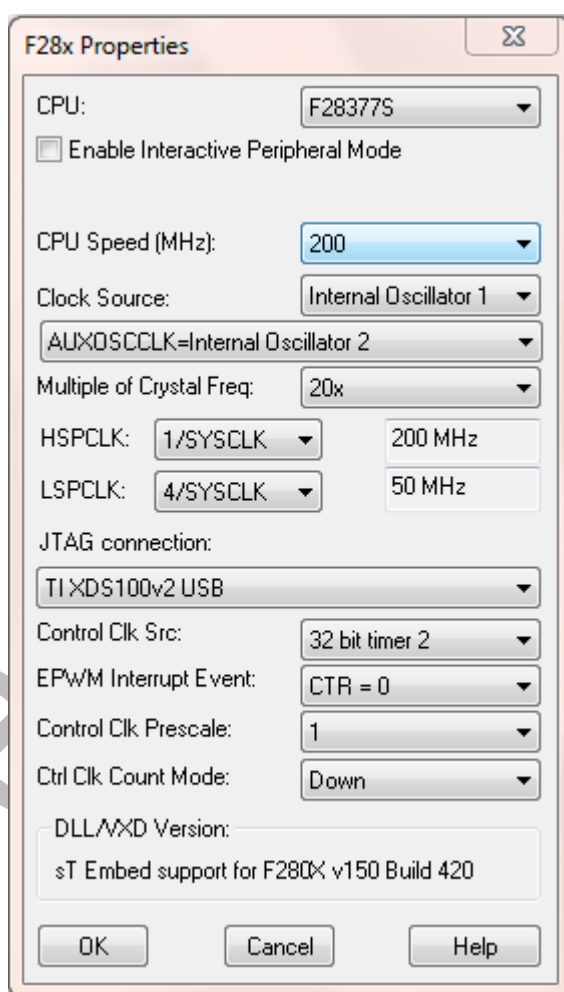


fig. 66 – „...se va alege platforma „F28377s”, și conexiunea interfeței J-tag „TI XDS100v2 USB”...”

F28x Config: F28377S@200MHz
TI XDS100v2 USB

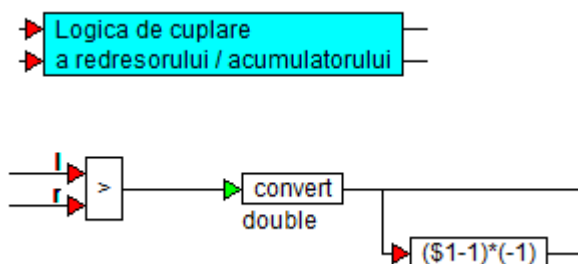
fig. 67 – „...se va plasa în model, blocul de configurare al platformei...”

După etapa de configurare, se poate trece echiparea modelului cu intrări / ieșiri reale înspre procesul fizic de reglare al unui convertor real:

Identificarea sub-sistemelor și completarea lor:

A. În primul rând vom identifica, funcția fiecărui subsistem:

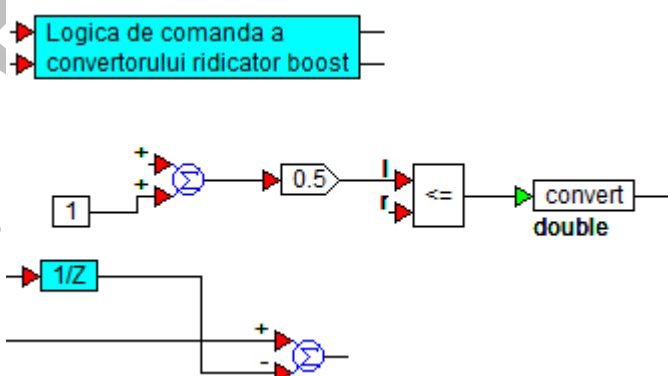
1. Blocul „Logica de cuplare a redresorului / acumulatorului”:



Pe baza conținutului intern vom întocmi tabelul următor:

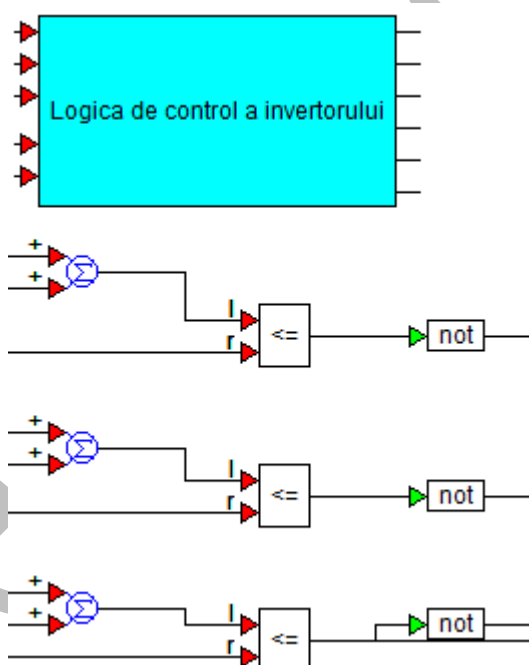
Denumire	Rol funcțional	Intrări	Ieșiri
Logica de cuplare a redresorului / acumulatorului	Compară pragul de tensiune impus pentru a declanșa sau a anclanșa un contact / tranzistor	1. tensiune măsurată 2. Referință / prag de basculare	1. „Logic 1” la depășirea pragului; 2. Logică complementară la prima ieșiere;

2. Blocul „Logica de comandă a convertorului ridicător boost”:



Denumire	Rol funcțional	Intrări	Ieșiri
Logica de comandă a convertorului ridicător boost	Măsoară tensiunea de la ieșirea convertorului și prin intermediul unui regulator proporțional – integrator generează factorul de umplere pentru un generator de semnal modulată în durată impulsului	1. Măsurarea tensiunii; 2. Tensiunea de referință	1. Pulsuri de comandă pentru tranzistor; 2. Factorul de umplere în procente

3. Blocul „Logica de control a invertorului”:

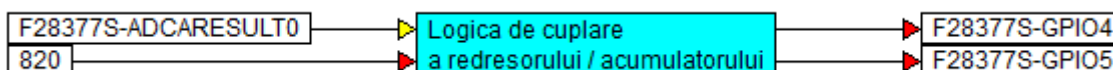


Denumire	Rol funcțional	Intrări	Ieșiri
Logica de control a invertorului	Realizează conversia energiei continue (fie tensiune, fie curent) în alternativă	1. Fundamentală fazei „R”; 2. Fundamentală fazei „S”; 3. Fundamentală fazei „T”; 4. Unda purtătoare; 5. Secvența zero sau homopolară	1. HIGH_R; 2. LOW_R; 3. HIGH_S; 4. LOW_S; 5. HIGH_T; 6. LOW_T;

B. Apoi, vom completa cu intrări / ieșiri și alte elemente necesare:

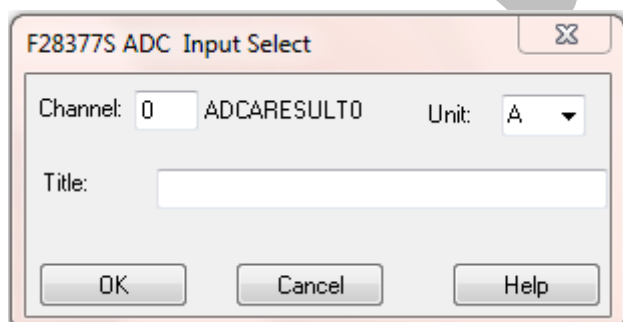
1. Blocul „Logica de cuplare a redresorului / acumulatorului”:

Acțiune	Blocuri	Localizarea blocurilor	Funcție
Adăugarea blocurilor de intrare / ieșire, specifice platformei	1. Analog Input 2. GPIO Output	1. Embedded > Delfino > ADC > Analog Input for... 2. Embedded > Delfino > GPIO > GPIO Output for...	1. Intrare analogică 2. Ieșire Digitală
Adăugarea blocurilor specifice mediului pentru conceperea logicii de control	1. Constantă	1. Blocks > Signal Producer > const	1. Introducerea unei constante în model



Particularizări: Se alege:

- intrarea analogică „0” din blocul „A”;
- ieșirile digitale „10” și „11” din blocul „A”;
- constanta se va stabili la valoarea 220;



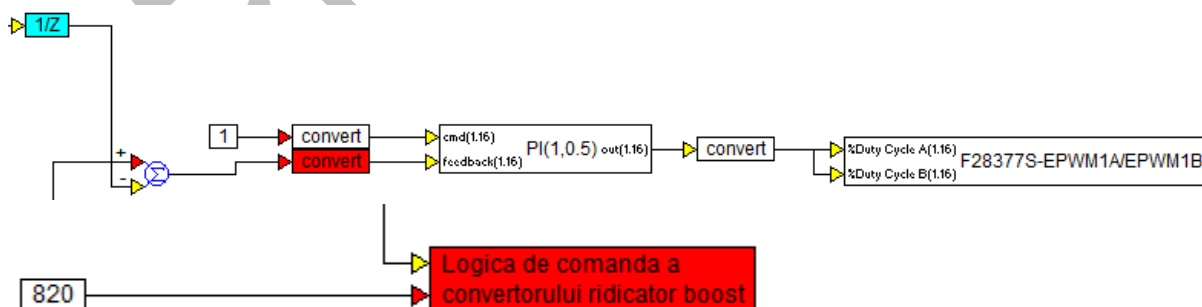
B. Apoi, vom completa cu intrări / ieșiri și alte elemente necesare:

2. Blocul „Logica de comandă a convertorului ridicător boost”:

Acțiune	Blocuri	Localizarea blocurilor	Funcție
1. Adăugarea regulatorului PI 1. Adăugarea blocurilor de generare P.W.M. 3. Adăugarea blocuri de conversie numerică	1. PI Regulator 2. ePWM 3. Convert	1. Blocks > Fixed Point > PI Regulator 2. Embedded > Delfino > PWM > ePWM 3. Blocks > Aritmetic > convert	1. Menține diferența dintre tensiunea măsurată și referința impusă, cât mai mică; 2. Interacționează cu ieșirile PWM ale platformei 3. Asigură conversia de la un tip de date la altul;

Particularizări: Se alege:

- Coeficient „proporțional”: 1;
- Coeficient „integrator”: 0.5;
- Constantă: 1;
- Conversie: Scaled int.; Radix point: 1; Word size: 16;
- PWM unit: 1;
- Timer Period: 500;
- EPWMSYNCO: none;
- CMPA Load On: Immediate;
- EPWMSYNCO pin: Unused;
- CMPB Load On: Immediate;
- EPWMA: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;
- EPWMB: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;



3. Blocul „Logica de control a invertorului”:

Acțiune	Blocuri	Localizarea blocurilor	Funcție
Reconstruirea totală a blocului	1. ePWM; 2. ePWM; 3. ePWM;	Embedded > Delfino > PWM > ePWM	Interacționează cu ieșirile PWM ale platformei
Implementarea expresiei „ $u(t) = A \sin(\omega t + \phi) + \text{offset}$ ” Pentru fiecare fază	1. Sin 2. SummingJunction 3. Product 4. Ramp	1. Blocks > Transcendental > sin 2. Blocks > Arithmetic > SummingJunction 3. Blocks > Arithmetic > „*” 4. Blocks > Signal Producer > Ramp	1. Implementarea funcției trigonometrice „Sinus” 2. Bloc sumator; 3. Bloc de multiplicare; 4. Generator de semnal rampă

Particularizări: Se alege:

- PWM unit: 2;
- Timer Period: 500;
- EPWMSYNCO: none;
- CMPA Load On: Immediate;
- EPWMSYNCO pin: Unused;
- CMPB Load On: Immediate;
- EPWMA: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;
- EPWMB: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;
- PWM unit: 3;
- Timer Period: 500;
- EPWMSYNCO: none;
- CMPA Load On: Immediate;
- EPWMSYNCO pin: Unused;
- CMPB Load On: Immediate;
- EPWMA: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;
- EPWMB: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;
- PWM unit: 4;
- Timer Period: 500;

Realizat de: Ing. mast. Pintilie Lucian Nicolae
Pentru disciplina: „Sisteme de calcul în timp real”
Adresă de e-mail: Lucian.Pintilie@emd.utcluj.ro

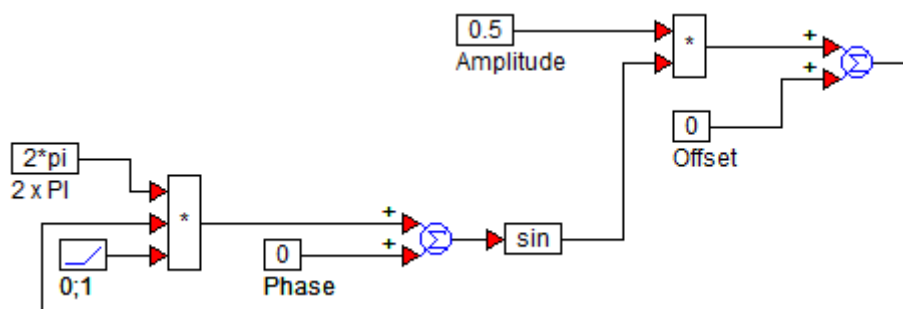
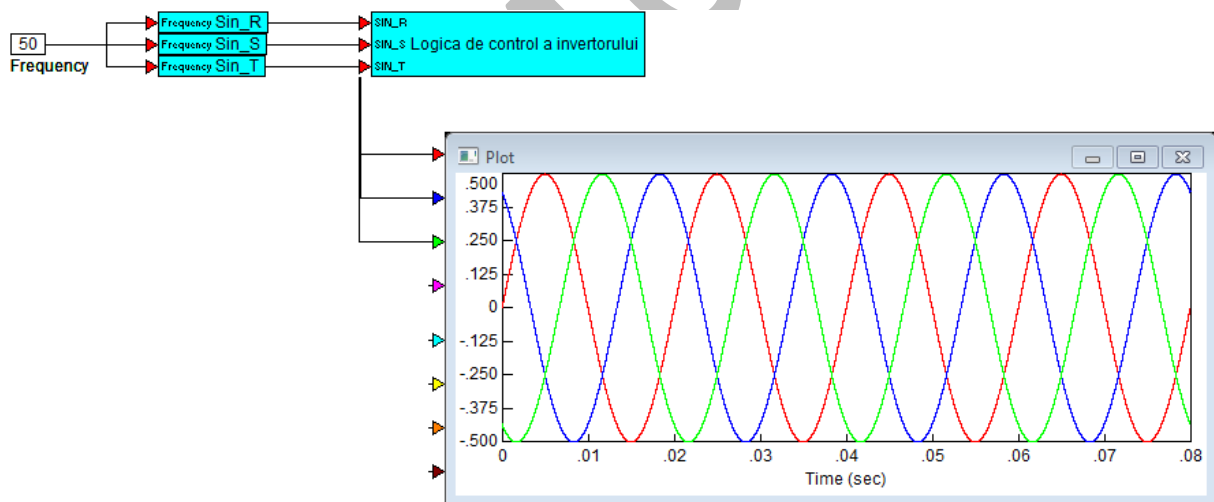


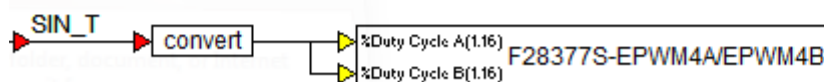
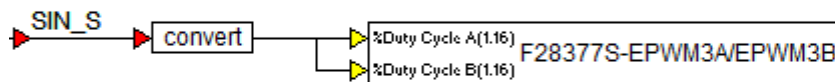
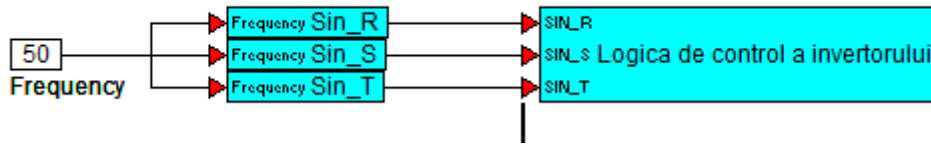
- EPWMSYNCO: none;
- CMPA Load On: Immediate;
- EPWMSYNCO pin: Unused;
- CMPB Load On: Immediate;
- EPWMA: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;
- EPWMB: Z = X; up = 1; down = 0; up = 1; down = 0; P = X;

Amplitudine: 0.5;
Frecvență: 50 [Hz];
Fază: 0;
Offset: 0;

Amplitudine: 0.5;
Frecvență: 50 [Hz];
Fază: $(2 * \pi) / 3$;
Offset: 0;

Amplitudine: 0.5;
Frecvență: 50 [Hz];
Fază: $(4 * \pi) / 3$;
Offset: 0;





F28x Config: F28377S@200MHZ
TI.XDS100v2 USB

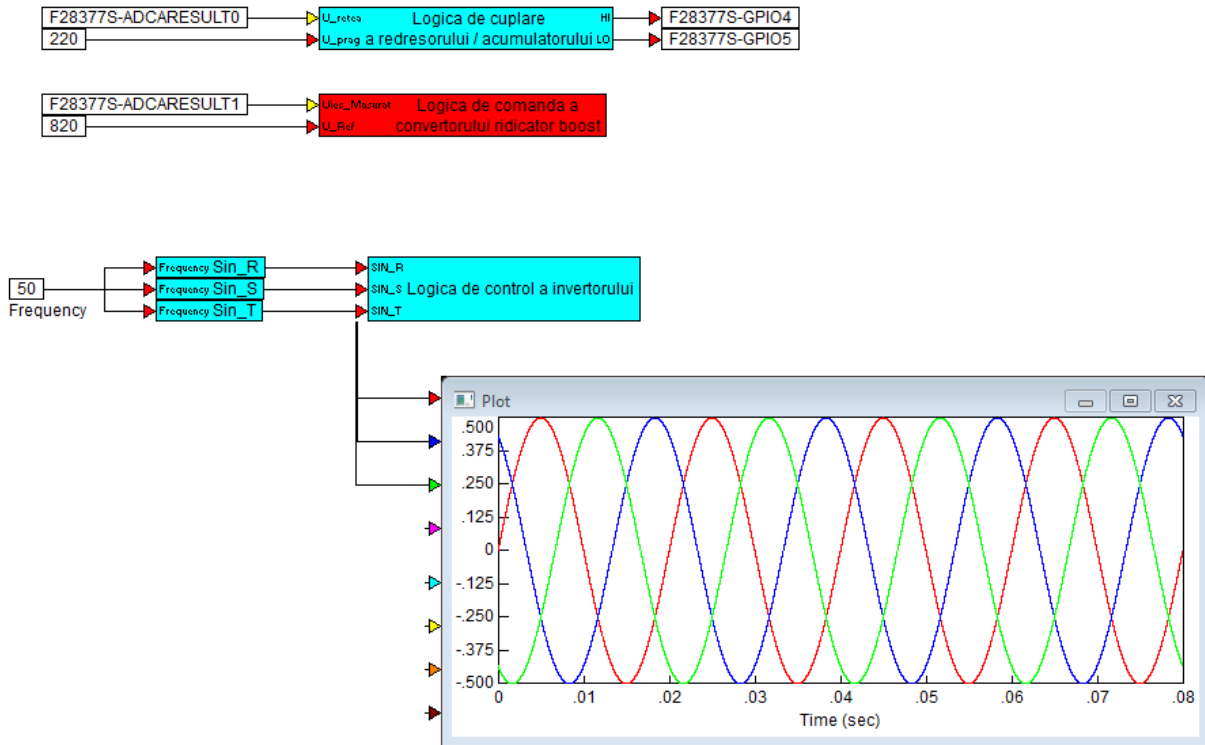


fig. 68 – Implementarea logicii de comandă și control în Altair VisSim – SolidThinking Embed 2017

GENERAREA CODULUI ȘI PROGRAMULUI PENTRU DSP:

-Se va crea un sub-sistem care va îngloba toate cele trei structuri, iar parametrii de control vor rămâne în exterior:

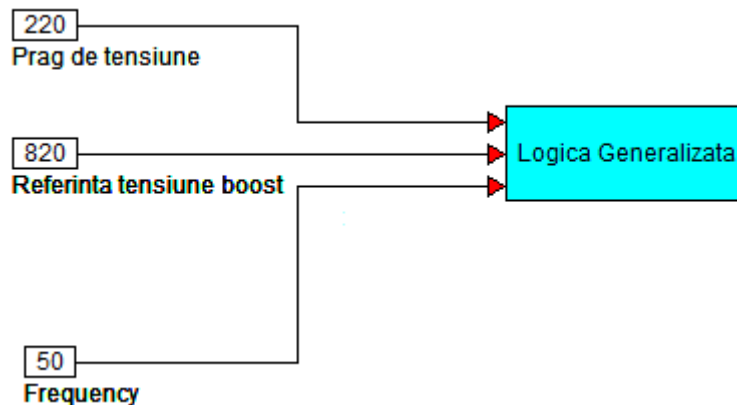


fig. 69 – Logica generală de control

-Se va selecta blocul „Logică Generalizată” cu o fereastră de selecție ținând butonul stâng al mouse-ului apăsat. Blocul își va schimba culoare în roșu;

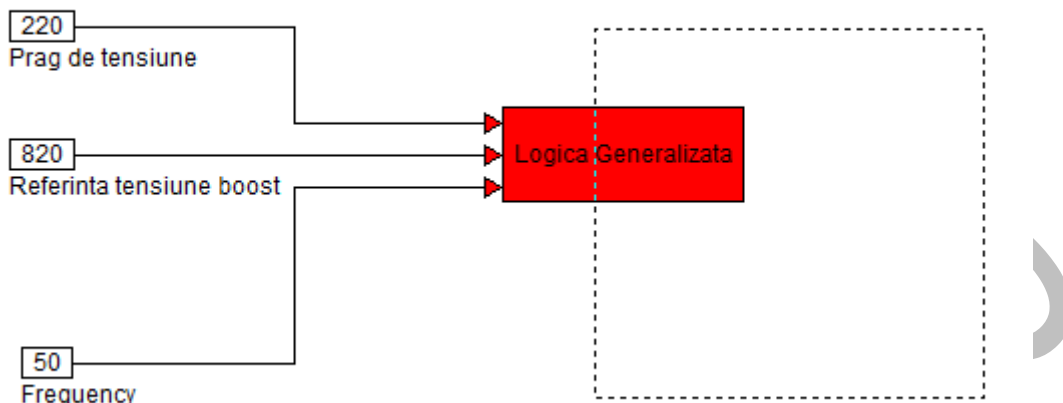
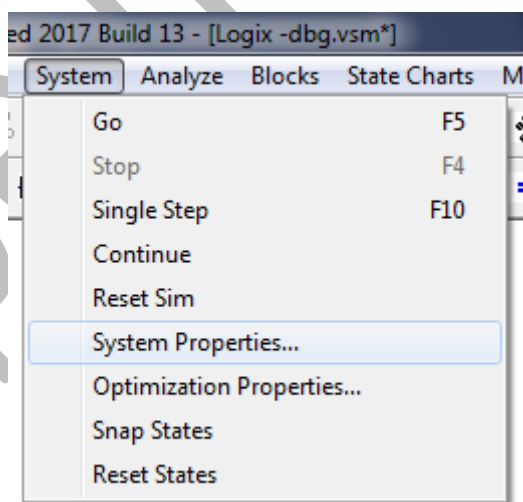
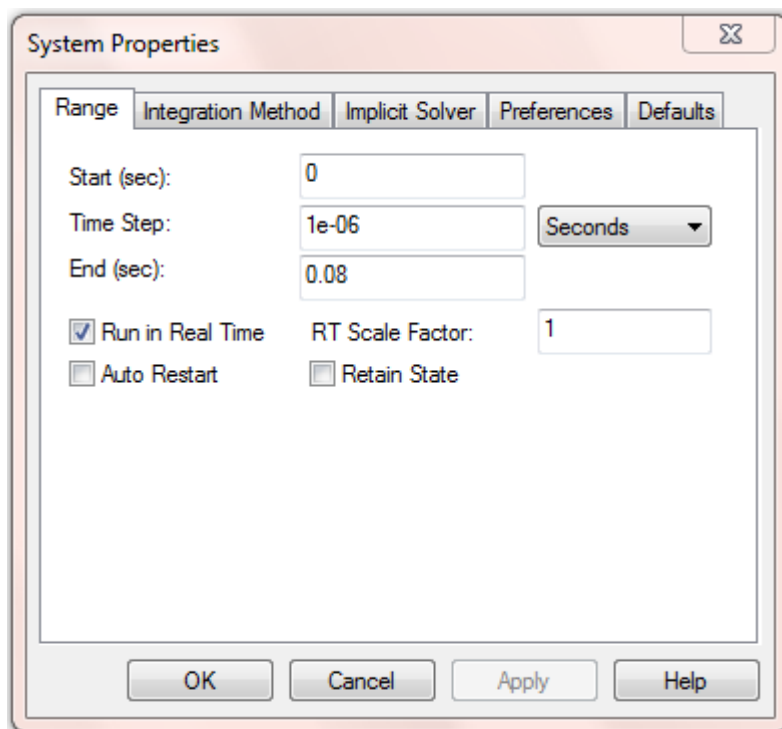


fig. 70 – Selectarea blocului principal

-Din meniul „System” se alege opțiunea „System properties”. În fereastra ce s-a deschis, se alege „Start (sec)”: valoarea „0”; „Time Step”: valoarea „1e-6” (adică 10^{-6}); (în dreapta se alege secunde, eng. seconds); „End (sec)”: valoarea „0.08”; alegem de asemenea: „Run in Real-Time”, și confirmăm setările prin apăsarea tastei „O.K.”;



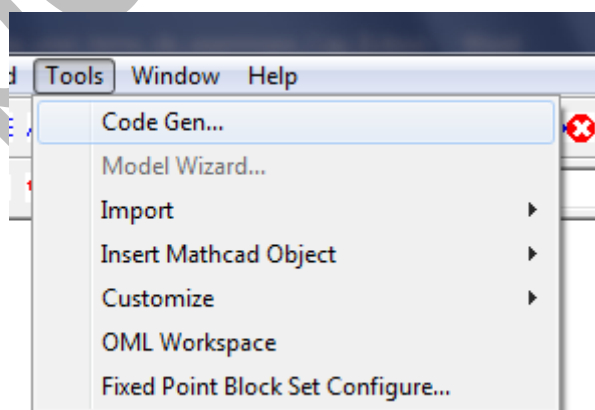
A.



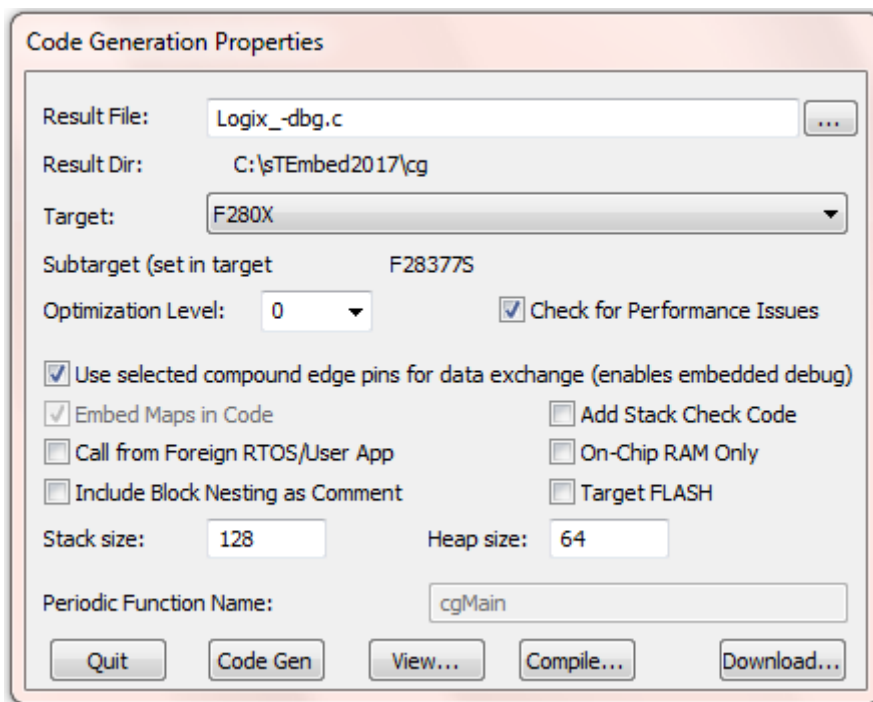
B.

fig. 71 – Setarea parametrilor de timp

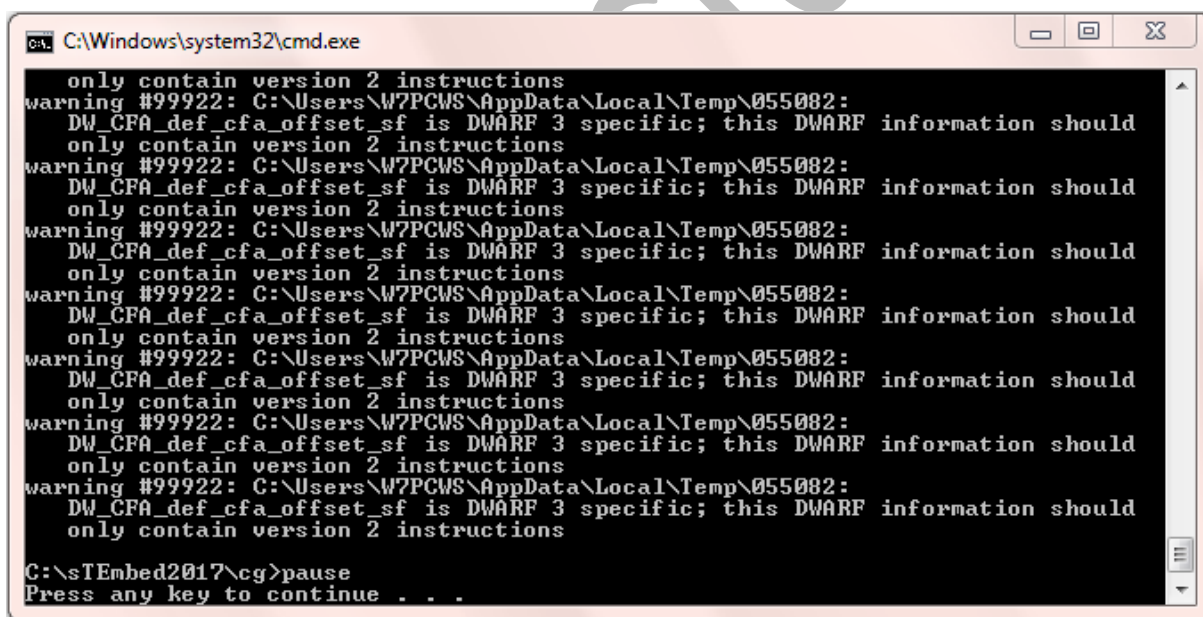
-Din meniul „Tools”, (având blocul principal de culoare roșie - adică selectat) se alege opțiunea „Code Gen”. În fereastra care se va deschide se va alege platforma de lucru „Target”: valoarea „F280x”, de asemenea se de-bifează opțiunea „Check for Performance Issues”, și se va asigura că opțiunea „Use selected compound edge pins for data exchange (enables embedded debug)” este selectată. Se alege butonul „Code Gen” apoi „Compile”. Pentru a vizualiza codul generat, se alege „View...”



A.



B.



C.

fig. 72 – Generarea codului

-Pentru a interacționa în timp real cu parametrii, se va salva modelul sub un alt nume, mai precis adăugând terminația „-dbg” (eng. debug);

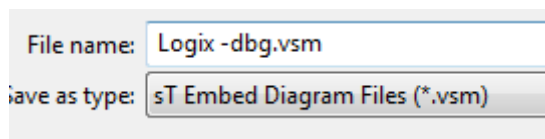


fig. 73 – Redenumirea modelului salvat

-Se va înlocui blocul „Logică Generalizată” cu blocul „Target Interface”, care se găsește în meniul „Embedded” > „Delfino” > „Target Interface” > „Target Interface”:

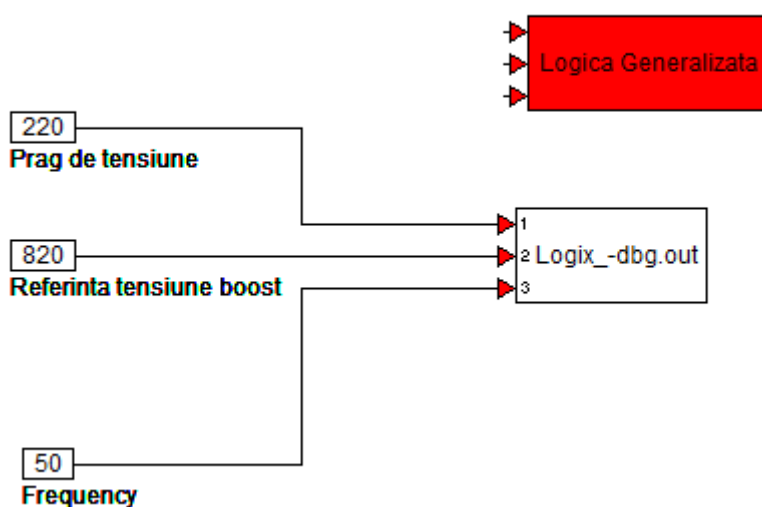


fig. 74 – Adăugarea blocului „Target Interface”

-Se de-bifează opțiunea „Show CPU Utilization” din fereastra de proprietăți a blocului „Target Interface”:

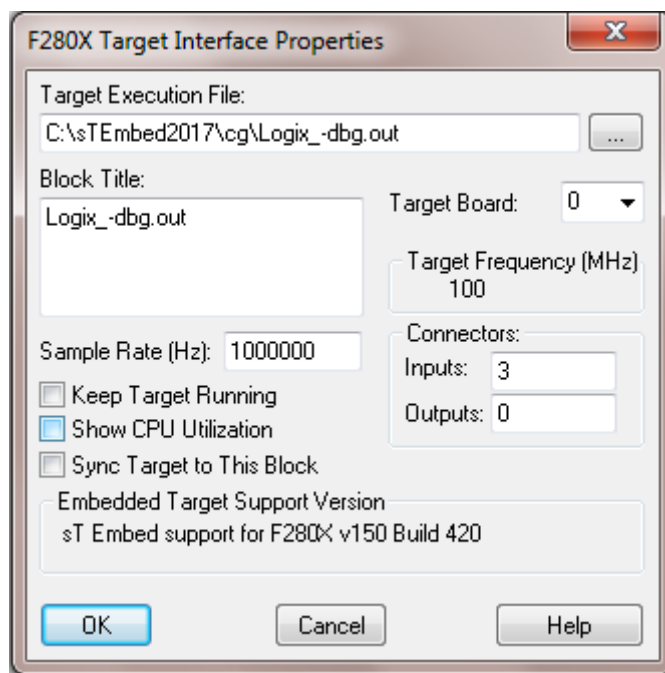
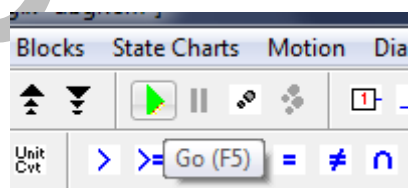


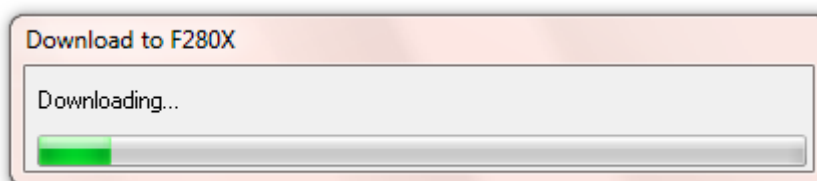
fig. 75 – Configurarea platformei

OBSERVAȚIE: Fișierul „.out” (ex. Logix_-dbg.out) este programul EXECUTABIL pentru DSP!

-Pentru a rula modelul pe platforma D.S.P., se va apăsa butonul triunghiular de culoare verde din bara de instrumente (eng. Play). Se va încărca programul pe platformă și va începe simularea în timp real. Din acest moment se poate interacționa cu parametrii exteriori blocului principal sau blocului „Target Interface”...



A.



B.

fig. 76. – Încărcarea programului de interacțiune în timp real pe platformă

IV. CONCLUZII ȘI FINALIZARE:

-Întreaga procedură descrisă în această documentație face parte din procesul de „RAPID CONTROL PROTOTYPING”;

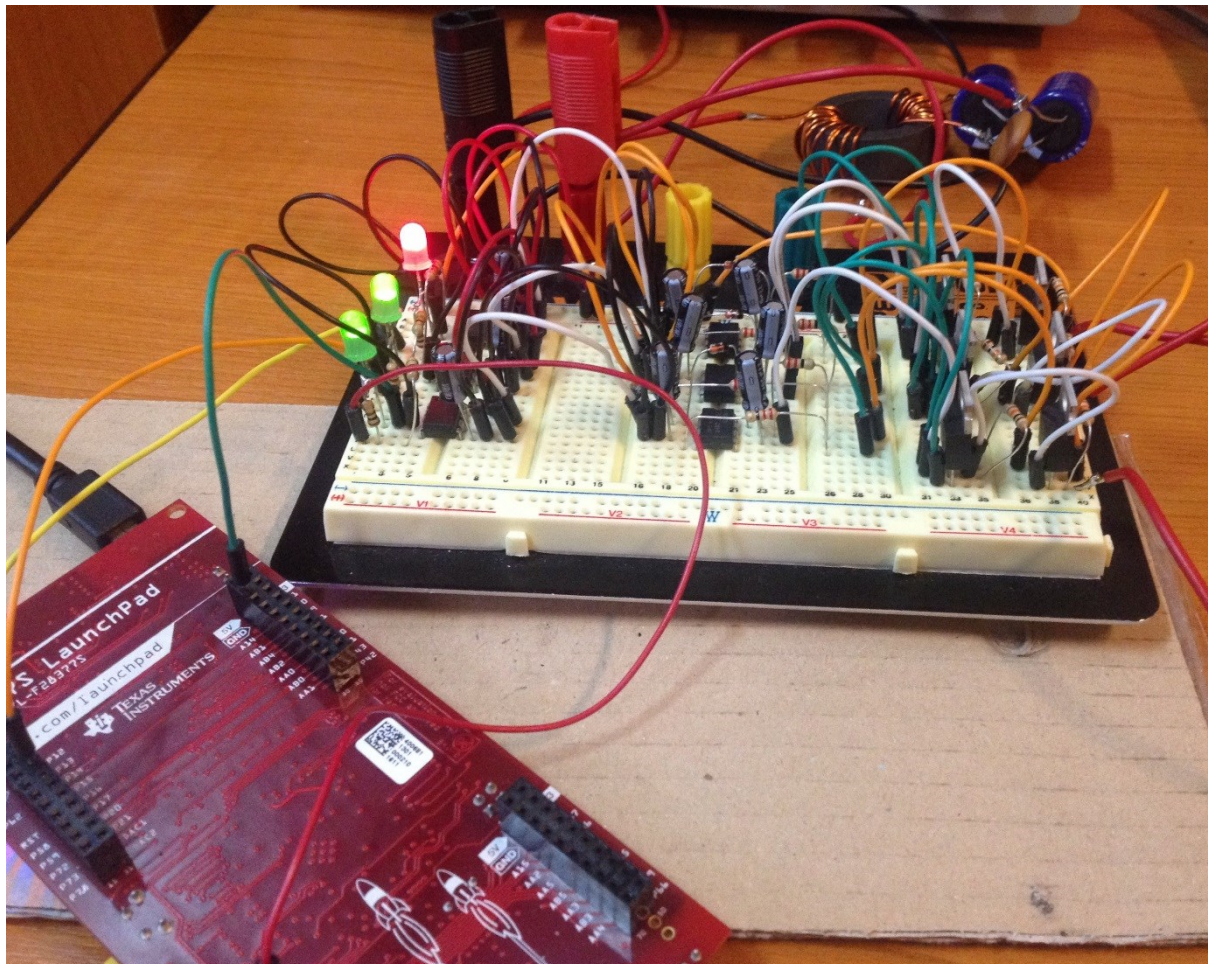


fig. 77 – Model – prototip (12 [V]) de inverter trifazat
Controlat prin intermediul platformei F28377s

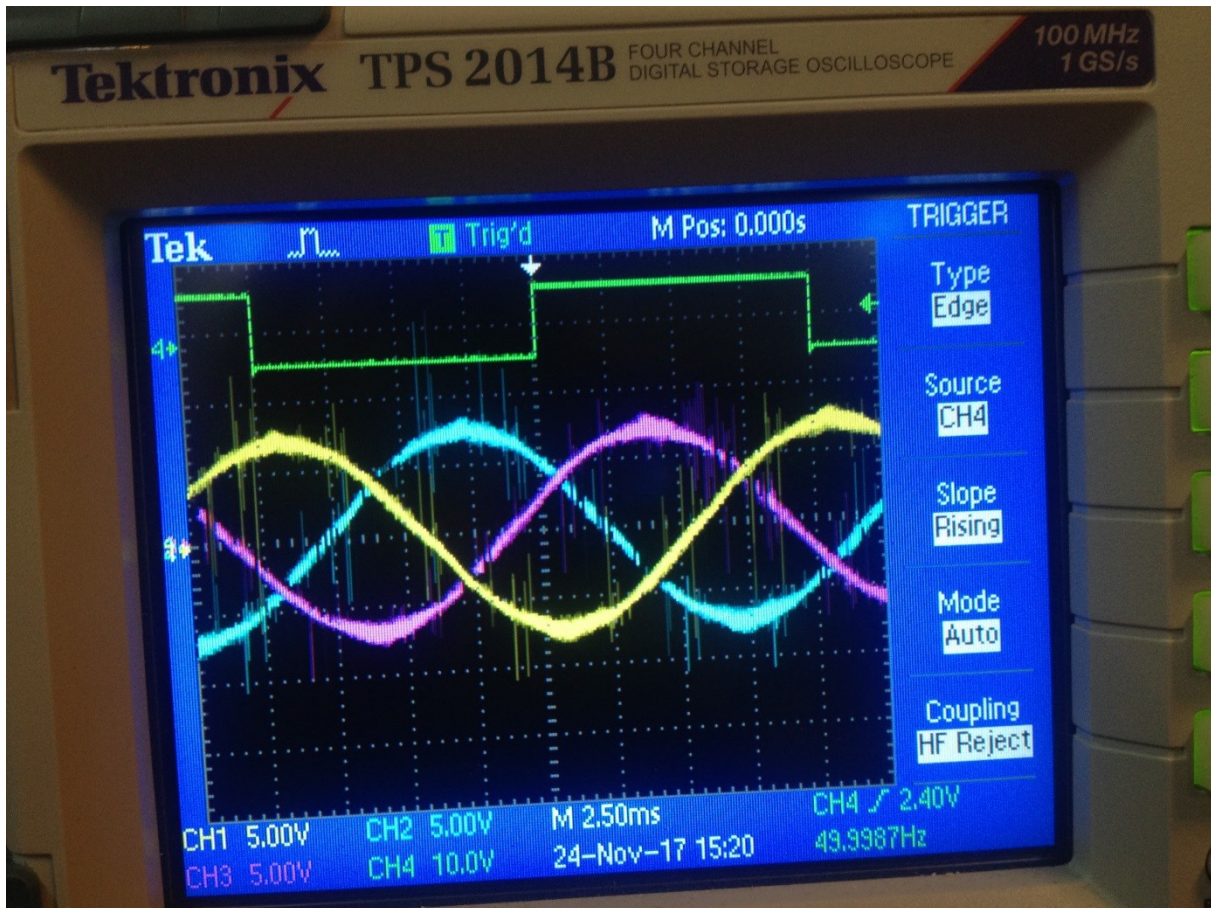


fig. 78 – Funcționarea inverterului debitând curent pe o sarcină inductiv – rezistivă (R-L)

Codul programului generat:

```

/** solidThinking Embed 2017 Build 13 Automatic C Code Generator Version 15.0 Build 13
***/
/* Output for Logix -dbg.vsm at Sun Jan 14 04:14:34 2018 */

```

```

#include "math.h"
#include "cgen.h"
#include "cgendll.h"
#include "c2000.h"
#include "pidFx.h"
int MHZ=200;
#define _SYS_MHZ_ 200
PI_CONTROLLER pid17 = {0,0,512,16384,0,0,26214,0,0};

```

```
extern CGDOUBLE Zed;
```

```
DLL_SIG_DECL_M(3,0)
```

Realizat de: Ing. mast. Pintilie Lucian Nicolae
 Pentru disciplina: „Sisteme de calcul în timp real”
 Adresă de e-mail: Lucian.Pintilie@emd.utcluj.ro



```

static ARG_DESCR outArgInfo67[]={
0};
static ARG_DESCR inArgInfo67[]={
    { T_DOUBLE,0,0,0},
    { T_DOUBLE,0,0,0},
    { T_DOUBLE,0,0,0},
};
static SIM_STATE tSim={0,0,0
,outArgInfo67, inArgInfo67,3,0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0};
SIM_STATE *sim=&tSim;

/* Logica Generalizata */
INTERRUPT void cgMain()
{
static int _delayOutBuf6=0;
int t65;
CGDOUBLE t9;
CGDOUBLE t12;
int t23;
int t28;
int t29;
int t30;
    TIMER2TCR = TIMER2TCR;
t65 = ADCARESLT1;
t9 = ((double)(ADCARESLT0> sim->inSigS[0]->u.Double));
t12 = (( t9-1)*(-1));
pid17.ref_reg2 = -32768;
pid17.fb_reg2 = (int)(( sim->inSigS[1]->u.Double+(- _delayOutBuf6 * 0.000244140625))) *
32768);
piControl(&pid17);
t23 = pid17.out_reg2;
t28 = (int)(((0.5* sin(((6.28318530717959* sim->inSigS[2]->u.Double*((sim->tickCount*1e-
06)))>0.)))>0.)) * 32768);
t29 = (int)(((0.5* sin(((6.28318530717959* sim->inSigS[2]->u.Double*((sim->tickCount*1e-
06)))>2.0943951023932)))>0.)) * 32768);
t30 = (int)(((0.5* sin(((6.28318530717959* sim->inSigS[2]->u.Double*((sim->tickCount*1e-
06)))>4.18879020478639)))>0.)) * 32768);
if (((int) t9))
    {GPASET = 0x400L;}
else
    {GPACLEAR = 0x400L;};
if (((int) t12))
    {GPASET = 0x800L;}
else

```

```

    {GPACLEAR = 0x800L;};
    { long _duty32 = (long) t23*5001;
      CMPA1 = (int)(_duty32>>15);
    }
    CMPB1 = (int)((((long) t23*5001)>>15);
    { long _duty32 = (long) t28*5001;
      CMPA2 = (int)(_duty32>>15);
    }
    CMPB2 = (int)((((long) t28*5001)>>15);
    { long _duty32 = (long) t29*5001;
      CMPA3 = (int)(_duty32>>15);
    }
    CMPB3 = (int)((((long) t29*5001)>>15);
    { long _duty32 = (long) t30*5001;
      CMPA4 = (int)(_duty32>>15);
    }
    CMPB4 = (int)((((long) t30*5001)>>15);

    _delayOutBuf6 = t65;
    sim->tickCount++;
    endOfSampleCount = TIMER2TIM;
    if (TIMER2TCR&0x8000)
        setTgtStatus(VE_STAT_TGT_OVER_FRAMING);
}

void main()
{
    EALLOW;
    SYSPLLCTL1 = 0;
    CLKSRCCTL1 = 2;    //Internal Osc 1
    CLKSRCCTL2 = 0;    //Internal Osc 2
    SYSPLLMULT = 0x14; // set PLL to 20xOSC = 200 MHZ
    SYSPLLCTL1 = 1;    // Enable PLL
    while(!(SYSPLLSTS&1));    // Wait for PLL lock
    { int divSel;
      for (divSel =63; divSel >= 0; divSel--)
          { SYSCCLKDIVSEL = divSel; // Ramp up freq
            SysCtlDelay(15);
          }
    }
    SYSPLLCTL1 = 3;    // Use PLL
    PERCLKDIVSEL = 0x10;
    PCLKCRO = 0x20;

```

PCLKCR1 = 0x1;
PCLKCR2 = 0xF;
PCLKCR13 = 0xF;
EDIS;
TBPRD1 = 0x1388;
AQCTLA1 = 0x660;
AQCTLB1 = 0x660;
CMPCTL1 = 0x50;
EALLOW;
TZCTL1 = 0x0;
TZSEL1 = 0x0;
DCACTL1 = 0x0;
DCBCTL1 = 0x0;
EDIS;
TBPRD2 = 0x1388;
AQCTLA2 = 0x660;
AQCTLB2 = 0x660;
CMPCTL2 = 0x50;
EALLOW;
TZCTL2 = 0x0;
TZSEL2 = 0x0;
DCACTL2 = 0x0;
DCBCTL2 = 0x0;
EDIS;
TBPRD3 = 0x1388;
AQCTLA3 = 0x660;
AQCTLB3 = 0x660;
CMPCTL3 = 0x50;
EALLOW;
TZCTL3 = 0x0;
TZSEL3 = 0x0;
DCACTL3 = 0x0;
DCBCTL3 = 0x0;
EDIS;
TBPRD4 = 0x1388;
AQCTLA4 = 0x660;
AQCTLB4 = 0x660;
CMPCTL4 = 0x50;
EALLOW;
TZCTL4 = 0x0;
TZSEL4 = 0x0;
DCACTL4 = 0x0;
DCBCTL4 = 0x0;
EDIS;

Realizat de: Ing. mast. Pintilie Lucian Nicolae
Pentru disciplina: „Sisteme de calcul în timp real”
Adresă de e-mail: Lucian.Pintilie@emd.utcluj.ro



```
simInit( &tSim );
EALLOW;
Device_cal(); // Call on chip calibration
EALLOW;
ADCACTL2 = 0x4; // ADCCLK = 66.6667 MHz
AdcSetMode(ADC_ADCA, ADC_RESOLUTION_12BIT, ADC_SIGNALMODE_SINGLE);
ADCACTL1 = 0x80; // Power up ADC
ADCASOC0CTL = 0x300006; // ADCINA0, SOC = CPU1 Timer 2
ADCASOC1CTL = 0x308006; // ADCINA1, SOC = CPU1 Timer 2
EDIS;
EALLOW;
GPAMUX1 = 0x5555;
GPADIR = 0xC00;
EDIS;
startSimDsp();
installInterruptVec(-2,7,&cgMain);
TIMER2PRD = 0xc8; // 32-bit Timer Period Low
TIMER2PRDH = 0x0; // 32-bit Timer Period High
TIMER2TCR |= 0x4020; //Interrupt enable, Timer Reset
EALLOW;
PIECTRL = 1; // Enable PIE Interrupts
EDIS;
IER |= 0x2000; //CPU Interrupt enable
resetInterrupts();
disable_interrupts(); // Disable interrupts until PC handshake complete
TBCTL1 = 0x32; // Start timer
TBCTL2 = 0x32; // Start timer
TBCTL3 = 0x32; // Start timer
TBCTL4 = 0x32; // Start timer
EALLOW;
PCLKCRO |= 0x80000; // Start all PWM timers
EDIS;
dspWait();
}
```