

SIMULAREA SISTEMELOR DE ACȚIONARE ELECTRICĂ DESTINATE VEHICULELOR INTELIGENTE DE TRANSPORT URBAN

CS II dr. ing. Marcel NICOLA, CS III dr. ing. Dumitru SACERDOȚIANU

INCDIE-ICMET, Craiova, România

REZUMAT. În acest articol vom aborda controlul unei acționări electrice cu schimbări în cuplu și viteză, în care strategia de control este de tip vectorial. Au fost realizate simulări în mediul MATLAB/Simulink și au fost evidențiate atât caracteristicile obținute prin simulare comparativ cu cele din paginile de catalog ale elementului de comutație de bază de tip IGBT, cât și structurile de control și regulatoarele pentru o aplicație de acționare a unui motor asincron.

Cuvinte cheie: control, acționare electrică, control vectorial.

ABSTRACT. In this article we will tackle the control of electric drive with rapid changes in torque and speed, where the control strategy is vectorial type. Simulations were carried out in MATLAB/Simulink environment, highlighting both characteristics obtained by simulation compared to those of data sheet for the switching basic element IGBT, and also the control structures and regulators for an application of an asynchronous motor drive.

Keywords: control, electric drives, vectorial control.

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea sistemelor de acționare electrică a înregistrat în ultimii ani o dinamică deosebită, corelată atât cu progresele tehnologice în domeniul producerii elementelor semiconductoare de comutație cât și cu noile topologii ale schemelor de acționare. Acționările electrice sunt echipamente complexe menite să asigure alimentarea și comanda optimală a elementelor de execuție din cadrul proceselor tehnologice [1-3].

În domeniul tracțiunii electrice din zona urbană, în care se poate încadra aplicația de acționare din acest articol, tendința generală se îndreaptă spre utilizarea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, datorită avantajelor pe care le are acest motor atât din punct de vedere constructiv cât și funcțional, alimentarea realizându-se din rețeaua de c.c. proprie.

Sistemele de acționare electrică destinate vehiculelor inteligente de transport urban, se caracterizează printr-un regim de funcționare cu dinamică ridicată dată de reducerea automată a vitezei dacă este sesizat un obstacol (vehicul), la apropierea de o intersecție semaforizată cu semafor pe culoarea roșie, șocuri reduse la franare etc.

Obținerea turației variabile în aceste aplicații, impune utilizarea convertizoarelor statice pentru alimentarea motoarelor electrice, și anume a convertizoarelor de frecvență.

Pentru a studia comportamentul sistemului convertizor de frecvență plus motor înainte de construirea propriu-zisă a convertizorului în etapa de proiectare se efectuează o serie de simulări numerice. Iterații de tipul trial and error sunt necesare pentru a evita greșelile grosiere de proiectare, dar și pentru a surprinde o serie de efecte și fenomene complexe, chiar dacă în mediu simulat, care să convergă către o finalitate pozitivă a întregului proiect. Un mediu de simulare deosebit de util dar și complex pentru o serie de aplicații, printre care și studiul sistemelor de acționare electrică este mediul MATLAB/Simulink [4,5].

S-au efectuat simulări în care au fost înglobate un convertizor cu strategia de conducere de tip vectorial și un motor de 45kW. Simulările au urmat linia de la simplu la complex, pornind de la simularea caracteristicilor de funcționare ale unui element de comutație de tip IGBT, pentru a pune în evidență atât elemente calitative cât și cantitative cu privire la comportarea dinamică globală. Datele tehnice ale Sistemului de acționare multimotor care conține Convertizoare statice de frecvență proiectate cu caracteristici tehnice superioare ce asigură reglarea turației unor motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit între zero și valoarea nominală sunt: Tensiunea de alimentare: $3 \times 400 \text{ Vac} / 50 \text{ Hz}$; Puterea nominală: $2 \times 55 \text{ kW}$; Puterea maximă: $1,5 \times P_N / 2 \text{ minute}$; Temperatura de funcționare: $-25^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}$; rezistență stator:

0,041 Ω; rezistență rotor: 0,050 Ω; inductanță stator/
rotor: 0,8 mH; inductanță mutuală: 20,7 mH.

2. SIMULAREA CARACTERISTICILOR DE FUNCȚIONARE ALE UNUI ELEMENT DE COMUȚAȚIE DE TIP IGBT

O schemă de bază implementată în Simulink pentru studiul IGBT-urilor, dar adaptată pentru aplicația noastră este prezentată în figura 2.1.

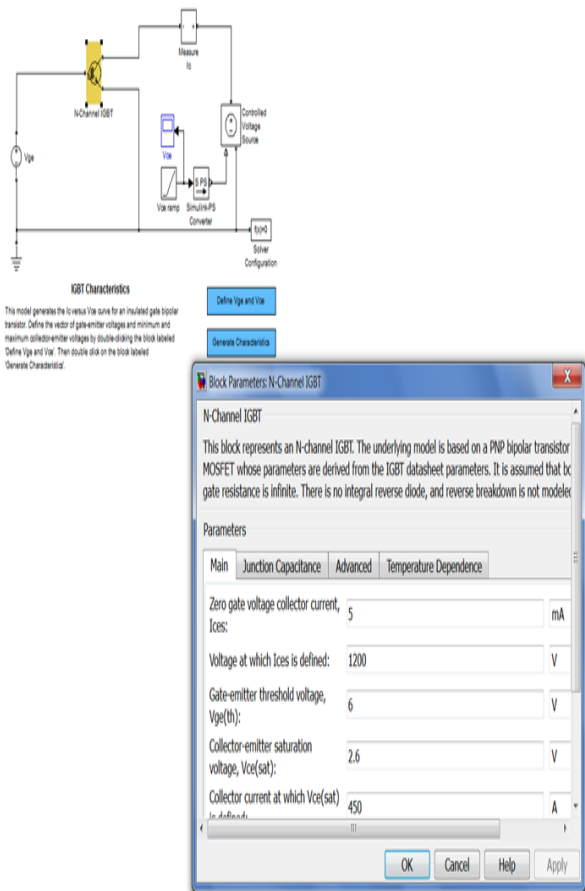


Fig. 2.1. Schema bloc Simulink pentru simulare și parametrizare IGBT.

Parametrizarea caracteristicilor de funcționare pentru un IGBT folosind mediul MATLAB este prezentată în figura 2.2.

Caracteristicile de funcționare la temperatura joncțiunii de 25°C și respectiv 125°C pentru diverse valori ale tensiunii de grilă-emitor pentru IGBT-urile din invertoarele de acționare sunt prezentate, folosind Simulink-ul, în figurile 2.3 și 2.4.

Se constată o bună concordanță între caracteristicile obținute prin simulare și cele date în catalogul firmei producătoare Infineon, fapt ce validează într-o primă aproximație simulările ulterioare care se bazează pe modelul IGBT din Simulink.

```

%% Generate characteristics from the model

h_elec_igbt_thermal = figure;
ModelName = get_param(gcb,'Parent');

% Define test ranges to match those for datasheet data
Vge_vec = [9 11 13 15 17 19]; % Vector of gate-emitter voltages
Vce_min = 0; % Minimum collector-emitter voltage
Vce_max = 5; % Maximum collector-emitter voltage
Ic_max = 1200; % Maximum collector current for plotting

% Generate results at 25 degrees Centigrade
T = 25;
clear Ic_mat Vce_vec
for i=1:length(Vge_vec)
    Vge = Vge_vec(i);
    sim(ModelName,t_sim)
    Ic_mat(:,i) = Ic.signals.values; %#ok
    Vce_vec = Vce.signals.values;
end

plot(Vce_vec,Ic_mat'); hold on
axis([0 6 0 Ic_max])
xlabel('Vce (V)')
ylabel('Ic (A)')
%title(['T = ' num2str(T) ' deg C'])
legend_info = cell(size(Vge_vec));
for i=1:length(Vge_vec), legend_info(i) = ['Vge=' num2str(Vge_vec(i)) 'V']; end
legend(legend_info)
grid
    
```

Fig. 2.2. Parametrizare caracteristici de funcționare ale unui IGBT, în Matlab.

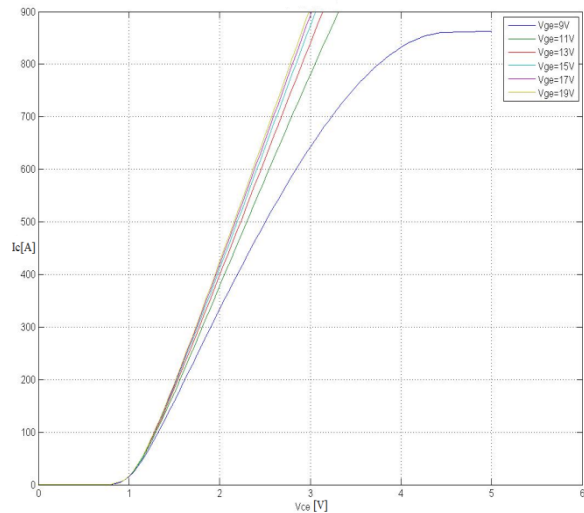


Fig. 2.3. Caracteristici de funcționare IGBT-uri din invertorul principal la 25 °C, simulare Simulink.

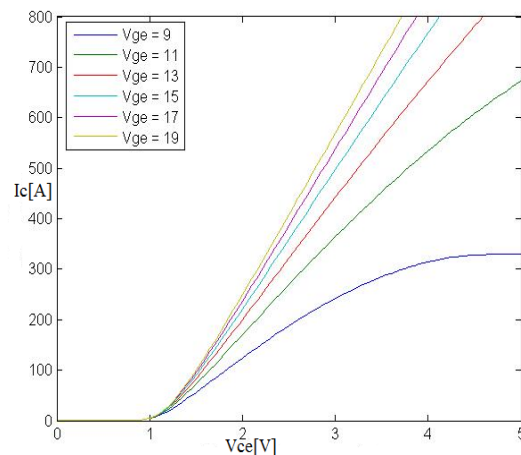


Fig. 2.4. Caracteristici de funcționare IGBT-uri din invertorul principal la 125 °C, simulare Simulink.

3. SIMULAREA CARACTERISTICILOR DE FUNCȚIONARE ALE ANSAMBLULUI MOTOR-CONVERTIZOR

În simulările următoare se va urmări comportamentul în timp al ansamblului convertizor plus motor prin mărimile: tensiunea la ieșirea inverterului, curenți statorici, viteza rotorului și cuplu.

Modelul din figura 3.1 se apropie de sistemul real al unui sistem de acționare electric cu un motor care este alimentat prin intermediul unui convertizor de frecvență.

În cazul de față, convertizorul de frecvență va alimenta un motor de 45kW, cu caracteristicile:

- putere: 45 kW;
- frecvență: 50 Hz;
- turație nominală: 1470 rpm;
- tensiune: 400 V;
- curent: 84 A;
- factor de putere: 0,88;
- rezistență stator: 0,041 Ω;
- rezistență rotor: 0,050 Ω;
- inductanță stator/rotor: 0,8 mH;
- inductanță mutuală: 20,7 mH.

Schema generală de control vectorial este prezentată în figura 3.2, iar parametrizarea motrului în figura 3.3.

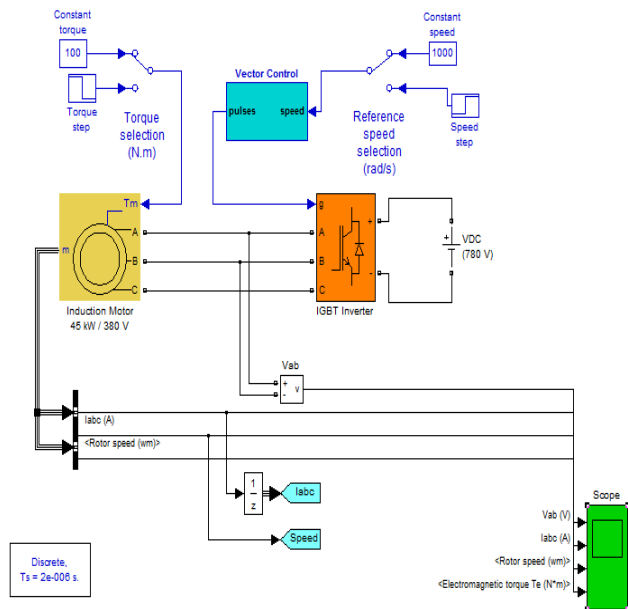


Fig. 3.1. Schema block Simulink pentru simulare convertizor plus motor.

Acordările reguletoarelor de tip PI s-au făcut pornind de la parametrii și modelele discrete implementate în Simulink (figura 3.4). Discretizarea

modelului continuu (descriș în variabila complexă s) pentru un regulator PI se face cu substituția Tustin:

$$s = \frac{z-1}{Tz+1} \quad (3.1)$$

în care T este perioada de eșantionare, iar z este variabila complexă care caracterizează sistemul discretizat.

Forma continuă clasică în domeniul s a regulatorului PI este:

$$H(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (3.2)$$

și de aici avem echivalența cu implementarea din Simulink:

$$K_p = K_R, K_i = \frac{K_R}{T_i} \quad (3.3)$$

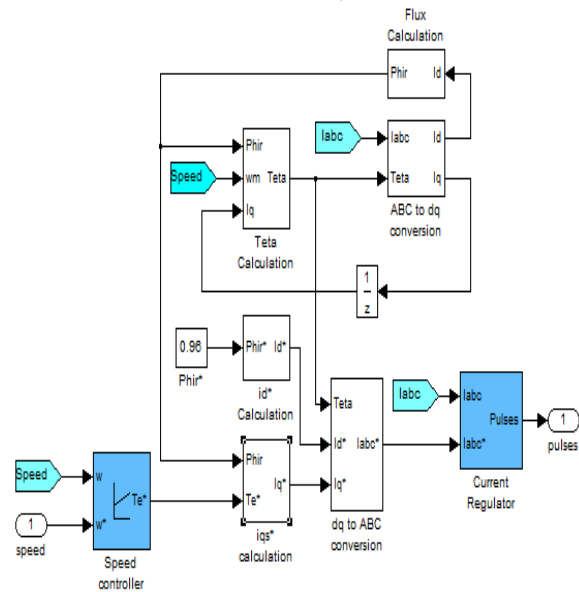


Fig. 3.2. Schema generală de control vectorial.

Configuration	Parameters	Advanced	Load Flow
Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]			
[51136, 400, 50]			
Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]:			
[0.041 0.8e-3]			
Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:			
[0.050 0.8e-3]			
Mutual inductance Lm (H):			
20.7e-3			
Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:			
[1 0.1 2]			

Fig. 3.3. Parametrizare motor.

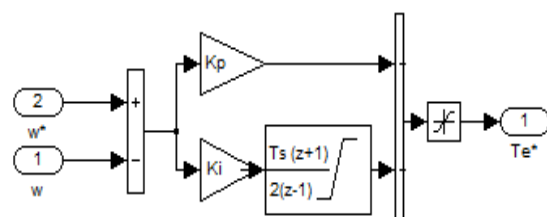


Fig. 3.4. Implementarea discretă în Simulink a regulatorului PI.

Parametrii care au fost variați au fost: pentru regulatorul de viteză K_p și K_i , iar pentru regulatorul de curent banda de histerezis.

Pentru vizualizare se folosesc elemente de măsură și afișoare specifice mediului Simulink, pentru a surprinde fenomenele de interes din modelele simulate.

Rezultatele simulărilor pentru referința de viteză impusă sunt prezentate în figurile 3.5 și 3.6, iar pentru impunerea referințelor de viteză și cuplu, rezultatele simulărilor sunt prezentate în figura 3.7.

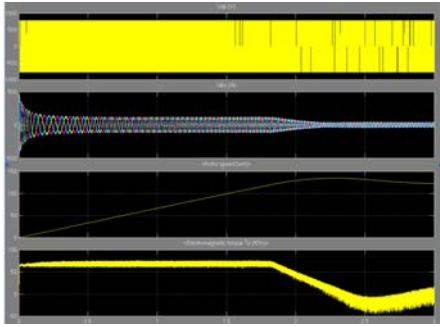


Fig. 3.5. Simulare model pentru $K_p = 13$, $K_i = 26$, $U_{cc} = 750V$, Banda hysterezis regulator curent = 20A, cu impunerea referinței de viteză.

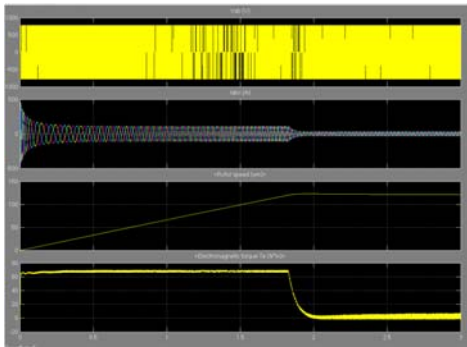


Fig. 3.6. Simulare model pentru $K_p = 13$, $K_i = 26$, $U_{cc} = 750V$, Banda hysterezis regulator curent = 3A, cu impunerea referinței de viteză.

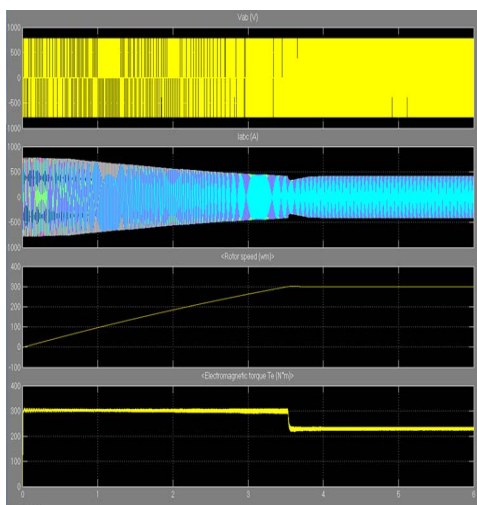


Fig. 3.7. Simulare model pentru $K_p = 100$, $K_i = 200$, $U_{cc} = 750V$, Banda hysterezis regulator curent = 20A, cu impunerea referinței de viteză și cuplu.

În urma unui număr relativ mare de simulări se poate realiza acordarea optimă a reguletoarelor pentru a obține evoluții în timp satisfăcătoare ale principalelor mărimi de interes ale acționării: viteza și cuplul.

Se observă timpi de răspuns și suprareglaje mici, iar în cazul unei impunerii concomitente pentru viteză și cuplu furnizat, acțiunea reguletoarelor trebuie să fie mai promptă prin setarea corespunzătoare a parametrilor de acordare.

Este evident că acordarea reguletoarelor din DSP va fi puțin diferită de cea obținută prin simulare, datorită faptului că simulările nu pot surprinde absolut toate modurile și dinamicile din realitate, dar tabloul calitativ se păstrează cu siguranță, iar rezultatele bune obținute în simulări și implementarea unor algoritmi în DSP care urmează linia celor din Simulink constituie garanția că și modelul real va funcționa cu rezultate bune.

5. CONCLUZII

În acest articol a fost abordat controlul unei acționări electrice cu schimbări în cuplu și viteză, în care strategia de control este de tip vectorial.

Au fost realizate simulări în mediul MATLAB/Simulink și au fost evidențiate atât caracteristicile obținute prin simulare comparativ cu cele din paginile de catalog ale elementului de comutație de bază de tip IGBT, cât și structurile de control și reguletoarele pentru o aplicație de acționare a unui motor asincron.

În lucrările viitoare apare în mod natural problema abordării unor strategii de control vectoriale mai complexe (de exemplu strategia de tip FOC-Field Oriented Control), și abordarea controlului multimotor.

În toate aceste abordări este evident rolul mediului de simulare care permite surprinderea cu o bună precizie a fenomenelor, dar cu riscuri și costuri minime.

MULȚUMIRI

Această lucrare a fost realizată în cadrul programului Parteneriate, axa prioritară - PN II, dezvoltată cu suportul MEN - UEFISCDI, proiect nr. PN-II-PT-PCCA-2013-4-0157.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Gelen, A.L., Ayasun, S., *Realization of power electronic converter based DC motor speed control methods using MATLAB/Simulink*. Int. Journal on Engineering Education, Vol. 25, No. 1, pp. 33-41, 2009.

- [2] Mohan, N., et al, *Restructuring of first courses in power electronics and electric drives that integrates digital control*. IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 18, No. 1, pp. 429-437, Jan. 2003R.
- [3] Mohammed, O.A., Abed, N.Y., Ganu, S.C., *Real-time simulations of electrical machine drives with hardware-in-the-loop*. in Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-6, 2007.
- [4] Oleschuk, V., Grandi, G., *Algorithms, schemes and techniques of space-vector modulation for dual-inverter systems with symmetrical multilevel phase voltage*. International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), vol. 5, no. 5, pp. 1877-1866, 2012.
- [5] Rodriguez, J., Cortes, P., *Predictive control of power converters and electrical drives*. John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2012.

Despre autori

Dr. ing. **Marcel NICOLA** și Dr. ing. **Dumitru SACERDOȚIANU**
INCDIE-ICMET Craiova, România

Sunt membri ai laboratorului de monitorizări echipamente electrice din cadrul INCDIE-ICMET Craiova. Împreună desfășoară activități specifice în cadrul a numeroase proiecte de cercetare-dezvoltare.