

## Capitolul 6: Controlul dispozitivelor cuplate la rețeaua de curent alternativ

Dispozitivele cuplate la rețeaua de curent alternativ pot fi comandate cu microcontrollere în principal în două feluri:

- ON-OFF prin intermediul releelor;
- Cu componente semiconductoare- tiristori, triacuri, IGBT pentru comanda cu tensiune variabilă.

Dacă este relativ simplu ca o sarcină să fie comandată cu un releu, este mai complicată comanda cu elemente semiconductoare. Acest capitol detaliază comanda consumatorilor cu triacuri, care este cel mai des întâlnită metodă de comandă. Aplicațiile de control la tensiunea rețelei implică câteva dificultăți specifice:

- Se lucrează cu curenți și tensiuni mari, ceea ce solicită o atenție deosebită și măsuri de siguranță cum ar fi decuplări optice, gestionarea potențialelor de masă, izolarea galvanică a osciloscopului etc.;
- procesul controlat, mai ales în zonele tranzitorii este de regulă un proces complex;
- necesitatea aplicării în industrie duce la restricții de costuri, la necesitatea asigurării unor performanțe bune de fiabilitate, la asigurarea condițiilor de compatibilitate electromagnetică etc.

### 6.1.Triacul

Triacul este un comutator bidirecțional care poate fi folosit în aplicații de curent alternativ. Triacul poate fi comandat printr-un terminal numit poartă (G Gate). În stare blocată triacul blochează trecerea curentului între terminalele principale A1 și A2. Un impuls sau un nivel de tensiune pe poartă comandă intrarea în conducție a triacului și curentul trece între A1 și A2. Blocarea triacului nu se poate face doar prin terminalul de poartă. Pentru blocare este necesar să nu existe tensiune pe poartă și curentul între A1 și A2 să scadă sub o anumită valoare (să treacă prin zero). Simbolul și caracteristica curent tensiune a triacului sunt date în figura 6.1.

Tensiunea de străpungere  $V_S$  este definită la curent de poartă zero. Crescând curentul de poartă scade tensiunea la care triacul intră în conducție. Polaritatea tensiunii de comandă nu trebuie să fie aceeași cu tensiunea pe triac, dar curentul de poartă diferă în funcție de curentul principal prin triac. Se consideră că triacul este cel mai ușor de comandat dacă sensul curentului de poartă este același cu cel principal. Amplitudinea impulsului de amorsare și curentul de poartă trebuie să depășească limitele solicitate în datele de catalog pentru modelul respectiv. Pentru a obține un timp de amorsare scurt și o disipare redusă de energie se recomandă să se aplice impulsuri de amorsare mai lungi. De regulă un microcontroller nu poate asigura curentul necesar amorsării unui triac.

În majoritatea aplicațiilor se folosește un grup RC serie în paralel cu triacul. Grupul RC acționează în sensul eliminării supratensiunilor care ar putea produce autoamorsarea (tensiune între A1 și A2 mai mare decât  $V_S$ ).

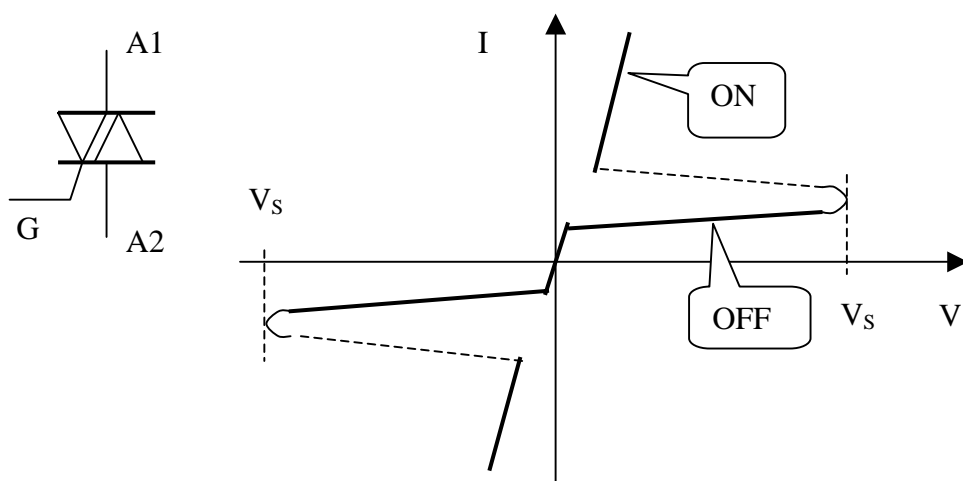


Figura 6.1: Triacul - simbol (stânga) și caracteristica curent tensiune (dreapta)

Prezența grupului RC este indispensabilă în cazul sarcinilor inductive, la care ieșirea din conducție a triacului se poate produce în apropierea maximului unei alternanțe a tensiunii de alimentare. Valorile R și C sunt date de regulă în foile de catalog ale triacului.

### 6.1.1. Comanda digitală a triacului

Cel mai simplu mod de utilizare este prin alimentarea directă de la rețea [1], figura 6.2.

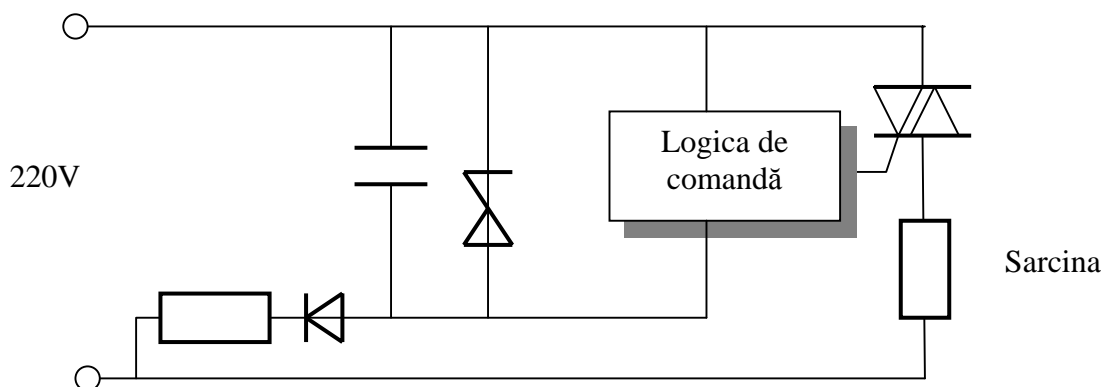


Figura 6.2: Schema electrică a unui etaj de comandă cu triac alimentat direct de la rețea

Tensiunea rețelei este redresată monoalternanță și filtrată. Alternanța pozitivă este aplicată diodei Zener și alimentează partea digitală. Curentul de alimentare poate fi mărit prin modificarea valorii rezistorului serie dar, în această schemă curentul nu poate fi prea mare deoarece crește disipația pe rezistența serie.

Pentru variantele de comandă mai complexe se recomandă separarea galvanică a circuitului digital de comandă de triac, deci de partea de rețea. Izolarea poate fi realizată prin transformator, optocuplor sau optotriac. Cea mai elegantă soluție este folosirea unui optotriac care asigură un curent de amorsare de același sens cu cel principal, deci o comandă optimă a triacului. O schemă de comandă a unui triac cu optotriacul MOC302X este dată în figura 6.3.

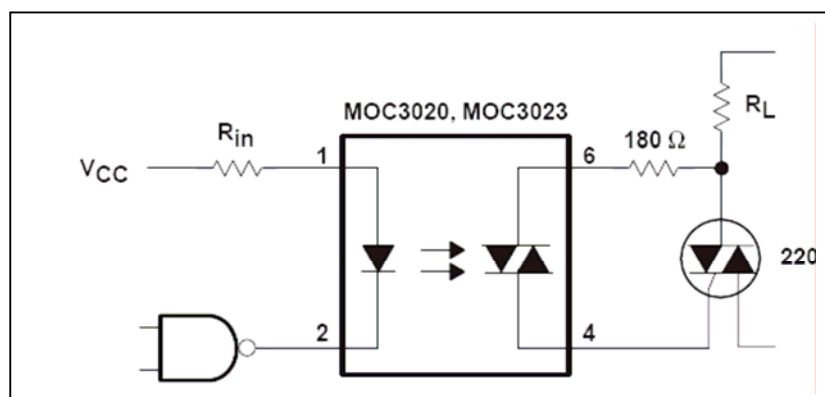


Figura 6.3: Comanda digitală a triacului cu optotriac

Curentul principal prin optotriac se obține prin divizarea curentului principal prin triac, deci curentul de amorsare pentru triac are același sens cu cel principal. Optotriacul este conceput ca etajul de ieșire să poată fi folosit la 220V (tensiunea maximă 400V). Rezistența de izolație optică este de 7,5kV. Curentul repetitiv maxim generat de optotriac este 100mA, iar curentul nerepetitiv (maximum 10ms, o alternanță) este de 1,2A.

### 6.1.2. Comanda în fază

Se poate obține o valoare efectivă variabilă a tensiunii pe sarcină prin amorsarea triacului după un anumit timp de la trecerea sinusoidei rețelei prin zero, adică cu un anumit unghi de fază. Pentru a demonstra funcționarea triacului în acest mod a fost realizat un model Simulink, figura 6.4.

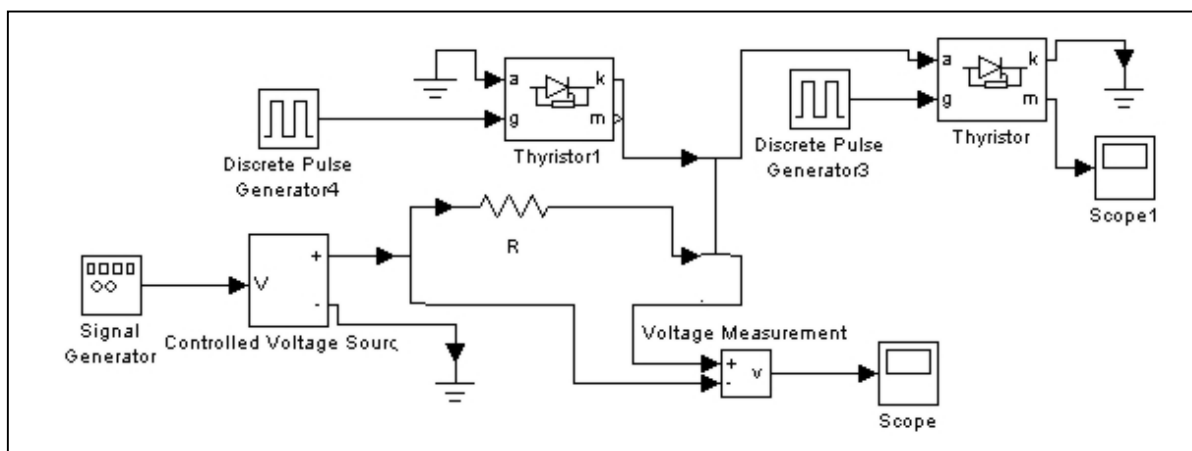


Figura 6.4: Model Simulink al comenzii în fază

Triacul a fost modelat cu doi tiristori în antiparalel. Impulsurile de comandă de amorsare au fost generate cu un generator de impulsuri și arată ca în figura 6.5 sus.

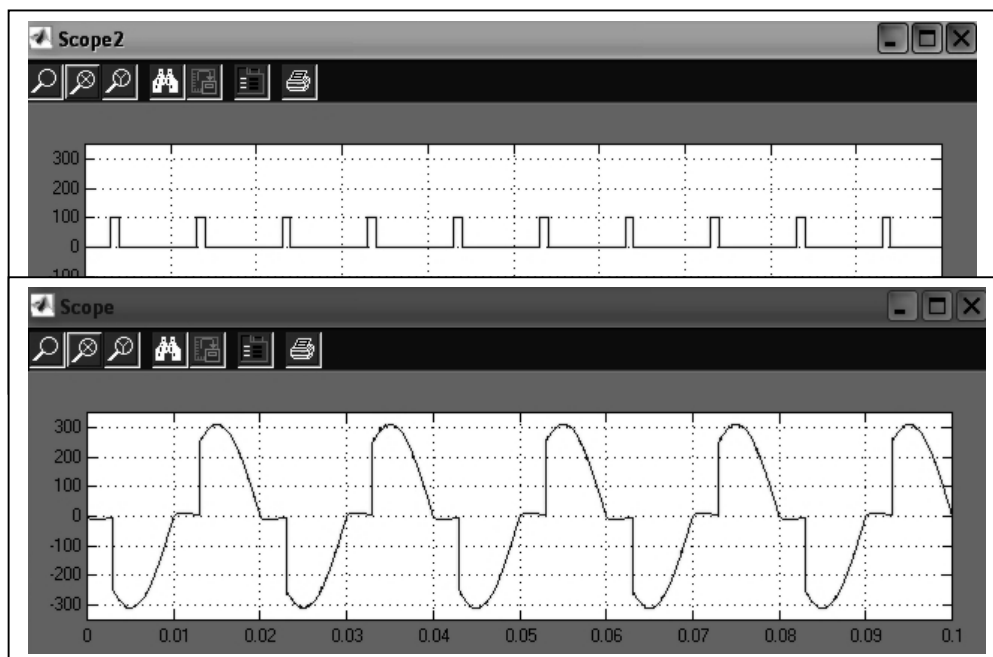


Figura 6.5: Impulsuri de amorsare (sus) și forma tensiunii pe sarcină (jos)

Până triacul este blocat tensiunea pe sarcină este zero, ceea ce micșorează valoarea efectivă a tensiunii, figura 6.5 jos. Cu cât unghiul de aprindere este mai mare cu atât valoarea efectivă a tensiunii este mai mică. Curentul prin unul din tiristoarele care compun triacul și tensiunea pe triac sunt reprezentate în figura 6.6.

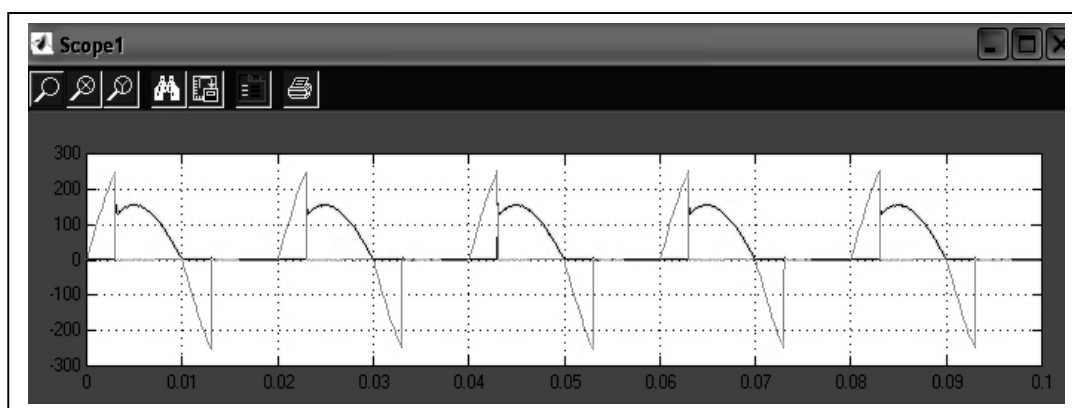


Figura 6.6: Tensiunea pe triac (linia gri) și curentul prin unul din tiristoare (linia neagră)

Prin triac curentul are și alternanța negativă. Simularea a fost realizată în cazul unei sarcini rezistive. Dacă sarcina are și componente inductive și capacitive atunci apar probleme datorită defazajului între curent și tensiune. De exemplu, în figura 6.7,  $R=100\Omega$ ,  $L=20\text{mH}$ ,  $C=100\mu\text{F}$  se poate observa deformarea formei tensiunii pe sarcină. Pentru alte valori ale inductivității și

capacității se poate întâmpla ca triacul să nu intre în conducție, să nu se blocheze sau tensiunea să fie puternic deformată.

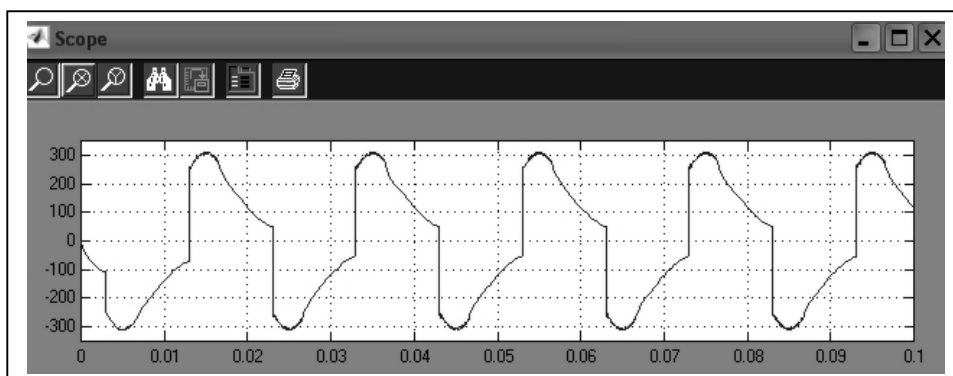


Figura 6.7: Deformarea tensiunii pe sarcina RLC

### 6.1.3. Detectarea trecerii tensiunii prin zero

Pentru comanda în fază este nevoie ca microcontrollerul să fie informat printr-o întrerupere la trecerea tensiunii rețelei prin zero. Problemele care apar în acest caz sunt că detectarea trecerii prin zero se face cu o anumită întârziere și după detectarea trecerii prin zero microcontrollerul execută o rutină de generare a unui impuls de amorsare. Ambele aspecte duc la o întârziere de amorsare a triacului. Pentru a determina întârzierea admisibilă se poate calcula valoarea efectivă a tensiunii în cazul unui unghi de amorsare a triacului de  $\pi/4$ , figura 6.8, cu relația:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{(220\sqrt{2})^2}{2\pi} \cdot 2 \int_{\pi/4}^{\pi} \sin^2 \alpha d\alpha}$$

Efectuând calculele rezultă o valoare efectivă de 209,73V, ceea ce este acceptabil.

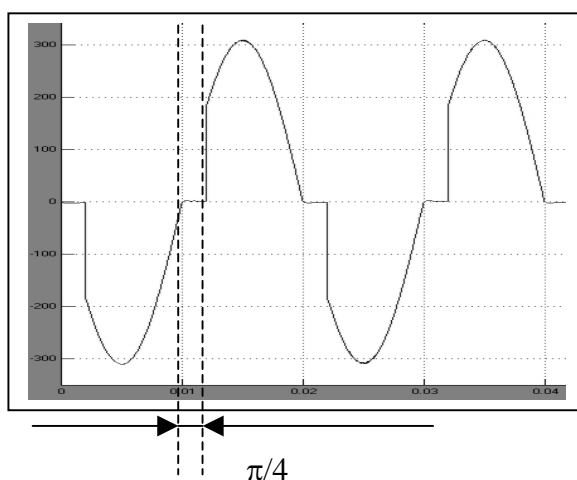


Figura 6.8: Explicativă la amorsarea cu întârziere a triacului

Această întârziere permite o eroare maximă teoretică de detectare a trecerii prin zero de 25% sau rularea unui număr de instrucțiuni în perioada de 2,5ms, adică sute de instrucțiuni. De exemplu, la un microcontroller RISC care execută multe instrucțiuni într-un singur tact, cu tact de 1MHz, se pot executa o mie de instrucțiuni într-o ms. Pentru a putea asigura o valoare efectivă cât mai mare întârzierea detectării trecerii prin zero trebuie să fie cât mai mică.

Detectarea trecerii prin zero poate fi realizată prin mai multe metode:

- Măsurarea tensiunii rețelei cu un canal de conversie A/D, tensiunea rețelei fiind preluată cu redresare și fără separare galvanică;
- Același mod de preluare dar cu separare galvanică cu transformator (apare un defazaj de care trebuie ținut cont) sau optică (apare o neliniaritate care introduce o întârziere în amorsarea triacului);
- Preluarea tensiunii cu blocul comparator analogic al microcontrollerului cu sau fără separare galvanică.

În figura 6.9 este prezentată o variantă de detectare a trecerii prin zero cu decuplare optică (stânga sus).

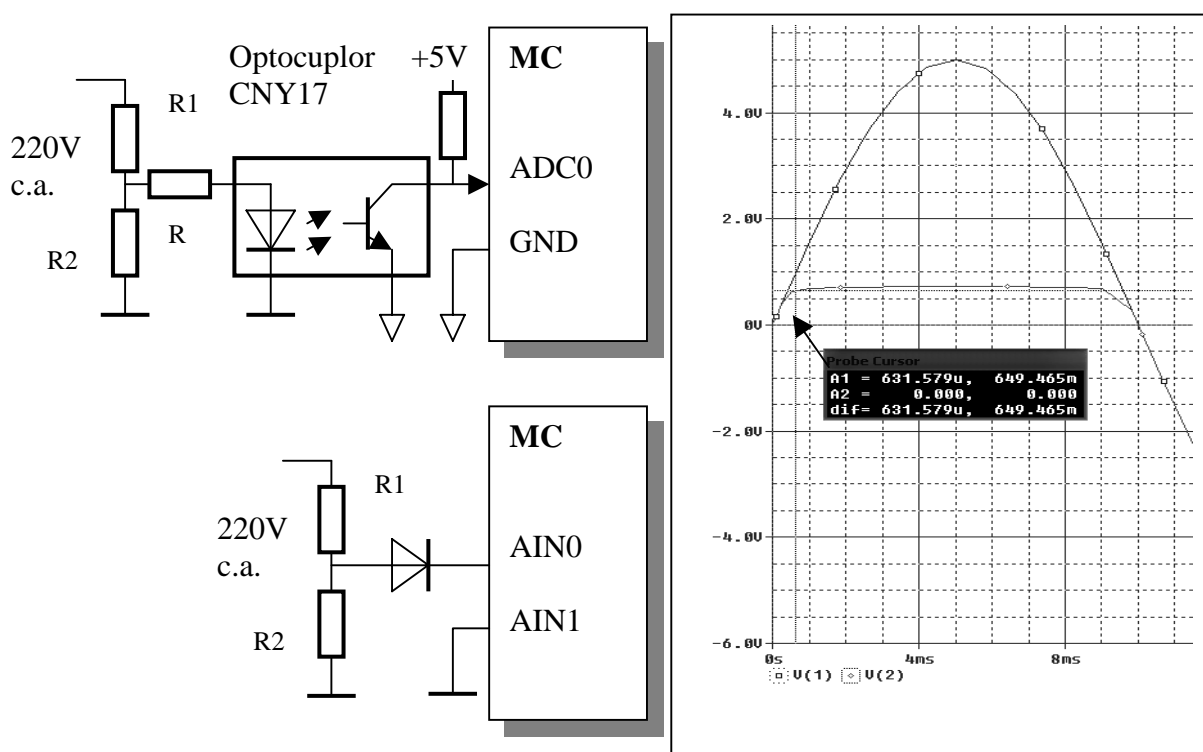


Figura 6.9: Variantă pentru schema de detectare a trecerii prin zero și simulare SPICE

Divizorul rezistiv cu R1 și R2 asigură la intrarea optocuplorului o tensiune de  $10V_{VV}$ , pentru ca în alternanța negativă tensiunea inversă pe dioda LED să fie mai mică decât valoarea admisibilă (6V la CNY17). Rezistorul R limitează curentul prin LED la valoarea maximă admisibilă (60mA). O simulare SPICE (dreapta) arată că întârzierea introdusă de neliniaritatea

diodei LED este de 630 $\mu$ s, ceea ce este admisibil. Această variantă asigură detectarea trecerii prin zero pentru alternanța pozitivă. Pentru alternanța negativă se poate deduce că trecerea prin zero va fi după timpul de 10ms sau, prin redresarea bialternanță a tensiunii rețelei se pot detecta trecerile prin zero la fiecare alternanță. În stânga jos este prezentată o variantă fără decuplare optică. În varianta prezentată în stânga sus microcontrollerul detectează trecerea prin zero cu un canal de conversie AD. O altă variantă (stânga jos) este prin folosirea comparatorului analogic (ATMEL RISC, Atmega8, Atmega16, AT90xx). Comparatorul analogic compară valorile de intrare de pe pinul pozitiv (AIN0) cu valorile de pe pinul negativ AIN1. Când tensiunea de pe pinul pozitiv AIN0 este mai mare decât tensiunea de pe pinul negativ AIN1, bitul ACO al comparatorului este setat. Ieșirea comparatorului poate fi setată astfel încât să declanșeze funcția “Input Capture” a unui timer, astfel se poate genera întârzierea necesară înainte de generarea impulsului de amorțire a triacului. În plus comparatorul poate declanșa o întrerupere. Utilizatorul poate selecta declanșarea întreruperii pe frontul crescător sau descrescător. Este posibil să se selecteze oricare dintre pinii ADC7-0 (intrare analogică pentru convertorul ADC) pentru a înlocui intrarea negativă a comparatorului. Pentru a utiliza această opțiune se utilizează multiplexorul ADC (ADC trebuie să fie oprit).

## **6.2. Pornirea motoarelor asincrone asistată de microcontrollere**

Acest proiect a fost realizat în colaborare cu firma Fujitsu. Proiectul a fost realizat și testat până în faza de model experimental. Dispozitivul propus constă într-un microcontroller Fujitsu din familia CONCERTO care comandă cuplarea condensatorului de pornire prin intermediul unui triac. Condensatorul de pornire este cuplat la pornirea motorului și decuplat atunci când curentul de pornire scade sub o anumită valoare de prag. În cursul proiectării s-a constatat că resursele microcontrollerului permit și preluarea de sarcini suplimentare de protecție. Astfel s-a conceput un sistem de protecție la avarie, care intră în funcțiune dacă motorul nu pornește din cauza unui defect intern sau a unei suprasarcini. Dacă curentul de pornire nu scade într-un anumit interval de timp sub valoarea de prag motorul este decuplat de la tensiunea de alimentare. O protecție la supraîncălzire decuplează motorul de la alimentare dacă temperatura măsurată cu un termistor pe carcasa motorului depășește o anumită valoare.

Simularea pornirii motorului și măsurările de curent executate au pus în evidență curenți mari la pornire, de 10-20 ori mai mari decât curentul nominal în lipsa sarcinii și curenți și mai mari la pornirea motorului cu sarcină. Aceasta înseamnă că triacul trebuie să conducă curenți de ordinul a 100A, deci este nevoie de un triac scump. Pentru a evita acest lucru s-a adoptat metoda de soft start (sau slow start) care înseamnă comanda triacului în fază cu un unghi descrescător în timp pentru a realiza un curent crescător.

Probleme dificile au fost rezolvate la comanda în fază a triacului, la alimentarea microcontrollerului și la traductorul de curent.

Varianta clasică de pornire a motoarelor asincrone monofazate este data în figura 6.10.

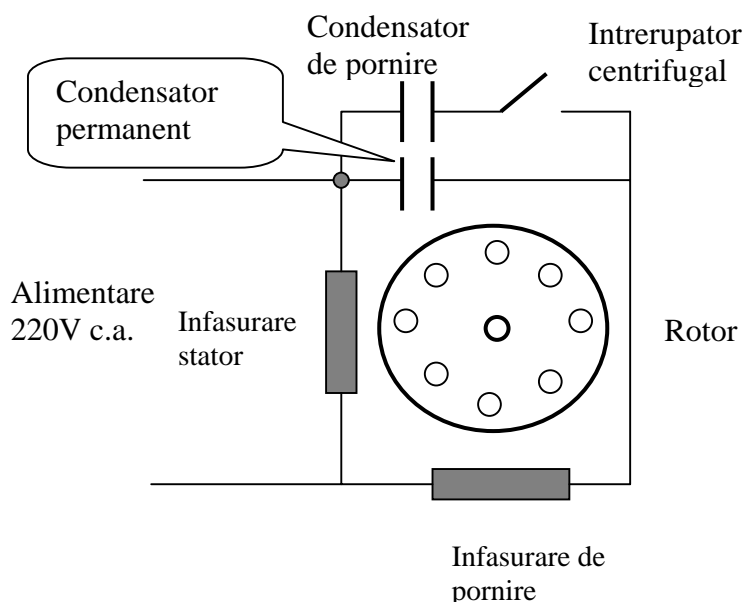


Figura 6.10: Pornirea motorului asincron

Un capacitor de pornire și o înfășurare de pornire asigură pornirea motorului la punerea sub tensiune. Acest mod de pornire rezultă din principiul de funcționare al motorului asincron. În soluțiile clasice condensatorul de pornire este decuplat cu un întrerupător centrifugal atunci când turația motorului atinge o valoare de prag (75% din turația nominală). La unele motoare asincrone nu se folosește întrerupătorul centrifugal de decuplare a condensatorului ci un releu de curent care decuplează condensatorul atunci când curentul prin înfășurarea de pornire scade sub o anumită valoare.

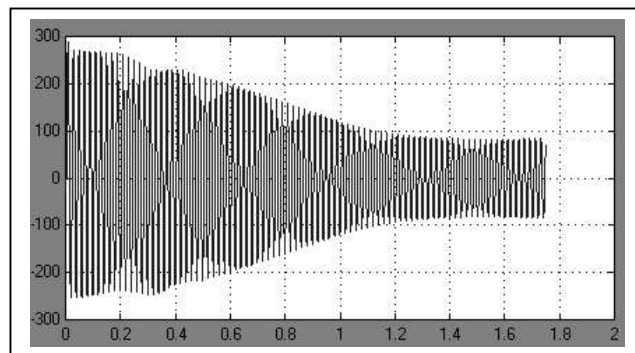
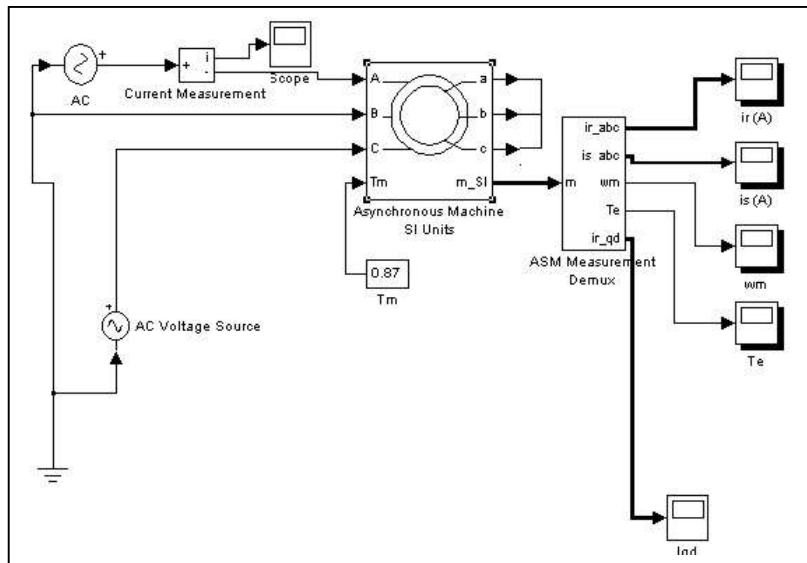
Dezavantajele soluțiilor actuale:

- la decuplare curentul mare afectează contactele releului (decuplarea poate surveni în orice punct al sinusoidei rețelei)
- dacă motorul nu pornește din anumite motive (de exemplu o sarcină excesivă) înfășurarea de pornire rămâne cuplată tot timpul și pune în pericol integritatea motorului

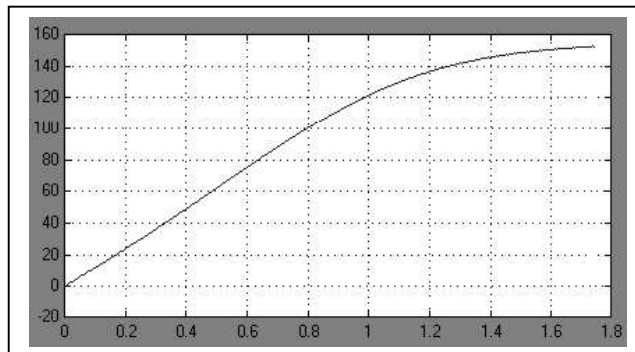
În mediul MATLAB Simulink a fost realizată o simulare simplă a curentului absorbit de un motor asincron la pornire pentru a putea evalua performanțele necesare pentru triacul de conectare/ deconectare a condensatorului de pornire. Modelul folosit este prezentat în figura 6.11, urmat de o diagramă a curentului absorbit la pornire împreună cu o diagramă a turației la pornire, fără sarcină. Se observă un curent de pornire de 3 ori mai mare decât cel nominal.

Simulări mai exacte sunt prezentate în [2] și se confirmă un curent de pornire de câteva ori mai mare decât curentul nominal.





Curentul absorbit  
(simulare 1,8s de la  
pornire)



Turația

Figura 6.11: Modelarea Simulink, diagrama curentului absorbit și diagrama turației la pornire

După simularea curentului absorbit s-a trecut la măsurarea curentului. Pentru aceasta s-a utilizat sistemul de dezvoltare Concerto de la Fujitsu și s-au achiziționat datele cu convertorul A/D din structura microcontrollerului. Ca traductor de curent a fost folosit un traductor Hall. Datele achiziționate au fost trimise prin interfața serială RS232 la un calculator gazdă PC și au fost prelucrate în Excel. Un grafic al valorilor achiziționate pentru un motor de 2,2kW este dat în figura 6.12.

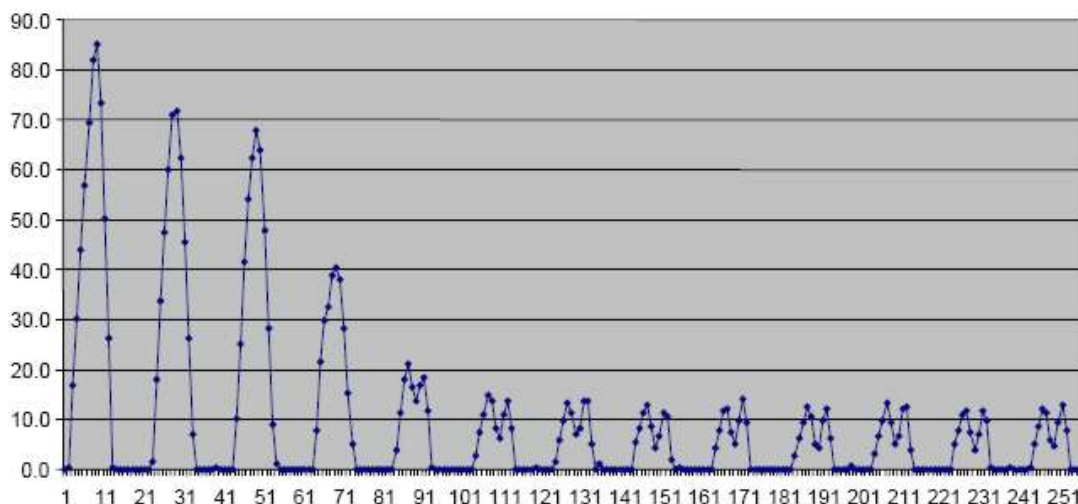


Figura 6.12: Curentul de pornire măsurat

Pe abscisă este reprezentat timpul în ms iar pe ordonată curentul în A. Măsurarea s-a efectuat doar pentru alternanța pozitivă pentru a simplifica circuitul de măsurare, considerând că pentru alternanța negativă fenomenul de descreștere a curentului este simetric. Se vede din acest grafic că la pornire curentul este de 9 ori mai mare decât cel nominal.

În urma simulărilor și a măsurării curentului de pornire a fost realizată schema bloc a sistemului de pornire care este data în figura 6.13. Microcontrollerul măsoară tensiunea aplicată prin intermediul divizorului rezistiv R1 și R2 pentru a determina trecerea prin zero. De asemenea este măsurat și curentul de pornire care trece prin condensatorul și înfășurarea de pornire.

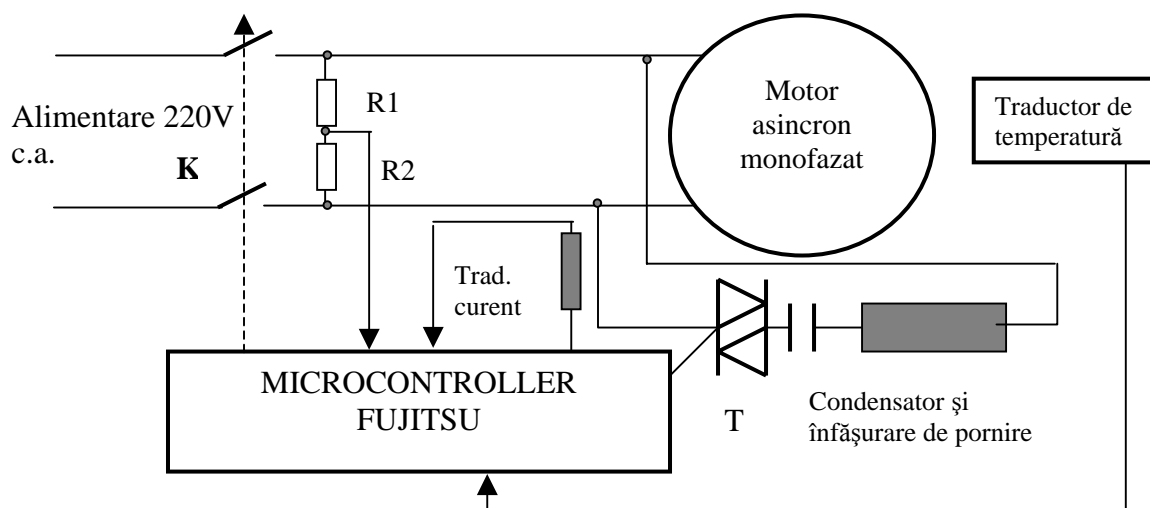


Figura 6.13: Schema bloc a sistemului de pornire și protecție a motorului asincron

La momentul pornirii motorului se comandă triacul T cu un unghi de aprindere mare, și care scade apoi repede la zero (timp de sub 0,5s) realizând soft startul. O scădere prea rapidă a unghiului dă naștere unui curent prea mare în triac iar o scădere prea lentă face ca motorul să nu pornească pentru că nu poate fi asigurat cuplul de pornire necesar. Curentul de pornire este monitorizat tot timpul și după scăderea lui sub un anumit prag triacul este decuplat. Dacă

curentul nu scade sub valoarea de prag în 3s se consideră că este îndeplinită condiția de avarie și comutatorul K este deschis. După pornirea motorului se măsoară temperatura carcasei la intervale de timp constante și comutatorul K se deschide dacă temperatura crește peste o anumită limită.

Sistemul de dezvoltare cu care a fost realizată aplicația a fost sistemul Concerto care conține un microcontroller Fujitsu pe 8 biți din familia F<sup>2</sup>MC-8FX (Basoon). Aceste microcontrollere conțin 71 de linii de I/O, 7 canale timer, 12 linii de conversie A/D, 12 linii de întrerupere externă. Mediul de dezvoltare a părții software a fost Softune Workbench pus la dispoziție de Fujitsu care conține: compilator ANSI C, macro asamblor, editor de legături, simulator, emulator, verificador C, analizor C.

O fotografie cu modulele experimentale este dată în figura 6.14.

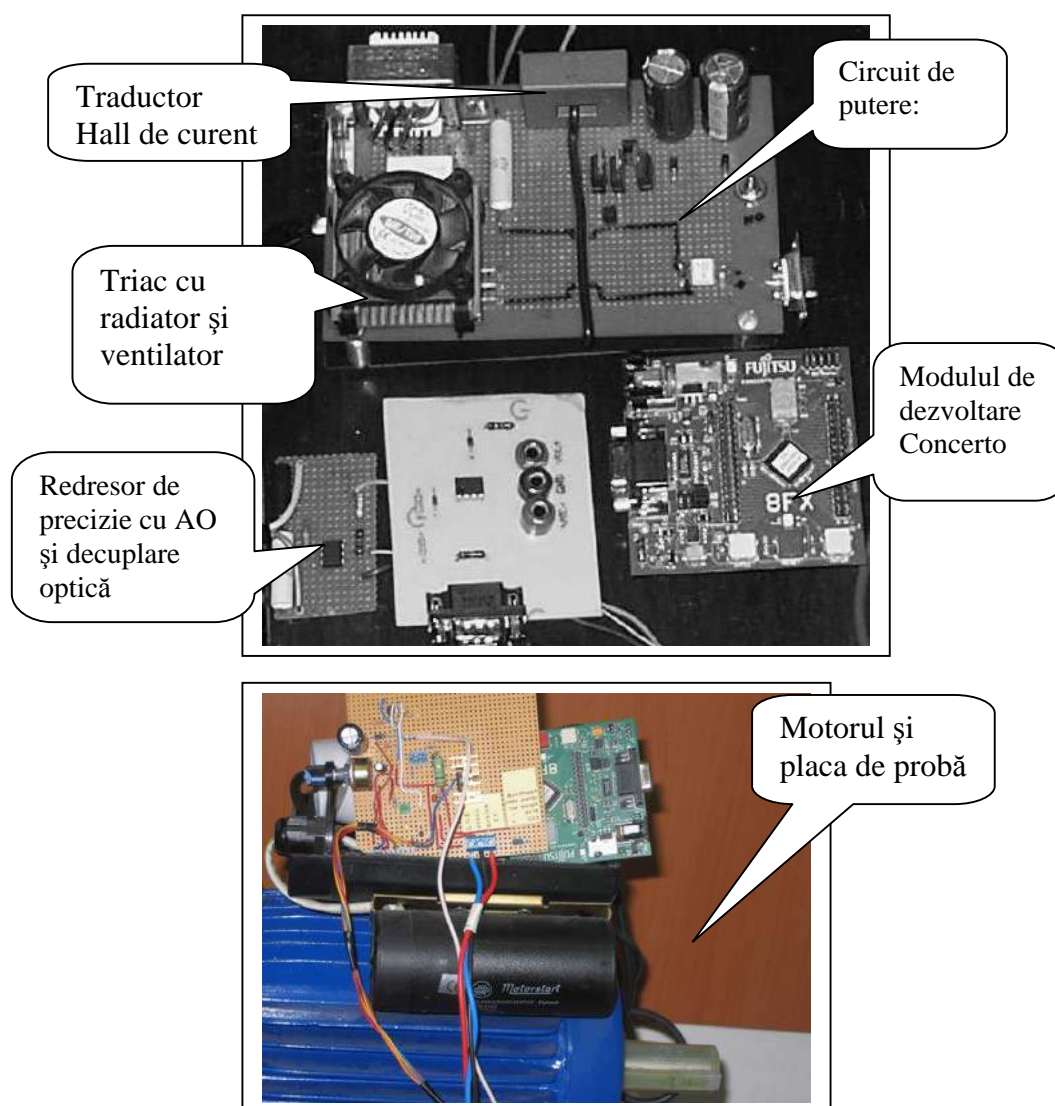


Figura 6.14: Modulele folosite la experimentare

Traductorul de curent folosit a fost un traductor cu efect Hall de tip LEM LA100P care are un factor de divizare de 2000:1. Măsurarea curentului se face fără întreruperea circuitului, conductorul prin care trece curentul intră într-un orificiu al traductorului Hall. Traductorul este alimentat cu tensiuni continue de + și -12V, și ieșirea este bipolară. De aceea pentru a putea conecta intrarea unui convertor A/D la ieșirea traductorului Hall este nevoie de o redresare. Pentru ca precizia unui redresor cu diodă nu este suficientă s-a folosit o redresare de precizie cu amplificator operațional fără prag. Acest traductor a fost folosit la măsurarea curentului cu precizie, dar este un traductor scump așa încât se recomandă ca în producția de serie să fie înlocuit cu o spirală înfășurată pe conductorul parcurs de curent sau cu un transformator de măsură.

Separarea galvanică a fost realizată pentru încercările în laborator furnizând impulsurile de amorțire pentru triac prin intermediul unui optotriac MOC 3020. Pentru măsurarea tensiunii s-a folosit de asemenea decuplare optică cu optocuplor. Cel mai complicat a fost alegerea unui sistem de alimentare pentru microcontroller, de mici dimensiuni și ieftin. A fost ales un convertor AC-DC în comutație al firmei Rohm care este un circuit hibrid de mici dimensiuni care convertește direct tensiunea alternativă de 220V în tensiune continuă de 5V.

### 6.3. Dispozitiv de protecție la supratensiune și supracurent a consumatorilor

O statistică publicată în [6], figura 6.15 arată că din 9600 de defecte reclamate datorită distribuției de energie 26,6% se datorează supratensiunilor.

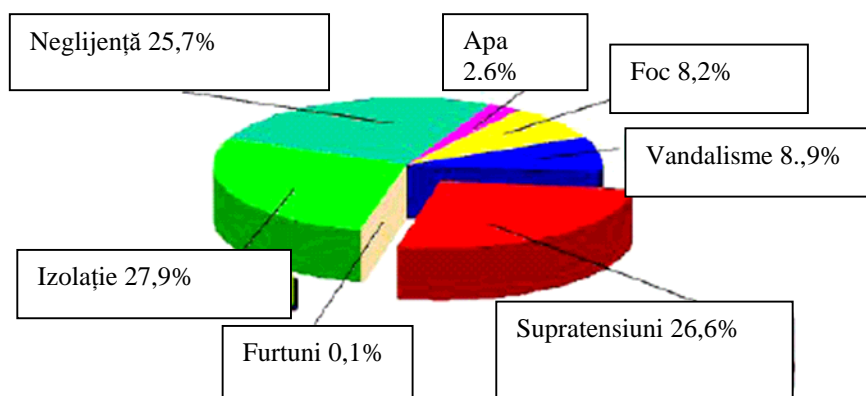


Figura 6.15: Distribuția avariilor instalațiilor electrice

Mai mult decât atât, supratensiunile și scurtcircuiturile sunt o cauză importantă a incendiilor. În anul 2009 într-un singur județ al României au avut loc 265 de incendii soldate cu 3 morți. Conform unui studiu citat în [7], cele mai multe incendii au avut ca și cauze probleme electrice.

Soluția actuală este utilizarea unei siguranțe pentru supratensiuni și a unei siguranțe pentru scurtcircuituri. Un sistem de protecție de la DEHN-SOHNE [8] este prezentat în figura 6.16.

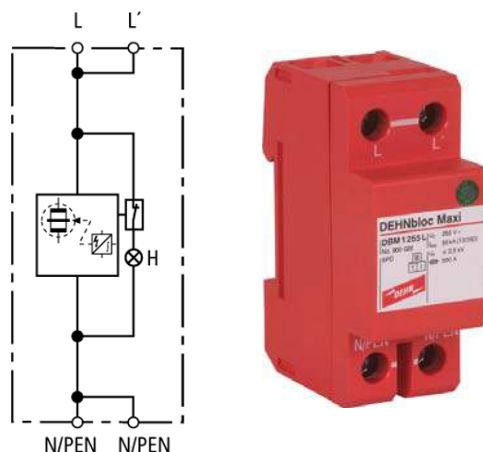


Figura 6.16: Schema electrică și dispozitivul de protecție DEHNBloc Maxi

Dispozitivul se încadrează în clasa A de protecție pentru rețele de 220V (EN 61643-1), tensiunea maximă nominală fiind de 255V. Dispozitivele sunt construite cu varistoare zinc-oxid și tuburi cu descărcare în gaze. Dispozitivul este completat cu o siguranță (timp de acțiune **200ms** dependent de valoarea curentului) și cu un indicator LED al funcționării.

A fost realizat un sistem cu microcontroller pentru protecția la supracurent, scurtcircuit și supratensiune a consumatorilor de energie electrică. Acest dispozitiv a fost brevetat [9]. Dispozitivul propus prezintă următoarele avantaje:

- viteză mare de decuplare, (**maximum 10ms**), fiind astfel mai rapidă decât metodele clasice;
- nu necesită intervenția unei persoane pentru că după oprirea tensiunii în cazul unui scurtcircuit sau supratensiune, revenirea tensiunii este automată (în cazul unui scurtcircuit doar după ce cauza a fost eliminată);
- prin acțiunea în două etape, la apariția unor supratensiuni sau supracurenți de valoare mică valoarea medie a tensiunii se scade și sarcina nu este decuplată de la rețea, funcționând în continuare;
- prin interfața de comunicație prin Internet se pot comunica date on line despre consumatorul de energie electrică.

Schema bloc a dispozitivului de protecție la supracurent și supratensiune este dată în figura 6.17. Analiza curentului absorbit și a tensiunii este realizată de microcontroller prin convertorul analog digital integrat. Analiza curentului este realizată cu un traductor specializat de curent (traductor Hall) iar analiza tensiunii prin redresare, filtrare și divizare. La detectarea unui scurtcircuit sau a unei supratensiuni microcontrollerul nu mai trimite impulsuri de amorsare pentru triac și consumatorul este scos de sub tensiune.

Metoda de protecție este concepută ca o protecție în două etape. Dacă se detectează o supratensiune sau un supracurent, acestea sunt clasificate în:

- nepericuloase ( $\pm 3\%$ ) și nu se ia nici o măsură;

- puțin periculoase ( $\pm 10\%$ ) și se modifică unghiul de aprindere al triacului. În funcție de valoarea supratensiunii și supracurentului se programează un timer care stabilește întârzierea în amorsarea triacului (unghiul de deschidere). Prin aceasta valoarea medie a tensiunii pe sarcină scade și compensează creșterea tensiunii sau curentului;
- periculoase (peste 10%) se blochează impulsurile către triac și astfel sarcina este decuplată de la rețea. Tensiunea este măsurată în continuare și la revenirea la valori normale sarcina este realimentată. La detectarea unui scurtcircuit, după o perioadă de timp se reia alimentarea și dacă scurtcircuitul se menține triacul este blocat o nouă perioadă de timp.

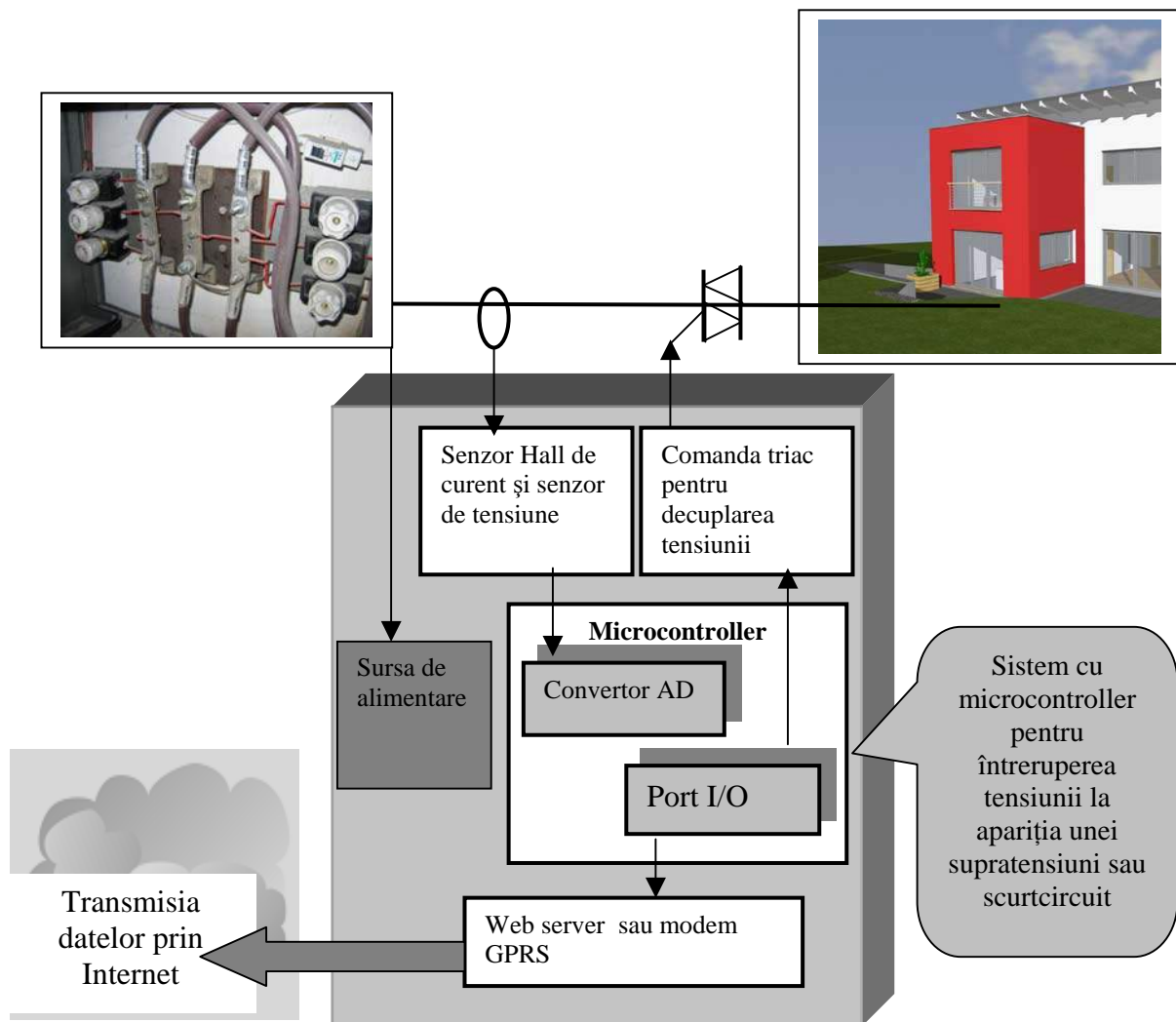


Figura 6.17: Schema bloc a dispozitivului de protecție la supracurent și supratensiune

Observații:

1. Sursa de alimentare trebuie să poată suporta creșterile de tensiune pe linie pentru ca dispozitivul de protecție să nu se defecteze;
2. Curentul de scurtcircuit trebuie să nu depășească curentul maxim nerepetitiv prin triac (de circa 10 ori mai mare decât curentul maxim repetitiv).

Schema electrică a dispozitivului este dată în figura 6.18.

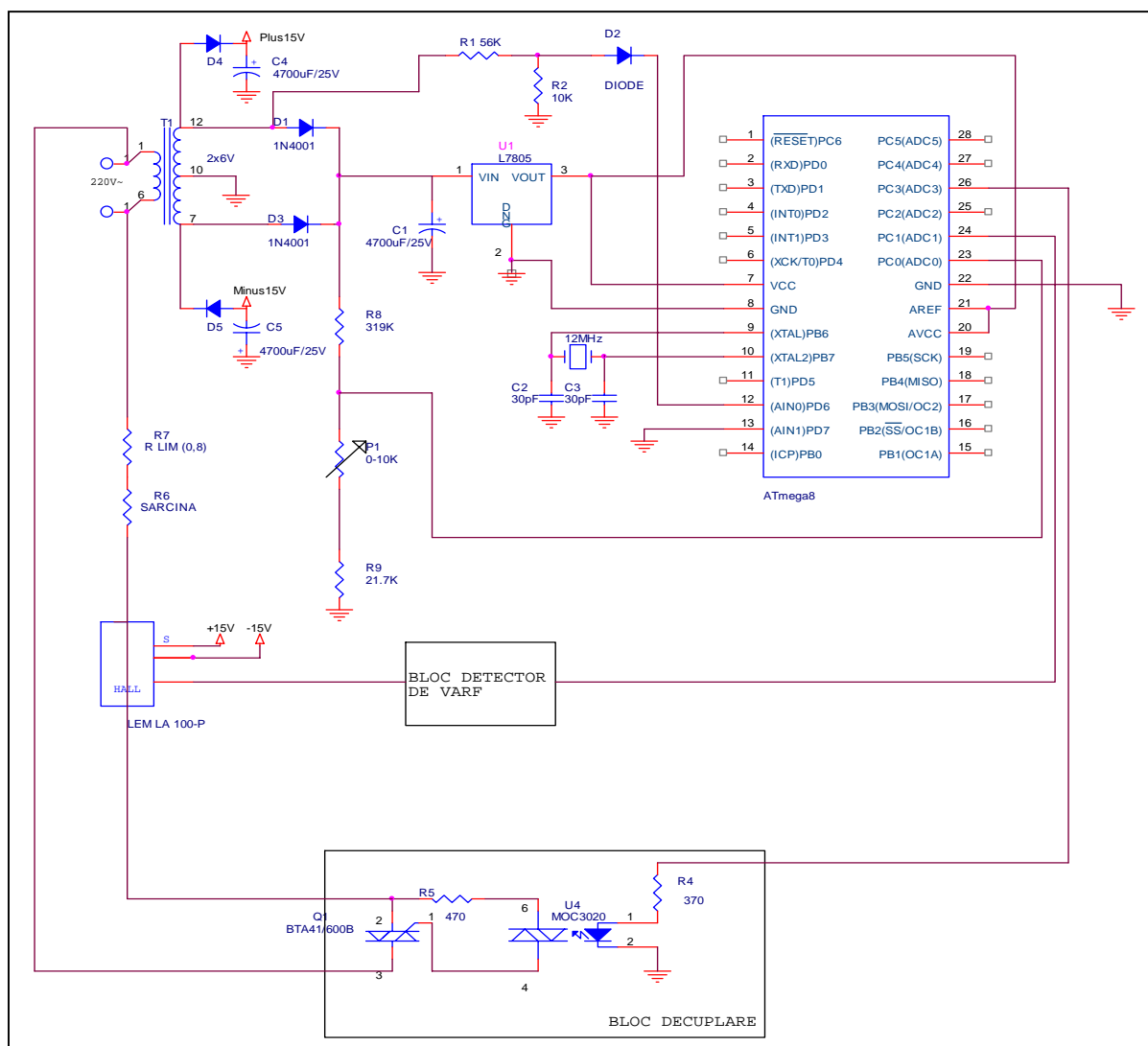


Figura 6.18: Schema electrică a dispozitivului de protecție cu microcontroller

### 6.3.1. Simularea protecției în 2 etape la supratensiune

Pentru simulare a fost realizat un model SIMULINK®. Simularea protecției la supratensiune în 2 etape este arătată în figura 6.19.



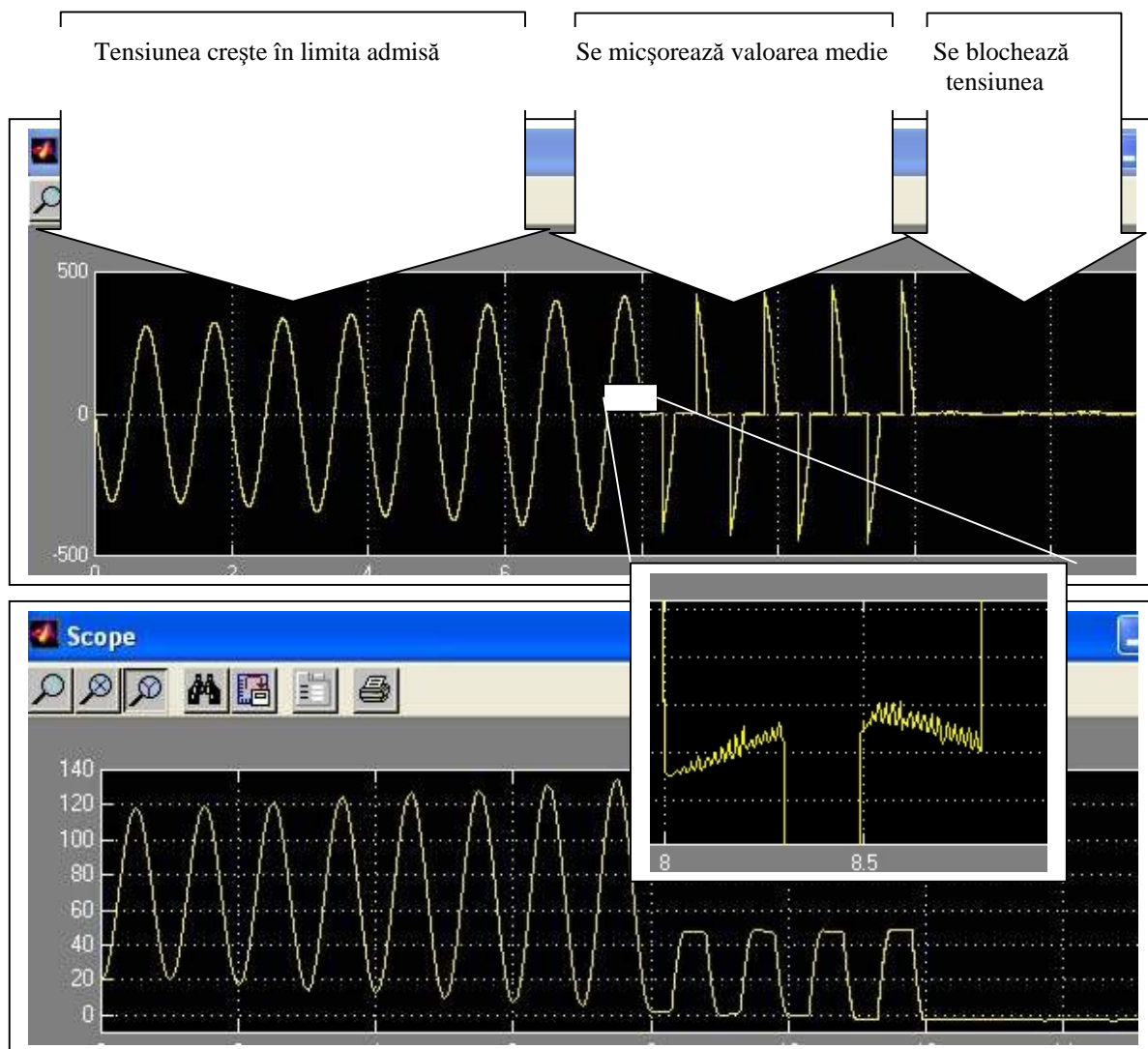


Figura 6.19: Simularea protecției în 2 etape la supratensiune

Pe abscisă o unitate înseamnă o perioadă (20ms). Pe graficul de sus, în momentul 8 tensiunea care crește depășește prima limită și triacul este comandat cu un unghi de fază pentru reducerea tensiunii medii pe sarcină. Tensiunea continuă să crească și în momentul 12 se depășește a 2-a limită și triacul este blocat, protejând sarcina. Detaliul arată că în momentul comutărilor apar vârfuri de tensiune, cu amplitudini de până la 10V. Graficul de jos arată forma unei integrale a tensiunii pe sarcină, proporțională cu puterea consumată. Se vede că în etapa a doua puterea este mai mică decât în prima etapă, astfel sarcina fiind protejată prin micșorarea tensiunii medii.

### 6.3.2. Simularea protecției în 2 etape la supracurent și scurtcircuit

Simularea protecției la supracurent și scurtcircuit în 2 etape este arătată în figura 6.20.



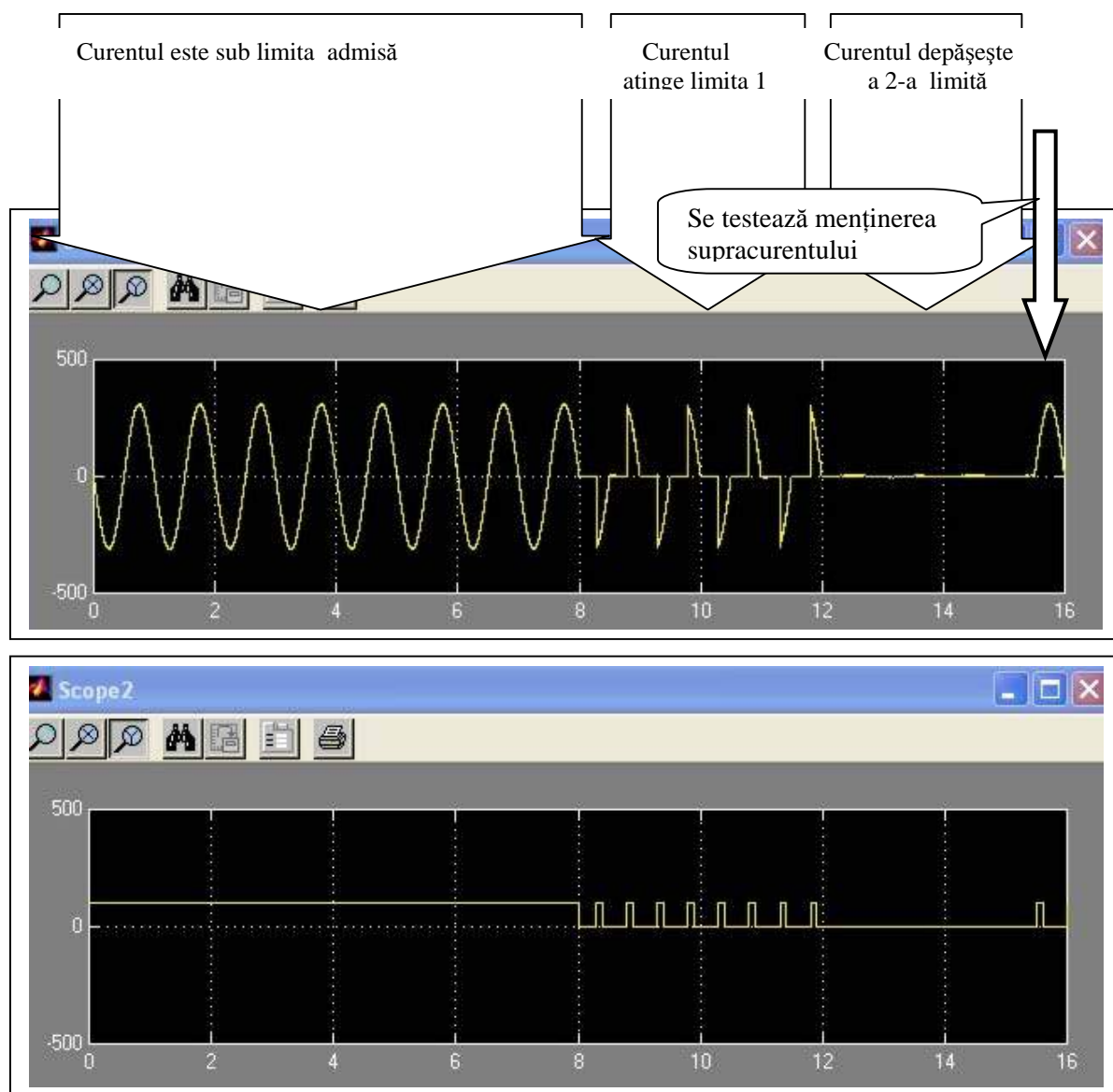


Figura 6.20. Simularea protecției în 2 faze la supracurent și scurtcircuit

În ipoteza unui supracurent cu viteză mică de creștere sunt vizibile cele 2 etape. Pe graficul de sus, în momentul 8 apare un supracurent și triacul este comandat cu un unghi de fază pentru reducerea tensiunii medii pe sarcină. Curentul crește în continuare și în momentul 12 triacul este blocat, protejând sarcina. În momentul 15 se testează menținerea supracurentului sau scurtcircuitului. Se poate observa că timpul maxim de blocare a triacului în cazul unui scurtcircuit este de 10ms. Pe graficul de jos pot fi văzute impulsurile de amorsare a triacului.

### 6.3.3. Recuplarea automată și treptată a consumatorului la tensiune

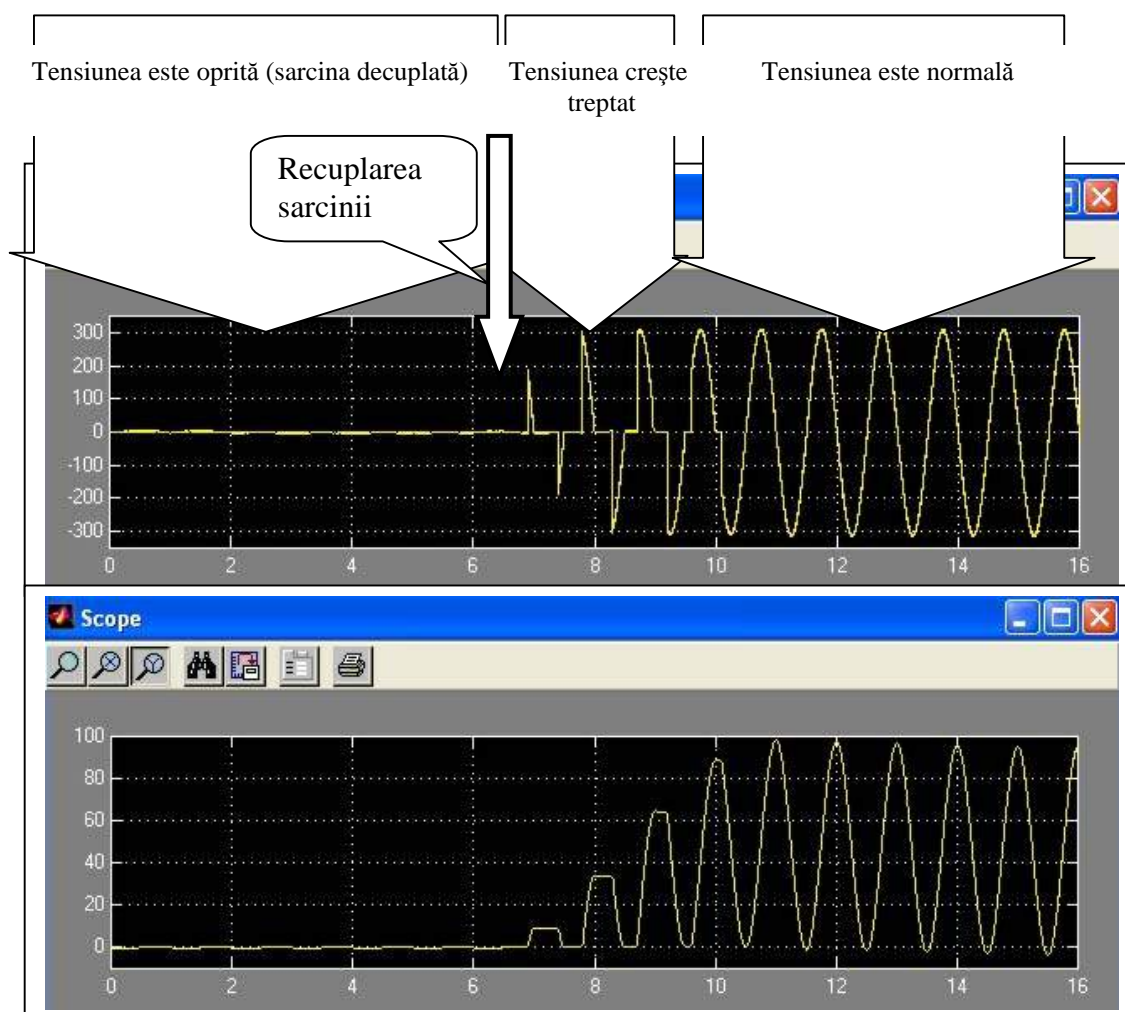


Figura 6.21: Recuplarea automată și treptată a consumatorului la tensiune

Recuplarea consumatorului poate duce la un curent excesiv consumat în primele momente datorită caracterului capacitiv al sarcinii. Acest curent mare poate provoca uneori în regim tranzitoriu supracreșteri nedorite ale tensiunii. De aceea dispozitivul propus recuplează treptat sarcina, comandând triacul ca în figura 6.21. În diagrama de sus se poate observa variația tensiunii în timp. Până în momentul 7 triacul este blocat. După acest moment triacul este comandat de impulsuri de amorsare care să asigure un unghi de aprindere descrescător, crescând astfel tensiunea. În momentul 11 tensiunea este integral aplicată pe sarcină. În figura 6.21 jos se poate observa forma variației treptate a puterii consumate pe sarcină.

Modelul conceput pentru aceste simulări este cel din figura 6.22. Dispozitivul propus în acest proiect prezintă următoarele avantaje: viteză mare de decuplare, curentul de scurtcircuit poate fi reglat cu precizie, viteză mare de reacție la creșterea tensiunii de la rețea, reglarea cu precizie a supratensiunii de prag, disipație termică redusă în cazul unui scurtcircuit, protejarea mediului electromagnetic înconjurător, comoditate în exploatare și cost mic.

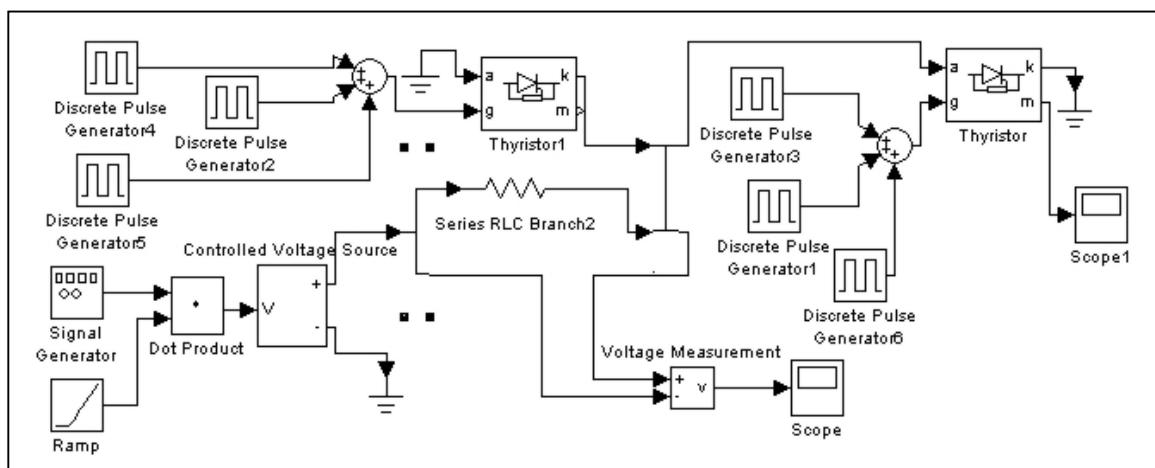


Figura 6.22: Model Simulink pentru protecția în 2 etape

Flexibilitatea acestui dispozitiv, datorată utilizării microcontrollerului duce la posibilitatea implementării și a altor funcții utile. După un scurtcircuit sau o supratensiune, repunerea în funcțiune nu necesită intervenția unei persoane pentru că după oprirea tensiunii în cazul unui scurtcircuit sau supratensiune, revenirea tensiunii este automată (în cazul unui scurtcircuit doar după ce cauza a fost eliminată. De asemenea, prin acțiunea în două etape, la apariția unor supratensiuni sau supracurenți de valoare mică valoarea medie a tensiunii se scade și sarcina nu este decuplată de la rețea, funcționând în continuare.

În figura 6.23 este prezentată fotografia modelului experimental.

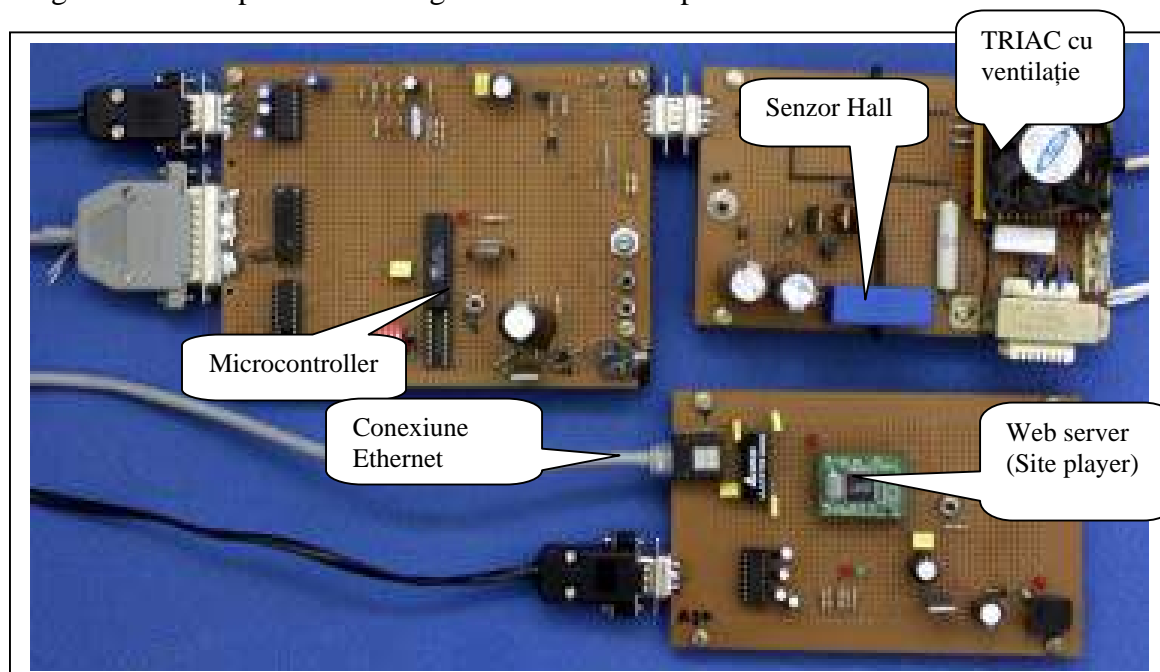


Figura 6.23: Fotografia modelului experimental

Datele preluate referitoare la valorile tensiunii și curentului pot fi trimise la distanță și puse la dispoziția celor interesați (proprietarul locuinței dacă nu se află în localitate sau distribuitorului de energie electrică). Transmisia datelor poate fi realizată:

- prin modem GSM, comunicația fiind asigurată prin SMS sau GPRS;
- prin INTERNET, cu un dispozitiv de tip web server care preia datele de la microcontroller și le postează pe un site.

Componentele sistemului:

1. Modulul cu microcontroller și circuite anexe;
2. Modulul de putere care conține triacul și traductorii de curent și tensiune;
3. Modulul web server (Site Player) conectat la Internet care crează o pagină pe care sunt afișate evenimentele din rețea precum și o diagramă a consumului.

### **Bibliografie**

- [1] [www.national.com/ms/CN/CN-6.pdf](http://www.national.com/ms/CN/CN-6.pdf), [online], Triac Control Using the COP400 Microcontroller Family
- [2] Magdun O., Covrig M., *The numerical simulation in Matlab-Simulink of an electrical drive with two-phased induction motor*, Advanced Topics in Electrical Engineering – ATEE 2002, Bucharest, 29 November, 2002
- [3] F<sup>2</sup>MC-8FX Fujitsu Semiconductor Preliminary
- [4] AN 887, AC Induction Motor Fundamentals, Microchip, 2004
- [5] AN900, Controlling 3- Phase AC Induction Motors using the PIC 18F4431, Microchip, 2004
- [6] Stoian C., Misca T., *Soluții privind protecția la supratensiuni atmosferice și de comutație*, <http://www.eximprod.ro/produse/supratensiuni.pdf>
- [7] <http://www.obiectivbr.ro/component/content/article/38027.html>
- [8] [www.dehn.de](http://www.dehn.de) [online]
- [9] Ogrutan P., Munteanu R., Suci L., *Dispozitiv de protecție la scurtcircuit și supratensiune pentru receptori de energie electrică*, Brevet de invenție nr. 122067/2008