

# Controlul sistemelor complexe folosind “CAN bus”

Paul SUVAROV\*, Alexandru STANCU\*\*

\* UNIVERSITATEA “DUNĂREA DE JOS” GALAȚI, FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ELECTRONICĂ

\*\* UNIVERSITATEA “DUNĂREA DE JOS” GALAȚI, FACULTATEA DE ȘTIINȚA CALCULATOARELOR

(e-mail: [alexandru.stancu@ugal.ro](mailto:alexandru.stancu@ugal.ro))

---

**Abstract :** Sistemele automate devin din ce în ce mai complexe datorită progresului tehnologic rapid, numărul de senzori crește mărind cantitatea de informație ce trebuie comunicată, totodată și complexitatea sistemului electric. Din acest motiv a fost necesară dezvoltarea unui sistem de comunicație simplu, ieftin și flexibil.

---

## 1. Introducere

Magistrala CAN (Controller Area Network) a fost dezvoltată de către firma Germană Bosch în mijlocul anilor 1980. Această magistrală s-a răspândit tot mai mult în industrie, pe piața echipamentelor medicale, piața echipamentelor de măsurare și testare.

## 2. Caracteristici CAN-BUS

Protocolul de comunicare care stă la baza magistralei CAN este CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Acest protocol oferă, tuturor nodurilor, acces simultan la mediul de comunicație. Fiecare nod trebuie să asculte magistrala pentru o anumită perioadă de inactivitate înainte de a încerca emiterea unui pachet (*Detecție de purtătoare - CS*). După ce această perioadă de inactivitate se scurge, fiecare nod are șanse egale pentru emisie (*Acces multiplu - MA*). Dacă două noduri în rețea încep să emită în același timp, acestea vor detecta coliziunea și vor acționa pentru a elimina conflictul (*Detecție de coliziune - CD*). Pentru arbitrarea conflictului este folosită o logică hardware nondistructivă. Această arbitrare are loc fără coruperea pachetului prioritar, și totodată fără introducerea de întârzieri.

CAN-BUS folosește o magistrală diferențială, formată din 2 fire torsodate. Acest lucru oferă o mare imunitate la zgomot.

Viteza de semnalizare este de maxim 1Mbit/s pentru o magistrală cu lungimea de 40m. Lungimea magistralei poate fi mărită cu prețul vitezei de semnalizare (pentru 1Km avem 360kbit/s);

Pachetele emise pe magistrală pot fi citite de oricare nod activ. Astfel anumiți parametri critici ai sistemului pot fi aflați de oricare nod din rețea.

Fiecare nod din rețea trebuie să aibă o adresă unică pentru identificare. Spațiul de adrese pus la dispoziție de către controlerul de magistrală ce implementează CAN-BUS versiunea 2.0B este de 11biți (2048 de adrese). Controlerul de magistrală ce poate emite și recepționa cadre de date extinse au un câmp de adrese suplimentar de 18b (262.144 adrese). Fiecare controler este capabil să răspundă la mai multe adrese, făcând posibilă implementarea unui număr mare de funcții într-un singur nod.

La nivel de controler de magistrală este implementat un sistem robust pentru detectarea erorilor de date sau de legătură fizică. În cazul în care nod-ul se defectează, acesta se poate deconecta de la magistrală pentru a preveni scoaterea din uz a acesteia.

## 3. Descrierea sistemului

La baza sistemului se află o platformă ce rulează sistemul de operare Linux. Avantajele acestui sistem de operare sunt : preț scăzut, securitate ridicată, folosește resurse puține (acest lucru având impact asupra costului total), folosind modulul RTAI acesta poate funcționa și în mod realtime, posibilitatea rulării pe platforme mobile dedicate.

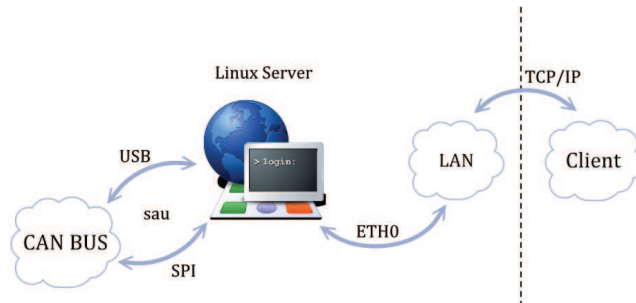


Fig. 1. Structura de ansamblu a sistemului

Aplicația server are acces total la magistrala CAN prin intermediul unui nod de monitorizare și control conectat la interfața USB (Universal Serial Bus), sau în cazul platformelor mobile prin magistrala SPI (Serial Peripheral Interface).

Serverul are realizată legătura fără fir cu rețeaua locală. Acest lucru permite conectarea clienților din rețeaua locală sau de pe internet.

Pentru sporirea securității, se poate implementa un firewall local.

## 4. Schema bloc a sistemului

În figura 2 este reprezentată magistrala CAN și nodurile conectate la aceasta. Din figură se observă că numărul maxim de noduri ce pot fi conectate la acest segment de magistrală este limitat la 112. Această limitare este dată de circuitele de comunicare pe magistrala diferențială. Pentru extinderea

magistralei se pot realiza punți de retransmisie folosind aceleași circuite de comunicare.

Nodurile 1 și 112 sunt noduri terminale, aflate la capetele magistralei.

Este posibilă conectarea de noi senzori și/sau elemente de execuție în locurile rămase libere (nodul 2 până la 111).

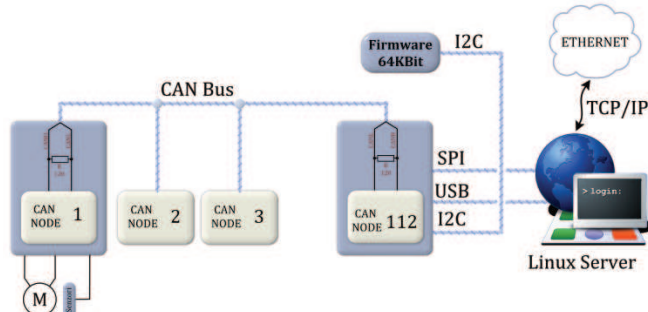


Fig. 2. Schema bloc a sistemului

În continuarea lucrării, nodul numărul 1 (CAN NODE 1) se va numi nodul de execuție, iar nodul 112 (CAN NODE 112) nodul de monitorizare și control.

## 5. Nodul de execuție

Nodul de execuție este compus din trei părți funcționale :

- Unitatea logică
- Circuitul de forță
- Circuitul de comunicare CAN-BUS.

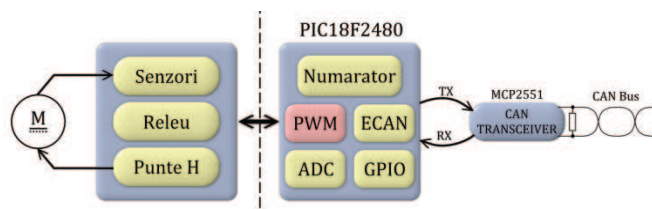


Fig. 3. Schema bloc a nodului de execuție

### 5.1. Unitatea logică

Este realizată cu microcontrolerul PIC18F2480 produs de către firma Microchip.

Pentru achiziția turației a fost folosit un numărător intern de 16b. Acesta poate număra un număr maxim de evenimente dat de relația :  $N_{e\max} = 2^{16} - 1 = 65535$ .

Informațiile de la senzorii de curent și tensiune sunt culese cu ajutorul convertorului analog – digital (ADC) cu rezoluția de 10b.

Comenzile pentru partea de forță sunt date prin intermediul pinilor de intrare/ieșire de uz general (GPIO).

Acest nod a fost realizat astfel încât să poată controla două motoare, din acest motiv generatorul de impulsuri modulate în lățime (PWM) este emulat în software.

Pentru comunicarea pe magistrala CAN a fost folosit controlerul ECAN din dotare.

## 5.2. Circuitul de forță

Driverul de putere conține o punte H realizată cu tranzistoare MOSFET. Curentul maxim admis prin punte este de 10A. Tensiunea de alimentare VB maxim admisă este de 50V.

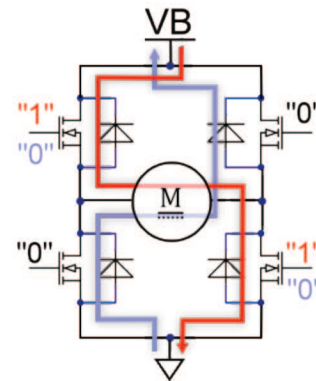


Fig. 4. Schema de principiu a punții H

Acest circuit permite schimbarea sensului de rotație al motorului, modificarea turației acestuia, precum și realizarea frânei electrice.

Cele patru MOSFET-uri lucrează în regim de comutație. Pentru a alimenta motorul se vor deschide două MOSFET-uri, câte unul din fiecare ramură verticală, ca în figura 4. Curentul va circula prin punte după calea indicată cu roșu. În momentul în care comanda încetează, inductanța proprie a motorului va genera un vârf mare de tensiune de polaritate inversă și durată scurtă, vârf ce poate distruge MOSFET-urile. Din acest motiv au fost introduse în punte, cele 4 diode de protecție. Atât timp cât tensiunea pe motor este mai mare decât tensiunea  $(VB+2*1)V$ , diodele de pe diagonala opusă sunt deschise, permitând evacuarea energiei din circuit (calea reprezentată cu albastru).

MOSFET-urile folosite sunt cu canal n și pentru a le putea deschide trebuie furnizată o tensiune Vgs de maxim 20V. Trebuie precizat faptul că MOSFET-urile din partea superioară a punții (High-Side) au sursa flotantă. Din acest motiv pentru comandă au fost introduse două circuite integrate specializate produse de Internațional Rectifier – IR2110.

Tensiunea VB aplicată punții H poate fi controlată din software prin intermediul unui releu.

Pentru citirea modulului turației, s-a folosit un optocuplor și un disc cu 8 fante. Perioada de eșantionare a turației folosită în aceasta aplicație este de 100ms. Pentru un motor cu turația de 20.000 RPM vom avea un număr maxim de impulsuri la

$$\text{intrare dat de relația : } Nm = \frac{333.33(RPS)*8}{\frac{1}{0.1}} = 267(imp) .$$

Curentul ce străbate puntea H este măsurat cu ajutorul unui șunt. Căderea de tensiune pe șunt este culeasă și amplificată cu ajutorul unui amplificator operațional.

Calibrarea traductorului de curent s-a realizat în laborator, prin injectarea unui curent de 1A prin șunt. În acest timp amplificarea circuitului operațional a fost reglată în așa fel încât la ieșire să avem 0.5V. Curentul maxim ce poate fi urmărit de acest traductor este de 10A.

Tensiunea de alimentare a punții H este adusă la intrarea convertorului analogic-digital prin intermediul unui divizor rezistiv.

### 5.3. Circuitul de comunicare CAN-BUS.

Acest circuit realizează interfațarea dintre controlerul de magistrală CAN, care se află în interiorul unității logice (ECAN) și magistrala fizică. Circuitul este proiectat să reziste la șocuri de tensiune ce pot apărea pe magistrală datorită interferențelor electromagnetice (EMI).

### 6. Nodul de monitorizare și control

Cu ajutorul acestui nod, un calculator poate obține acces total la magistrala CAN.

Acest nod este realizat în jurul microcontroler-ului TUSB3210 produs de Texas Instruments. La bază se află microcontroler-ul de uz general 8052.

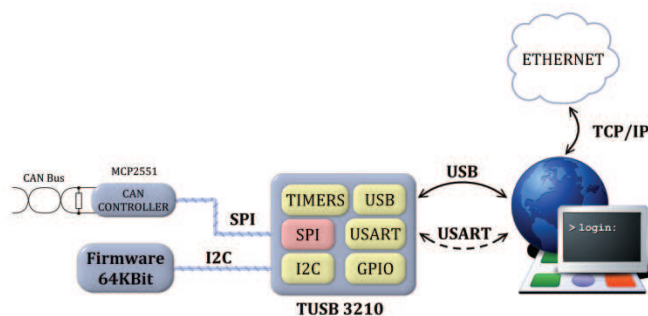


Fig.5. Schema bloc a modului de monitorizare și control

Acest circuit oferă suport hardware pentru comunicarea pe magistrala USB (Universal Serial Bus), USART (Universal Serial Asynchronous Receiver/Transmitter) și I2C (Inter IC Communication).

Neavând suport hardware pentru CAN s-a adăugat un controler de magistrală extern implemetat cu MCP2551. Interfața serială folosită de acest controler este SPI (Serial Peripheral Interface). La nivelul microcontroler-ului, magistrala de comunicare SPI este emulată software.

Întreaga memorie internă a circuitului TUSB3210 este de tip SRAM (Static Random Access Memory). În momentul resetării, microcontroler-ul caută pe magistrala I2C o memorie care să conțină un firmware valid. În cazul în care nu găsește un firmware, acesta se conectează pe interfața USB la calculator. Prin intermediul unor drivere USB speciale, firmware-ul, poate fi transferat în microcontroler, direct din mediul de programare.

Depanarea firmware-ului poate fi realizată prin interfața USART.

### 7. Relațiile software

În acest capitol am să prezint modul în care „discută” diversele componente hardware pentru îndeplinirea sarcinilor.

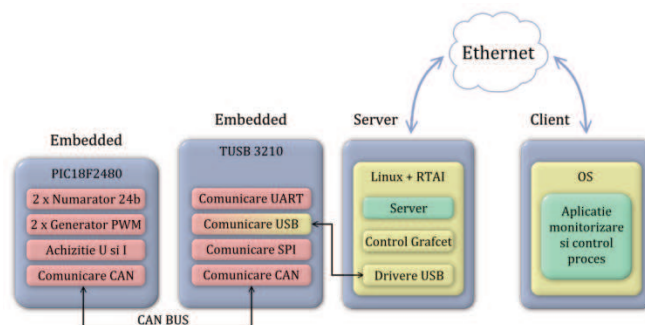


Fig. 6. Rutinele și aplicațiile software folosite

În partea din stânga este reprezentat în chenar albastru nodul de execuție. Rutinele acestui nod au fost scrise în limbaj de asamblare pentru a putea obține precizie și rapiditate în execuție.

Sunt implementate 2 numărătoare de 24b care permit măsurarea a două encodere de mare precizie. Intervalul de măsurare este programabil.

Generatoarele PWM permit generarea de semnale cu perioadă și factor de umplere reglabil.

Protocolul de comunicare CAN, este un protocol de tip master-slave care permite citirea valorilor măsurate, și modificarea timpilor de măsurare și eșantionare.

În firmware-ul microcontroler-ului TUSB 3210 a fost implementat același protocol de comunicare CAN, rutine care emulează comunicarea pe magistrala SPI (necesare pentru realizarea dialogului dintre TUSB3210 și controlerul CAN).

Rutinele care realizează comunicarea pe USB au fost preluate de la producător. În acest schelet au fost introduse comenzi proprii, care leagă toate rutinele software între ele.

Severul poate fi implementat pe un calculator compatibil IBM PC sau pe o platformă mobilă ce rulează linux embedded. Pentru asigurarea procesării datelor în timp real a fost adăugat modulul de real time RTAI (Real-Time Application Interface). Serverul este responsabil cu algoritmul de control în timp real pentru motorul de curent continuu folosit ca sistem în această lucrare.

Comunicarea cu nodul de monitorizare și control se realizează prin intermediul pachetului de drivere USB – opensource – LibUSB.

Pentru asigurarea flexibilității și portabilității aplicației server s-a folosit metodologia graficet care permite împărțirea procesului în subproces și execuția lor în serie sau paralel [Graficet].

Aplicația Client poate rula pe orice sistem de operare care suportă aplicații JAVA. Clientul se va conecta la server prin intermediul rețelei locale sau prin internet, astfel putând interacționa cu procesul (monitorizare senzorilor, schimbarea

valorilor de referință pentru sistemele de automate de control, oprirea sistemului în caz de avarie etc.) [Stancu, 2007].

### 8. Exemplu de sistem automat implementat pe CAN-BUS

Bucula de reglare implementată în acest proiect este prezentată în figura de mai jos.

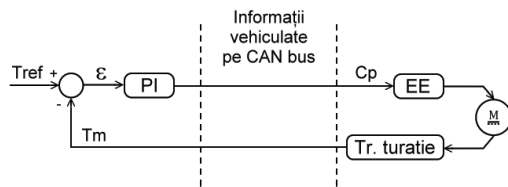


Fig. 7. Bucula de reglare a turației unui motor de curent continuu

A fost realizată o aplicație ce rulează sub Windows care permite stabilirea unei turații de referință (Tref), și afișarea parametrilor motorului (modulul turație și curentul prin motor) precum și a comenzii Cp dată nodului de execuție.

Regulatorul PI furnizează comanda Cp în funcție de semnalul de eroare de la intrare. Semnalul Cp este în procente (0% ÷ 99%) și reprezintă exact factorul de umplere al semnalului PWM ce va fi generat pentru motor.

Sumatorul și regulatorul PI sunt implementate în aplicația ce rulează pe PC. Legătura între elementul de execuție și traductorul de turație (implementate în nodul de execuție) se realizează prin nodul de monitorizare și control. Informațiile Cp și Tm sunt transmise digital pe magistrala CAN.

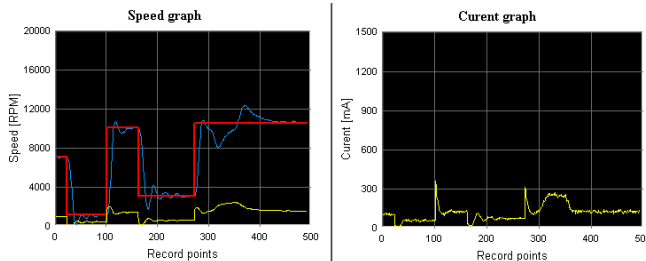


Fig. 8. Comportamentul regulatorului la semnal treaptă

În figura 8, partea stângă, avem reprezentat cu roșu semnalul Tref, cu albastru turația măsurată Tm, iar cu galben comanda dată regulatorului Cp. În partea dreaptă este reprezentat cu galben curentul prin motor.

### 9. Concluzii

Acest sistem oferă posibilitatea configurării rapide a sistemului, permițând introducerea de noi elemente de automatizare complexe (flexibilitate ridicată).

Permite micșorarea complexității firelor sistemului, reducând astfel costul de producție, costul de mentenanță și depanare cât și greutatea întregului sistem.

Legătura dintre aplicația ACSSES (Advanced Client Server Software for Embedded Systems) și lumea reală este realizată cu ajutorul unei plăci de achiziție, cu număr limitat de intrări și ieșiri. Folosirea magistralei CAN elimină această limitare,

permițând introducerea în sistem a unor noi intrări și ieșiri prin simpla conectare a unui nod suplimentar.

Aplicația embedded a nodului de monitorizare și control oferă flexibilitate ridicată, permițând implementarea rapidă a unor protocoale noi de comunicare pe magistrala CAN.

### 10. Propuneri de lucru pentru viitor

Aplicația de monitorizare și control va fi implementată pe o platformă mobilă realizată în jurul procesorului AVR32. Această platformă rulează linux embedded.

Avantaje :

- Gabarit redus;
- Reducerea costului întregului sistem;
- Crește rezistența mecanică (neavând componente mecanice cum ar fi harddisc-ul);
- Asigurarea capacității de timp real, datorită folosirii nanokernel-ului;
- Consum redus de energie.

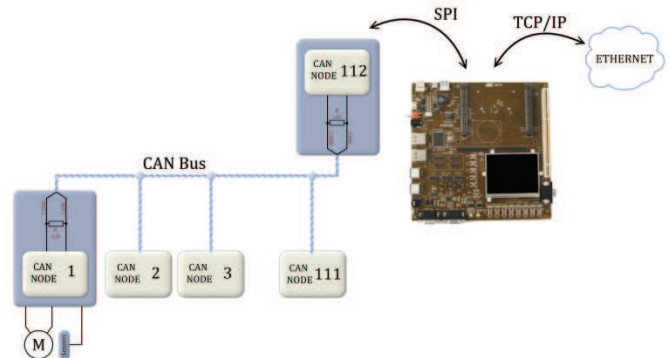


Fig. 9. Structura bloc a sistemului cu AVR32.

### 11. Bibliografie

- Grafcet, <http://www.lurpa.enscachan.fr/grafcet.html>
- International Rectifier (2005). IR2110 Datasheet. <http://www.irf.com>
- Microchip (2007). MCP2515 Datasheet. <http://www.microchip.com>
- Microchip (2007). MCP2551 Datasheet
- Microchip (2007). PIC18F2480/2580/4480/4580 Data Sheet
- Robert Bosch GmbH (1991), CAN Specification version 2.0, pub by Bosch. <http://www.can.bosch.com/>
- Stancu Al., Axenie C., and other (2007). A Client-Server based Real-Time Control Tool for Complex Distributed Systems, 9<sup>th</sup> Real Time Linux Workshop, Linz, Austria
- Texas Instruments (2007). Universal Serial Bus General-Purpose Device Controller (Rev. F). <http://www.ti.com>



## 11. Prezentarea blocurilor funcționale folosite în proiect

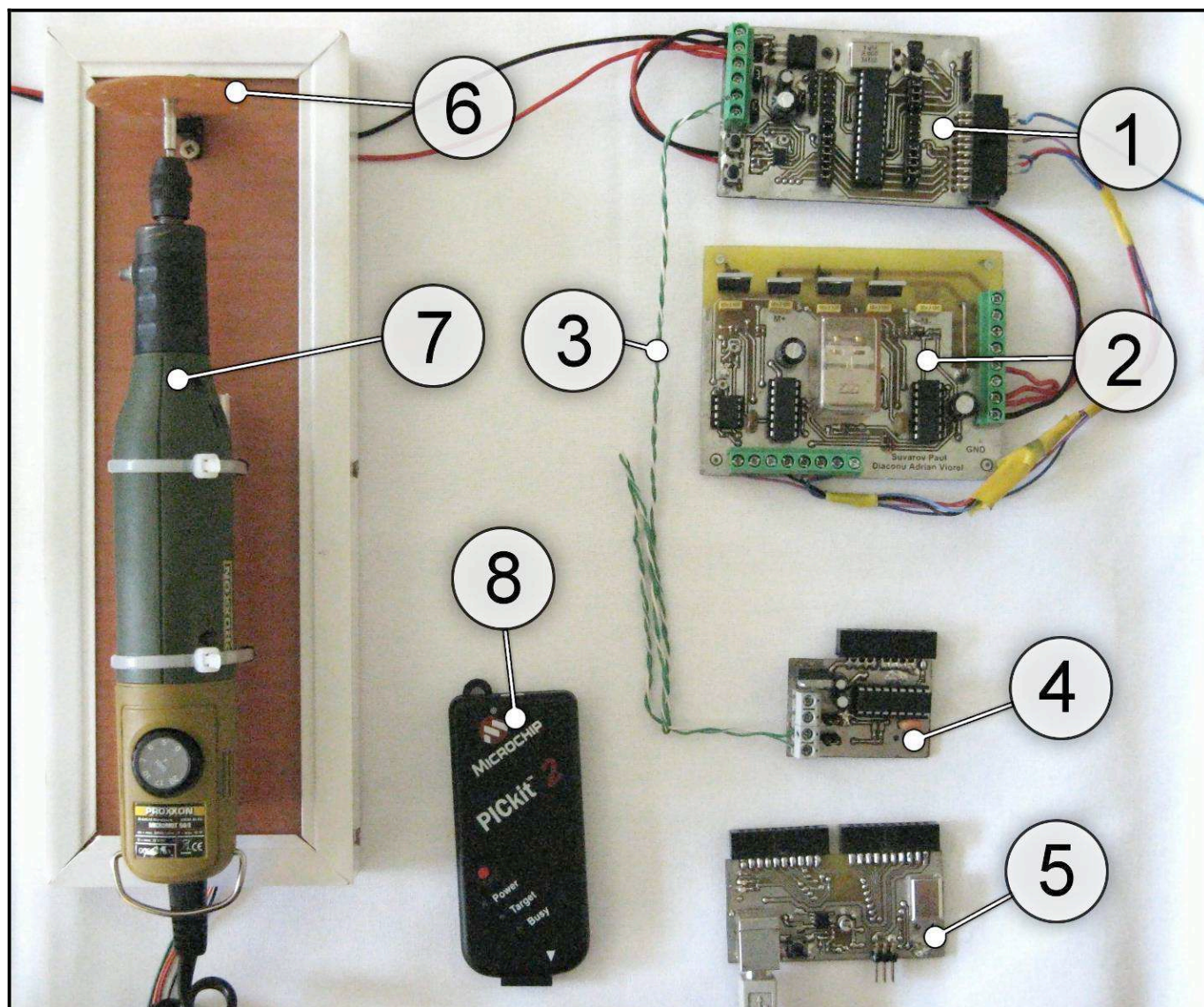


Fig. 10. Modulele folosite în proiect

În figura 10 sunt prezentate următoarele module :

- 1 – Nodul de execuție;
- 2 – Modulul de forță;
- 3 – Magistrala CAN;
- 4 – Controler-ul CAN al nodului de monitorizare și control;
- 5 – Partea logică a nodului de monitorizare și control;
- 6 – Discul cu fante, folosit la citirea turației;
- 7 – Motor de curent continuu (20.000 RPM maxim);
- 8 – Dispozitiv pentru programarea și depanarea microcontrolerelor PIC.