

DORINA PURCARU

**INSTRUMENTAȚIE, SENZORI ȘI
SISTEME DE MĂSURARE**

Lucrări practice



**EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2012**

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. EUGEN BOBAȘU

Universitatea din Craiova

Prof.univ.dr.ing. EUGEN IANCU

Universitatea din Craiova

Copyright © 2012 Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

PURCARU, DORINA

**Instrumentație, senzori și sisteme de măsurare :
lucrări practice / Dorina Purcaru. - Craiova : Universitaria, 2012**

Bibliogr.

ISBN 978-606-14-0515-2

621.3

Apărut: 2012

TIPOGRAFIA UNIVERSITĂȚII DIN CRAIOVA

Str. Brestei, nr. 156A, Craiova, Dolj, România

Tel.: +40 251 598054

Tipărit în România

PREFAȚĂ

Lucrarea este destinată studenților Facultății de Automatică, Calculatoare și Electronică din Craiova, reprezentând un suport pentru ședințele de seminar și laborator la disciplinele *Sisteme de măsurare și instrumentație*, *Măsurări și traductoare*, *Senzori și sisteme senzoriale*, *Senzori inteligenți*. Temele prezentate sunt însă utile și studenților de la celelalte facultăți tehnice, inginerilor care au preocupări în domeniul sistemelor de măsurare sau celor care doresc să se inițieze în acest domeniu.

Primele trei teme abordează aparate electronice de măsurare sau vizualizare, următoarele șase prezintă senzori și sisteme de testare sau măsurare realizate cu aceștia, iar ultima temă este dedicată rețelelor senzoriale tactile și unor programe pentru procesarea informației senzoriale. În principiu, fiecare temă care studiază senzori sau traductoare prezintă, în ordine, chestiuni teoretice, dispozitivele utilizate, macheta de laborator și determinările experimentale recomandate.

Dintre aparatele de măsurare și vizualizare utilizate frecvent de inginerii automatiști sunt descrise multimetrul numeric, osciloscopul numeric și multiscopul. Pentru fiecare aparat este realizată o prezentare generală și sunt detaliate modurile de utilizare și elementele de control. Studenții obțin astfel deprinderi practice de utilizare a acestor aparate și a altora din categoriile respective, înțeleg structura de principiu și funcționarea aparatelor și învață să aprecieze calitatea lor în funcție de performanțe.

Dispozitivele de măsurare studiate sunt dintre cele întâlnite frecvent în aplicațiile ingineresti: senzori de proximitate (inductivi și capacitivi), termorezistență, senzor inteligent de temperatură, senzori inductivi cu ieșire analogică, senzori ultrasonici (unul dintre ei fiind programabil), mărci tensometrice, traductoare numerice incrementale. Pentru fiecare dispozitiv se prezintă principiul de funcționare, principalele date de catalog (însoțite de explicații), modurile de utilizare și câteva aplicații. Parcurgând temele respective, studenții dobândesc competențe de utilizare a cataloagelor de senzori

și traductoare, învață să înțeleagă datele de catalog și se obișnuiesc cu notațiile folosite, cu termenii în engleză și cu imaginea dispozitivului studiat.

Sistemele de testare și măsurare, ca și aplicațiile dispozitivelor studiate se bazează pe cunoștințe de electrotehnică, electronică analogică și numerică, microprocesoare și microcontrolere, echipamente de calcul, sisteme de operare și medii de programare pentru dezvoltarea aplicațiilor software. Detaliile de proiectare a unor aplicații hardware și software de complexitate redusă, ca și justificarea soluțiilor adoptate ajută studenții să capete competențe pentru rezolvarea unor probleme uzuale din domeniul ingineriei sistemelor, identificând tehnici, principii și metode adecvate. Realizarea practică a sistemelor experimentale permite studenților testarea utilizării dispozitivelor studiate, trasarea caracteristicilor statice de transfer și determinarea unor performanțe.

Ultima dintre teme abordează sistemele senzoriale tactile, algoritmi și programe pentru procesarea informației senzoriale. Prezentarea sumară a mai multor configurații de rețele senzoriale tactile permite studenților înțelegerea structurii și funcționării acestor sisteme senzoriale, utilizând cunoștințe fundamentale despre fenomene fizice, dispozitive și circuite electronice, microprocesoare, echipamente de calcul, instrumentație. Prin utilizarea programului pentru generarea și descrierea amprentelor binare și a programului pentru clasificarea modelelor și identificarea formelor necunoscute studenții dobândesc competențe de utilizare a celor două programe de simulare și cunoștințe pentru descrierea, clasificarea sau recunoașterea unor forme.

Materialul este prezentat într-un mod accesibil tuturor studenților de la facultățile tehnice și este rodul unei experiențe didactice îndelungate în domeniul senzorilor, sistemelor de măsurare și instrumentației electronice.

August 2012

*Prof. dr. ing. DORINA PURCARU
Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică
Universitatea din Craiova*

Tema 1

MULTIMETRUL NUMERIC

1.1. Prezentare generală

Multimetrul este aparatul care permite măsurarea mai multor mărimi. De exemplu, multimetrul numeric de precizie HM8112-3 (figura 1.1), produs de firma Hameg, poate măsura curenți și tensiuni (în c.c. sau c.a.), rezistențe, frecvențe, perioade, temperaturi și poate testa diode sau continuitatea. În plus, prin accesarea meniului aparatului, se pot selecta/modifica parametri, prelucra valori măsurate, afișa rezultate sau alte informații. Multimetrul se alimentează de la rețea și poate fi cuplat la un calculator compatibil IBM-PC.

În această temă este prezentat multimetrul numeric de precizie HM8112-3 și se recomandă verificarea, în laborator, a funcțiilor și reglajelor aparatului.



Figura 1.1

Multimetrul numeric de precizie HM 8112-3

Schema bloc a multimetrului numeric HM 8112-3, prezentată în cartea tehnică a aparatului, este cea din figura 1.2. Elementele de bază ale structurii interne sunt convertoarele analog-numerice integrate, a căror funcționare se

bazează pe principiul integrării cu mai multe pante. Referința de tensiune (folosită pentru conversie) oferă o tensiune riguros constantă, care asigură stabilitatea funcționării pe termen lung a multimetrului. Valorile numerice rezultate în urma conversiei analog-numerice pot fi afișate direct sau se afișează media ultimelor valori măsurate.

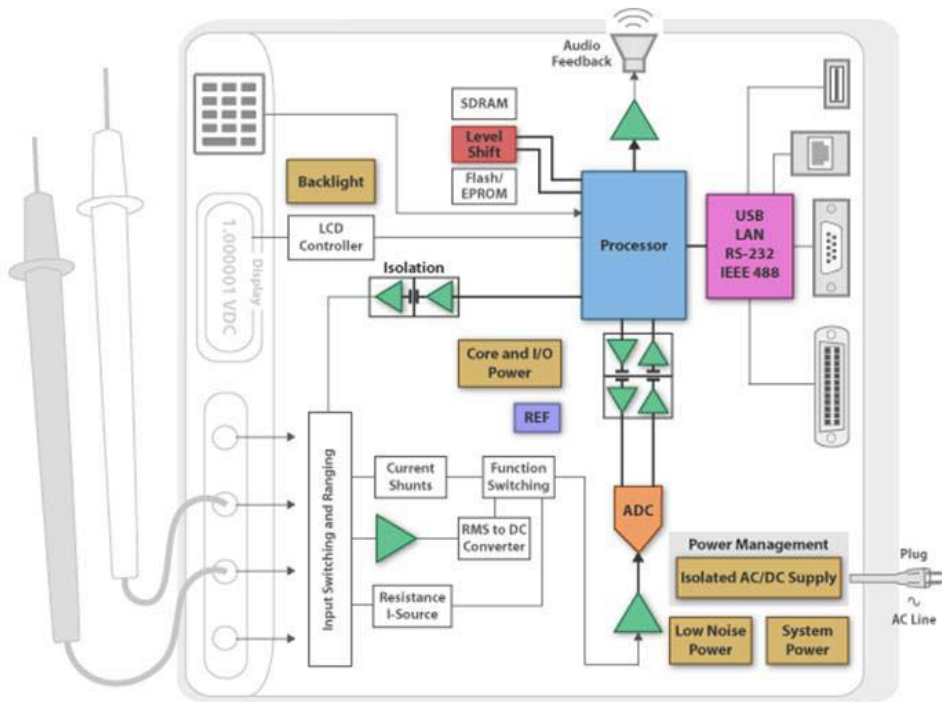


Figura 1.2

Schema bloc internă a multimetrului HM 8112-3

Frecvența unei tensiuni periodice se măsoară contorizând fronturile descrescătoare ale acestui semnal, într-o secundă; numărul rezultat este frecvența exprimată în Hz. Pentru determinarea perioadei, se măsoară intervalul de timp dintre două treceri prin zero, consecutive și pe fronturi de același tip, ale tensiunii de intrare. Această măsurare combinată permite determinarea atât a frecvențelor mici cât și a frecvențelor foarte mari, într-un interval rezonabil de timp.

Pentru măsurarea valorii efective (RMS) a tensiunii, se folosește un circuit care convertește tensiunea alternativă de intrare într-o tensiune continuă, proporțională cu valoarea efectivă a tensiunii alternative.

Principiul funcționării convertorului analog-numeric cu integrare

Convertoarele analog-numeric cu integrare sunt de mai multe tipuri: cu două pante, cu trei pante sau cu patru pante. Principiul de funcționare al acestor convertoare este explicat pentru structura cu două pante.

Funcționarea *convertorului analog-numeric cu integrare cu două pante* se bazează pe conversia tensiunii continue de intrare într-un interval de timp proporțional și măsurarea acestuia prin contorizarea unor impulsuri de frecvență ridicată. Schema funcțională a acestui convertor este dată în figura 1.3, iar diagrama principalelor semnale asociate este reprezentată în figura 1.4.

Tensiunea continuă U de intrare a convertorului analog-numeric este mai întâi aplicată circuitului de intrare CI care normalizează variația acestei tensiuni (ca și la convertorul analog-numeric cu aproximări succesive).

Sursa de tensiune de referință STR asigură o tensiune riguros constantă, $U_{REF} > 0$. Integratorul cu amplificator operațional (elementele AO, R și C din figura 1.3) primește la intrare o tensiune continuă, negativă sau pozitivă, și oferă la ieșire o tensiune $u_{AO}(t)$ liniar variabilă, cu pantă crescătoare, respectiv descrescătoare, în funcție de polaritatea tensiunii de intrare. Generatorul de impulsuri GI furnizează impulsuri dreptunghiulare (notate cu s_1 în figura 1.3) de frecvență f ridicată. Blocul de comandă BC controlează funcționarea convertorului prin transmiterea unor semnale de comandă celorlalte blocuri electronice din schemă și prin controlarea pozițiilor comutatoarelor electronice K_0 și K_1 .

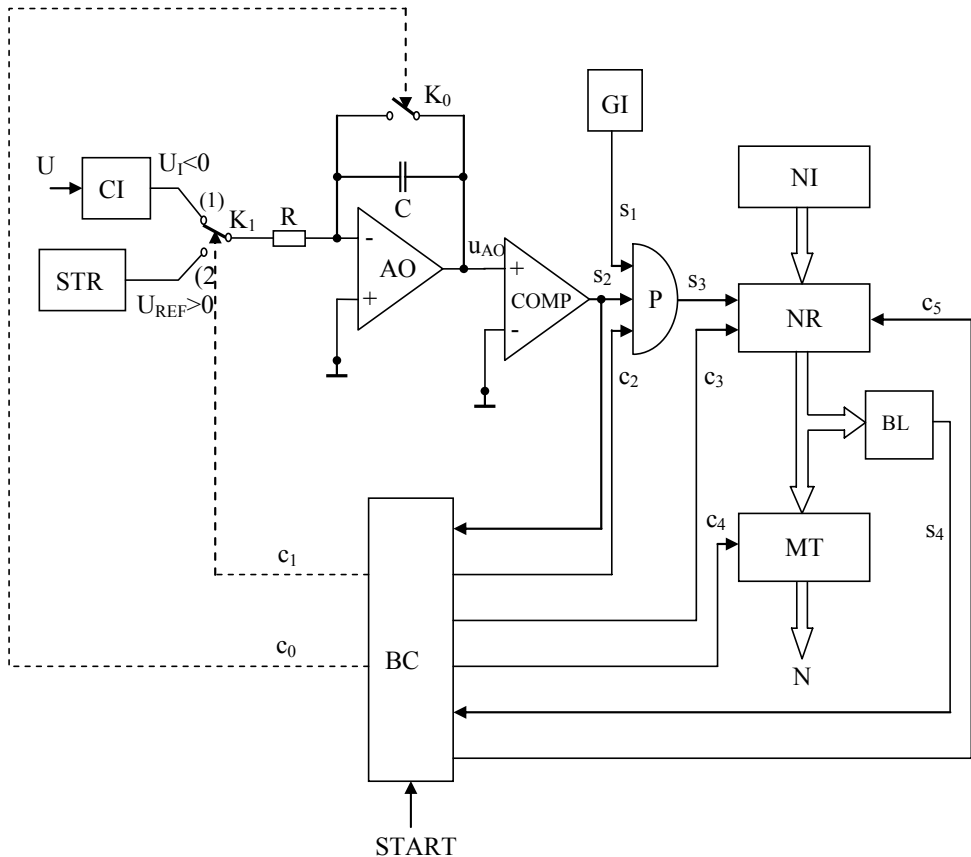
Etapele care sunt parcurse pe durata unui ciclu de conversie al convertorului analog-numeric cu integrare cu două pante sunt prezentate în continuare, considerând $U_1 < 0$.

Etapa 1

Conversia începe în momentul primirii comenzii START, care poate fi externă sau internă (a doua situație apare la convertorul cu funcționare automată sau ciclică). În acel moment, BC realizează, în ordine, următoarele operații:

- emite semnalul c_0 , prin care închide comutatorul K_0 ; se produce astfel descărcarea rapidă a condensatorului C ;

- comandă, prin c_5 , încărcarea numărătorului reversibil NR cu numărul N_1 (exprimat în cod binar) existent în numărătorul de inițializare NI;
- trece în "1" intrarea c_2 de comandă a porții ȘI cu 3 intrări, poartă notată cu P în figura 1.3.

**Figura 1.3**

Schema funcțională a convertorului analog-numeric cu integrare cu două pante

Etapa 2

BC comandă sensul invers de numărare pentru NR (semnalul c_3), trecerea lui K_1 pe poziția (1) și apoi deschiderea comutatorului K_0 , ceea ce

permite aplicarea tensiunii $U_I < 0$ la intrarea integratorului. Tensiunea la ieșirea acestui bloc este linear crescătoare și are forma

$$u_{AO}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_I dt = \frac{|U_I|}{RC} \int_0^t dt = a \cdot t. \quad (1.1)$$

Cât timp $u_{AO}(t) > 0$, comparatorul COMP are ieșirea s_2 în "1" și impulsurile s_1 , de frecvență f , sunt transmise, prin poarta P, la intrarea de numărare a NR; acesta se decrementează la fiecare nou impuls primit.

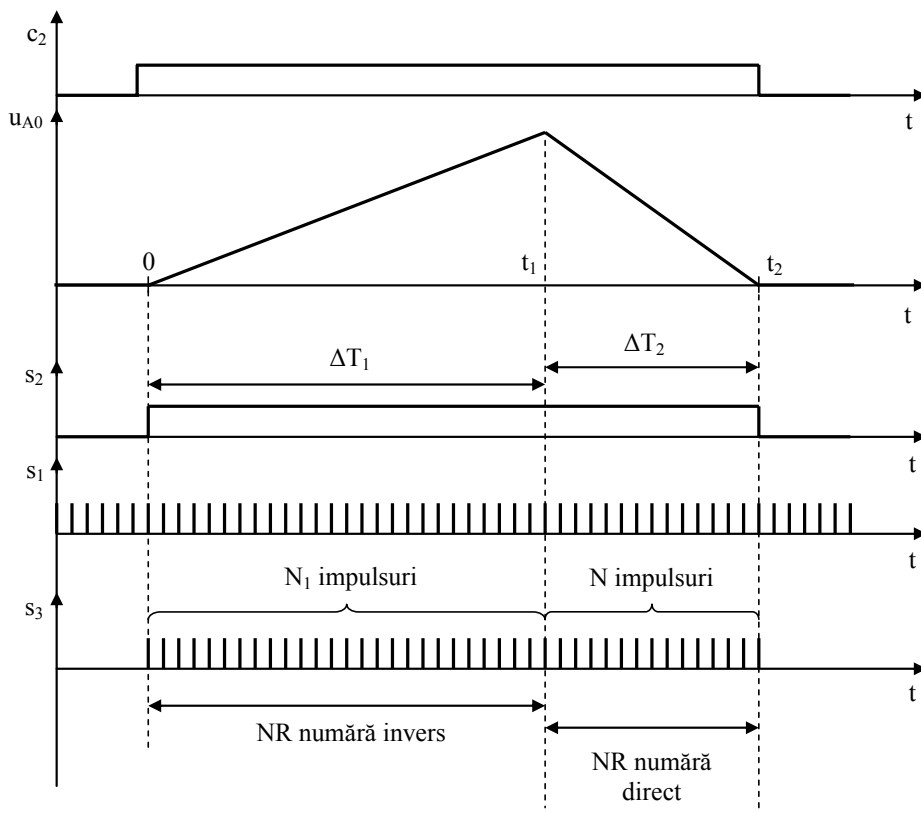


Figura 1.4

Diagrama principalelor semnale asociate convertorului analog-numeric cu integrare cu două pante

Numărătorul reversibil se golește la momentul t_1 ; în intervalul de timp $\Delta T_1 = t_1$ s-au contorizat N_1 impulsuri: $\Delta T_1 = \frac{N_1}{f}$. Golirea NR este sesizată de blocul logic BL, care informează BC (prin semnalul s_4) asupra acestei situații. La momentul t_1 , tensiunea la ieșirea integratorului este

$$u_{AO}(t_1) = a \cdot \Delta T_1. \quad (1.2)$$

Etapa 3

BC comandă K_1 pe poziția (2) și sensul direct de numărare pentru NR. Tensiunea $U_{REF} > 0$ se aplică integratorului, la ieșirea căruia tensiunea devine liniar descrescătoare:

$$u_{AO}(t_1 + t) = u_{AO}(t_1) - \frac{U_{REF}}{RC} \int_{t_1}^{t_1+t} dt = a \cdot \Delta T_1 - b \cdot t. \quad (1.3)$$

Cât timp $u_{AO}(t) > 0$, s_2 este "1" la ieșirea COMP, iar impulsurile s_1 trec prin poarta P spre numărătorul NR care le numără direct. La momentul t_2 se anulează tensiunea la ieșirea integratorului, s_2 devine "0", poarta P se blochează, iar numărătorul reversibil rămâne încărcat cu numărul N (exprimat în cod binar), care reprezintă numărul impulsurilor contorizate în intervalul de timp $\Delta T_2 = t_2 - t_1$. Anularea tensiunii s_2 este sesizată blocului de comandă care, prin activarea semnalului c_2 , blochează poarta P până la o nouă conversie și comandă înscrierea numărului N în memoria tampon MT (comanda c_4).

În momentul inițial, ca și la momentul t_2 , condensatorul C este descărcat, tensiunea de ieșire a integratorului fiind nulă (sarcina acumulată de condensator în intervalul ΔT_1 trebuie să fie egală cu cea cedată în intervalul ΔT_2):

$$u_{AO}(t_2) = \frac{|U_I|}{RC} \cdot \Delta T_1 - \frac{U_{REF}}{RC} \cdot \Delta T_2 = 0. \quad (1.4)$$

Știind că numărul impulsurilor de frecvență f , contorizate în intervalul ΔT_1 , este N_1 , iar în intervalul ΔT_2 este N se obține

$$|U_I| = N \cdot \frac{U_{REF}}{N_1}. \quad (1.5)$$