

CUPRINS

	Pag.
Tema 1. Multimetrul numeric	
1.1. Prezentare generală	7
1.2. Comportarea la borne	14
1.2.1. Măsurarea tensiunii electrice	14
1.2.2. Măsurarea curentului electric	15
1.2.3. Măsurarea rezistenței electrice	17
1.2.4. Testarea diodei	17
1.2.5. Montajele su 2 sau 4 fire pentru măsurarea rezistenței electrice	19
1.3. Senzorii de temperatură folosiți	20
1.4. Caracteristicile și elementele de control ale multimetrului numeric HM 8112-3	21
1.4.1. Elementele pentru controlul funcționării	24
1.4.2. Butoanele pentru funcțiile de măsurare	24
1.4.3. Butoanele pentru valoare minimă sau maximă	28
1.4.4. Butoanele pentru selecția domeniului de măsurare	28
1.4.5. Structura meniului	28
1.4.6. Bornele de intrare	29
1.4.7. Controlul de la distanță	29
1.5. Determinări experimentale	30
Bibliografie	31
Tema 2. Osciloscopul numeric	
2.1. Prezentare generală	33
2.1.1. Structura internă	33
2.1.2. Metode de eșantionare	36
2.1.3. Prelucrări ale semnalelor	38
2.1.4. Sonde de măsurare	40
2.1.5. Parametri specifici și avantaje	44
2.2. Osciloscopul numeric Tektronix TDS 1012B	45
2.2.1. Caracteristici și elemente de control	45
2.2.2. Verificarea sondei și osciloscopului	48
2.2.3. Informațiile din zona de afișare	48
2.2.4. Butoane pentru reglaje pe verticală	50

2.2.5.	Butoane pentru reglaje pe orizontală	51
2.2.6.	Butoane pentru reglaje folosite la declanșarea bazei de timp	52
2.2.7.	Butoane pentru meniu și control	52
2.2.8.	Stabilizarea unei forme de undă pe ecran	53
2.2.9.	Selecția și utilizarea cursorilor	53
2.3.	Determinări experimentale	54
	Bibliografie	55
Tema 3. Multiscopul		
3.1.	Prezentare generală	57
3.2.	Moduri de utilizare și elemente de control	58
3.2.1.	Funcții și reglaje generale	58
3.2.2.	Funcții și reglaje specifice osciloscopului	61
3.2.3.	Funcții și reglaje specifice multimetrului	69
3.3.	Utilizarea pachetului software FlukeView	75
3.3.1.	Datele primite de la multiscop	76
3.3.2.	Analiza formelor de undă	79
3.3.3.	Înregistrarea și trasarea graficelor	79
3.4.	Determinări experimentale	81
	Bibliografie	83
Tema 4. Mărci tensometrice. Sistem de testare și măsurare		
4.1.	Mărci tensometrice. Punți tensometrice	84
4.1.1.	Măsurarea forței pe baza deformației	84
4.1.2.	Principiul de funcționare a mărcilor tensometrice	85
4.1.3.	Punți tensometrice	87
4.1.4.	Măsurarea forțelor la solicitări de încovoiere și torsiune	89
4.2.	Sistem experimental de testare a traductorului tensorezistiv și de măsurare a masei	90
4.2.1.	Prezentare generală	90
4.2.2.	Senzorul tensorezistiv și adaptorul	92
4.2.3.	Determinări experimentale	99
	Bibliografie	102
Tema 5. Traductoare numerice incrementale. Sistem de măsurare a unor parametri tehnologici		
5.1.	Traductoare numerice incrementale	104
5.1.1.	Rigla optică	104
5.1.2.	Traductorul numeric incremental rotativ	108
5.2.	Sistem de măsurare a unor parametri tehnologici	110
5.2.1.	Mașina pentru ajustat folia de aluminiu	110

5.2.2.	Cerințele impuse sistemului de măsurare	111
5.2.3.	Principiul metodei de măsurare	112
5.2.4.	Structura sistemului de măsurare	113
5.3.	Sistem experimental pentru studierea și utilizarea traductorului numeric incremental rotativ	114
5.3.1.	Structura și scopul sistemului experimental	114
5.3.2.	Proiectarea software	116
5.3.3.	Modalități de utilizare a traductorului	119
5.3.4.	Aplicație a traductorului numeric incremental rotativ	121
	Bibliografie	124
Tema 6. Senzor inteligent de temperatură. Aplicație		
6.1.	Traductoare de temperatură cu termorezistențe	126
6.1.1.	Termorezistențe	127
6.1.2.	Adaptoare	129
6.2.	Senzor inteligent de temperatură	131
6.2.1.	Prezentare generală	131
6.2.2.	Caracteristici tipice pentru ieșirea analogică	137
6.2.3.	Moduri de funcționare	138
6.2.4.	Funcția <i>Histerezis</i> și funcția <i>Fereastră</i>	139
6.2.5.	Parametrii programabili și interfața senzorului	141
6.3.	Macheta pentru studierea senzorului inteligent de temperatură	148
6.3.1.	Organizarea machetei	148
6.3.2.	Studierea funcționării senzorului inteligent de temperatură....	150
6.3.3.	Aplicație a senzorului inteligent de temperatură	153
	Bibliografie	157
Tema 7. Senzori de proximitate. Aplicații		
7.1.	Senzori inductivi de proximitate	158
7.1.1.	Prezentare generală	158
7.1.2.	Senzori inductivi ecranati și neecranati	162
7.1.3.	Caracteristici	162
7.1.4.	Aplicații	165
7.1.5.	Senzorul inductiv Ni4U-Q8SE-AP6X	168
7.2.	Senzori capacitivi de proximitate	172
7.2.1.	Prezentare generală	172
7.2.2.	Aplicații	177
7.2.3.	Senzorul capacitiv BC3-M12-AP6X	178
7.3.	Machetă pentru studierea senzorilor de proximitate	181
7.3.1.	Organizarea machetei	181
7.3.2.	Studierea funcționării senzorului inductiv de proximitate.....	183

7.3.3. Studiarea funcționării senzorului capacitiv de proximitate.....	183
7.3.4. Aplicație a senzorilor de proximitate	184
Bibliografie	187
Tema 8. Senzori ultrasonici. Sistem de testare	
8.1. Senzori ultrasonici	188
8.1.1. Prezentare generală	188
8.1.2. Senzorul inteligent QS18UPA	193
8.1.3. Senzorul RU30-Q30-AP8X-H1141	201
8.2. Macheta pentru studierea senzorilor ultrasonici	203
8.2.1. Organizarea machetei	203
8.2.2. Studiarea funcționării senzorului inteligent QS18UPA.....	205
8.2.3. Studiarea funcționării senzorului RU30-Q30-AP8X-H1141...	213
Bibliografie	215
Tema 9. Senzori inductivi. Sistem de testare și măsurare	
9.1. Senzorul inductiv Wi70-M18-LiU5	216
9.2. Senzorul inductiv Bi20R-Q14-LU	218
9.3. Module de achiziție și control din seria I-7000	220
9.3.1. Modulul I-7017F	222
9.3.2. Modulul I-7520R	223
9.4. Sistem experimental de testare și măsurare	224
9.4.1. Prezentare generală	224
9.4.2. Determinări experimentale	226
Bibliografie	231
Tema 10. Rețele senzoriale tactile. Procesarea informației senzoriale	
10.1 Rețele senzoriale tactile	232
10.1.1. Rețele senzoriale electrooptice	233
10.1.2. Rețele senzoriale de tip rezistiv	237
10.1.3. Senzor matriceal tactil cu calote sferice	243
10.1.4. Arie senzorială microtactilă capacitivă	244
10.2 Procesarea informației senzoriale	245
10.2.1. Etapele procesului de recunoaștere a formelor în robotică...	245
10.2.2. Învățarea și clasificarea modelelor	249
10.2.3. Identificarea sau rejectarea formei necunoscute	251
10.3 Programul pentru generarea și descrierea amprentelor binare	252
10.4 Programul pentru clasificarea modelelor și identificarea formelor necunoscute	260
Bibliografie	264

DORINA PURCARU

**INSTRUMENTAȚIE, SENZORI ȘI
SISTEME DE MĂSURARE**

Lucrări practice



**EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2012**

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 automatizati 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.

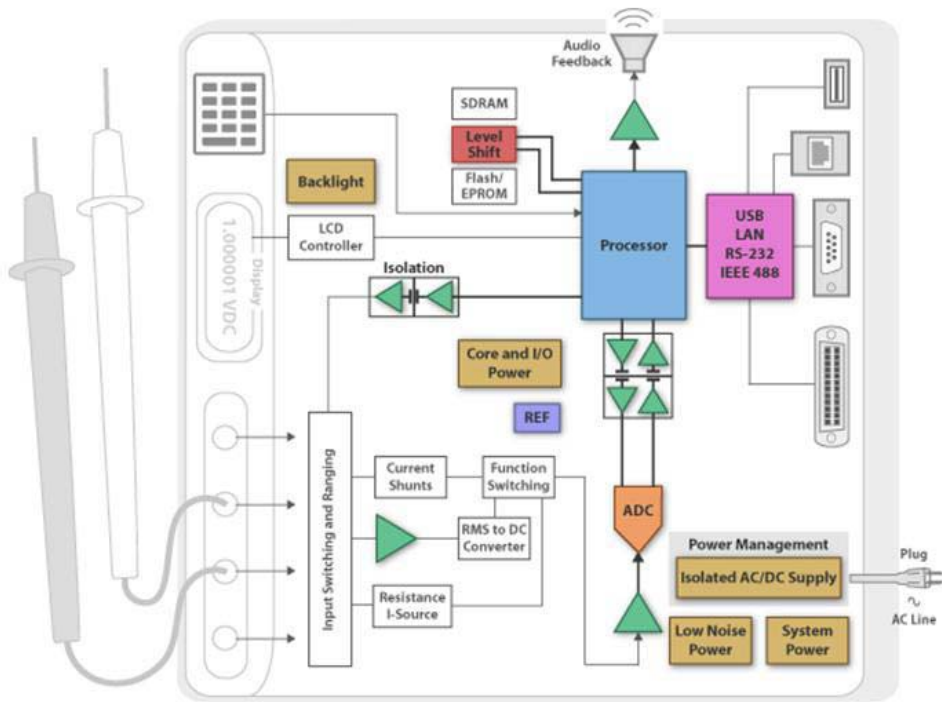


Figura 1.2

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.

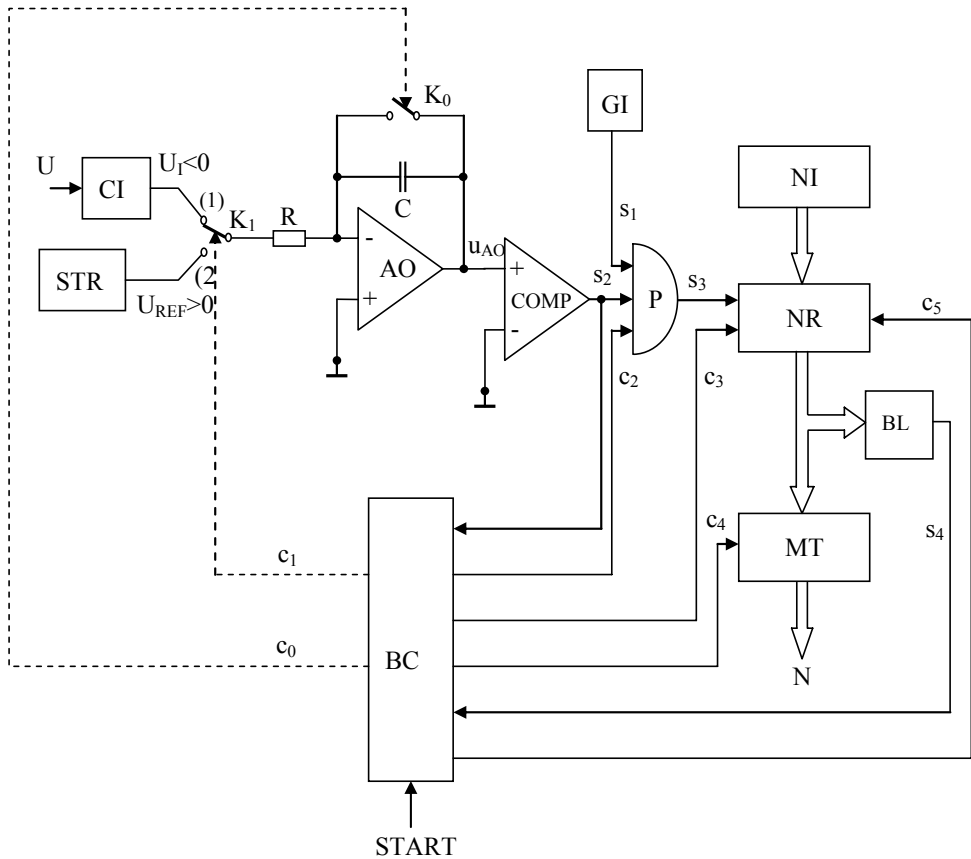


Figura 1.3

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.

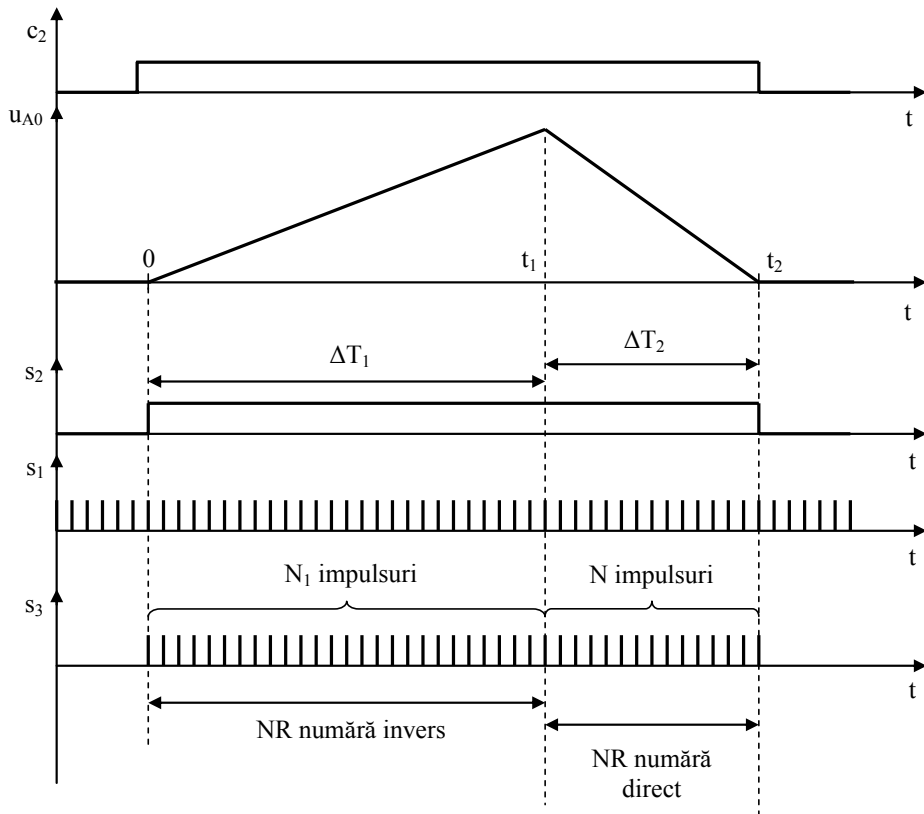


Figura 1.4

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

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