

MĂSURAREA NUMERICĂ A TIMPULUI ȘI A FRECVENȚEI

1. Generalități . Obiectul lucrării.

Orice măsurare are ca operație finală numărarea. Mărimea care se măsoară este convertită de cele mai multe ori în timp sau în frecvență. În acest caz, măsurarea se reduce la determinarea numărului de etaloane de timp (impulsuri de lungă durată standard) care se cuprind în intervalul de timp proporțional cu mărimea de măsurat, sau numărul de impulsuri de frecvență proporțional cu mărimea de măsurat care se cuprind într-un interval standard.

Instrumentul digital care stă la baza aparatelor digitale utilizate pentru măsurarea timpului și a frecvenței poartă numele de numărător (în sens general) și are schema de principiu prezentată în figura.1.

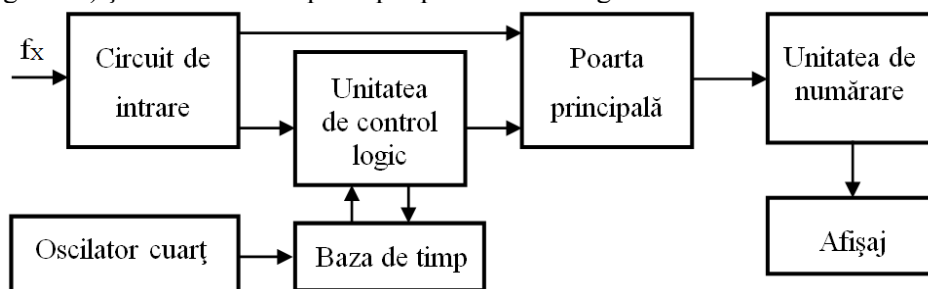


Fig. 1 Schema de principiu pentru măsurarea frecvenței

CIRCUITUL DE INTRARE – are rolul de a prelucra semnalul analogic de măsurat transformându-l într-o succesiune de impulsuri dreptunghiulare, având aceeași frecvență cu semnalul de intrare, dar la un nivel logic compatibil cu elementele electronice din aval (de obicei circuite TTL). Circuitul de intrare mai are rolul de rejecție a semnalelor parazite, de amplificator sau atenuator – în funcție de nivelul semnalului de intrare – de a realiza o impedanță mare la intrare, etc.

OSCILATORUL CU CUARȚ - este elementul etalon de timp; este deci un generator de impulsuri de mare sensibilitate a cărei frecvență este în general de $1 \div 10$ MHz. În construcțiile pretențioase el este protejat de variațiile de temperatură, el fiind termostatat.

BAZA DE TIMP – este un lanț de divizoare decadice de frecvență. La prizele bazei de timp (fig.2) se pot obține submultiplii decadici ai frecvenței oscilatorului cu cuarț (sau multiplii decadici ai perioadei de oscilație a oscilatorului cu cuarț)

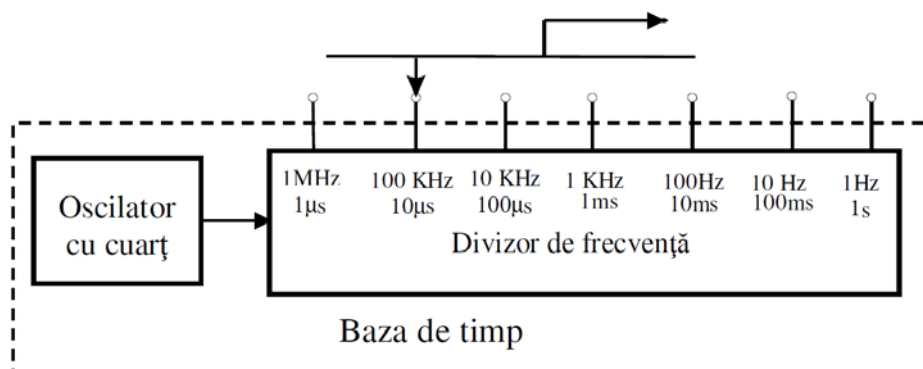


Fig. 2 Baza de timp

POARTA PRINCIPALĂ - în esență este un circuit logic SI cu două intrări : una informațională A și una de control B (fig. 3)

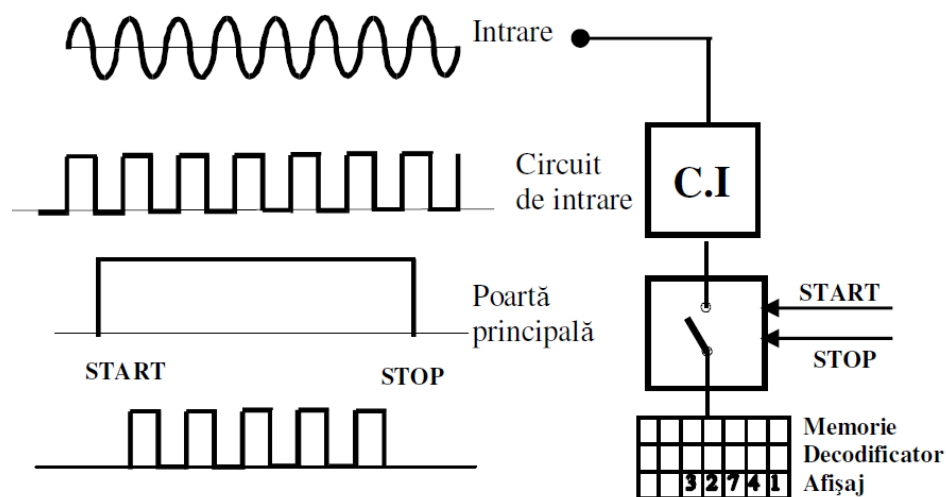


Fig. 3 Diagrama de semnale pentru măsurarea frecvenței

$$T_O = N * T_X \quad \text{sau} \quad N = T_O * f_X \quad (4.1)$$

Porții principale i se aplică : intrării A semnalul triggerat de intrare, de perioadă mai mică, T_X necunoscută, și intrării B semnalul de perioadă mai mare, T_O , cules de la baza de timp. în acest timp se va măsura frecvența semnalului aplicat intrării B. în timpul perioadei T_O vor trece N impulsuri de perioadă T_X , astfel încât :

$N \approx f_X$, T_O este constant provine de la cuarț, deci numărul N este o măsură a frecvenței semnalului de intrare. Numărul N , stocat în unități de numărare zecimală, este convertit și aplicat unității de afișaj (fig.4.)

UNITATEA DE NUMĂRARE ZECIMALĂ - este formată dintr-un lanț de numărătoare decadice în cod BCD (zecimal codificat binar) cu "n" decade.

AFIȘAJUL – este format dintr-un decodificator special (BCD zecimal sau BCD 7 segmente) care face semnalul compatibil spre a fi reprezentat în formă cifrică la indicatoarele optoelectronice, care pot fi cu tuburi indicatoare numerice – NIXIE - sau cu diode cu emisie de lumină - LED - sau plachete de cristal lichid - LCD.

UNITATEA DE CONTROL LOGIC – este un circuit de interfațare a celorlalte blocuri ale numărătorului. El realizează secvențele logice între circuite și face legătura între aceste circuite și panoul aparatului selectând modurile de operare ale numărătorului.

MODURILE DE LUCRU ALE NUMĂRĂTORULUI :

Numărătoarele moderne sunt prevăzute cu mai multe posibilități de lucru. Cele mai întâlnite sunt: modul Totalizare, modul Frecvență, modul Perioadă și modul Multiplu de perioadă.

Modul TOTALIZARE – este de fapt numărarea propriu-zisă a semnalelor electrice prezentate la intrarea numărătorului. Dacă fiecărui semnal i se asociază un eveniment, acest mod de lucru permite înregistrarea de-a lungul unui interval de timp a evenimentelor prezente; acest mod este des întâlnit în cazul proceselor industriale. Poarta principală este comandată de semnalul Start – Stop, electronic sau manual de pe panoul frontal. Afișajul indică numărul de impulsuri trecut prin poartă în intervalul de timp dintre comenzile Start și Stop.(vezi fig.4.)

Modul FRECVENȚĂ - la descrierea rolului porții principale s-a explicat acest mod de lucru al numărătorului. în relația (1.), dacă se ia $T_O=1s$ rezultă $N=f_X$ În Hz în cazul din figura 4. Comutatorul bazei de timp este fixat pe poziția 10ms ; prin poarta principală trec $N=4237$ impulsuri, rezultă $f_X = N/T_O = 4237/10^{-2} = 423700$ Hz. Dacă comutatorul "dimensiune" este fixat pe poziția "KHz" iar rezultatul se va afișa pe un display cu 7 ranguri, pe display apare 000423.7 KHz, ceea ce înseamnă că s-a activat cel de al doilea punct zecimal.

OBSERVAȚIE:

Poziția punctului zecimal este în funcție de dimensiunea fixată (Hz, KHz, MHz) și de poziția comutatorului bazei de timp. Pentru fiecare digit din cadrul display-ului există un punct zecimal notat cu P1, P2, ...,P8, ... , începând din poziția cea mai puțin semnificativă. Pentru exemplul anterior , dacă dimensiunea este fixată pe MHz, rezultatul se va afișa 000.4237 MHz – activându-se al cincelea punct zecimal, etc. La aparatele digitale mai noi,

comutarea bazei de timp se face automat, inclusiv alegerea dimensiunii și a punctului zecimal.

REZOLUȚIA – cu care este afișată frecvența măsurată este dată de valoarea celui mai puțin semnificativ bit, la dimensiunea și baza de timp alese. Astfel pentru exemplul ilustrat anterior rezoluția este de 0.1 KHz. Dacă poarta principală este deschisă de 100 ori mai mult, deci $T_O = 1s$, numărul de impulsuri care trec prin poartă va fi de exemplu $N = 423738$ și $f_X = 423738$ Hz, rezultatul se va afișa 0423.738 KHz, deci cu o rezoluție de 0.001 KHz. Din cele spuse rezultă că pentru creșterea rezoluției este nevoie ca poarta principală să fie deschisă un timp cât mai mare. Cu schema din fig.1. se pot măsura cu o rezoluție ridicată frecvențe mai mari de ordinul KHz. Frecvențele joase nu se pot măsura după această schemă. De exemplu, pentru a măsura un semnal de frecvență de 7.325 Hz, cu o rezoluție de 0.001Hz este nevoie ca poarta principală să fie deschisă un interval de timp $T_O = 10^3$ s , ceea ce nu este acceptabil.

$$T_2 = N * T_1 = \frac{N}{f_1} \quad \text{sau} \quad N = \frac{f_1}{f_2} \quad (4.2)$$

Modul RAPOARTE DE FRECVENȚĂ - Oscilatorul cu cuarț se decuplează, iar bazei de timp i se aplică un semnal de frecvență f_2 , care în prealabil a fost triggerat în circuitul de intrare, CI 2. Semnalul de frecvență mai mică se aplică circuitului de intrare CI 1 (fig.4.). Poarta principală este deschisă un timp T_2 , încât se poate scrie:

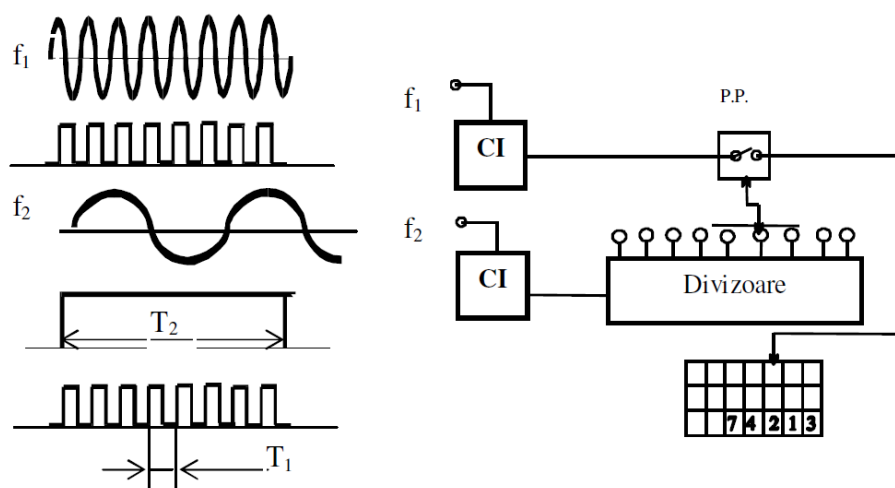


Fig. 4 Măsurarea raportului a două frecvențe

Modul PERIOADĂ - este oarecum invers modului Frecvență. Semnalul, a cărui perioadă T_X dorim să o măsurăm se aplică intrării de control, iar semnalul bazei de timp se aplică intrării informaționale (fig.5.). În acest caz se poate scrie :

$$T_X = N * T_O \quad (4.3)$$

unde T_O este perioada semnalului bazei de timp, deci :

$$N = \frac{T_X}{T_O} \quad (4.4)$$

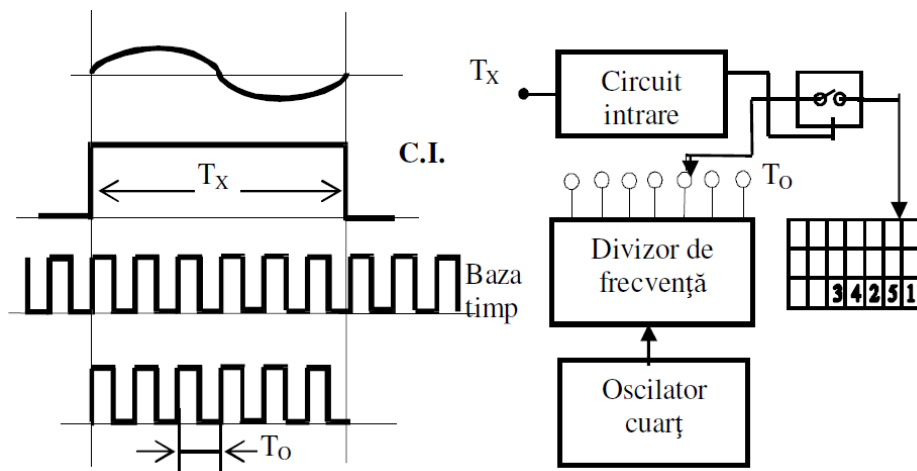


Fig. 5 Măsurarea perioadei

Rezoluția este cu atât mai mare cu cât perioada T_O este mai mică. Rezultă că acest mod de lucru este limitat de frecvența oscilatorului cu cuarț.

Modul PERIOADE MULTIPLE – Derivă din modul Perioadă și constă în divizarea semnalului de frecvență mare a cărui perioadă este măsurată (fig.6). De aceea acest semnal este aplicat bazei de timp, iar semnalul oscilatorului cu cuarț este trecut direct spre numărare prin poarta principală.

$$N = 10^K * \frac{T_X}{T_O} \quad (4.5)$$

Poarta principală va fi deschisă un timp egal cu $10^K T_X$ și vor trece în acest interval de timp un număr de impulsuri :

Deci, de 10^K ori mai mult decât în cazul modului de măsurare perioadă singulară. Rezultatul se poate afișa direct fără a fi necesară o împărțire cu 10^K , prin simpla deplasare spre stânga cu k ranguri a punctului zecimal. Rezoluția a crescut pe seama măririi timpului de măsurare.

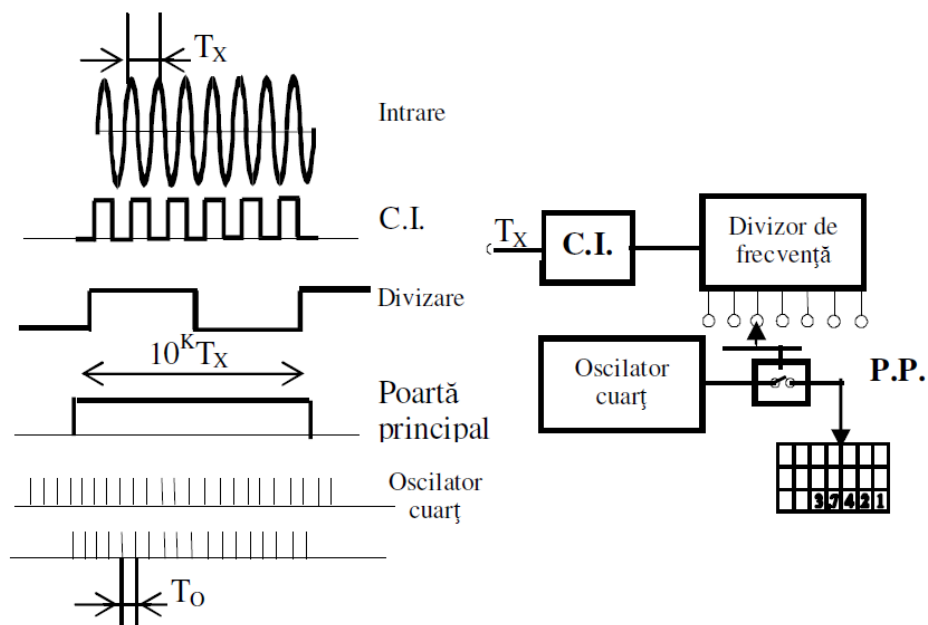


Fig. 6 Modul multiperiodă

Verificarea frecvenței generatorului intern

Toate frecvențmetrele, și în general toate numărătoarele sunt prevăzute cu o bornă de ieșire pentru verificarea frecvenței generatorului intern. Schema din fig.7. ilustrează acest mod de verificare.

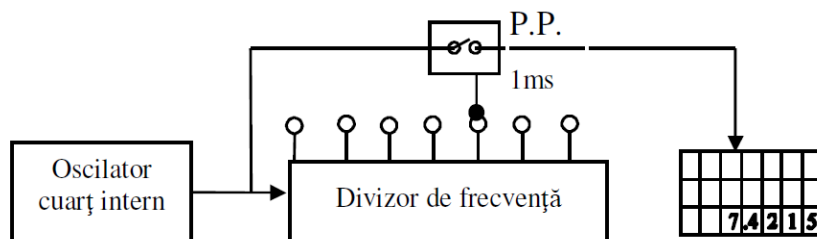


Fig. 7 Verificarea oscilatorului intern

Nu este decât o schemă de măsurare a frecvenței, în care frecvența de măsurat se ia de la ieșirea osciloscopului intern, iar poarta principală este menținută deschisă de o frecvență dirijată prin baza de timp. Dacă de exemplu oscilatorul intern are frecvență 1 MHz și comutatorul bazei de timp este pus pe poziția 1 ms, display-ul va indica 1000.

2. Chestiuni de studiat

A.) Se vor studia modurile de lucru ale numărătorului universal cu 7 cifre IEMI : E203 verificarea funcționării corecte;

- a) vizualizarea semnalelor de la ieșirea bazei de timp și analiza modului de divizare a frecvenței oscilatorului cu cuarț;
- b) studiul modului de lucru Totalizare – numărarea impulsurilor primite de la un generator de semnal;
- c) studiul modului de lucru Frecvență:
 - calculul frecvenței critice;
 - măsurări de frecvențe : 1 Hz, 10 Hz, etc. , precum și calculul erorilor de măsurare;
 - studiul stabilității generatorului de semnal .
- d) studiul modului de lucru Perioadă și Perioadă multiplă:
 - măsurarea perioadei acelorași semnale a căror frecvență a fost determinată la paragraful anterior . Calculul erorilor de măsurare. Concluzii privind măsurarea perioadei și frecvenței semnalelor.
- e) Studiul modului de lucru Rapoarte de Frecvență:
 - se vor determina diferite rapoarte de frecvență pentru semnale provenite de la două generatoare de semnal.

Se determină gradul de sensibilitate ale frecvențmetrului, la modificarea amplitudinii semnalului de intrare .

3. Modul de lucru

3.1. Numărătorul universal E 203, E206

A.) Se închide comutatorul de rețea în poziția superioară și se pune comutatorul " Funcționare" pe poziția " Test". în funcție de poziția comutatorului bazei de timp trebuie să se afișeze următoarele rezultate:

Poziția comutatorului bazei de timp	Rezultatul afișat
1 Hz	10
10 Hz	100
100 Hz	1000
1000 Hz	10000
10000 Hz	100000
100000 Hz	1000000

- B.) Ieșirile de la baza de timp sunt disponibile pe panoul frontal posterior al aparatului . Se aduce semnalul de la fiecare ieșire la intrarea osciloscopului, se vizualizează forma de undă, determinându-se raportul de divizare.
- C.) Pentru modul de lucru TOTALIZARE pozițiile comutatorului vor fi:
- Funcțiunea – poziția N;
 - Baza de timp – indiferent;
 - Borna de intrare – F;
 - Amplificator F – în funcție de amplitudinea și frecvența semnalului, pe una din pozițiile :
 - a) Direct 0 ... 20 MHz ; 2 V_{VV}... 15 V_{VV} ;
 - b) 1/1 10 MHz ... 20 MHz ; 100 mV ... 35V cuplaj în c.a. ;
 - c) 1/10 10 Hz ... 20 MHz ; 1V ... 100V cuplaj în c.a.

Se vor aduce semnalele de diferite frecvențe de la generatorul de semnal și se va urmări modul de măsurare.

- D.) Făcând abstracție de eroarea proprie a oscilatorului cu cuarț, ca și de incertitudinea de ± 1 digit, se poate determina până la ce frecvență a generatorului este indicată utilizarea ca frecvențmetru și la ce frecvență ca periodmetru.

$$\varepsilon_f = \frac{f_0}{10^n * f} \quad (4.9)$$

Eroarea de funcționare ca frecvențmetru este :

unde : $f_0 = 10^6$ Hz – este frecvența generatorului cu cuarț;

f – este frecvența de măsurat ;

n - ordinul de divizare a frecvenței semnalului care comandă poarta.

Pentru :

poziția " 0.1 sec " $n=5$

poziția " 1 sec " $n=6$

poziția " 10 sec " $n=7$

Eroarea de funcționare ca periodmetru este :

$$\varepsilon_T = \frac{f}{10^p * f_0} \quad (4.10)$$

unde : f_0, f – cu aceleași semnificații ca mai sus;

$p = 0$ pentru poziția T;

$p = 1$ pentru poziția 10T;

Frecvența critică este frecvența la care $\varepsilon_f = \varepsilon_T$, deci :

$$f_{cr} = \frac{f_0^2}{10^{\frac{n-p}{2}}} \quad (4.11)$$

E.) Se vor măsura frecvențele indicate, fiecare pe pozițiile " 0.1 s ", " 1 s ", " 10 s " și se va calcula eroarea relativă cu expresia :

$$\frac{\Delta f}{f} \leq \pm \frac{1}{N} \pm \varepsilon_C \quad (4.13)$$

unde : N – este numărul afișat fără virgulă ;

ε_C - este eroarea oscilatorului cu cuarț ;

Rezultatele se trec în tabelul 1

Frecvența de măsurat	Timpul de poartă (T _p)	Valoarea întreaga afișată (N)	Număr cifre afișate	$\varepsilon_r(\%)$
123456,7 Hz	10s			
	1s			
	0,1s			
	100ms			
	10 ms			
	1ms			

F.) Pentru studiul stabilității generatorului de semnal se adoptă o metodă statistică - se măsoară frecvența de 200 KHz de 30 de ori. Se vor calcula parametrii statisticii:

– valoarea medie :

$$f_{med} = \frac{\sum_{k=1}^n f_k}{n} \quad (4.14)$$

– dispersia (eroarea medie pătratică) :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (f_k - f_{med})^2}{n-1} \quad (4.15)$$

– abaterea individuale :

$$\Delta f_k = f_k - f_{med} \quad (4.16)$$

– abaterea standard :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (4.17)$$

– abaterea medie :

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma}{n} \quad (4.18)$$

Incertitudinea (eroarea imită a mediei aritmetice) este :

$$\Delta f_{med} = \frac{f}{\sqrt{n}} \sigma \quad [\text{Hz}] \quad (4.19)$$

unde: t – este coeficientul de amplificare depinzând de repartiția erorilor aleatoare, de numărul măsurătorilor și de nivelul de încredere P adoptat. Pentru repartiții statistice normale ale erorilor, pentru n = 30 și P = 99,73 se ia t = 3,3 . Rezultatul cel mai probabil al măsurătorilor este:

$$f = f_{med} \pm \Delta f_{med} \quad (4.20)$$

G.) Se vor determina perioada unui semnal sinusoidal de la generator si erorile relative pe diferite pozitii ale comutatorului BAZA DE TIMP.

$$\frac{\Delta T}{T} \leq \pm \frac{1}{N} \pm \frac{d}{n} \pm \varepsilon_C \quad (4.21)$$

Eroarea de măsurare a perioadei este:

unde : N este numărul afișat fără virgulă ;

d = $2 \cdot 10^{-3}$ este eroarea de declanșare ;

$\varepsilon_C = 2 \cdot 10^{-8}$ este eroarea oscilatorului cu cuarț;

n = 1 în poziția " T " și n = 10 în poziția " 10T " .

Poziția comutatoarelor :

- borna de intrare " T " ;
- Funcționarea : " T " sau " 10T " ;
- baza de timp : în funcție de perioada măsurată;
- nivelul de intrare : 1V 35 V;

Măsurările se fac pe toate pozițiile comutatorului BAZA DE TIMP pentru același semnal, determinându-se eroare de fiecare dată și posibilitatea optimă de funcționare.

Tabel 2

Perioada de masurat	Timpul de poarta (T_p)	Valoarea intreaga afisata (N)	Numar cifre afisate	$\varepsilon_r(\%)$
123456,7 ms	10s			
	1s			
	0,1s			
	100ms			
	10 ms			
	1ms			