

## 5. | OSCILOSCOPUL CATODIC

Osciloscopul catodic este un aparat electronic de masurat care permite vizualizarea formei semnalelor si masurarea a diverse marimi electrice. Prin prezentarea formei de variatie în timp a semnalului, asa-zisa forma de unda, se ofera o cantitate de informatie de masurare mai mare decât în cazul altor aparate (date cu privire la valorile maxime, valoarea de vârf-vârf, frecventa, faza initiala, gradul de modulatie, distorsiuni etc.).

Osciloscopul prezinta o serie de calitati, ca de exemplu:

- lipsa inertiei în procesul masurarii (timpul de raspuns de ordinul nano-secundelor), ceea ce permite studierea semnalelor electrice cu frecvente pâna la 150 MHz (la osciloscoapele în timp real) si pâna la 20 GHz (la osciloscoapele cu esantionare);

- impedanta de intrare mare, ceea ce înseamna un consum foarte mic de energie de la sursa de semnal si neinfluentarea acestei surse;

- sensibilitate ridicata si precizie buna;

- vizualizarea semnalelor nerepetitive ale proceselor tranzitorii (prin osciloscoape cu tuburi catodice cu memorie);

- posibilitatea cuplarii cu aparatura numerica de memorare si prelucrare a datelor;

- posibilitatea reprezentarii functiilor de tip  $y = f(x)$ , deci nu în raport cu timpul ci în functie de o marime externa  $x$  (ceea ce permite vizualizarea unor functii ca cele de transfer ale etajelor electronice, curbe de magnetizare etc.).

Datorita acestor calitati, osciloscopul este aparatul de masurat analogic cel mai complet, cu o larga utilizare în ingineria masurarilor electrice, electronice si magnetice.

În prezent exista o mare varietate de osciloscoape, atât pentru uzul general cât si specializate pentru anumite masurari (de exemplu: caracterioscopul, vobuloscopul etc.). În cadrul acestui capitol vor fi prezentate osciloscopul catodic standard, dar (pe scurt) si alte tipuri de osciloscoape.

### 5.1. PREZENTARE GENERALA

Schema de principiu a unui osciloscop standard este prezentata în figura 5.1, cu urmatoarea semnificatie a blocurilor componente: tubul catodic (*TC*) reprezinta dispozitivul de masurare si afisare al osciloscopului (în interiorul acestuia se produce fasciculul de electroni care este focalizat si deviat, corespunzator variatiei semnalelor de studiat, pe un ecran luminescent care devine luminos în

punctul în care este lovit de spotul de electroni); atenuatorul de intrare ( $A$ ) consta dintr-un divizor de tensiune de tipul  $RC$ , reglabil în trepte cu comutatorul  $K_2$ , prin care se prescrie gama de amplitudine pentru tensiunea de masurat (ca sa se realizeze coeficientul de deviatie dorit); preamplificatorul ( $PA$ ) amplifica semnalul la nivelul cerut de amplificatorul  $A_Y$ ; unele osciloscopae au pe intrarea canalului  $X$  un atenuator si un preamplificator identice cu cele ale canalului  $Y$ ; linia de întârziere ( $LI$ ) are rolul de a întârzia cu (100-200) ns semnalul aplicat placilor de deflexie pe verticala pentru a fi usor în urma semnalului declansat si aplicat placilor de deflexie pe orizontala (pentru a reda cât mai exact forma de unda a lui  $Y$ ); amplificatorul final ( $A_Y$ ) amplifica tensiunea de iesire din  $PA$  pâna la nivelul cerut de sistemul de deflexie pe verticala; baza de timp ( $BT$ ) are rolul de a genera o tensiune liniar variabila în timp (în “dinti de ferastrau”) necesara comenzii spotului pe orizontala; tensiunea de baleiaj este sincronizata pe semnalul de masurat când comutatorul  $K_3$  este în  $a$ , sau pe un semnal din exterior când  $K_3$  este în  $b$ ; amplificatorul final ( $A_X$ ) amplifica semnalul bazei de timp pâna la nivelul cerut de deflexia pe orizontala. Semnalul pentru deflexia pe orizontala poate proveni de la  $BT$  (când  $K_5$  este în  $a$ , osciloscopul functionând în sistemul de coordonate  $y-t$  (adica se vizualizeaza variatia în timp a semnalului) sau de la intrarea  $X$  când  $K_5$  este în  $b$  osciloscopul functionând în sistemul  $y-x$ .

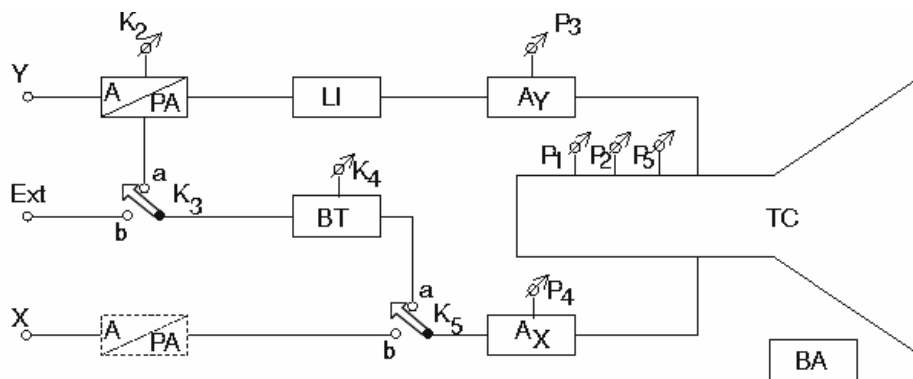


Fig. 5.1

Blocul de alimentare,  $BA$ , are rolul de a furniza tensiuni continue stabile: pentru alimentarea blocurilor  $PA$  si  $BT$  (10-20 V), pentru alimentarea amplificatoarelor finale (100-200 V) si pentru alimentarea tubului catodic (de ordinul kilovoltilor).

Notatiile:  $P_1, P_2, P_3, P_4$  si  $P_5$  reprezinta butoanele unor potentiometre de reglare necesare unei vizualizari cât mai bune.

## 5.2. TUBUL CATODIC

Din punctul de vedere functional, subansamblurile tubului catodic realizeaza urmatoarele functii: tunul electronic emite, focalizeaza si accelereaza fasciculul de electroni; sistemul de deflexie comanda deviatia (deplasarea) fasciculului de electroni corespunzator semnalelor de studiat; ecranul luminescent converteste energia cinetica a fasciculului de electroni în energie luminoasa (printr-un spot luminos).

Sistemul de deflexie determina deviatia fasciculului fie prin actiunea unui câmp electric, numita *deflexie electrostatica*, fie prin actiunea unui câmp magnetic, numita *deflexie electromagnetica*. În mod obisnuit oscilosoapele au tuburi catodice cu deflexie electrostatica. În tabelul 5.1, ce va urma, se prezinta o comparatie între aceste doua feluri de deflexie.

Tubul catodic se realizeaza în mai multe variante:

– dupa numarul de fascicule electronice: monofascicular si multifascicular (cel mai raspândit fiind osciloscopul cu doua spoturi numit si duoscop);

– dupa numarul de canale ale intrarii *Y*: un canal si un singur fascicul (monocanal), multicanal (2, 4, 6 canale) si un singur fascicul având la baza principiul multiplexarii în timp;

– dupa modul de accelerare: cu un anod de accelerare (monoaccelerator) si cu doi anodi de accelerare (postaccelerare);

– dupa forma placilor de deflexie: paralele, curbate, segmentate, distribuite etc.

În figura 5.2 se prezinta schema constructiva a unui tub catodic mono-fascicular cu postaccelerare, care va fi considerat de tip standard.

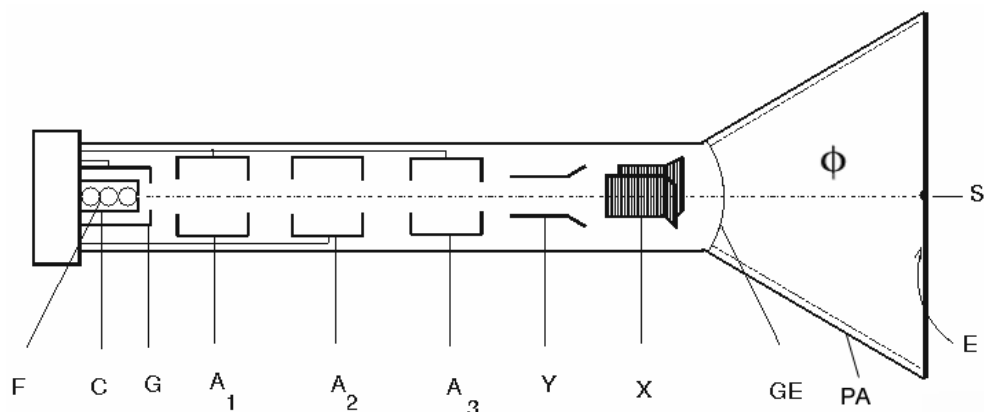


Fig. 5.2

Elementele componente ale tubului catodic sunt închise într-un tub de sticla cu bune calitati mecanice si electroizolante, vidat. Vidul din tub ( $10^{-6} \dots 10^{-8}$  mm Hg) este necesar, în primul rând pentru evitarea fenomenului de ionizare (care ar duce la “arderea” tubului), iar în al doilea rând pentru micșorarea distantelor dintre electrozii sub tensiune (rigiditatea de 50-70 kV/mm este de circa 100 ori mai buna

decât a aerului ambiant). Pentru conservarea calitatii acestui vid – care se poate deteriora datorita caldurii degajate de filament si catod – pe portiunea adiacenta electrozilor  $G$  si  $A_1$ , în interiorul tubului, se depune o pelicula de bariu care are rolul de a absorbi si fixa moleculele gazoase rezultate din încălzirea mentionata. Aceasta pelicula poate fi usor recunoscuta dupa culoarea ei neagra si luciul metalic.

Tubul catodic este ecranat electric si magnetic împotriva câmpurilor electric si magnetic din exterior care pot perturba fasciculul de electroni, cu un învelis din tabla de otel magnetic (sau chiar din permalloy) cu grosimea de 0,3 ... 1,5 mm. În plus, acest ecran serveste si la protectia mecanica a tubului, precum si la fixarea acestuia pe sasiul osciloscopului.

Notatiile din figura 5.2 au semnificatiile:  $F$  – filamentul,  $C$  – catodul,  $G$  – grila de comanda (Wehnnelt),  $A_1$  – anodul ecran,  $A_2$  – anodul de focalizare,  $A_3$  – anodul de accelerare,  $X$  si  $Y$  – placile de deflexie pe orizontala si respectiv pe verticala,  $GE$  – grila ecran,  $PA$  – anodul de postaccelerare,  $E$  – ecranul luminescent,  $F$  – fasciculul de electroni si  $S$  – spotul luminos.

### 5.2.1. Structura si functionarea tunului electronic

Electrozii  $C$ ,  $G$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ , si  $A_3$  formeaza asa-zisul tun electronic. Acesta serveste la generarea, reglarea, focalizarea si accelerarea fasciculului de electroni pâna la viteza necesara producerii spotului luminos pe ecranul luminescent. Sursa de electroni o constituie o pastila emisiva (din oxizi de thoriu) fixata pe suprafata frontala a catodului. Acesta este încălzit indirect cu filamentul ( $F$ ) din wolfram, a carui forma (rasucita) trebuie sa anuleze câmpul magnetic propriu care poate perturba fasciculul  $\Phi$ . Electronii emisi de catod trec prin orificiul axial al grilei de comanda  $G$  fiind atrasi de catre anozii tubului. Intensitatea fasciculului de electroni  $I_\Phi$  (deci si luminozitatea spotului) este reglata prin potentialul grilei, care este negativ fata de catod. Operatia se realizeza cu potentiometrul  $P_1$  “luminozitate” (v. fig. 5.1) care polarizeaza grila fata de catod la o tensiune negativa de ordinul zecilor de volti ( $-10 \dots -150$  V).

Accelerarea fasciculului de electroni de la emisie pâna la impactul cu ecranul se realizeza cu ajutorul anozilor  $A_1$ ,  $A_3$  si  $PA$ , polarizati cu tensiuni de ordinul kilovoltilor. Fasciculul  $\Phi$  se accelereaza în doua etape: mai întâi se accelereaza partial cu ajutorul anodului  $A_3$  (0,7 ... 1 kV), apoi dupa deflexie se accelereaza cu ajutorul anodului de postaccelerare  $PA$  (5 ... 10 kV). Aceasta solutie, utilizata la tubul catodic de înalta frecventa (peste 10 MHz), asigura o crestere a sensibilitatii tubului prin reducerea tensiunii anodului  $A_3$  si totodata baleierea spotului pe întregul ecran cu tensiuni de iesire ale amplificatoarelor finale de 100 ... 150 V. De exemplu, în cazul tubului B10S1 cu  $U_{A_3} = 2$  kV si sensibilitatea  $S_y = 0,17$  mm/V, chiar la o tensiune de iesire a amplificatorului  $U_y = 200$  V spotul va fi baleiat numai 3,4 cm, adica numai o treime din cursa. Pentru a putea baleia întregul ecran de 10 cm, trebuie redusa tensiunea de accelerare  $U_{A_3} = 0,7$  kV dar devine insuficienta pentru accelerarea fasciculului, ceea ce ar duce la micșorarea luminozitatii. Iesirea din acest impas este posibila prin introducerea anodului de

postaccelerare. Anodul de postaccelerare se realizeaza prin depunerea unei pelicule conductoare din grafit coloidal pe suprafata interioara a partii tronconice a tubului în forma unui electrod cilindric sau elicoidal. Electroful cilindric introduce distorsiuni datorita câmpului electric care se formeaza între acest electrod si placile de deflexie. Electroful elicoidal este conectat la un capat la un potential apropiat de cel al placilor de deflexie, iar la celalalt capat la potentialul de postaccelerare; se formeaza astfel un câmp electric uniform crescator având suprafetele echipotentiale sfere concentrice. La tensiuni de postaccelerare  $U_{PA} = 5 \dots 10 \text{ kV}$  (chiar  $15 \dots 20 \text{ kV}$  în cazul tuburilor prismatice cu ecran dreptunghiular pentru înalta frecventa) se asigura o luminozitate corespunzatoare a trasei (dâra lasata pe ecran de spotul luminos) la viteze mari ale spotului luminos. Anodul  $PA$  îndeplineste si rolul de colector de electroni de emisie secundara rezultati din ciocnirea fasciculului de electroni cu ecranul, împiedicând încarcarea acestuia cu sarcina negativa si totodata frânarea fasciculului si scaderea luminozitatii.

Anodul  $PA$  cu tensiune mare cauzeaza o anumita defocalizare a fasciculului de electroni (efectul de colinare). Pentru a elimina acest neajuns se prevede o grila pe ecran  $GE$  din plasa fina de sârma care se monteaza în spatiul dintre placile  $X$  si anodul  $PA$  si se leaga la o tensiune pozitiva de  $1 \dots 2 \text{ kV}$ . Grila  $GE$  are forma de calota sferica pentru cresterea unghiului de deflexie, cea ce permite reducerea dimensiunii axiale a tubului.

Focalizarea fasciculului de electroni este necesara pentru a obtine un spot punctiform de dimensiuni cât mai mici si de forma circulara, atât în centrul, cât si la marginea ecranului. Focalizarea se realizeaza cu niste lentile electrostatice, formate din electrozii:  $G, A_1, A_2, A_3$ . Functionarea lentilelor electrostatice (ca si a celor optice) se bazeaza pe fenomenul de refractie a traiectoriilor electronilor la suprafata de separatie a doua câmpuri electrice. La trecerea unui electron cu viteza incidenta  $v_1$  prin suprafata de separatie a doua zone cu tensiunile  $U_1$  si  $U_2$ , acesta va avea o viteza  $v_2$ , astfel încât componentele tangentiale ale vitezelor sa se conserve:

$$v_1 \sin a_1 = v_2 \sin a_2, \quad (5.1)$$

unde  $a_1$  si  $a_2$  reprezinta unghiurile de incidenta si respectiv de refractie (dintre viteze si normalele la suprafata de separatie). În figura 5.3 se prezinta fenomenul refractiei traiectoriei unui electron pentru  $U_2 > U_1$  la suprafata de separatie  $s$ .

Daca electronul trece într-o zona cu potential mai ridicat  $U_2 > U_1$ , viteza  $v_2$  creste si unghiul  $a_2$  scade, adica directia de miscare se apropie de normala  $n$  la suprafata  $s$ , iar în cazul în care  $U_2 < U_1$ , directia de miscare se îndeparteaza de aceasta normala. Prin urmare, când un fascicul de electroni trece spre un electrod cu potentialul

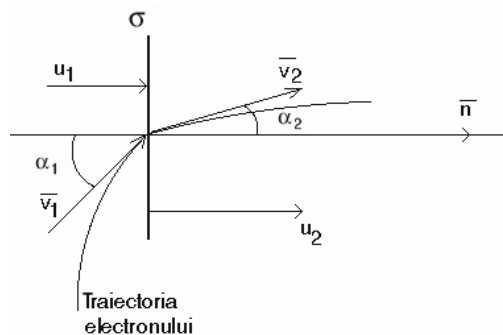


Fig. 5.3

mai ridicat decât al precedentului devine mai convergent, iar când trece spre unul cu potentialul mai coborât devine mai divergent. Calitatile lentilelor electrostatice depind de diferenta de potential dintre electrozii componenti si de geometria acestora.

Examinând potentialul electric al electrozilor  $G$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  si  $A_3$  din figura 5.4, rezulta ca fasciculul de electroni este focalizat în doua locuri (fig. 5.4). Prima focalizare (focarul  $F_1$ ) apare între  $G$  si  $A_1$  si se datoreaza convergentei puternice a fasciculului la trecerea din grila de comanda în anodul  $A_1$ , care sunt la o diferenta de potential de circa 1 kV. Aceasta focalizare este nedorita la tuburile catodice; ea se utilizeaza la microscopul electronic.

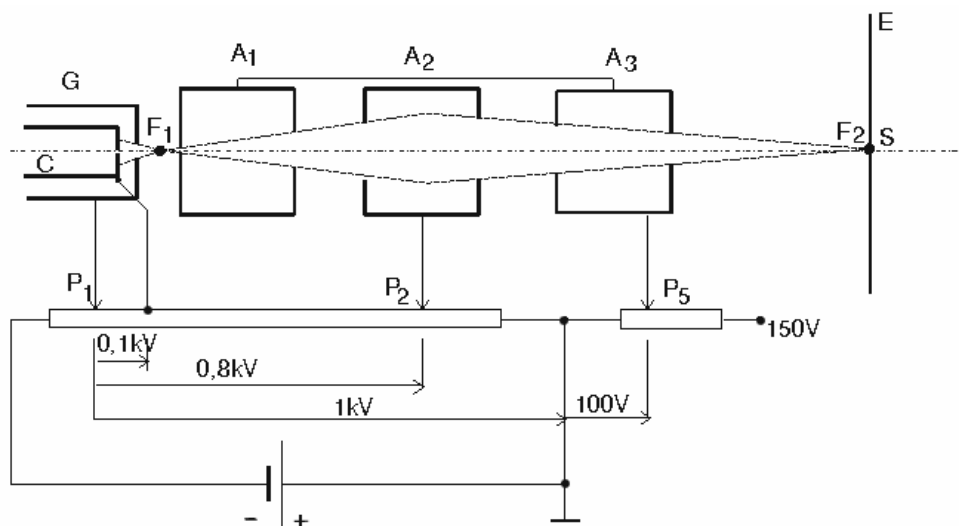


Fig. 5.4

Dupa focalizarea în  $F_1$ , fasciculul devine divergent, apoi, la trecerea de la  $A_2$  la  $A_3$ , care are un potential mai ridicat decât  $A_2$ , fasciculul devine din nou convergent. Reglând potentialul lui  $A_2$  cu ajutorul potentiometrului  $P_2$  "focalizare" (v. fig. 5.4) se poate face ca focarul  $F_2$  sa cada pe ecran, situatie în care spotul are diametrul minim. Daca  $F_2$  cade în interiorul tubului catodic dar în afara ecranului, dimensiunile spotului cresc, ceea ce duce la erori de masurare mari. De aceea, înainte oricarei masurari se regleaza focalizarea pâna ce spotul are dimensiuni minime.

Defectul de astigmatism se manifesta prin aceea ca spotul devine oval în anumite portiuni ale ecranului si se datoreaza unei insuficiente alinieri a lentilelor electrostatice si în special diferentei de potential dintre anodul de accelerare  $A_3$  si potentialul mediu al placilor de deflexie. Pentru a elimina acest defect se modifica potentialul anodului  $A_3$  pâna la nivelul potentialului mediu al placilor de deflexie cu ajutorul potentiometrului  $P_5$  "astigmatism" (în figura 5.4, potentialul mediu al placilor de deflexie este 100 V).

În cazul tuburilor catodice performante, ameliorarea astigmatismului se face cu ajutorul unui anod suplimentar, numit *anodul de astigmatism*, plasat între  $A_3$  și placile  $Y$ , al cărui potențial se reglează cu ajutorul potentiometrului “astigmatism”.

Se observa că reperul de masă (de protecție) este la anodul  $A_3$ . Acest mod de conectare la masă este cerut de sistemul de deflexie care necesită ca potențialul mediu al placilor de deflexie să fie apropiat, sau chiar egal, cu potențialul anodului  $A_3$ , pentru a nu distorsiona oscilograma prin defectul de astigmatism. Dacă s-ar conecta catodul la masă, ar trebui ca potențialul mediu al placilor de deflexie să fie de aproximativ 1 kV, ceea ce ar face imposibilă realizarea amplificatoarelor finale ale canalelor  $X$  și  $Y$ .

### 5.2.2. Structura și funcționarea sistemului de deflexie

În cazul osciloscopelor de măsurat se utilizează în exclusivitate tuburile catodice cu deviație electrostatică (cu plăci de deflexie); majoritatea tuburilor cinescopice ale “display”-urilor (din monitoare, calculatoare, receptoare TV etc.) au deflexia realizată pe cale electromagnetică (cu bobine de deflexie). În ceea ce privește tipul de deflexie, trebuie precizat că: deflexia și focalizarea electromagnetică permit obținerea celui mai fin spot, însă ea se face cu un consum de energie mai mare și este mai puțin rapidă. În tabelul 5.1 se prezintă o comparație între cele două sisteme de deflexie.

Tabelul 5.1

Comparație între cele două tipuri de deflexie

Parametrul calitativ	Deflexia electromagnetică	Deflexia electrostatică
Energie consumată	mare	foarte mică
Focalizare	excelentă	mediocră
Viteza de deflexie	mică	foarte mare
Strălucire	excelentă	slabă
Echipamente electronice asociate	complexe	simple

Sistemul de deflexie electrostatică este format din două perechi de plăci așezate paralel cu direcția nedeviată a fasciculului de electroni: placile  $X$  pentru deflexia pe orizontală și placile  $Y$  pentru deflexia pe verticală.

Câmpul electric dintre plăci, proporțional cu tensiunea electrică aplicată placilor, deviază fasciculul de electroni care trece printre plăci și astfel spotul luminos se deplasează din centrul ecranului într-un punct cu coordonatele  $(x, y)$ .

Pentru urmărirea mișcării fasciculului de electroni în interiorul tubului catodic se utilizează un sistem de referință triortogonal  $xyz$ , la care axa  $z$  coincide cu axul tubului, iar axele  $x, y$  sunt în planul paralel cu ecranul. Mișcarea axială a

electronilor se urmareste dupa axa  $z$ , iar deplasarea spotului pe ecran dupa axele  $x$  si  $y$ . Comanda spotului dupa axele  $x$ ,  $y$  se realizeaza cu ajutorul placilor de deflexie, iar dupa axa  $z$  (adica stralucirea) cu ajutorul grilei de comanda din tubul electronic.

Ecuatiile parametrice ale miscarii si ecuatia traiectoriei electronului de la emisie pâna la lovirea ecranului se stabilesc pe baza legilor din fizica: în câmp electric miscarea electronului este accelerata (traiectoria este rectilinie sau curbilinie), iar în afara câmpului, miscarea este rectilinie uniforma.

Pe baza figurii 5.5 se pot deduce aceste ecuatii. Se considera un tub catodic monoaccelerator cu electrozii  $C$  si  $A_3$  si placile de deflexie pe verticala alimentate asimetric (placa de jos conectata la masa).

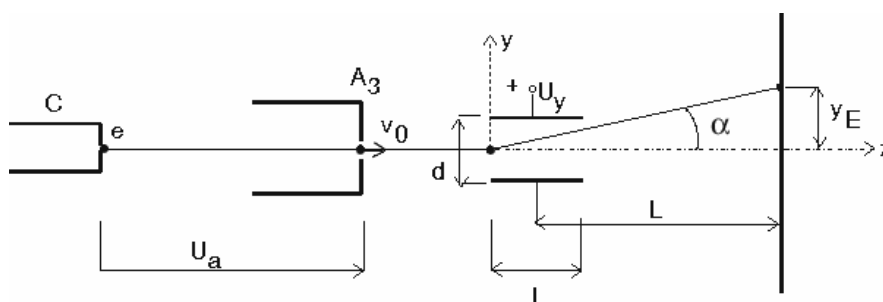


Fig. 5.5

Între catod si anodul  $A_3$  electronul este accelerat de forta  $F_z = e \cdot E_z$  si capata la iesire viteza  $v_0$ , data de relatia de conservare a energiei:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = eU_a, \quad (5.2)$$

în care:  $E_z$  este intensitatea câmpului electric de accelerare,  $e$  – sarcina electrica a electronului,  $m$  – masa electronului si  $U_a$  – tensiunea de accelerare între  $C$  si  $A_3$ .

Cu aceasta viteza electronul patrunde între placile de deflexie pe verticala, unde fiind supus fortei  $F_y = e E_y = e (U_y/d)$  efectueaza o miscare uniform accelerata dupa axa  $y$  si o miscare uniform rectilinie dupa axa  $z$ . Ecuatiile parametrice ale miscarii sunt:

$$y = \frac{1}{2}a_y t^2 = \frac{1}{2} \frac{eU_y}{md} t^2, \quad z = v_0 t, \quad (5.3)$$

caci:

$$a_y = \frac{F_y}{m} = \frac{eE_y}{m} = \frac{eU_y}{md},$$

astfel ca ecuatia traiectoriei rezulta o parabola:

$$y = \frac{1}{2} \frac{eU_y}{mdv_0^2} z^2 = \frac{1}{4} \frac{U_y}{dU_a} z^2. \quad (5.4)$$



La iesirea din spatiul placilor  $Y$ , electronul ne mai fiind supus unei forte efectueaza o miscare rectilinie uniforma, pâna la ciocnirea ecranului, dupa tangenta la parabola în punctul de iesire, unghiul  $\alpha$  având tangenta trigonometrica:

$$\operatorname{tg} \alpha = \left. \frac{dy}{dz} \right|_{z=l} = \frac{1}{2} \frac{U_y}{U_a} \frac{l}{d}, \quad (5.5)$$

a carei ecuatie a traiectoriei este:

$$y = y(l) + \operatorname{tg} \alpha (z - l) = \frac{1}{2} \frac{l U_y}{d U_a} \left( z - \frac{l}{2} \right) \quad (5.6)$$

Deviatia pe ecran este pentru  $z = l/2 + L$ :

$$y_E = \frac{1}{2} \frac{lL}{d U_a} U_y = S_y U_y,$$

unde  $S_y$  reprezinta *sensibilitatea pe verticala* a tubului catodic (exprimata în m/V).

Prin definitie  $S_y$  este deviatia determinata de unitatea de tensiune aplicata pe placile de deflexie pe verticala. Valoarea inversa a sensibilitatii este *coeficientul de deviatie (constanta de deflexie)*  $k_y = 1/S_y$  (în V/m), parametru ce se înscrie pe comutatorul blocului  $A/PA$  al circuitului de masura pe  $Y$ . Valorile lui  $k_y$  se dau, de regula, în secvente de 1, 2, 5, 10 (de exemplu: 10, 20, 50, 100 mV/div ... 100 V/div).

Printr-un rationament similar se obtine deviatia pe ecran datorata placilor de deflexie pe orizontala :

$$x_E = \frac{1}{2} \frac{lL'}{d U_a} U_x = S_x U_x, \quad (5.7)$$

unde:  $L'$  este distanta dintre mijlocul placilor  $X$  si ecran,  $S_x$  – sensibilitatea pe orizontala a tubului catodic si  $U_x$  – tensiunea aplicata placilor de deflexie pe orizontala. Cum  $L' < L$ , rezulta ca sensibilitatea pe orizontala este mai mica decât cea pe verticala.

Din relatiile sensibilitatilor  $S_y$  si  $S_x$  se constata că îmbunatatirea acestora se face prin reducerea tensiunii de accelerare  $U_a$ , fie prin reducerea distantei dintre placile de deflexie, fie prin cresterea lungimii placilor. Reducerea tensiunii de accelerare prezinta dezavantajul scaderii luminozitatii imaginii ca urmare a accelerarii insuficiente a fasciculului de electroni. Iesirea din acest impas se realizeaza prin postaccelerarea fasciculului dupa iesirea din sistemul de deflexie, cu anodul  $PA$  si grila  $GE$ , solutie utilizata în cazul tuburilor catodice de înalta frecventa. Reducerea distantei dintre placi impune utilizarea unor forme evazate ca în figura 5.2 (partea dinspre ecran este trapezoidala, parabolica sau poligonala) pentru a evita intersectia fasciculului cu placile de deflexie. Cresterea lungimii placilor prezinta dezavantajul cresterii *timpului de trecere (de zbor)*  $t_y = L/v_0$ ,  $t_x = L'/v_0$  si reducerea frecventei maxime de deviatie.

Placile de deflexie ale ambelor perechi sunt alimentate cu tensiuni simetrice în antifaza, de la iesirile amplificatoarelor diferentiale  $A_y$  si  $A_x$ , pentru evitarea

distorsionarii oscilogramului (efectul de trapez). Oscilograma se va înscrie într-un dreptunghi, ca în figura 5.6,a, în cazul în care placile Y sunt alimentate simetric cu o tensiune sinusoidală  $u_y$ , iar placile X cu o tensiune în dinti de ferăstrău  $u_x$  simetrică în raport cu masa.

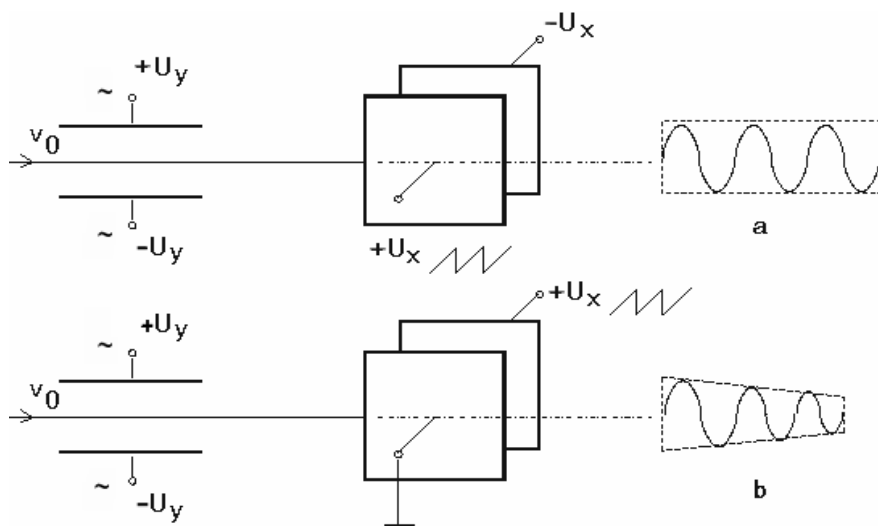


Fig. 5.6

Dacă placile Y sunt alimentate simetric, iar placile X asimetric ca în figura 5.6,b, oscilograma se înscrie într-un trapez. Cauza acestei distorsiuni este creșterea potențialului mediu al placilor X față de potențialul mediu al placilor Y pe măsura afișării semnalului de la stânga ecranului spre dreapta.

Distorsiunea de trapez apare atunci când numai una dintre plăci primește semnal, iar cealaltă placă este la potențial constant (conectată la masa). Trapezul care circumscrie oscilograma are baza mare paralelă cu placă conectată la masa și baza mică paralelă cu placă care primește semnal.

În fine, dacă ambele perechi de plăci sunt alimentate asimetric (cu câte o placă la masa) atunci oscilograma se va înscrie într-un fel de hexagon.

### 5.2.3. Caracteristici de frecvență

Dacă pe placile Y de deviație pe verticală se aplică o tensiune variabilă periodică în timp  $U_y = u_y(t + kT)$ , să zicem de formă sinusoidală:

$$u_y = U_0 \cos(\omega t - \varphi_0) ,$$

atunci ecuația mișcării electronului pe direcția y este:

$$m \frac{dv_y}{dt} = e \cdot \frac{U_0}{d} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) , \quad (5.8)$$

deoarece  $ma_j = F_j$ , adica  $ma_y = F_y$ , unde  $a_y = dv_y/dt$  si  $F_y = eE_y = e\frac{u_y}{d}$ , astfel ca  $m \frac{dv_y}{dt} = e\frac{u_y}{d}$ ,  $u_y$  fiind o tensiune alternativa sinusoidala. În cele de mai sus:  $v_y$  este componenta vitezei electronului pe directia axei  $y$ ,  $U_o$  – amplitudinea semnalului sinusoidal aplicat pe placile  $Y$ ,  $\omega$  – pulsatia acestui semnal si  $\varphi_0$  faza lui initiala.

Conditile la limita fiind:

$$\begin{aligned} t = 0, \quad t = t_z = \tau = l/v_0, \\ z = 0, \quad z = l, \\ v_y = 0 \quad \text{si} \quad v_y = v_l, \end{aligned}$$

unde  $t_z = l/v_0 = \tau$  este timpul de zbor al electronului pe directia  $z$  între placile de deflexie  $y$ , iar  $v_l$  – valoarea vitezei electronilor la iesirea dintre aceste placi, integrând ecuatia diferentiala (5.8) între limitele 0 si  $\tau$  se obtine:

$$v_y = v_l = \frac{2eU_0}{md} \sin \frac{\omega t}{2} \cos \left( \frac{\omega t}{2} + \varphi_0 \right),$$

care presupune ca tensiunea aplicata placilor  $Y$  este modulata în amplitudine, adica  $U_y = U_0 \sin \frac{\omega t}{2}$ .

Pentru un electron dat, faza initiala  $\varphi_0$  nu este constanta, ci are diferite valori pentru diverse momente de timp :  $\varphi(t)$ .

Deviatia pe ecran (v. fig. 5.5) va fi (cu  $l/2 \ll L$ ):

$$y_E = L \text{ tga} = \frac{2eU_0L}{mv_0d} \sin \frac{\omega t}{2},$$

deoarece  $\text{tga} = v_l/v_0$ , iar *sensibilitatea dinamica* (notata cu  $S_d$ ) este:

$$S_d = \frac{J_E}{U_0} = \frac{2eL}{mv_0d\omega} \sin \frac{\omega t}{2}.$$

Se utilizeaza si termenul de *sensibilitate normata*,  $S_d/S_y$ , adica sensibilitatea dinamica relativa la cea statica, care – conform relatiei (5.7) – are expresia:

$$\frac{S_d}{S} = \frac{\sin \frac{\omega \tau}{2}}{\frac{\omega \tau}{2}},$$

$$\text{caci } \frac{S_d}{S_y} = \frac{2eL}{mv_0 d \omega} \sin \frac{\omega \tau}{2} / \frac{1}{2} \frac{lL}{dU_a} = \frac{2eU_a v_0}{\frac{1}{2} m v_0^2 U_a l \omega} \sin \frac{\omega \tau}{2}, \text{ însa } eU_a = \frac{1}{2} m v_0^2 \text{ si } \frac{v_0}{l} = \frac{1}{\tau},$$

astfel ca  $\frac{S_d}{S_y} = \sin \frac{\omega \tau}{2} / \frac{\omega \tau}{2}$ . Aceasta ultima relatie reprezinta *caracteristica de frecventa* a unui tub catodic si are forma din figura 5.7.

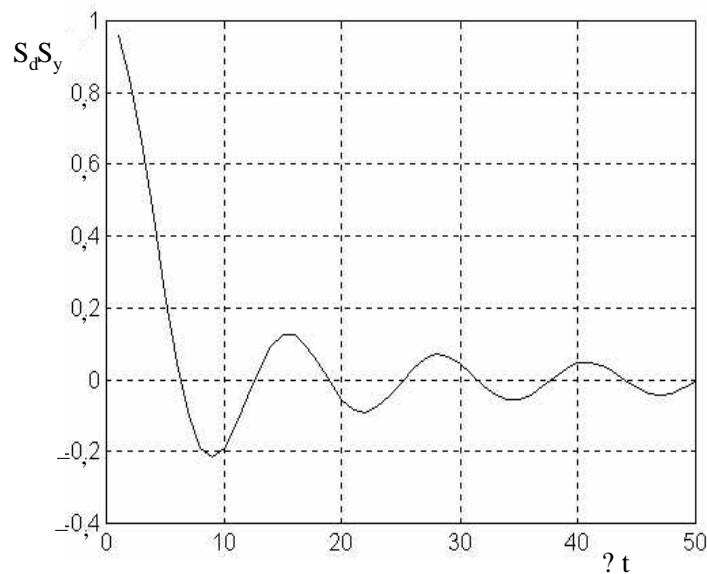


Fig. 5.7

Se observa ca banda de frecventa la  $-3$  dB (corespunzatoare lui  $S_d/S_y = 1/\sqrt{2}$ ) a tubului catodic este data de relatia:

$$f_{-3 \text{ dB}} = \frac{1}{2\pi\tau} .$$

De exemplu, daca un tub catodic are tensiunea de accelerare  $U_a = 1$  kV si lungimea placilor Y de deviatie  $l = 25$  mm, atunci el are timpul de zbor  $\tau = l/v_0 =$   
 $= l / \sqrt{2eU_a/m} = 25 \cdot 10^{-3} / \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60207 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{9,1085 \cdot 10^{-31}}} = 13,3 \cdot 10^{-10} \text{ s} = 1,33 \text{ ns}$ , care conduce la o banda de trecere pentru o atenuare de  $-3$  dB de:

$$f_{-3 \text{ dB}} = 1/2\pi\tau = 1/2\pi \cdot 1,33 \cdot 10^{-9} = 10^9/8,35 =$$

$$= 119,76 \text{ MHz} \approx 120 \text{ MHz}.$$

### 5.2.4. Ecranul luminescent

Ecranul îl constituie suprafața frontală a tubului catodic. Peretele de sticlă al ecranului este acoperit pe suprafața interioară cu o peliculă de substanță luminescentă (numită *luminofor*) care are rolul de a converti o parte din energia cinetică a fascicului de electroni în energie luminoasă (cealaltă parte se transformă în căldură, care poate să ardă stratul luminescent). În punctul de pe ecran bombardat de fasciculul de electroni se produce, prin fenomenul de emisie fotoelectrică, o pată luminoasă numită *spot luminos*. Principalii parametri de calitate ai spotului sunt: culoarea, timpul de persistență, intensitatea luminoasă, strălucirea și finetea. Culoarea radiației vizibile depinde de compoziția chimică a stratului luminescent și de fenomenul de emisie a luminii ce se produce prin fluorescență (care durează atât timp cât fasciculul de electroni bombardează ecranul) și fosforescență (ce durează din momentul încetării fascicului electronic incident).

În tabelul 5.2 sunt prezentate tipurile de ecrane pentru tuburile catodice. În observațiile directe, întrucât sensibilitatea spectrală a ochiului este cea mai bună în zona verde-gălbui (lungimea de undă  $\lambda = 540 \dots 570$  nm a spectrului vizibil), se folosesc ecrane cu fluorescență galbenă-verzuie având ca luminofor ortosilicatul de zinc activat cu magneziu (vilemit –  $Zn_2SiO_4Mn$ ).

Pentru înregistrarea fotografică, deoarece pelicula foto este mai sensibilă la culoarea albastră ( $\lambda \approx 500$  nm) se folosesc ecrane cu fluorescență albastră având ca luminofor sulfura de zinc activată cu argint ( $ZnS - Ag$ ). În unele aplicații speciale se utilizează ecrane cu fluorescență oranj (cu luminofor de fosfat de zinc activat cu cupru), albă (amestec de sulfura de zinc și cadmiu) sau galbenă (sulfura de zinc activată cu cadmiu și argint).

Intensitatea luminoasă (luminozitatea) a spotului,  $I_S$ , depinde de intensitatea de curent a fascicului de electroni și de tensiunea ecranului. Acesta se calculează cu relația empirică:

$$I_S = A \cdot I_\phi (U_E - U_0), \quad (5.9)$$

în care:  $A$  este o constantă a materialului luminescent;  $U_0 = 0,5 \dots 1$  kV o tensiune de prag;  $I_\phi = 10 \dots 100$   $\mu A$  – intensitatea de curent a fascicului de electroni;  $U_E \approx U_{PA} = 5 \dots 10$  kV – tensiunea de ecran (diferența de potențial dintre patura luminescentă încărcată pozitiv în urma emisiei secundare și masă), care este ceva mai mare decât tensiunea anodului de postaccelerare, iar  $I_S$  – luminozitatea spotului (în nit).

Pentru culoarea verde intensitatea luminoasă este de circa 5 cd (candela este unitatea de măsură SI a intensității luminoase – v. cap.1), pentru albastru circa 3 cd, iar pentru oranj circa 0,5 cd.

Lumina emisă de stratul luminescent se propaga în toate direcțiile, inclusiv spre interiorul tubului. În scopul îmbunătățirii luminozității peste stratul luminescent se depune o peliculă de aluminiu de câțiva  $\mu m$ , grosime la care acesta este transparent pentru fluxul de electroni incidenti, pentru a reflecta spre exterior fluxul

luminos difuzat spre interiorul tubului. Din punctul de vedere electric, pelicula de aluminiu se conecteaza la anodul de postaccelerare (la tubul catodic de joasa frecventa, fara PA, se conecteaza la anodul  $A_3$ ) pentru a îndeplini rolul de colector de electroni secundari si de bariera pentru ionii negativi.

Tabelul 5.2

Tipurile de ecrane pentru tuburile catodice

Ecran tip	Culoare de fluorescenta	Culoare de fosforescenta	Persistenta	Codul standard al luminoforului
BA	albastra-purpurie	–	foarte scurta	–
BC	albastra-purpurie	–	–	–
BD	albastra	–	foarte scurta	–
BE	albastra	albastra	medie-scurta	P11
BF	albastra-purpurie	–	medie-scurta	–
GB	albastra-purpurie	galben-verzui	lunga	P32
GE	verde	verde	scurta	P24
GH	verde	verde	medie-scurta	P31
GJ	galben-verzui	galben-verzui	medie	P1
GK	galben-verzui	galben-verzui	medie	–
GL	galben-verzui	galben-verzui	medie-scurta	P2
GM	albastra-purpurie	galben-verzui	lunga	P7
GN	albastra	verde	medie-scurta	–
GP	verde-albastrii	verde	medie-scurta	P3
GR	verde	verde	lunga	P34
GU	alba	alba	foarte scurta	–
LA	oranj	oranj	medie	–
LB	oranj	oranj	medie	–
LC	oranj	oranj	foarte lunga	–
LD	oranj	oranj	foarte lunga	P33
W	alba	–	–	P4
X	tricolor	–	–	P22
YA	oranj-galbui	oranj-galbui	medie	–

La tuburile catodice de precizie, pelicula de aluminiu se conecteaza la o tensiune  $U_{A1} > U_{PA}$  reglabila, pentru a îmbunatati si controla stralucirea spotului. În acest caz exista posibilitatea realizarii de ecrane ce afiseaza curbe în culori diferite, prin activarea straturilor luminescente suprapuse pe ecran cu diferite valori ale tensiunii  $U_{A1}$ .

Pelicula de aluminiu serveste si ca radiator termic protejând ecranul de ardere, la un spot stationar prea luminos (defect care consta în aparitia unui punct negru).

Persistenta, mai bine spus timpul de persistenta, reprezinta intervalul de timp dintre momentul încetarii fasciculului de electroni si momentul în care intensitatea luminoasa de fosforescenta scade la un anumit prag de vizibilitate (10% în timpul zilei si 1% în semiobscuritate, din intensitatea maxima). Persistenta se evalueaza în

termenii: persistenta scurta (zeci de  $\mu$ s), medie (zeci de ms) si lunga (secunde). Persistenta mica este necesara la tuburile de înalta frecventa, cea medie (cea mai folosita) la tuburile de uz curent, iar cea mare la tuburile de foarte joasa frecventa (radar etc.). Persistenta si culoarea spotului depind de compozitia chimica a luminoforului si sunt prezentate în tabelul 5.2.

Stralucirea (luminanta) reprezinta densitatea superficiala de intensitate luminoasa si se masoara în nit ( $1 \text{ nit} = \text{cd/m}^2$ ). Aceasta depinde, dupa relatia (5.9), de intensitatea de curent a fasciculului de electroni si de tensiunea de ecran.

Finetea spotului se refera, în principal, la diametrul spotului si este conditionata de calitatile tubului electronic (focalizare, astigmatism) si ale ecranului (bombat, plat, dreptunghiular, care prezinta distorsiuni de neliniaritate la extremitati). Cu cât finetea este mai buna cu atât masurarea este mai precisa. La osciloscopel obisnuite finetea este de 0,5...1 mm, iar la cele de precizie finetea este 0,2...0,3 mm.

Pentru masurarea parametrilor oscilogramel afisate pe ecran se foloseste o retea reticulara gradata în diviziuni (tipic 1 div. = 7-8 mm). Adesea axele  $x$  si  $y$  ale retelei sunt gradate si în subdiviziuni (tipic 5/div. ), ceea ce permite reducerea erorilor de citire. Diviziunile pe axa  $y$  servesc la masurarea amplitudinii, iar cele de pe axa  $x$  la masurarea timpului, frecventei si defazajului.

De regula, retea reticulara se face dreptunghiulara deoarece este mult mai adecvata pentru masurari decât cea circulara. Ca pozitie fata de ecran, retea poate fi în exterior sau în interior.

La osciloscopel obisnuite, retea este exterioara si se traseaza pe o placa din plastic transparent care se monteaza cu caroiajul spre ecran. Prezinta avantaje ca: poate fi rotita pentru aliniere la trasa orizontala (dâra lasata pe ecran de catre spot), poate fi iluminata, poate fi schimbata cu alta. Dezavantajul acesteia îl constituie eroarea de paralaxa care apare deoarece diviziunile retelei nu sunt în acelasi plan cu spotul luminos (asemanator aparatelor de masurat cu ac indicator). Placa de plastic are rolul de scut pentru protectia operatorului în caz de implozie a tubului catodic.

Oscilograma afisata pe ecran poate fi afectata de o serie de distorsiuni cum sunt: de trapez, de geometrie, de ortogonalitate, de neliniaritate.

Distorsiunea de trapez a unui semnal sinusoidal a fost prezentata (cauze si solutie) într-un paragraf anterior (v. fig. 5.6).

Distorsiunea de geometrie se refera la neliniarizarea traselor orizontala si verticala pozitionate la extremitatile retelei reticulare în raport cu caroiajul acesteia. Distorsiunea (curbura trasei) poate fi de tip "perna" sau de tip "butoi". Aceasta apare daca exista diferenta între potentialul mediu al placilor  $Y$  si cel al placilor  $X$  si/sau al diferentei de potential dintre anodul de accelerare  $A_3$  si potentialul mediu al placilor de deflexie.

Pentru reducerea distorsiunii de geometrie se regleaza potentialul anodului  $A_3$  pâna la nivelul potentialului mediu al placilor de deflexie cu ajutorul potentiometrului  $P_5$  „astigmatism” din figura 5.4. La tuburile catodice mai elaborate ameliorarea se face cu ajutorul unui anod suplimentar montat între placile  $Y$  si anodul  $A_3$  si a altui anod între placile  $Y$  si  $X$ . Cel de-al doilea anod împreuna cu

placile si grila ecran *GE* formeaza un dispozitiv de focalizare suplimentar care permite si îmbunatatirea finetii spotului (0,2-0,3 mm) si cresterea unghiului de deflexie (pâna la  $100^0$ ).

Distorsiunea de ortogonalitate se datoreaza abaterilor de montare perpendiculara a placilor *Y* pe placile *X*. În acest caz, trasa este rotita fata de sistemul de axe al retelei reticulare. Aceasta distorsiune intervine ca o eroare suplimentara în masurarea timpului de crestere al semnalelor impuls. Pentru corectarea acestei distorsiuni se foloseste un dispozitiv de rotire pe cale magnetica a trasei de pe ecran. Cu ajutorul unei bobine, plasata în exteriorul tubului în apropierea placilor de deflexie, este produs un câmp magnetic axial (coliniar cu axul tubului) care actioneaza asupra fasciculului de electroni si roteste trasa cu un unghi dependent de valoarea inductiei. Unghiul de defazare a trasei fata de sistemul de axe se anuleaza prin reglarea curentului din bobina cu ajutorul unui potentiometru “rotire trasa”.

Distorsiunile de neliniaritate a imaginii se datoreaza dependentei constantei de deflexie  $k_y = \frac{1}{S_y}$  de pozitia spotului pe ecran. În pozitia centrala fasciculul de electroni are lungime minima, iar la extremitati lungimea creste sensibil. Aceasta distorsiune se corecteaza la unele osciloscopae prin deformarea semnalului în sens contrar într-un etaj de amplificare.

### 5.2.5. Tuburi catodice cu memorie

Osciloscopaele echipate cu tuburi catodice asa-zise *cu memorie* permit realizarea urmatoarelor aplicatii specifice:

- afisarea continua a unui semnal nerepetitiv sau a unei imagini fixe;
- punerea în evidenta a variatiilor unui semnal dat, variatii produse de modificarea unor parametri de mediu (ca: temperatura, presiune, umiditate etc.) sau aparute în timp;
- afisarea unui semnal cu frecventa de repetitie foarte mica, fara sa se produca fluctuatia imaginii sau pâlpâiri;
- reducerea perturbatiilor aleatoare la functionarea cu persistenta variabila.

Exista numeroase tipuri de tuburi cu memorie (primul tub cu memorie performant a fost realizat în anul 1976 de firma Tektronix, sub denumirea de DVST, care rezulta din abrevierea numelui englezesc “Direct View Storage Tube”). În prezent, cel mai raspândit tub cu memorie este tubul prin *transmisie cu grila de memorare dielectrica*, care este tot un tub catodic cu ecran luminescent (luminofor) dotat însa cu un sistem de grile (de memorare si colector) si unul sau doua asa zise tunuri de inundare care produc un fascicul difuz de electroni (zisi si electroni de inundare), în afara tunului de electroni primari cu mare energie cinetica (zisi electroni de scriere). Acest tub cu memorie este capabil sa afiseze o imagine pe care sa o mentina (în lipsa semnalului care a produs-o) un timp foarte îndelungat (de la câteva minute la câteva ore), la un nivel normal de stralucire, fara a fi necesara refacerea ei.



Un tub cu memorie (a carui structura de principiu este redată în figura 5.8) are următoarele parti functionale:

- tunul de scriere, care produce un fascicul, focalizat pe ecran, de electroni primari;
- sistemul de deflexie;
- sistemul de producere al electronilor de inundare (de obicei, doua tunuri de electroni suplimentare);
- sistemul de producere (afisare persistenta) a imaginii, format, în principal, din ecranul luminescent, grila de memorare, grila colector si grilele de control a electronilor de inundare.

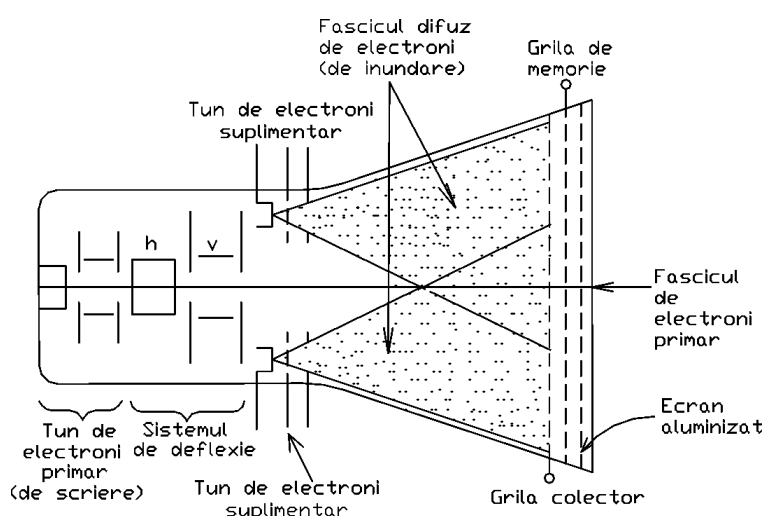


Fig. 5.8

Tunul de scriere produce un fascicul de electroni focalizat, primar, cu un curent  $I_p$  și cu energie cinetică foarte mare, care bombardează ținta de memorare (grila de memorare). “Crearea” imaginii, adică pastrarea punctelor ei pe grila de memorare, depinde de energia cu care electronii din fasciculul de scriere bombardează ținta de memorare. Aceasta energie depinde de diferența de potențial la care se găsește ținta față de sursa de electroni (care este catodul). Funcționarea tuburilor cu memorie se bazează pe fenomenul de emisie secundară de electroni (pe grila de memorare), caracterizat prin raportul:  $\gamma = I_s / I_p$  în care  $I_s$  este curentul de emisie secundară (dat de ecranul-grila de memorare bombardat cu fasciculul de electroni primar) și  $I_p$  – curentul de fascicul primar (emis de catod). La fel ca la orice tub catodic, fasciculul de scriere este focalizat pe ecran, supus unei deflexii  $X$  și  $Y$  și modulată în strălucire ( $Z$ ), astfel ca spotul său reproduce pe ecran imaginea dorită printr-un singur cadru (fără repetarea lui).

Persistenta imaginii (sau “memorarea” ei) pe o durată mare se realizează prin intermediul unui sistem auxiliar de electroni, denumiți *de inundare*, care sunt proiectați perpendicular pe întreaga suprafață a ecranului (o “ploaie” de electroni)

si printr-o asa-numita *grila de memorare*, plasata paralel cu ecranul, la mica distanta în spatele lui (v. fig. 5.8). Tunul de inundare produce un flux continuu de electroni, de energie joasa, capabil sa acopere întreaga suprafata frontala a tubului (cea ce se realizeaza prin sistemul de electrozi-grile de control a electronilor de inundare si prin grila colector – v. fig. 5.8).

Între colector si ecranul luminofor (de tip P1 sau P20 – v. tabelul 5.2) este plasata grila de memorare, formata dintr-o plasa conductoare foarte fina (cu ochiuri dreptunghiulare) pe care este depus un material dielectric special ce constituie suprafata de memorare. Colectorul (v. fig. 5.8) este si el format dintr-o plasa fina conductoare si, printr-o tensiune pozitiva, controleaza ploaia electronilor de inundare ca si a celor de emisie secundara.

În timpul operatiei de producere a imaginii pe ecranul luminofor (operatie numita “scriere”) – prin deflexie si modulatie a stralucirii – fasciculul electronilor de scriere (cu o sectiune transversala – spot), cu dimensiuni ceva mai mari decât ochiurile grilei de memorare, trece prin plasa colectorului si partial prin plasa cu dielectricul suprafetei de memorare si, având energie mare, face ca – simultan – sa apara spotul luminos pe ecran (de catre electronii trecuti prin ochiurile grilei de memorare) si pe acelasi traseu, în locul socului asupra dielectricului suprafetei de memorare, sa se emita electroni secundari de catre dielectric, cea ce determina electrizarea pozitiva a dielectricului în punctele traseului imaginii. Se obtine, în acest fel, pe suprafete dielectricului (de memorare) un mozaic de puncte cu sarcini pozitive, identic cu punctele luminoase de pe ecran, conform drumului parcurs de fasciculul de scriere si intensitatii lui. În punctele care nu au fost lovite de fasciculul de scriere (blocat sau modulat mai putin intens), suprafata dielectrica de memorare este încarcata cu sarcina electrica negativa.

În aceasta situatie, electronii de inundare, cu energie mica, trec prin grila (suprafata) de memorare numai prin punctele în care aceasta suprafata este încarcata pozitiv si sunt respinsi catre colector de restul suprafetei încarcata negativ. Dupa ce trec prin plasa metalica (suport al suprafetei dielectrice de memorare), electronii de inundare sunt accelerati spre ecranul luminescent, în mod continuu, excitând luminoforul si producând spoturi luminoase în dreptul punctelor prin care au trecut. În acest fel, imaginea vizibila pe ecran este replica mozaicului pozitiv de pe suprafata de memorare. Aceasta imagine (initiata de fasciculul de scriere si întretinuta de electronii difuzi de inundare) poate fi mentinuta mult timp (chiar si câteva ore), în functie de calitatea dielectricului suprafetei de memorare. Pentru stergerea imaginii se aplica pe plasa suport a suprafetei de memorare impulsuri de tensiune care negativeaza întreaga suprafata a dielectricului de memorare.

### 5.2.6. Tubul catodic multimod

Combinând avantajele tubului cu memorie cu cele ale tubului cu reîmprospatarea/”refresh” (repetarea) imaginii se obtine un tub multifunctional, pe al carui ecran se pot realiza suprafete selective, unele cu memorie si altele cu reîmprospatarea imaginii – nonmemorie, astfel ca se obtin imagini fixe si portiuni

de ecran pe care se pot reda texte, meniuri, simboluri etc. Acesta este tubul denumit *multimod*, care este aratat schematic în figura 5.9.

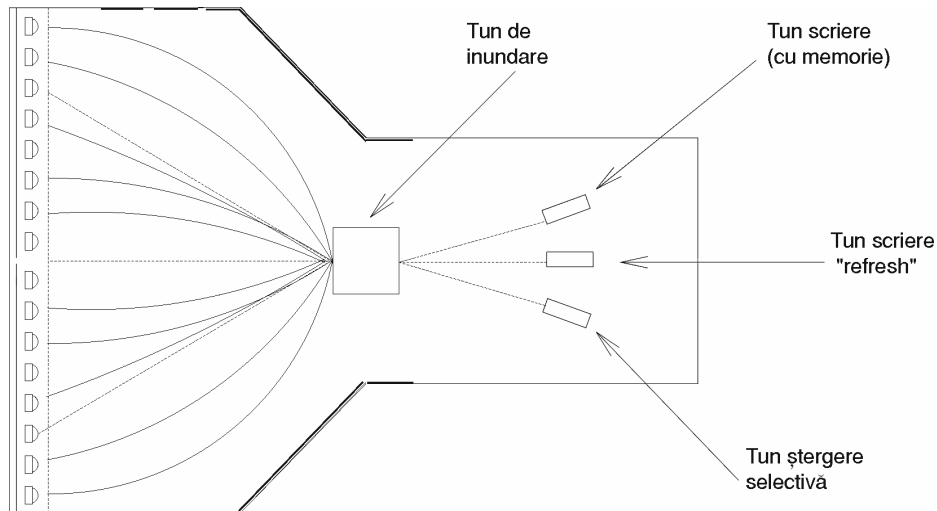


Fig. 5.9

Suprafata de memorare este principial identica celei din tubul cu memorie, ca si tunul electronilor de inundare; în plus, asa cum rezulta din figura 5.9, tubul multimod are înca trei tunuri (de scriere cu memorie, de scriere „refresh”/ reîmprospatare si de stergere selectiva). Functiile multiple se realizeaza printr-un joc de tensiuni între plasa suprafetei de memorare si catodul tunurilor, precum si prin efectul dual al dielectricului suprafetei de memorare (emisie secundara de electroni si polarizare dielectrica). Este posibila stergerea selectiva a imaginii cu introducerea “refresh” de imagini, suprapunerea lor etc.

### 5.3. STRUCTURA SI FUNCTIONAREA CANALULUI Y

Pentru osciloscopul standard din figura 5.1, schema bloc a canalului *Y* este prezentata în figura 5.10.

Circuitul pentru masurarea semnalului  $u_y$  al canalului *Y* este alcatuit din: comutatorul  $K_1$ , atenuatorul (divizorul de tensiune) de intrare *A*, preamplificatorul *PA*, linia de întârziere *LI* si amplificatorul final  $A_y$ .

Semnalul electric de intrare se aplica atenuatorului prin comutatorul  $K_1$  care permite ca în pozitia *1* sa fie masurate numai tensiuni alternative (cu blocarea componentei continue), iar în pozitia *2* atât tensiuni continue cât si alternative (cu sau fara componenta continua). Pozitia *3* (cu intrarea *A* pusa la masa) este necesara pentru operatii de reglare a spotului (focalizare, axare *Y*).

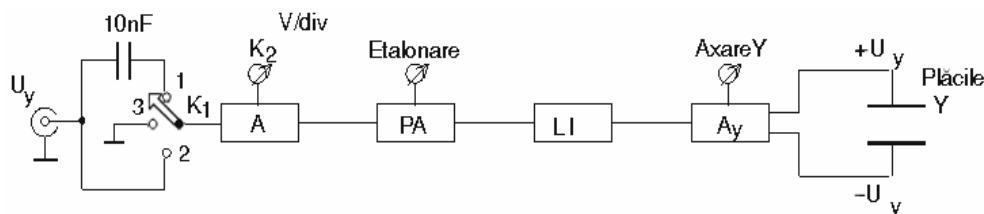


Fig. 5.10

### 5.3.1. Atenuatorul de tensiune

Atenuatorul este un divizor de tensiune de tip  $RC$  compensat în frecvență (raportul de divizare nu depinde de frecvență pe o bandă cât mai largă). Raportul de divizare reglabil în trepte prin intermediul comutatorului  $K_2$  în secvența 1-2-5-10 V/div. este necesar pentru prescrierea gamei de tensiune astfel încât să se realizeze coeficientul de deviație pe verticală dorit. Tensiunea de ieșire este în domeniul 10-50 mV. Atenuatorul are, de regulă, o precizie de 0,5-1 % pentru osciloscopul obișnuit și 0,2-0,3 % pentru osciloscopul profesional.

Schema de principiu a divizorului unei trepte pentru atenuatorul cu câte un divizor compensat pe fiecare treaptă de atenuare este prezentată în figura 5.11.

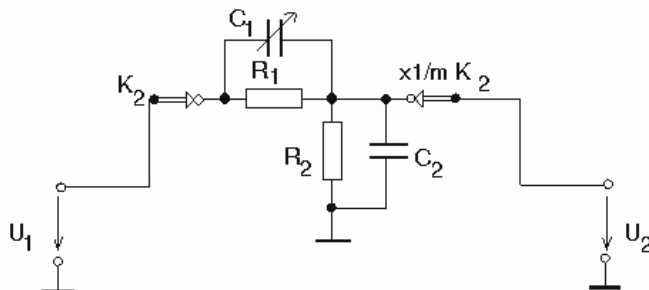


Fig. 5.11

Raportul de divizare al treptei este:

$$\frac{1}{m} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1}{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 + \frac{1}{R_2} + j\omega C_2} = \frac{\frac{1 + j\omega C_1 R_1}{R_1}}{\frac{1 + j\omega C_1 R_1}{R_1} + \frac{1 + j\omega C_2 R_2}{R_2}}, \quad (5.10)$$

relație din care rezulta că  $m$  nu depinde de frecvență dacă este îndeplinită condiția:

$$R_1 C_1 = R_2 C_2, \quad (5.11)$$

situatie în care:

$$\frac{1}{m} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5.12)$$

Relatia (5.12) arata ca pentru compensarea în frecventa este necesar ca grupele  $RC$  ale atenuatorului sa aiba constante de timp egale. Pentru rezistenta de intrare  $R_1 + R_2 = 1 \text{ MO}$ , rezulta:  $R_2 = \frac{1}{m} [\text{MO}]$  si  $R_1 = 1 - \frac{1}{m} [\text{MO}]$ . Realizarea compensarii în frecventa se face întotdeauna prin reglarea condensatorului  $C_1$  deoarece  $C_1 < C_2$ . În mod obisnuit  $C_1$  este un trimer ceramic cu valoarea de 3-30 pF.

La unele osciloscops se comuta valoarea atenuarii prin schimbarea factorului de reactie negativa dintr-un etaj de amplificare, solutie care are dezavantajul deplasarii liniei de zero la comutarea treptelor de atenuare datorita fenomenului de deriva a circuitului de intrare. Acest dezavantaj se înlatura prin utilizarea unui sistem de compensare automata a derivei.

### 5.3.2. Preamplificatorul canalului $Y$

Preamplificatorul  $PA$  este unul de tensiune (de banda larga) care amplifica semnalul de iesire din atenuatorul de intrare de la nivelul de 10-50 mV la nivelul 5-10 V necesar amplificatorului  $A_y$ . Acesta trebuie sa aiba performante specifice functionarii într-un osciloscop: sa asigure forma si dinamica semnalului masurat pentru orice frecventa din banda de trecere la  $-3 \text{ dB}$ , stabilitate buna la amplificari nu prea mari ( $A = 50-100$ ), impedanta de intrare (diferentiala si de mod comun) mare, zgomotul propriu si deriva termica cât mai reduse pentru o comportare satisfactoare la masurarea tensiunilor continue foarte mici (sub 3 mV). În acest scop se utilizeaza amplificatoare instrumentale (prezentate în capitolul 2), care în unele carti se numesc *amplificatoare diferentiale* sau *amplificatoare de masurat*. Ca structura, preamplificatorul poate fi cu iesire asimetrica sau simetrica. Varianta a doua este pentru osciloscops metrologice cu o banda de frecventa de 10-20 MHz. Etajul de intrare al preamplificatorului, indiferent de tipul iesirii, este cu TEC în repetor pe sursa pentru rezistenta de intrare mare (tipic  $1 \text{ M}\Omega$ ).

### 5.3.3. Amplificatorul final $A_y$

Pentru evitarea distorsionarii oscilogrammei (efectul de trapez), placile de deflexie pe verticala sunt atacate cu doua tensiuni simetrice în antifaza, la nivelul de 100-150 V, furnizate de amplificatorul final  $A_y$ . Acesta are rolul atât de a amplifica semnalul de intrare si a genera cele doua tensiuni în antifaza, cât si axarea spotului pe verticala. Aceasta operatie consta în modificarea potentialelor

statice pe placile  $Y$  fara a modifica potentialul mediu dintre acestea (spre a evita aparitia astigmatismului, datorat în special diferentei de potential dintre anodul de accelerare  $A_3$  si potentialul mediu al placilor de deflexie). În principiu, axarea se implementeaza cu un potentiometru dublu în tandem (în contratimp) modelat electronic de un inversor de faza (defazor) Schmitt încorporat în structura amplificatorului.

Schema de principiu a amplificatorului inversor Schmitt este prezentata în figura 5.12.

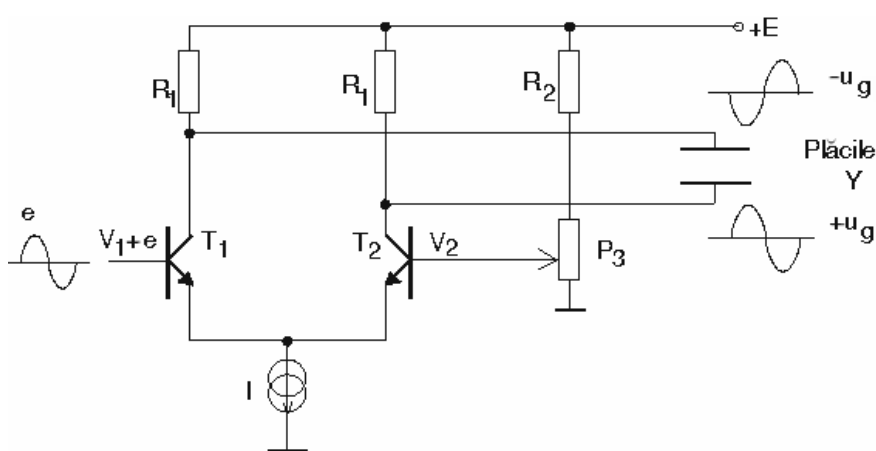


Fig. 5.12

Amplificatorul este format din tranzistoarele  $T_1$  si  $T_2$  alimentate la tensiune ridicata,  $E = 150-200$  V. Se observa ca baza lui  $T_2$  este la un potential static constant  $V_2 < E$ , ceea ce înseamna ca  $T_2$  lucreaza în baza comuna. Prin polarizarea impusa lui  $T_1$  se aranjeaza ca si potentialul mediu al bazei lui  $T_1$  (în absenta semnalului  $e$  de procesat) sa fie  $V_1 = V_2$ . Tranzistorul  $T_1$  lucreaza în emitor comun. Prin urmare, aplicând pe baza lui  $T_1$  semnalul  $e$  de procesat, în colectorul acestuia se obtine semnalul  $U_y = -Ae$  (adica semnalul amplificat de  $A$  ori si inversat fata de faza), iar în emitorul lui  $T_1$  se culege semnalul  $Ae$  (diminuat cu 0,6 V). Cum potentialele de emitor ale lui  $T_1$  si  $T_2$  sunt egale, iar  $T_2$  lucreaza în baza comuna si în emitor primeste semnalul  $Ae$  înseamna ca în colectorul acestuia se obtine semnalul  $U_y = Ae$ . Deci, în colectoarele lui  $T_1$  si  $T_2$  se culeg tensiuni egale si în opozitie de faza. Axarea spotului pe verticala se rezolva prin reglarea potentialului static  $V_2$  al bazei lui  $T_2$  cu ajutorul potentiometrului  $P_3$ .

În scopul îmbunatatirii benzii de frecventa, între amplificator si placile  $Y$  se intercaleaza un etaj repetor; în acest fel placile  $Y$  sunt atacate cu tensiuni de pe surse cu rezistenta interna redusa, ceea ce duce la micșorarea influentei capacitatilor proprii ale placilor (3-5 pF) si deci la cresterea frecventei.

Linia de întârziere  $LI$  va fi analizata dupa prezentarea canalului  $X$ .

#### 5.4. STRUCTURA SI FUNCTIONAREA BAZEI DE TIMP

Pentru vizualizarea formei semnalului aplicat pe placile de deflexie pe verticala (adica functionarea osciloscopului în sistemul de coordonate  $y-t$ ) este necesar ca pe placile de deflexie pe orizontala sa se aplice o tensiune liniar variabila în timp (numita *tensiune de baleiaj* sau *tensiune în dinti de ferastrau*). Aceasta este generata de catre baza de timp la un nivel de 5-8 V si apoi este amplificata, pâna la nivelul de 100-150 V necesar deflexiei, cu ajutorul amplificatorului final  $A_x$  (v. fig. 5.1).

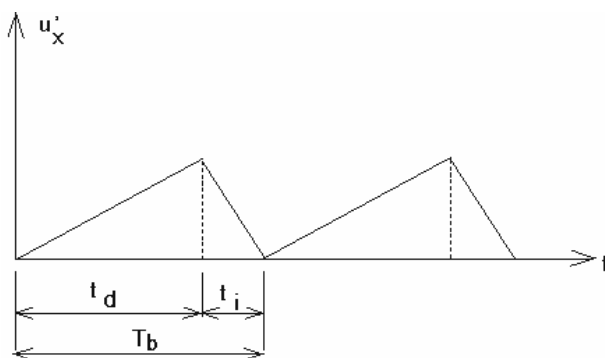


Fig. 5.13

Forma tensiunii de baleiaj este prezentata în figura 5.13, în care se identifica urmatoarele intervale:

– durata deflexiei directe,  $t_d$ , în care spotul parcurge axa orizontala de la stânga la dreapta. Tensiunea de baleiaj este de forma  $u'_x = kt$ , relatie care asociata cu (5.7) conduce la ecuatia de functionare pe axa  $x$ :

$$x = S_x A k t = v_b t = \frac{1}{k_b} t, \quad (5.13)$$

în care:  $A$  este amplificarea amplificatorului  $A_x$ ;  $v_b$  – viteza de baleiaj si  $k_b$  – constanta de baleiaj ale carei valori sunt înscrise pe comutatorul  $K_4$  (din figura 5.1) al bazei de timp în secventa: 1, 2, 5, 10... . La osciloscopul standard  $k_b = 1 \mu\text{s}/\text{div.} - 1\text{s}/\text{div.}$ ;

– durata deflexiei inverse (de revenire),  $t_i$ , în care spotul revine rapid în partea stânga a ecranului. În acest interval, pe grila de comanda a tubului catodic se aplica impulsuri negative de “blancaj” care fac invizibila dâra cursei inverse;

– perioada de baleiaj  $T_b = t_d + t_i \gg t_d$  si frecventa de baleiaj  $f_b = \frac{1}{T_b}$ . Deoarece

pe un ecran obisnuit (de circa 10 cm) nu pot fi reprezentate distinct mai mult de 5-10 sinusoida, trebuie ca  $f_b \leq (0,1-0,2) f_y$ . De exemplu, atunci când canalul  $Y$  are frecventa  $f_y = 10 \text{ MHz}$ , baza de timp trebuie sa furnizeze tensiuni cu  $f_b = 1-2 \text{ MHz}$ .

Pentru a evita distorsionarea oscilogramei se impune ca abaterea de liniaritate a cursei directe sa fie cât mai mica; la osciloscopul standard este de circa 1-3 %, iar la cele de precizie este de 0,1-0,5 %.

Pe durata deflexiei directe, spotul executa deviatiile pe verticala imprimate de semnalul de studiat. La fiecare reluare a cursei directe, spotul trebuie sa fie comandat de aceleasi valori instantanee ale semnalului pe verticala pentru ca traseele sa coincida si imaginea sa fie stabila. Acest deziderat este îndeplinit daca perioada de baleiaj este egala sau este un multiplu întreg al perioadei semnalului de studiat, adica tensiunea de baleiaj sa fie riguros sincrona cu tensiunea  $U_y(t)$ .

Pentru abateri mici de la aceste conditii imaginea se misca lent spre stânga sau spre dreapta în functie de sensul abaterii, iar pentru abateri mari imaginea devine incoerenta. Conditiiile  $f_b = f_y$  sau  $f_y/f_b = k$ ,  $k \in N$  se realizeaza prin modificarea frecventei  $f_b$  cu ajutorul butonului  $K_4$  (v. fig. 5.1) de pe panoul frontal pâna în momentul în care se obtine o imagine stabila.

În principiu, baza de timp se compune din generatorul de baleiaj si circuitul de sincronizare.

#### 5.4.1. Generatorul de baleiaj

Tensiunea de baleiaj este furnizata de generatorul bazei de timp (de baleiaj). Acesta se bazeaza pe principiul încarcerii unui condensator sub curent constant si apoi descarcarea sa pe un circuit cu o constanta de timp mult mai mica.

În figura 5.14 este prezentata schema de principiu a unui generator de baleiaj tip integrator Miller (amplificator operational).

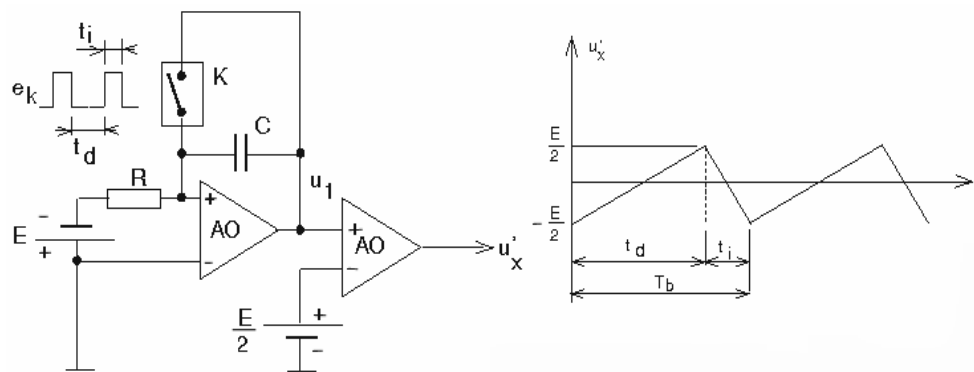


Fig. 5.14

Generatorul de baleiaj functioneaza în felul urmator: la aparitia impulsului de comanda  $e_k$  de durata  $t_i$ , comutatorul electronic  $K$  se închide, iar condensatorul  $C$  se descarca rapid, ceea ce reprezinta cursa inversa a spotului; dupa trecerea acestui



impuls,  $K$  se deschide, iar condensatorul se încarcă la curent constant, generând o tensiune în rampa cu durata  $t_d$ , de forma:

$$u_1 = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{E}{R} dt = \frac{E}{RC} t . \quad (5.14)$$

Dupa intervalul  $t_d$  urmează un nou impuls care închide  $K$ , iar condensatorul se descarcă din nou. Acest proces se repeta cu frecvența  $f_b$ , impusa prin comutatorul  $K_4$  (v. fig. 5.1) al bazei de timp de pe panoul frontal. Adaptarea circuitului de încărcare la frecvența de baleiaj impusa se poate face prin reglajul în trepte a lui  $C$  și reglajul fin a lui  $R$ .

Pentru construcția corectă a oscilogramii trebuie ca la momentul  $\frac{t_d}{2}$  când spotul trece prin centrul ecranului, tensiunea generatorului de baleiaj să treacă prin zero. La extremitățile intervalului  $t_d$  tensiunea este egală cu jumătatea amplitudinii sale. O astfel de deplasare se obține prin sumarea tensiunii  $u_1$  cu o tensiune continuă egală cu  $E/2$  pe un amplificator diferențial  $AD$ . Din schema (v. fig. 5.14), pentru  $RC = t_d$  și  $A_d = 1$  (amplificarea diferențială în circuit deschis a amplificatorului diferențial), rezultă din relația:

$$u_x(t) = \frac{E}{t_d} t - \frac{E}{2} , \quad (5.15)$$

reprezentată grafic în figura 5.14.

Acest tip de generator furnizează tensiunea de baleiaj cu o eroare de liniaritate mică de 0,1-0,3 %.

### 5.4.2. Circuitul de sincronizare

În ceea ce privește termenul folosit, “sincronizarea bazei de timp”, se înțelege de fapt declansarea generatorului de baleiaj pentru furnizarea tensiunii cursei directe a spotului. Momentele declansării sunt date de circuitul de sincronizare. După modul de funcționare al acestuia, baza de timp este de tipul autooscilator (sau relaxată) și declansată.

În cazul bazei de timp relaxată, generatorul de baleiaj funcționează continuu în ritmul impulsurilor de comandă  $e_k$  generate de un oscilator astabil. Acesta prezintă avantajul că în lipsa unui semnal la intrarea  $y$  se afișează pe ecran trasa orizontală a tensiunii de baleiaj, însă nu permite calibrarea precisă a trasei în unități de timp (s/div.) și nici vizualizarea semnalelor singulare aleatoare sau de formă complicată (în special în partea lor anterioară). Din aceste motive, osciloscopul de laborator nu se mai echipează cu baza de timp relaxată.

În cazul bazei de timp declansată, starea normală a generatorului de baleiaj este cea de repaus, fiind pus în funcțiune (declansat) numai de către semnalul de măsurat  $u_y$  în felul următor: în momentul apariției semnalului  $u_y$ , generatorul de baleiaj porneste și elaborează o rampă completă a tensiunii după care se oprește

daca  $u_y$  dispăre. În cazul unui semnal periodic, declansarea generatorului se produce întotdeauna în același punct al semnalului și oscilograma este stabilă, dacă frecvența tensiunii de baleiaj este egală sau submultiplu al frecvenței semnalului de studiat.

Schema de principiu a bazei de timp declansată este prezentată în figura 5.15, unde:  $K_3$  este selectorul modului de sincronizare (interna, externa sau semnal TV);  $IP$  este inversorul de polaritate, necesar deoarece formatorul de impulsuri  $TS$  este declansat numai cu fronturi pozitive, iar semnalul ce se măsoară (singular) poate fi un impuls pozitiv sau negativ;  $K_6$  – selectorul de polaritate;  $TS$  – triggerul Schmitt în regim de formator de semnale dreptunghiulare;  $CD$  – circuitul derivator care produce impulsuri când la intrare se aplică impulsuri dreptunghiulare;  $E$  – ecretorul (limitatorul) care selectează numai impulsurile pozitive;  $CB$  – circuitul basculant bistabil ce produce impulsurile de comandă pentru declansarea generatorului de baleiaj;  $GB$  – generatorul de baleiaj.

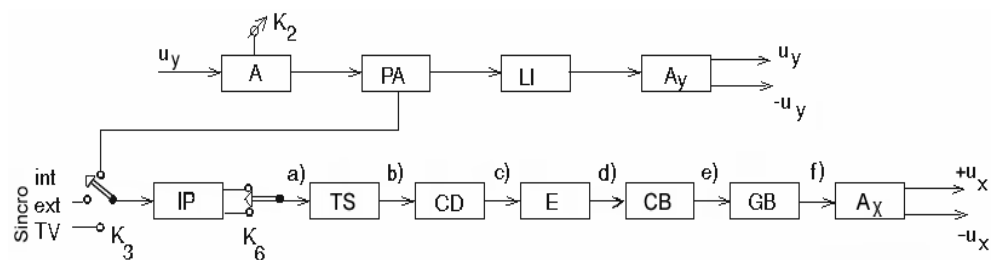


Fig. 5.15

Modul de elaborare a tensiunii de baleiaj este arătat pe schema sinoptică de semnal din figura 5.16,  $a - f$ . Semnalul de sincronizare internă luat de la  $PA$ , având aceeași formă cu semnalul de vizualizat  $u_y$  (curba  $a$ ), este transformat în semnal dreptunghiular (curba  $b$ ) de către  $TS$ , în funcție de nivelul tensiunilor de prag  $V_1$  și  $V_2$ . Cu potentiometrul "nivel" se reglează tensiunile de prag pentru declansarea  $TS$ . Circuitul derivator produce impulsuri ascuțite pozitive pe frontul anterior al impulsurilor dreptunghiulare și negative pe frontul posterior al acestora (curba  $c$ ). Dintre acestea, ecretorul selectează numai pe cele pozitive (curba  $d$ ). Circuitul basculant este astfel proiectat încât în starea normală, de repaus, ieșirea este pe 1 logic. În felul acesta primul impuls pozitiv ieșit din ecretor și aplicat pe intrarea acestuia îi aduce ieșirea în zero logic, situație în care comanda pornirea generatorului de baleiaj care începe în momentul  $t_0$  generarea rampei tensiunii de baleiaj. Unghiul  $\beta$  al rampei depinde numai de caracteristicile generatorului de baleiaj. Durata deflexiei directe este egală cu intervalul de timp în care tensiunea de baleiaj atinge nivelul maxim  $U'_{xm}$  corespunzător baleierii complete a spotului pe ecran. În momentul  $t_1$  spotul se stingere, indiferent de mărimea semnalului de sincronizare, pentru ca să treacă neobservat din dreapta în stânga ecranului și să înceapă o nouă cursă directă. În același moment  $t_1$ , generatorul de baleiaj  $GB$  trimite un impuls negativ la intrarea circuitului basculant  $CB$  și ieșirea acestuia este adusă în 1 logic. După momentul  $t_1$ ,  $CB$  este în repaus, iar  $GB$  este blocat în momentul apariției unui nou

impuls pozitiv pe intrarea *CB* (momentul  $t_2$ ) când va declansa dinte urmator. În felul acesta, declansarea generatorului de baleiaj se produce întotdeauna în același punct al semnalului de măsurat (de exemplu *A* și *B* din figura 5.16), adică circuitul descris realizează sincronizarea automată a semnalelor.

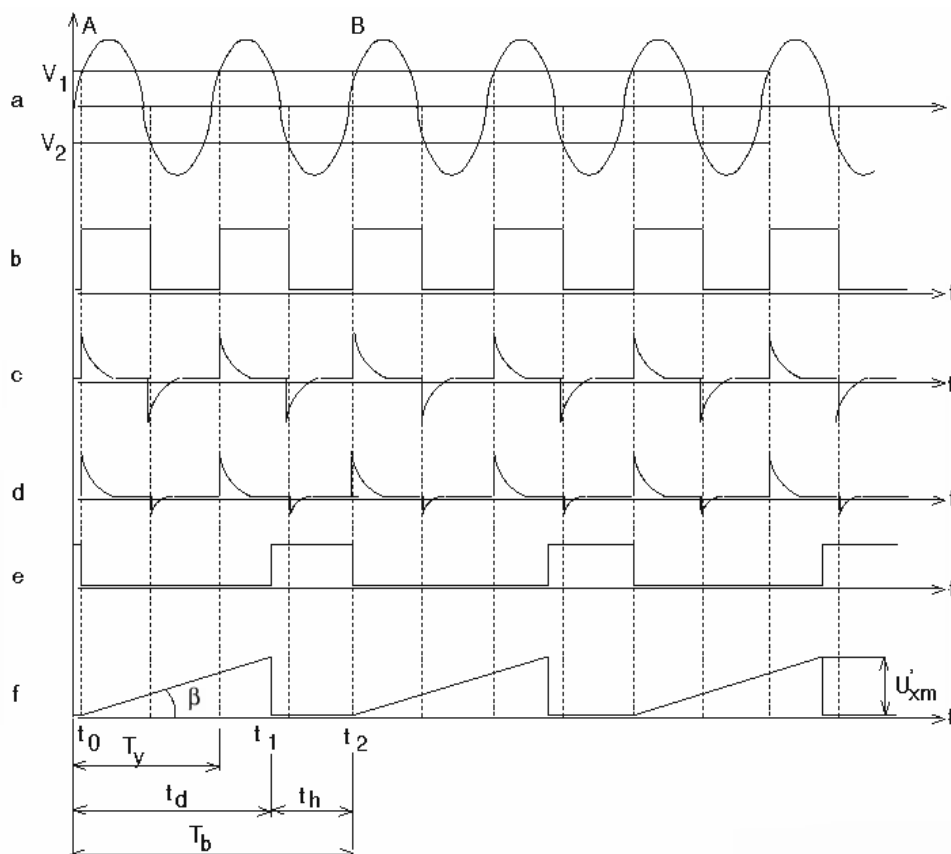


Fig. 5.16

Din figura 5.16 se observă că trecerea bistabilului din 1 logic în 0 logic este comandată de semnalul de sincronizare, iar această trecere declanșează generatorul de baleiaj. Pe durata  $t_d$  a dintelui, bistabilul rămâne insensibil la alte impulsuri pozitive aplicate pe intrarea sa și revenirea în 1 logic este comandată de *GB* în momentul când amplitudinea dintelui atinge nivelul  $U'_{xm}$ .

În momentul declanșării generatorului de baleiaj *GB* se aplică pe grila de comandă a tubului catodic un impuls pozitiv de durată  $t_d$ , cules de pe cea de a doua ieșire a bistabilului și amplificat până la 20-40 V, pentru a face spotul vizibil ("aprins") în cursa directă. Când *GB* este în stare de repaus, datorită negativării mai puternice a grilei de comandă, spotul este făcut invizibil ("stins") în cursa inversă.

Întrucât revenirea generatorului de baleiaj în starea de repaus se face numai când amplitudinea dintelui atinge nivelul  $U'_{xm}$ , necesar baleierii complete a ecranului,

axa  $x$  poate fi calibrata în unitati de timp. Din acelasi motiv, baza de timp declansata ofera si o buna imunitate la semnalele parazite care exista în interiorul si exteriorul osciloscopului.

În figura 5.16 se observa ca timpul de inhibare  $t_h$  al  $GB$  este fix, ceea ce conduce la dificultati în examinarea trenurilor de impulsuri.

### 5.4.3. Adaptari ale bazei de timp. Circuitul de autodeclansare

Dezavantajul bazei de timp declansata consta în faptul ca în lipsa semnalului de vizualizat  $u_y$ , baza de timp nu functioneaza si, ca urmare, nu este afisata trasa orizontala (si s-ar putea crede ca spotul osciloscopului este în afara ecranului), ea fiind necesara pentru punerea la punct a osciloscopului si pentru masurari în curent continuu. Pentru a evita aceasta situatie, baza de timp se prevede cu un circuit de autodeclansare ca sa poata functiona în regim autooscilant numai în absenta semnalului de vizualizat.

Schema simplificata a bazei de timp ce functioneaza în regim declansat (*Decl*) si în regim autooscilant (*Auto*) este prezentata în figura 5.17, unde:  $AS$  este un astabil de joasa frecventa (zeci de Hz),  $CD$  – circuit derivator,  $K_7$  – comutator pentru regimul de functionare, solidar cu comutatorul de sincronizare  $K_3$  (v. fig. 5.15).

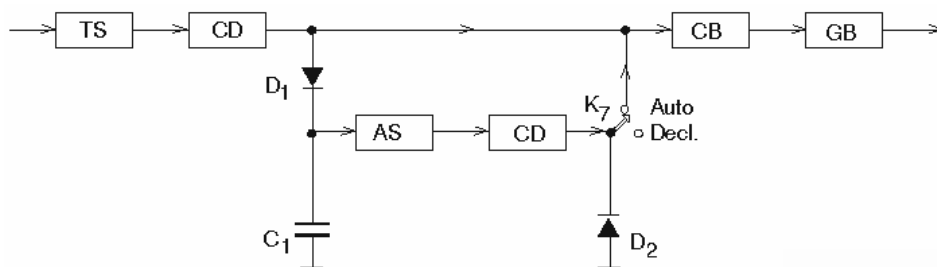


Fig. 5.17

Impulsurile generate de blocul  $TS-CD$ , pentru declansarea bistabilului  $CB$ , sunt aplicate simultan si pe intrarea astabilului  $AS$ . Daca frecventa acestora este mai mare decât 10 Hz,  $AS$  se blocheaza datorita unui circuit de inhibare format din condensatorul  $C_1$  si dioda  $D_1$ . Daca impulsurile înceteaza, condensatorul  $C_1$  se descarca si  $AS$  intra în oscilatie pe o frecventa proprie joasa. Prin intermediul  $CD$  si a comutatorului  $K_7$  în pozitia *Auto* se transmit impulsurile de comanda blocului  $CB-GB$ , asigurând astfel functionarea în continuare a generatorului de baleiaj si deci a conservarii trasei orizontale. Daca impulsurile de declansare date de  $TS$  apar din nou, astabilul se blocheaza automat si baza de timp functioneaza în regim declansat.

Daca frecventa semnalului  $u_y$  este sub 10 Hz sau pentru semnale nerepetitive (regimuri tranzitorii),  $K_7$  se trece în pozitia *Decl* si baza functioneaza în regim declansat.

#### 5.4.4. Circuitul de inhibare (retinere)

Acesta are rolul de a bloca declansarea generatorului de baleiaj un timp suficient pentru revenirea tuturor circuitelor bazei de timp în starea initiala. După expirarea timpului de inhibare (întârziere),  $t_h$  din fig.5.16., este posibilă o nouă declansare a generatorului de baleiaj.

Pentru baza de timp cu durata inhibării fixă apar dificultăți la examinarea trenurilor de impulsuri de aceeași amplitudine (la care nu este posibilă sincronizarea prin schimbarea nivelului de sincronizare), deoarece lungimea acestora nu poate fi corelată cu lungimea rampei dintelui  $u'_x$ , ceea ce duce la instabilitatea oscilogramelor și chiar la falsificarea acestora (amestec de impulsuri din pachete diferite).

Pentru a se evita această situație este necesar ca timpul de inhibare al *BT* să poată fi reglat de pe panoul frontal, astfel încât pornirea generatorului de baleiaj să fie comandată de primul impuls din fiecare pachet de impulsuri. Să considerăm trenul de impulsuri ce se aplică pe intrarea *Y* din figura 5.18; atunci, pentru cazul *a* al bazei de timp cu timpul de inhibare  $t_{h1}$  fix, pe ecran apare o oscilogramă confuză (cu impulsuri amestecate). Astfel: la prima cursă sunt baleiate impulsurile 1, 2 și 3 ale primului pachet; la a doua cursă sunt baleiate impulsurile 5 și 6 din al doilea pachet și impulsul 7 din al treilea pachet; la a treia cursă sunt baleiate impulsul 9 din al treilea pachet și impulsurile 10 și 11 din al patrulea pachet.

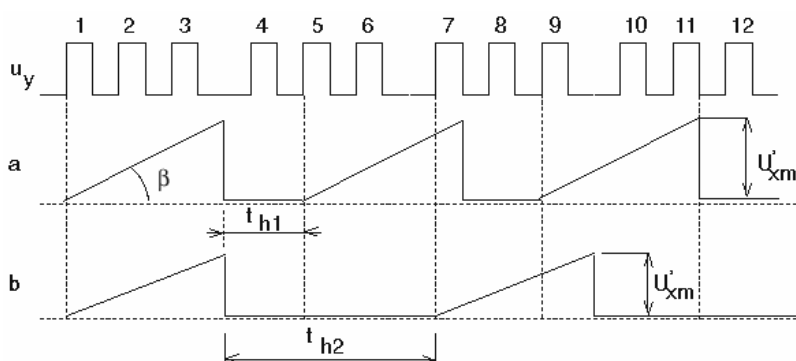


Fig. 5.18

Pentru cazul *b* al bazei de timp cu timpul de inhibare  $t_{h2}$  reglabil, se obține pe ecran o oscilogramă corectă și stabilă. Astfel: la prima cursă sunt baleiate impulsurile 1, 2 și 3 din primul pachet; la a doua cursă sunt baleiate impulsurile 7, 8 și 9 din al treilea pachet.

Reglarea timpului de inhibare se poate face fie prin modificarea pantei dintelui (unghiul  $\beta$ ) frecvența de baleiaj rămânând constantă, fie prin creșterea timpului de inhibare (adică micșorarea frecvenței de baleiaj) amplitudinea rămânând constantă (v. fig. 5.18.). Prima soluție este mai simplă, însă prezintă dezavantajul că nu se păstrează calibrarea axei orizontale, calibrare importantă pentru măsurarea parametrilor de timp ai semnalelor logice. Această soluție se aplică la osciloscopul românesc E0103.

A doua solutie este mai complicata si necesita doua baze de timp ale caror viteze de baleiaj difera cu câteva ordine de marime.

### 5.4.5. Baza de timp dubla

Vizualizarea unor detalii din oscilograma unui semnal implica desfasurarea acelor parti ale semnalului cu o viteza mai mare a bazei de timp, realizându-se așa numita "lupa de timp".

Din relatiile (5.7) si (5.13) pentru  $t = t_d$  si  $U_{xm} = A \cdot U'_{xm}$ , unde  $U'_{xm}$  este amplitudinea dintelui;  $U_{xm}$  – tensiunea maxima aplicata placilor de deflexie pe orizontala si  $A$  – amplificarea amplificatorului canalului  $X$ , se deduce viteza de baleiaj:

$$v_d = \frac{1}{2} \frac{ll'}{dU_a} \frac{A}{t_d} U'_{xm} = K \frac{A}{t_d} U'_{xm}, \quad U'_{xm} = \text{const.} \quad (5.16)$$

rezultând principiul lupei de timp. Viteza de baleiaj poate fi marita fie prin cresterea amplificarii  $A$ , fie prin micșorarea duratei dintelui,  $t_d$ . Cea de a doua solutie este posibila daca spotul este baleiat cu doua baze de timp: una normala  $BT_1$  si cealalta rapida (sau întârziata)  $BT_2$ . Baza  $BT_2$  este declansata în vecinatatea detaliului de studiat, care va fi desfasurat pe întregul ecran.

Schema de principiu a bazei de timp duble este redată în figura 5.19.

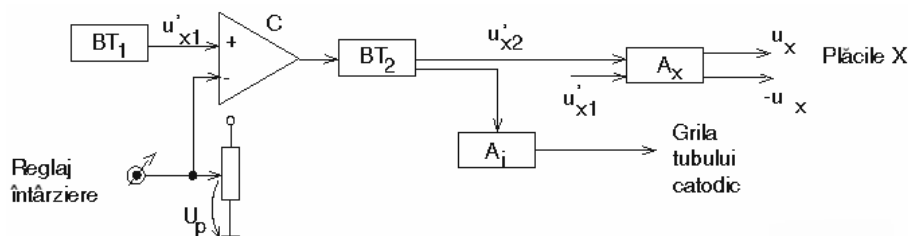


Fig. 5.19

Baza de timp normală,  $BT_1$ , elaborează rampa  $u'_{x1}$  de durată  $t_{d1}$  și amplitudine  $U'_{xm}$ , corespunzătoare baleierii spotului pe întreaga cursă orizontală a ecranului. Tensiunea  $u'_{x1}$  este comparată în comparatorul de tensiune  $C$  cu tensiune prescrisă  $U_p$ , continuă, reglată de operator. În momentul egalității celor două tensiuni,  $u'_{x1} = U_p$ , comparatorul emite un impuls ce declanșează baza de timp rapidă  $BT_2$ . Aceasta elaborează o rampă  $u'_{x2}$  de durată  $t_{d2}$  mai scurtă și aceeași amplitudine  $U'_{xm}$ , ceea ce permite desfasurarea pe restul ecranului a detaliului vizat. Intervalul dintre momentele de timp ale declanșării bazelor de timp reprezintă timpul de întârziere  $t_i$  al bazei  $BT_2$  care este reglat de operator până în vecinatatea detaliului vizat.

Cum pe durată  $t_{d2}$  a cursei rapide viteza de defilare a spotului crește, ceea ce duce la scăderea vizibilității, în scopul menținerii luminozității trasei, blocul  $BT_2$

elaboreaza un impuls dreptunghiular aplicat amplificatorului  $A_i$  de intensificare a spotului si apoi grilei de comanda a tubului catodic, ceea ce permite vizualizarea în bune conditii a detaliului vizat.

Modul de functionare al bazei de timp duble se poate urmări pe diagrama de timp din figura 5.20, pentru cele trei situatii de lucru:

a) “numai  $BT_1$ ” – functioneaza baza de timp normala, ceea ce determina reprezentarea pe ecran a întregului semnal, de exemplu o succesiune de impulsuri ca în figura 5.20,a;

b) “ $BT_1$  intensificat de  $BT_2$ ” – baza de timp  $BT_1$  servește pentru vizualizarea întregului semnal pe ecran, dar pe durata bazei de timp  $BT_2$  spotul este intensificat. Întârzierea  $t_i$  a declansării bazei  $BT_2$  se reglează astfel ca portiunea intensificata a spotului sa acopere detaliul ce urmeaza a fi examinat (ca în figura 5.20,b);

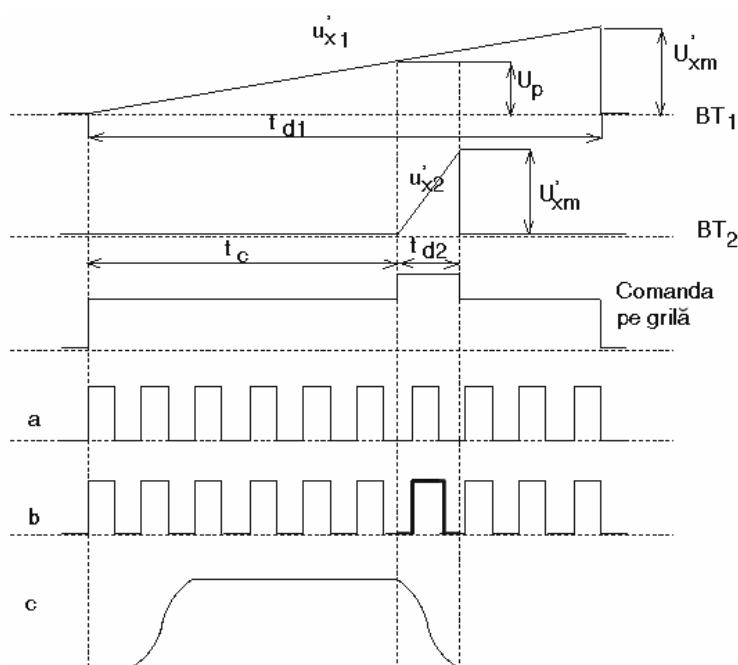


Fig. 5.20

c) “ $BT_2$  întârziat de  $BT_1$ ” – baza de timp  $BT_2$  servește pentru vizualizarea pe întregul ecran a detaliului cuprins în  $t_{d2}$ . Acest mod servește și la măsurarea precisă a intervalelor mici de timp, așa cum rezulta din figura 5.20,c.

Uneori este util și să se vizualizeze simultan atât versiunea “lenta” a semnalului corespunzătoare bazei  $BT_1$  cât și versiunea “rapida” a detaliului corespunzătoare bazei  $BT_2$ .

O soluție o constituie comutarea sistemului de deflexie între cele două baze de timp, simultan fiind realizată și o separare pe verticală a celor două oscilograme. Pentru modul de lucru “ $BT_2$  întârziat de  $BT_1$ ” imaginea de pe ecran cuprinde oscilogramele *b* și *c* din figura 5.20.

O alta solutie o constituie mixarea celor doua baze de timp. În acest caz semnalul se vizualizeaza cu baza  $BT_1$  pe toata durata timpului de întârziere si apoi se vizualizeaza detaliul cu baza  $BT_2$ .

#### 5.4.6. Circuitul de sincronizare pe semnal TV

La verificarea si depanarea receptoarelor TV, osciloscopul se utilizeaza pentru vizualizarea fie a unei linii complete din baleiajul orizontal, fie a unui cadru (semicadru) din baleiajul vertical. Pentru aceasta trebuie ca baza de timp a osciloscopului sa fie sincronizata pe unul din impulsurile de sincronizare a liniilor sau cadrelor (v. fig. 5.15) si astfel oscilograma semnalului TV examinat este stabila pe ecran.

Semnalul video cules dupa detectie contine o zona a nivelului de tensiune care cuprinde impulsurile de sincronizare destinate a comanda startul fiecărei linii sau al fiecărui semicadru si o alta zona care moduleaza luminozitatea spotului pe durata fiecărei linii (adica continutul luminos al imaginii). Pentru sincronizarea bazei de timp a osciloscopului pe startul de linie sau de cadru este necesar, mai întâi, ca circuitul de sincronizare sa contina un amplificator cu prag care sa separe din semnalul video numai partea de sincronizare (partea modulatoare video este retezata, amplificatorul fiind blocat). La iesirea amplificatorului se culege un sir de impulsuri: unele pentru sincronizare linii de  $4,5 \mu\text{s}$ /impuls si altele pentru sincronizare cadre de  $27 \mu\text{s}$ /impuls.

Acest sir de impulsuri se aplica la intrarea triggerului Schmitt  $TS$  din figura 5.15 si se asigura ca acesta sa declanseze pe impulsurile de linii.

Pentru a putea sincroniza baza de timp pe impulsurile de cadre, este necesar un circuit separator care sa elimine impulsurile de linii si sa permita trecerea numai a impulsurilor de cadre. Acesta este un circuit integrator de timp  $RC$  cu constanta de timp  $t = 30 \div 50 \mu\text{s}$ , mult mai mare decât durata de  $4,5 \mu\text{s}$  a impulsului de sincronizare linii. În figura 5.21 se prezinta diagrama tensiunii de la bornele condensatorului pentru impulsuri de linie si cadre. Pe durata unui impuls de linie condensatorul se încarca la un nivel sub pragul de declansare al triggerului Schmitt, iar pe unul din cadre se încarca la un nivel suficient pentru declansarea triggerului din baza de timp a osciloscopului.

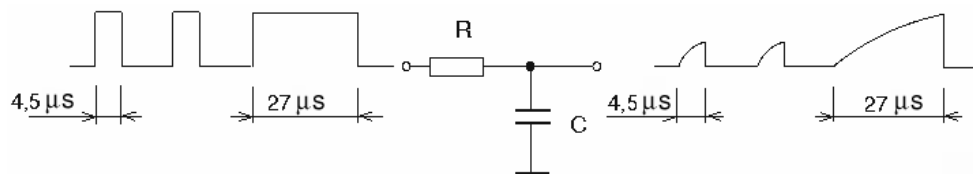


Fig. 5.21

Schema unui circuit de sincronizare pe semnal TV este aratata în figura 5.22. Se face conectarea între  $IP$  si  $TS$  cu comutatorul triplu  $K_1-K_2-K_3$  care functioneaza pe una din pozitiile: în pozitia  $N$  (normala) inversorul de polaritate  $IP$  este conectat



direct cu  $TS$ ; în poziția  $TVC$  este introdus amplificatorul prag, cu tranzistorul  $T$  polarizat prin  $R_1-R_2$ , astfel încât să reține toată partea modulatoră a semnalului video și să treacă numai șirul de impulsuri de sincronizare linii și cadre; în poziția  $TVC$  este introdus și circuitul integrator  $RC$  care șterge impulsurile de linii și lasă să treacă numai impulsurile de cadre.

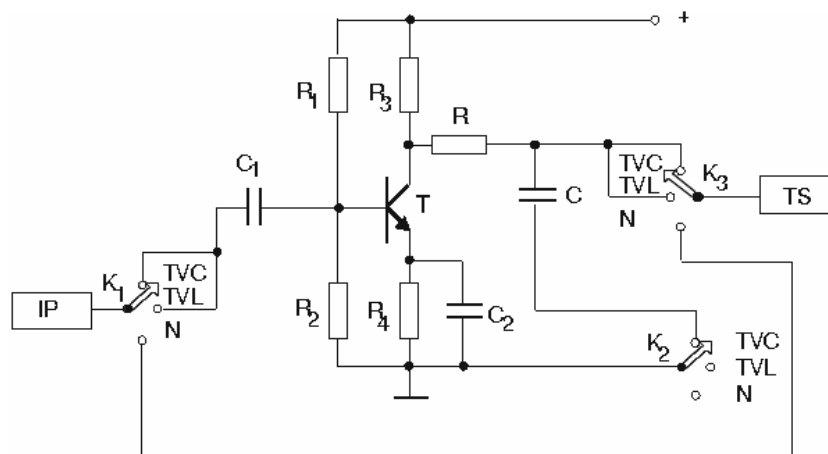


Fig. 5.22

La osciloscopul românesc E 0102 poziția  $TVC$  lipsește, adică baza de timp a osciloscopului se sincronizează numai pe impulsurile de cadre.

## 5.5. AMPLIFICATORUL FINAL AL CANALULUI X

Amplificatorul final  $A_x$  poate fi cuplat fie la baza de timp  $K_5$  în poziția  $a$  (din figura 5.1), pentru funcționarea osciloscopului în sistemul de coordonate  $y-t$ , fie la intrarea  $X$  cu  $K_5$  în poziția  $b$  pentru funcționarea în sistemul  $y-x$ .

Acesta amplifică tensiunea liniar variabilă a bazei de timp având amplitudinea  $U'_{xM} = 5-8$  V până la nivelul cerut de deviație pe orizontală  $U_x = 100-150$  V.

Pentru evitarea efectului de trapez a oscilogramelor, atacul plăcilor de deflexie pe orizontală se face cu două tensiuni simetrice în antifază, culese de la cele două ieșiri ale amplificatorului.

Schema amplificatorului  $A_x$  este asemănătoare schemei amplificatorului  $A_y$ , însă ceva mai simplă deoarece: pe de o parte, banda de frecvență necesară este cu un ordin de mărime mai joasă,  $f_b \leq (0,1-0,2)f_y$ , deci cu mai puține corecții de frecvență, iar pe de altă parte, amplificarea cerută este mult mai redusă, fiindcă amplitudinea  $U'_{xM}$  este mult mai mare decât a semnalului de ieșire din atenuatorul canalului  $Y$  (10-50 mV), deci nu mai este necesar un preamplificator.

În figura 5.23 este prezentată o schemă simplă a amplificatorului final al blocului de deviație pe orizontală.

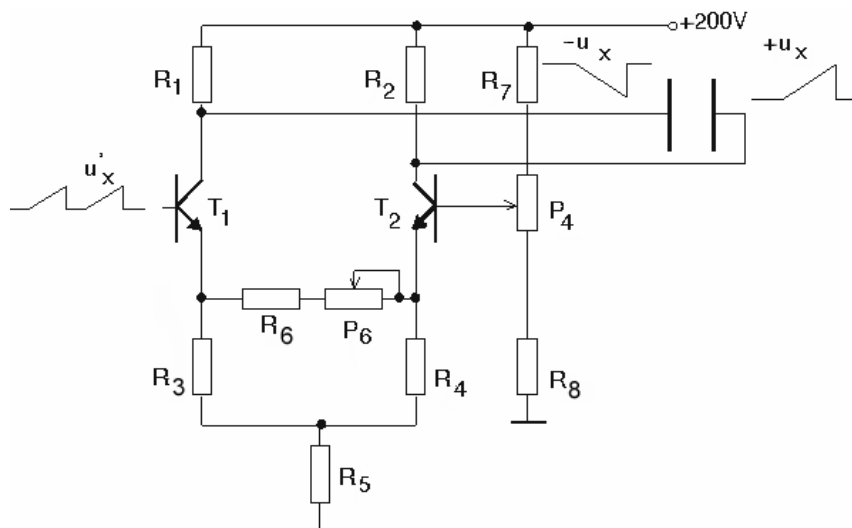


Fig. 5.23

Observăm că este un amplificator inversor Schmitt, în care  $T_1$  lucrează în emitor comun, iar  $T_2$  în baza comună. Baza lui  $T_1$  primește tensiunea în dinte de ferăstrău, iar baza lui  $T_2$  primește tensiunea de axare a spotului pe orizontală, reglabilă prin potenciometrul  $P_4$ . În colectorul lui  $T_1$  se obține semnalul  $-Au'_x$  (semnalul amplificat de  $A$  ori și inversat ca fază), iar în colectorul lui  $T_2$  se obține semnalul  $Au'_x$ . Cu ajutorul potenciometrului  $P_6$  se reglează amplificarea în scopul etalonării trasei pe axa  $x$ .

Această schemă da rezultate satisfăcătoare până la frecvențe de 100-200 kHz. Pentru o bandă mai largă, schema amplificatorului constă din două defazoare Schmitt conectate în cascada (ieșirile din colectoarele tranzistoarelor  $T_1$  și  $T_2$  reprezintă intrări pe bazele unor tranzistoare  $T_3$  și  $T_4$ ), dintre care unul este de joasă tensiune (12 V) și celălalt de tensiune ridicată (200 V). Această schemă utilizată la osciloscopul standard permite modificarea amplificării de la valoarea  $A$  la  $5A$ , în scopul realizării efectului de lupă de timp (prezentat anterior). Prin această se realizează o dilatare a oscilogramelor după axa  $x$ , astfel ca detaliul ce interesează să cuprindă o bună parte sau chiar întreg ecranul.

## 5.6. LINIA DE ÎNTÂRZIERE A CANALULUI Y

Linia de întârziere,  $LI$  (v. fig. 5.1), se plasează între preamplificator și amplificatorul final (ca în figura 5.10) și se utilizează numai la osciloscopul cu bază de timp declansată.

Toate blocurile componente ale canalului  $Y$  din figura 5.10 și cele ale canalului  $X$  din figura 5.15 produc întârzieri în transmiterea semnalelor la placile de deflexie. Valorile tipice ale timpilor de întârziere sunt:

- canalul  $Y$ :  $\tau_{PA} = 10$  ns,  $\tau_{AY} = 40$  ns,  $\tau_{LI} = 100-150$  ns și  $\tau_Y = 150$  ns;
- canalul  $X$ :  $\tau_{IP} = 20$  ns,  $\tau_{TS} = 30$  ns,  $\tau_{GB} = 80$  ns,  $\tau_{AX} = 80$  ns și  $\tau_X = 150$  ns.

Se observa ca fata de momentul intrarii semnalului de masura, canalul  $X$  produce o întârziere  $\tau_x = 150$  ns, iar canalul  $Y$  fara  $LI$  o întârziere de 50 ns. De exemplu, dintr-un impuls singular cu durata de 130 ns se vizualizeaza numai portiunea finala de 30 ns. Rolul  $LI$  este de a întârzia semnalul  $u_y$  cu cel putin 100 ns, astfel ca acesta sa ajunga pe placile de deflexie  $Y$  simultan cu  $u_x$  sau chiar putin în urma.

De asemenea, se observa ca si semnalul de aprindere a spotului trebuie întârziat cu 50-60 ns, pentru ca sa fie sincron sau sa devanseze putin startul rampei  $u'_x$  a generatorului de baleiaj.

Linia de întârziere se realizeaza sub forma de cablu similar cu cel coaxial si care se comporta ca o linie de transmisie cu constante distribuite. Pentru a mari inductivitatea pe unitatea de lungime, conductorul central este înlocuit cu un solenoid din sârma emailata înfasurata pe o inima subtire din polietilena, iar conductorul exterior este sub forma de tesatura metalica din sârma subtire de cupru. Inductivitatea este data de catre solenoid, iar capacitatea de catre condensatorul cilindric format între solenoidul interior si împletitura exterioara si are ca dielectric camasa de polietilena. Acest tip de cablu produce o întârziere de 180 ns/m si are o impedanta caracteristica de 1000  $\Omega$ . Daca se înlocuieste miezul din polietilena cu unul de ferita creste timpul de întârziere.

În fine, linia de întârziere poate fi realizata si sub forma de circuit imprimat dublu placat. Inductivitatea este constituita din cele doua circuite în creneluri, iar capacitatea de catre aceleasi circuite ce formeaza un condensator cu armaturi plan-paralele, având drept dielectric suportul electroizolant al placatului. Acest tip de linie de întârziere poate fi integrat direct pe placa blocului  $PA - A_y$ .

La implementarea blocului  $LI$  pe canalul  $Y$  trebuie acordata atentie adaptarii, pentru a evita reflexiile.

## 5.7. SONDE PENTRU OSCILOSCOAPE

Sonda sau capul de masurare este dispozitivul prin care se preleveaza semnalul în punctul de masurare pentru a fi adus la borna de intrare a osciloscopului.

Conectarea osciloscopului la punctul de masurare cu doua conductoare determina distorsionarea imaginii pe ecran, deoarece acestea capteaza semnale parazite din exterior. De asemenea, se introduce o capacitate suplimentara de circa 100 pF/m la intrarea osciloscopului, cu un puternic efect de suntare la înalta frecventa. Pentru a elimina aceste influente parazite se utilizeaza sonda, care este formata din capul de sonda (sonda propriu-zisa), cablu coaxial si mufe. Dupa tipul elementelor componente sondele sunt pasive (cu elemente pasive de tip  $RC$ ) si active (cu tranzitoare cu efect de câmp si tranzitoare bipolare).

### 5.7.1. Sondele pasive

Sunt cele mai raspândite, întrucât sunt simple si usor manevrabile. Pentru masurari la frecvente joase se utilizeaza sonda normala 1/1 care nu are nici un efect (atenuare sau amplificare) asupra semnalului sau impedantei de intrare. La frecvente înalte se utilizeaza sonda cu atenuare 1/10 sau 1/100, care contine un divizor de tensiune de tip  $RC$  compensat în frecventa. Schema electrica a sondei 1/10 este aratata în figura 5.24, unde: 1 este sonda propriu-zisa, 2 – cablu coaxial, 3 – osciloscopul catodic.

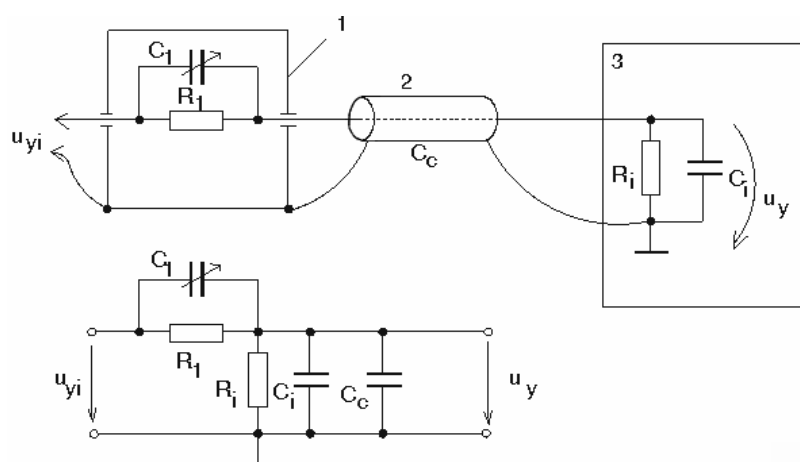


Fig. 5.24

Pentru divizorul de tensiune  $RC$ , raportul tensiunilor:

$$m = \frac{U_{yi}}{U_Y} = \frac{\frac{1}{R_1 + j\omega C_1} + \frac{1}{R_i + j\omega C_2}}{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1} = \frac{\frac{1 + j\omega R_1 C_1}{R_1} + \frac{1 + j\omega R_i C_2}{R_i}}{\frac{1 + j\omega R_1 C_1}{R_1}}, \quad (5.17)$$

$$C_2 = C_i + C_c,$$

unde:  $R_i$  si  $C_i$  sunt rezistenta de intrare (de ordinul 1 – 10  $M\Omega$ ) si capacitatea de intrare (de ordinul zecilor de pF) ale osciloscopului;  $C_c$  – capacitatea cablului coaxial;  $C_2$  – capacitatea de intrare la osciloscop care poate atinge (si chiar depasi) 100 pF.

La astfel de valori ale lui  $C_2$ , la frecvente înalte se produce un puternic efect de scurtare a osciloscopului. De exemplu, pentru  $C_2 = 100$  pF si  $f = 1$  MHz, impedanta de intrare a osciloscopului este de circa 1,6  $k\Omega$ , ceea ce duce la o încarcare importanta a sursei de semnal (efectul de sarcina) si deci la aparitia unor erori mari la masurarea tensiunii  $u_{yi}$ .

Pentru a reduce capacitatea de intrare a osciloscopului se conectează în serie cu  $C_2$  un condensator  $C_1$  de capacitate mica (5.10 pF). Însă  $C_1$  și  $C_2$  formează un divizor de tensiune care trebuie compensat în frecvență și în acest scop se suntează  $C_1$  cu rezistența  $R_1$ .

Pentru ca raportul  $m$  să fie independent de frecvență, rezulta condiția de compensare în frecvență a divizorului de tensiune, adică:

$$R_1 C_1 = R_i C_2, \quad (5.18)$$

situație în care raportul tensiunilor devine:

$$m = \frac{U_{y_i}}{U_y} = \frac{R_1 + R_i}{R_i}. \quad (5.19)$$

În acest caz, valorile elementelor aditionale sunt:

$$R_1 = R_i(m - 1), \quad C_1 = \frac{C_2}{m - 1}, \quad (5.20)$$

iar impedanța de intrare devine:

$$R'_i = R_i + R_1 = mR_i. \quad (5.21)$$

Divizorul de tensiune reduce de  $m$  ori capacitatea de intrare și efectul de suntare devine neglijabil chiar la frecvențe înalte. Reglajul compensării în frecvență se face asupra lui  $C_1$  (un trimer ceramic sau condensator coaxial format în corpul sondei).

Pentru valorile tipice:  $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C_2 = 9 \text{ pF}$ ,  $m = 10$ , rezulta:  $R_1 = 9 \text{ M}\Omega$ ,  $C_1 = 10 \text{ pF}$ ,  $R'_i = 10 \text{ m}\Omega$ ,  $C'_i = 9 \text{ pF}$ ,  $U_y = \frac{U_{y_i}}{10}$ .

Sonda 1/10 determină creșterea de 10 ori a impedanței de intrare dar și atenuarea de 10 ori a semnalului de intrare în osciloscop.

Controlul compensării în frecvență (adică a relației 5.18) se face experimental cu ajutorul unui semnal dreptunghiular de 1 kHz (care este disponibil pe panoul osciloscopului). Se culege semnalul cu ajutorul sondei și se urmărește răspunsul pe ecran, care poate avea una din formele prezentate în figura 5. 25.

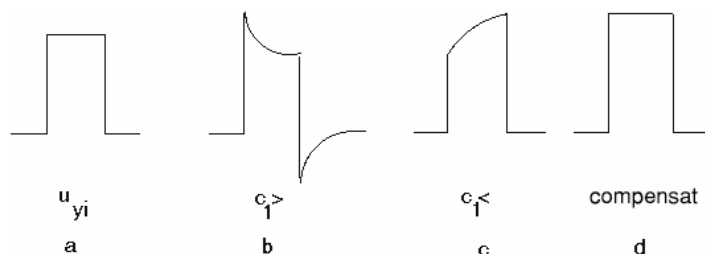


Fig. 5.25

Pentru raspunsul  $b$  capacitatea  $C_1$  este prea mare si divizorul se transforma într-un circuit trece-sus (derivator), iar semnalul este ascutit. Pentru raspunsul  $c$  capacitatea  $C_1$  este prea mica, circuitul devine trece-jos (integrator), iar semnalul este rotunjit. Pentru raspunsul  $d$  este îndeplinita conditia compensarii prin reglajul lui  $C_1$ , iar semnalul apare nedeformat pe ecran.

### 5.7.2. Sondele active

Sondele active permit amplificarea locala (tipic 100 ori) a semnalului de masurat si deci transmiterea acestuia spre osciloscop la un nivel mai ridicat, ca atare mai putin afectat de semnalele parazite. De asemenea, sondele au rolul de a reduce capacitatea de intrare a osciloscopului; în acest scop intrarea semnalului se face pe un tranzistor cu efect de câmp în montaj sursa comuna, care are o capacitate de intrare sub 1 pF si o amplificare mare. Iesirea semnalului din sonda propriu-zisa se face printr-un repetor pe emitor, acesta având o impedanta de intrare mare (de ordinul  $M\Omega$ ) si o impedanta de iesire mica (de ordinul zecilor de ohmi), are o buna adaptabilitate cu cablul coaxial si permite transmiterea corecta a impulsurilor. Repetorul modifica curentul si nu amplifica tensiunea (tensiunea de iesire este egala si în faza cu tensiunea de intrare).

Sondele active sunt utile la masurarea tensiunilor din domeniul milivoltilor, folosind osciloscopie obisnuite (20 mV/div.).

Orice sonda încarca sursa de semnal (efectul de sarcina) si cauzeaza erori (de amplitudine, faza si timp de crestere) cu atât mai mari cu cât frecventa de lucru este mai mare. Ca atare, alegerea sondei adecvate se face ca aceste erori sa fie cât mai mici.

Sondele pasive 1/1 sunt recomandate pentru masurari de semnal sinusoidal cu frecventa mai mica decât 50-100 kHz (sunt bune numai pentru  $AF$ ).

Pentru masurari de tensiuni sinusoidale de  $RF$  (peste 1 MHz) si de impulsuri dreptunghiulare trebuie utilizate sonde pasive sau active cu atenuare 1/10 sau 1/100. Erorile sunt cu atât mai mici cu cât rezistenta de intrare  $R_i$  este mai mare, iar capacitatea de intrare  $C_i$  este mai mica. De exemplu, la 1 MHz sonda 1/1 de  $1 M\Omega/75$  pF produce o eroare de amplitudine  $\epsilon_u = 12\%$  si o eroare de faza  $\Delta\varphi = 8^\circ$ , în timp ce sonda 1/10 de  $10 M\Omega/10$  pF da erori  $\epsilon_u = 2\%$  si  $\Delta\varphi = 1^\circ$ . Daca masurarea cu sonda 1/1 se efectueaza la 100 kHz, erorile introduse au valori acceptabile,  $\epsilon_u = 1,5\%$  si  $\Delta\varphi = 1^\circ$ .

În cazul impulsurilor dreptunghiulare, eroarea ce apare la masurarea timpului de crestere a tensiunii la sursa de semnal (bistabil, trigger, porti CMOS) este mica daca sonda aleasa are capacitatea de intrare  $C_i \leq 1-3$  pF, conditie ce o îndeplinesc sondele active cu atenuatoare de capacitate.

## 5.8. OSCILOSCOPUL CU DOUA CANALE

Pentru a vizualiza simultan doua semnale se foloseste osciloscopul cu doua canale (numit si duoscop). Dupa modul de realizare al celor doua canale se disting osciloscopiale cu doua fascicule de electroni sau cu un singur fascicul si comutator electronic încorporat.

### 5.8.1. Osciloscopul cu doua fascicule de electroni

În functie de modul de producere al celor doua fascicule, tubul catodic folosit la aceste osciloscopiale se prezinta în trei variante:

a) tubul catodic cu doua tunuri electronice si cu placi de deflexie independente, atât pe verticala cât si pe orizontala;

b) tubul catodic cu doua tunuri electronice, cu placi de deflexie pe verticala independente si cu aceleasi placi de deflexie pe orizontala, semnalele fiind vizualizate cu aceeasi viteza de baleiaj;

c) tubul catodic cu un singur tun electronic si cu fasciculul de electroni divizat dupa anodul ecran  $A_1$  (din figura 5.2.).

Deflexia pe orizontala a fasciculelor este comuna, iar deflexia pe verticala este separata pentru fiecare intrare  $A$  si  $B$ .

Schema de principiu a unui osciloscop cu doua fascicule (în varianta b) este aratata în figura 5.26, unde notatiile au semnificatiile din figura 5.1.

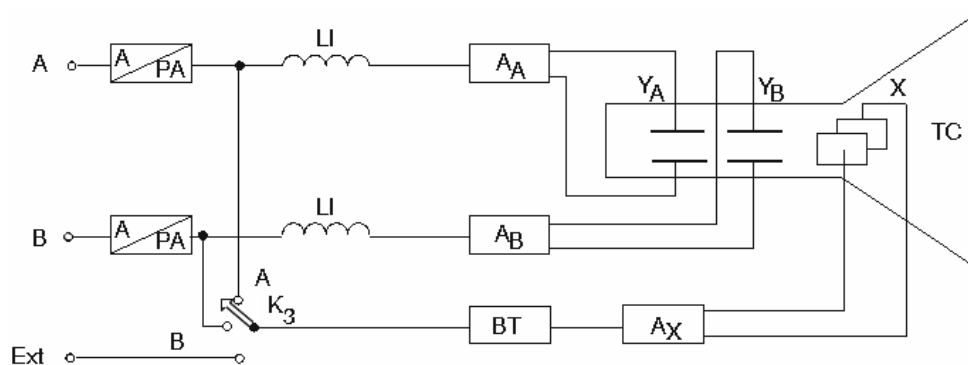


Fig. 5.26

Osciloscopiale cu doua fascicule au bune performante (stabilitate, precizie la masurarea fazei etc.), însa sunt scumpe si se folosesc în cazuri speciale si mai rar decât varianta cu comutator electronic.

### 5.8.2. Osciloscopul cu comutator electronic

Acestea au un tub catodic obisnuit, adica cu un singur fascicul, un sistem de deflexie pe verticala si altul pe orizontala. Vizualizarea aparent simultana a doua semnale se bazeaza pe multiplexarea în timp a sistemului de deflexie pe verticala prin intermediul unui comutator electronic încorporat în blocul de amplificare al canalului  $Y$ .

Schema de principiu a acestui osciloscop este prezentata în figura 5.27.

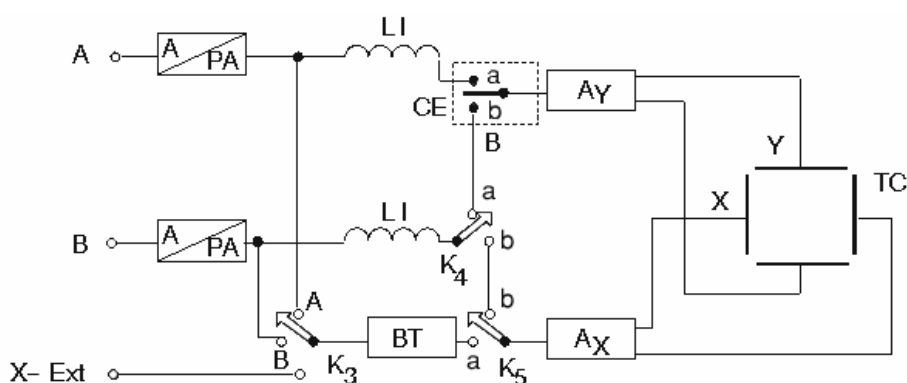


Fig. 5.27

Comutatorul electronic  $CE$  transmite succesiv pe placile de deflexie pe verticala esantioane din semnalele aplicate pe cele doua intrari  $A$  si  $B$ . Pe ecranul tubului, datorita persistentei luminiferului, apar simultan oscilogramele distincte ale celor doua semnale. Dupa tipul de comanda al comutarii se deosebesc doua moduri de lucruri: prin alternare si prin întrerupere. Alegerea unui mod de lucru se face de obicei de catre operator, printr-un comutator plasat pe panoul frontal al osciloscopului, în functie de frecventa semnalelor,  $f_A$  si  $f_B$ .

**Modul de lucru prin alternare (“alternate”)**, în care comanda comutatorului electronic  $CE$  este data de tensiunea în dinti de ferastrau luata de la baza de timp. Pe durata unei curse directe se afiseaza tensiunea  $A$ , iar pe urmatoarea tensiunea  $B$ , asa ca în figura 5.28,a. Comutarea semnalelor la intrarea amplificatorului  $A_Y$  se face cu frecventa tensiunii de baleiaj.

Acest mod se recomanda la frecvente mari ( $> 100$  Hz) ale semnalelor  $A$  si  $B$  pentru ca imaginea sa fie clara, fara pâlpâire.

Daca frecventa acestor afisari este mai mare de  $30 \div 50$  ori pe secunda, atunci ochiul nu sesizeaza pauzele dintre afisari si percepe oscilogramele  $A$  si  $B$  ca si cum ar fi afisate simultan.



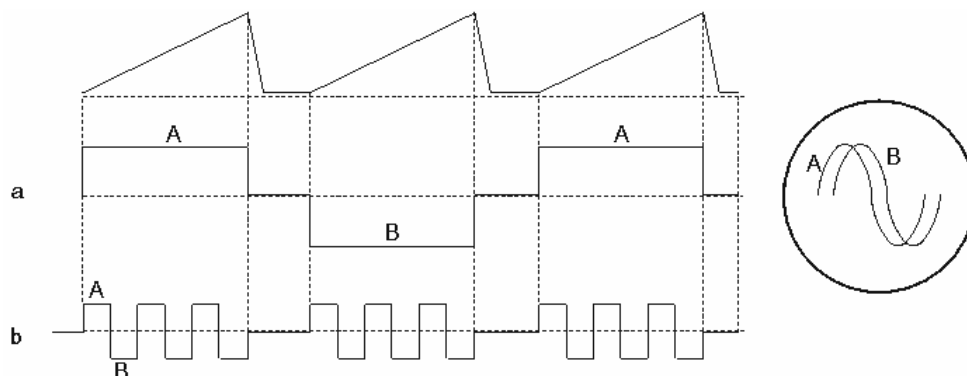


Fig. 5.28

**Modul de lucru prin întrerupere (“chopped” sau “comutat”),** în care  $CE$  lucrează la o frecvență de comutare fixă ( $100 \div 200$  kHz) dată de un oscilator autonom. Pe durata cursei directe a baleiajului au loc comutări succesive ale celor două semnale la sistemul de deflexie pe verticală, ca și în figura 5.28.b. Se afișează esantioane din ambele oscilograme. Dacă frecvența semnalelor de intrare este mult mai mică decât frecvența de comutare, esantioanele aceluiași semnal sunt apropiate și ochiul percepe cele două oscilograme ca fiind continue. Acest mod se recomandă pentru frecvențe mici, la care apare efectul de pâlpare pentru modul de lucru prin alternare.

În ambele moduri de lucru semnalul de sincronizare al bazei de timp se ia de pe unul din canalele  $A$  sau  $B$ .

În concluzie, modul de lucru prin alternare este bun pentru frecvențe mai mari decât 100 Hz, iar cel prin întrerupere pentru frecvențe mai mici decât  $5 \div 10$  kHz).

Osciloscopul cu comutator electronic, în afara de vizualizarea simultană a tensiunilor  $A(t)$  și  $B(t)$  face posibilă și alte operații de măsurare: numai  $A(t)$  sau numai  $B(t)$  sau suma  $A + B$  sau diferența  $A - B$  sau produsul  $A \times B$  sau curba  $A(B)$  etc.

## 5.9. OSCILOSCOPUL CU ESANTIONARE

Osciloscopul prezentat până la acest subcapitol realizează o corespondență biunivocă între fiecare punct al imaginii de pe ecran și fiecare valoare a semnalului vizualizat și se numește *osciloscop în timp real*. Limita superioară a frecvenței semnalului până la care poate funcționa acest osciloscop este impusă:

- de banda de frecvență a amplificatorului  $A_f$  (ceea ce ar necesita un amplificator de bandă largă – ABL);
- de capacitatea cablului coaxial, care la frecvențe înalte produce efectul de suntare a osciloscopului și scăderea drastică a impedanței de intrare (văzută de la

sursa de semnal) a osciloscopului, chiar daca se utilizeaza sonde atenuatoare cu capacitati de compensare (v. subcapitolul 5.7);

– mai ales de deflexia pe verticala din tubul catodic (v. caracteristica de frecventa din figura 5.7.).

Iesirea din acest impas s-a rezolvat prin tehnica esantionarii, care permite cresterea frecventei pâna la ordinul zecilor de GHz.

Esantionarea unui semnal variabil în timp consta în descompunerea acestuia în portiuni mici (esantioane), fie în scopul pregatirii semnalului pentru masurare pe cale numerica, fie în scopul micsorarii frecventei.

În primul caz este vorba de esantionare în timp real ce se utilizeaza la aparatele numerice de masurat (voltmetre, osciloscops etc.). Principiul acestuia consta în a lua esantioane de amplitudine din semnal la intervale egale de timp,  $\Delta t$ , numit *pasul esantionarii*.

În cel de-al doilea caz, semnalul de înalta frecventa este convertit într-un semnal de joasa frecventa, pastrând aceeasi forma de variatie în timp ca si cum s-a efectuat o translatie a frecventei. Exista doua metode de esantionare: secventiala si aleatoare. Pe aceasta tehnica functioneaza osciloscopul cu esantionare pentru masurari la înalta frecventa.

### 5.9.1. Principiul esantionarii secventiale

Din semnalul de înalta frecventa  $u(f)$  se preleveaza esantioane cu durata foarte scurta (sute de ps), pe baza carora apoi se reconstituie semnalul initial la o frecventa mult mai joasa,  $u'(f')$ .

În figura 5.29 se prezinta principiul esantionarii secventiale a unui semnal sinusoidal de înalta frecventa. Fata de momentul de referinta (al trecerii prin zero) al tensiunii  $u(f)$  se preleveaza primul esantion dupa un interval de timp  $\Delta t$ . Urmatoarele esantioane ( $k = 2, 3, 4, \dots, 8$ ) se preleveaza la intervale de timp  $T + k\Delta t$  fata de esantionul anterior ( $T$  este perioada tensiunii  $u$ ) pâna la explorarea completa a semnalului. Pe baza esantioanelor memorate se reconstituie semnalul  $u'(f')$ . Din analiza figurii 5.29 se constata ca scara de timp a semnalului reconstituit este de 8 ori mai mare decât cea a semnalului original, ceea ce înseamna ca frecventa  $f'$  este de 8 ori mai mica decât frecventa  $f$ . Semnalul reconstituit  $u'$  este discontinuu, fiind format dintr-o succesiune de puncte. Deoarece fiecare punct corespunde unui esantion rezulta ca marirea rezolutiei semnalului  $u'$  implica marirea numarului de esantioane, deci micsorarea intervalului  $\Delta t$  (care defineste rezolutia pe orizontala). În practica numarul de esantioane prelevate pentru reconstructia unei perioade  $T'$  variaza între câteva unitati si câteva mii. Pentru un numar mic de esantioane reconstructia semnalului poate fi eronata; o oarecare ameliorare se poate obtine cu un dispozitiv de interpolare.

În esență, principiul esanționării secvențiale constă în translația semnalului de înaltă frecvență în domeniul frecvențelor joase, ceea ce face posibilă prelucrarea și afișarea semnalului pe un osciloscop de joasă frecvență (1-10 MHz).

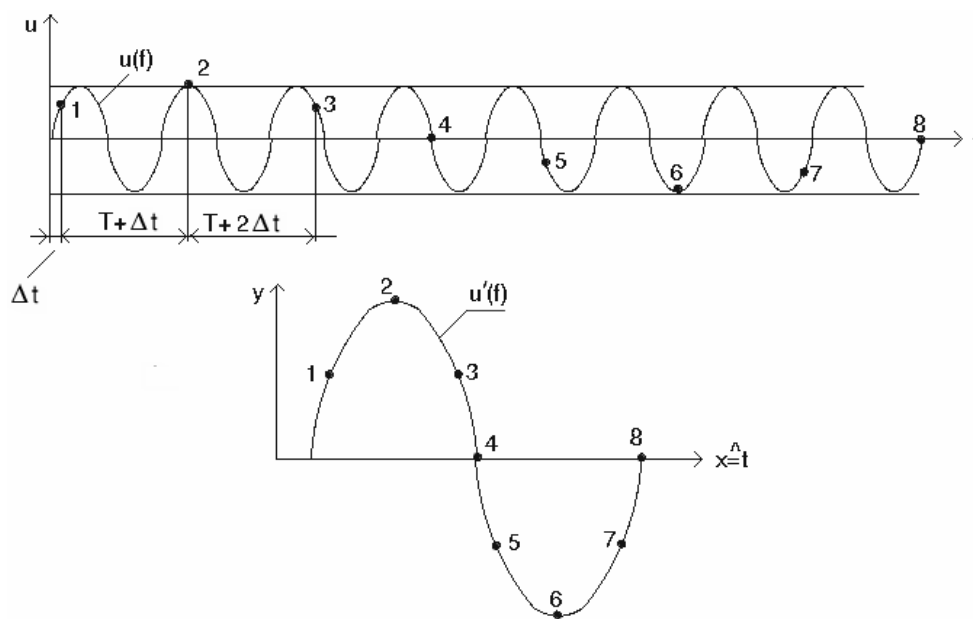


Fig. 5.29

Esanționarea o face circuitul de esanționare care este montat în sonda de măsurat. Schema de principiu a acestuia este aratăta în figura 5.30.

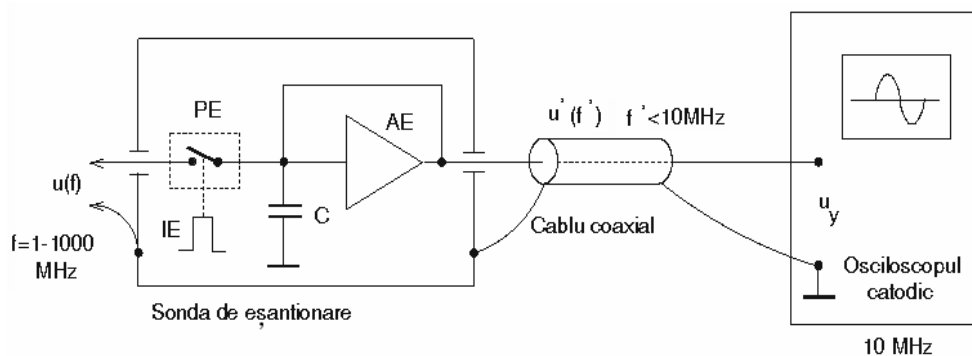


Fig. 5.30

Tensiunea de înaltă frecvență  $u(f)$  este aplicată la intrarea porții de esanționare PE (ce are rolul de întreruptor). Comanda de închidere a porții se face cu impulsuri foarte scurte ( $\Delta t$  sute de ps). Pe durata închiderii, condensatorul de

esantionare  $C$  se încarcă la o valoare ce nu depășește 10-20 % din valoarea instantanee a tensiunii  $u = u(f)$ . Tensiunea la care se încarcă condensatorul este:

$$u_c = u \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right), \quad (5.22)$$

unde  $R$  este rezistența internă a porții și  $C$  – capacitatea condensatorului. Deoarece constanta de timp a circuitului,  $\tau = RC \gg \Delta t$  condensatorul se încarcă la o fracțiune din tensiunea de intrare  $u = u(f)$ .

Esantionul de tensiune  $u_c$  este adus la valoarea instantanee a tensiunii de intrare cu amplificatorul de esantionare  $AE$ , cu amplificare de cel puțin  $5 \div 10$ . Prin circuitul de reacție al amplificatorului, această tensiune este adusă la bornele condensatorului, astfel încât la o nouă închidere a porții tensiunea  $u_c$  va înregistra numai variația față de esantionul precedent.

Esantioanele preluate prin  $PE$  și  $C$  și refacute de  $AE$  la valoarea tensiunii de intrare sunt aplicate prin cablul coaxial intrării  $Y$  a osciloscopului de 10 MHz. Tensiunea  $u'$  constituie o replica de joasă frecvență a tensiunii  $u(f)$ .

### 5.9.2. Osciloscopul cu esantionare secvențială

Acesta este un osciloscop de joasă frecvență (1-10 MHz) asociat cu o sondă de esantionare reductoare de frecvență și un circuit de memorare (alcatuit dintr-un amplificator și un registru de deplasare) care reduce frecvența semnalului esantionat până la 0,1-5 Hz, ceea ce face posibilă cuplarea unui înregistrator.

Cu osciloscopul cu esantionare se fac măsurări la înaltă frecvență, iar rezultatul se prezintă fie sub forma de oscilogramă pe ecran, fie sub forma de inscriptogramă ridicată cu înregistrator  $X$ - $Y$  conectat la osciloscop.

În principiu osciloscopul cu esantionare se compune din: circuitul de sincronizare, pentru stabilirea momentelor de referință a declanșării bazei de timp; circuitul de esantionare, pentru translația semnalului în domeniul de joasă frecvență; circuitul de deplasare a spotului pe orizontală (sau generic baza de timp) proporțional cu poziția punctului de esantionare pe semnal; circuitele proprii osciloscopului de joasă frecvență (prezentate anterior).

Schema bloc a osciloscopului cu esantionare secvențială este redată în figura 5.31, unde:  $LI$  este linia de întârziere;  $CE$  – circuitul de esantionare realizat cu diode de comutație foarte rapide (exemplu, dioda Schottky);  $AM$  – amplificatorul de memorare;  $A_Y$  – amplificatorul final al canalului  $Y$ ;  $CS$  – circuitul de sincronizare (de declanșare rapidă), format dintr-un trigger Schmitt în regim de formator de impulsuri dreptunghiulare și un oscilator autoblocat care generează impulsuri foarte scurte;  $BTR$  – baza de timp rapidă, pentru generarea tensiunii în rampă;  $C$  – comparator de tensiune, ce compară tensiunea în rampă cu o tensiune în trepte;  $GTT$  – generatorul de tensiune în trepte;  $GIE$  – generatorul de impulsuri de esantionare;  $A_x$  – amplificatorul final pentru deflexia pe orizontală;  $TC$  – tub catodic.

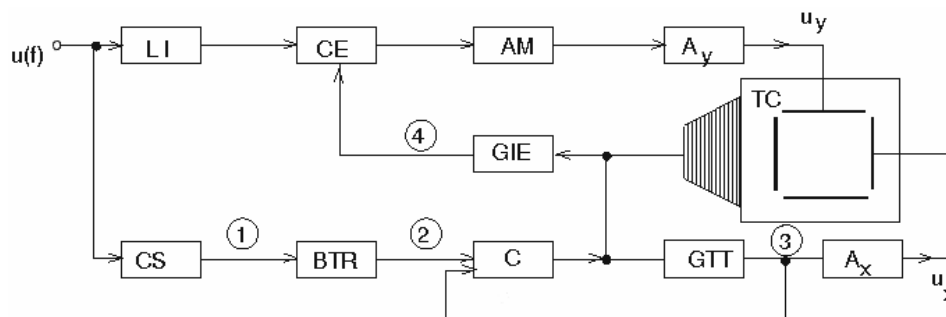


Fig. 5.31

Modul de funcționare este prezentat în continuare în figura 5.32, unde se dau diagramele tensiunilor în unele puncte ale schemei. Semnalul de măsurat  $u(f)$  (1-1000 MHz) se aplica prin linia de întârziere (cu 8-10 ns) circuitului de esanționare și apoi amplificatorului de memorare. Același semnal se aplica circuitului de sincronizare care generează impulsurile de sincronizare, 1, ce reprezintă referința de timp. Acestea declanșează baza de timp rapidă a cărei tensiune în rampă 2 se compară cu tensiunea în trepte 3 în comparatorul de tensiune. În momentul egalității celor două tensiuni, comparatorul emite un impuls care comandă simultan trei blocuri:

- *GIE*, care emite impulsurile de esanționare 4 pentru circuitul de esanționare și amplificatorul de memorare;
- *GTT*, care comandă creșterea cu o treaptă a tensiunii 3;
- *TC*, care intensifică spotul (spotul aprins) pe durata afisării esanționului respectiv și stinge spotul (prin negativarea grilei de comandă) astfel încât deplasarea de la un esanțion la altul să nu poată fi observată.

Esanționul prelevat prin *CE* și refăcut la valoarea inițială de către amplificatoarele *AE* și *AM* și apoi adus la nivelul deflexiei pe verticală prin *A<sub>y</sub>*, constituie o treaptă a tensiunii  $U_y$  necesară afisării unui punct al oscilogramii.

Deplasarea spotului pe orizontală se face tot în trepte și este asigurată de tensiunea în trepte a *GTT* (care în acest caz joacă rolul de bază de timp a osciloscopului). În momentul când tensiunea crește cu o treaptă (adică deplasează spotul spre dreapta ecranului) sosese și esanționul corespunzător prelevat din  $u_y$  și spotul marchează pe ecran un punct al oscilogramii. Sincronizarea treptelor lui  $U_x$  cu cele ale lui  $U_y$  se realizează prin ajustarea liniei de întârziere. Când tensiunea în trepte atinge nivelul maxim corespunzător poziției spotului în extremitatea din dreapta a ecranului, se sesizează *GTT* și spotul revine în extremitatea din stânga ecranului.

Se observă că impulsurile de esanționare se produc în momentul când tensiunea în rampă 2 este egală cu tensiunea în trepte 3, ceea ce înseamnă că numărul de esanționuri prelevate pentru reconstrucția semnalului  $u'$  într-o perioadă  $t'$  este egal cu numărul de trepte al tensiunii 3.

Acest număr se prescrie cu un comutator al *GTT* de pe panoul frontal, pentru o rezoluție impusă. Cu cât numărul de trepte este mai mare cu atât rezoluția este mai bună și deci reconstrucția tensiunii  $u'$  este mai exactă. Perioada  $t'$  depinde de

perioada de recurenta a impulsurilor de esantionare,  $T_e$ . În exemplul din figura 5.32,  $T_e = T + \Delta t$  în care  $T$  este perioada semnalului de masurat  $u_y$ , iar  $\Delta t = T/8$ .

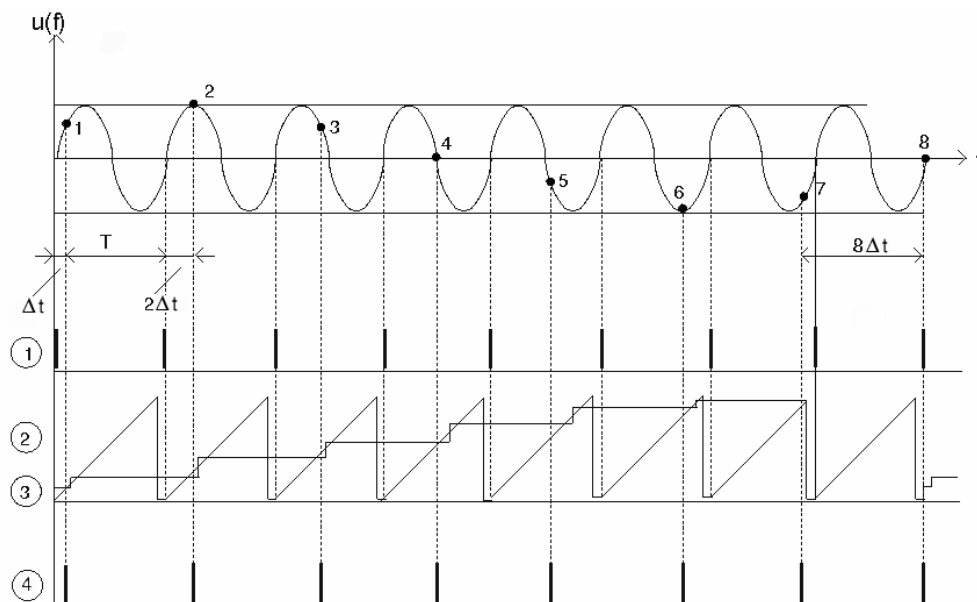


Fig. 5.32

În practica însă, pasul de esantionare se poate extinde pe mai multe perioade, și deci  $T_e = mT + T/n$ , relație în care  $m$  și  $n$  trebuie să fie numere întregi. Numărul  $m$  de care depinde gradul de reducere a frecvenței se programează prin  $GIE$ , iar  $n$  prin  $GTT$ . În felul acesta  $f'$  frecvența poate fi coborâtă până la ordinul hertz-ilor, ceea ce permite cuplarea unui înregistrator  $X-Y$  ("plotter") la  $AM$  și  $GTT$ . Această posibilitate permite creșterea preciziei de măsurare precum și îmbunătățirea raportului semnal/zgomot (prin atenuarea importantă a zgomotului suprapus peste tensiunea de măsurat ca urmare a inerției mari a înregistratorului), calitate imposibil de atins la osciloscopul în timp real (osciloscopul clasic).

Osciloscopul cu esantionare secvențială se utilizează numai pentru vizualizarea semnalelor repetitive (perioada de repetiție a semnalului nu este constantă și ca atare semnalul nu este periodic în timp).

### 5.9.3. Osciloscopul cu esantionare aleatoare

Acesta, față de osciloscopul cu esantionare secvențială, permite vizualizarea semnalelor de orice fel (repetitive și nerepetitive) și nu mai necesită o linie de întârziere pe canalul de deflexie pe verticală. În schimb, schema este mai complicată întrucât necesită circuite de esantionare-memorare pe fiecare canal.

Principiul esantionării aleatoare constă în prelevarea de esantioane atât din semnalul de vizualizat cât și din tensiunea bazei de timp, la momente de timp

oarecare, fara legatura cu perioada semnalului, care se înregistreaza în cele doua memorii. Acestea sunt afisate corelat, pentru reconstructia semnalului de intrare la o frecventa mult mai joasa,  $u'(f')$ .

## 5.10. OSCILOSCOPUL CU MEMORIE

Osciloscopul cu memorie are capacitatea de a memora datele de masurare pe baza carora se pot realiza urmatoarele aplicatii specifice:

- afisarea continua a unui semnal nerepetitiv sau a unei imagini fixe (dupa desfasurarea fenomenului);
- punerea în evidenta a variatiilor unui semnal produse de modificarea unor parametri de mediu sau în timp;
- compararea a doua semnale care apar la momente diferite de timp;
- afisarea unui semnal cu frecventa de repetitie redusa fara pâlpâirea imaginii;
- reducerea perturbatiilor aleatoare la functionarea cu persistenta variabila.

Osciloscopul cu memorie este potrivit pentru sesizarea si vizualizarea în bune conditii a semnalelor din regimurile tranzitorii rapide, când ochiul nu are timp sa perceapa oscilograma produsa pe ecranul osciloscopului de timp real.

Osciloscopul cu memorie se realizeaza în doua variante fundamentale diferite: cu memorie analogica si cu memorie numerica.

### 5.10.1. Osciloscopul cu memorie analogica

Se compune dintr-un tub catodic cu memorie si din circuitele electronice aferente care asigura înscrierea si stergerea imaginilor (traselor). Tubul catodic cu memorie a fost prezentat în paragraful 5.2.5 (v. fig. 5.8).

În functionarea unui tub catodic cu memorie se disting trei operatii: înscrierea, afisarea si stergerea imaginii.

În faza de pregatire se aduc toate celulele grilei de memorie la un potential negativ, în vederea înscrierii informatiei. Electronii lenti produsi de tunul de inundare nu pot patrunde spre ecran, deoarece sunt respinsi de dielectric si atrasi de grila colectoare (ce are un potential de circa 100 V) si ca atare ecranul nu este iluminat (v. fig. 5.8).

În faza de înscriere (înregistrare) se declanseaza tunul de scriere prin aplicarea unui potential pozitiv pe grila de comanda. Fasciculul primar de electroni dupa focalizare si deflexie bombardeaza suprafata grilei de memorare cu o energie suficient de mare pentru a provoca emisia secundara de electroni. Electronii sunt atrasi de grila colectoare (cu potentialul de 100-200 V), ceea ce duce la încarcarea pozitiva a traseului de pe suprafata grilei de memorare parcurs de spotul de scriere. Imaginea semnalului este înregistrata astfel prin dâra de potential pozitiv produsa de fasciculul primar si care se mentine datorita proprietatilor dielectrice ale grilei.

Aceasta dâra este mai transparenta (permeabila) pentru electronii din fasciculul difuz decât partea din grila ce nu a fost bombardata.

În faza de afisare (redare) a imaginii înscrisa pe grila de memorie sunt puse în functiune tunurile de inundare, iar tunul de înscriere este blocat. Electronii lenti emisi de acestea sunt usor accelerati de grila colectoare, o depasesc si apoi trec prin grila de memorie prin dreptul punctelor încarcate pozitiv. Apoi, electronii sunt accelerati de anodul de postaccelerare astfel ca la bombardarea ecranului se produce fenomenul de emisie fotoelectrica si pe ecran apare imaginea luminoasa a informatiei memorate. Punctele grilei cu potential negativ resping electronii lenti ce vor fi captati de grila colectoare. În felul acesta se transpune forma semnalului de pe grila de memorie pe ecran, la comanda operatorului, chiar în absenta semnalului de intrare. O imagine memorata poate fi afisata în mod continuu pâna la stergere. Timpul în care imaginea este clara este limitat.

În faza de stergere a imaginii se aplica electrozudului de stergere (plasa metalica a grilei de memorare) un impuls pozitiv (de aproximativ 4 V timp de o secunda) sau o secventa de impulsuri pozitive de durata variabila. Cea de a doua cale reprezinta functionarea cu persistenta variabila. Prin aceasta, grila de memorie devine mai pozitiva si atrage electronii lenti, ceea ce duce la uniformizarea sarcinilor si deci la stergerea informatiei. Timpul de stergere variaza între câteva zecimi de secunda si câteva minute, în functie de latimea impulsurilor .

Electrodul de stergere, în afara de faptul ca este suportul stratului dielectric, realizeaza si deplasarea prin cuplaj capacitiv a potentialului suprafetei de memorare.

În final, performantele principale ale tuburilor catodice cu memorie sunt determinate de caracteristicile grilei de memorie si în particular de rezistenta de izolatie si proprietatile de emisie secundara ale dielectricului.

Pentru memorarea unor fenomene tranzitorii foarte rapide, ce implica o viteza de înscriere ridicata (1000 div./ $\mu$ s) s-au realizat tuburi cu memorie având o grila de memorie rapida dispusa înaintea grilei dielectrice. În afara de înscriere, prima grila este bombardata cu electroni rapizi emisi de tunurile de înscriere, iar în faza de transfer sarcina pozitiva este transferata grilei dielectrice si în final în faza de afisare este transformata în imagine de catre electroni lenti emisi de catre tunul de inundare.

Osciloscoapele cu memorie analogica sunt usor manevrabile, dar imaginile memorate nu se pot deplasa pe ecran, nu se pot mari, deoarece ele sunt legate intim de structura tubului catodic. Aceste osciloscoape se pot utiliza si ca osciloscoape în timp real fara memorie.

### 5.10.2. Osciloscopul cu memorie numerica

Marimea analogica ce trebuie masurata,  $u(t)$ , este esantionata în timp real (fara schimbarea frecventei) într-un circuit de esantionare-retinere, apoi codificata numeric (în binar) de un convertor analog-numeric.

Prelevarea esantioanelor, adica alegerea frecventei de esantionare, se face astfel încât prin pierderea de informatie sa nu fie afectata refacerea semnalului



analogic de intrare. În acest sens, alegerea frecvenței de esantionare se face în concordanță cu teoremele esantionării:

– dacă  $f_m$  este frecvența maximă din spectrul semnalului variabil continuu, atunci frecvența de esantionare minimă este,  $f_e = 2f_m$  (teorema esantionării a lui Shannon);

– dacă semnalul esantionat este trecut printr-un filtru trece-jos ideal cu frecvența de tăiere  $f_m$ , la ieșire se obține semnalul inițial.

În figura 5.33 este prezentată schema funcțională a unui osciloscop numeric.

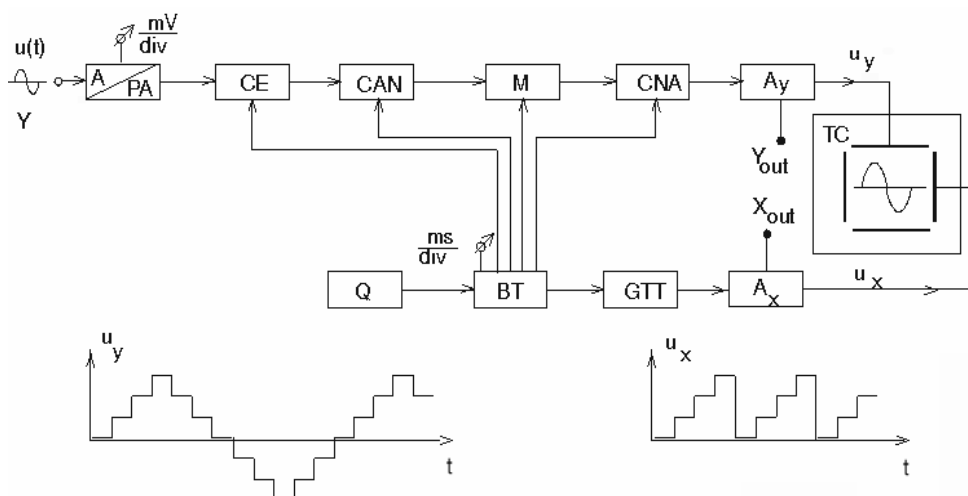


Fig. 5.33

Semnalul de intrare  $u(t)$  este trecut prin atenuatorul de tensiune  $A$  și pre-amplificatorul  $PA$ , apoi este esantionat în circuitul de esantionare  $CE$  și codificat în binar în convertorul analog-numeric  $CAN$ . Datele numerice rezultate sunt stocate în memoria numerică  $M$ , de unde pot fi extrase oricând și reconstituit semnalul analogic cu convertorul numeric-analogic  $CNA$ . Afisarea oscilogramelor pe ecran se poate face ori de câte ori este necesar, fără ca aceasta să-și piardă din luminozitatea inițială (ceea ce nu se poate întâmpla la osciloscopul cu memorie analogică), cu o viteză diferită de cea a înregistrării (înregistrarea putând fi comprimată sau dilatată în timp), compatibilă cu capacitatea de percepție a ochiului uman. La ieșirile  $X_{out}$ ,  $Y_{out}$  se poate cupla un înregistrator  $X-Y$  pentru ridicarea inscriptogramelor semnalului de intrare.

Pe plăcile de deflexie pe orizontală se aplică tensiunea  $u_x$  în trepte produsă de generatorul de tensiune în trepte  $GTT$  (care în acest caz joacă rolul de bază de timp a osciloscopului). În momentul când tensiunea  $u_x$  crește cu o treaptă sosește și esantionul tensiunii  $u_y$  și pe ecran apare un punct al oscilogramelor. Când spotul luminos atinge extremitatea din dreapta a ecranului, tensiunea  $u_x$  se anulează și spotul revine în extremitatea din stânga ecranului.

Programul de comandă este realizat de baza de timp cablată  $BT$ , pilotată de un oscilator cu cuarț  $Q$  cu frecvența de 10 MHz.

Osciloscopul numeric se poate cupla cu alte aparate de masura numerice (voltmetre, fazmetre etc.) în cadrul unui sistem automat de masurat.

### 5.11. TENDINTE ACTUALE ÎN EVOLUTIA OSCILOSCOPULUI

Osciloscopul catodic, în afara de vizualizarea formei semnalelor, mai are numeroase utilizari în tehnica masuratorilor electrice, electronice si magnetice. Astfel, se foloseste la masurarea tensiunii, curentului, puterii, frecventei, defazajului, rezistentei, inductantei, capacitatii, impedantei, duratei impulsurilor, gradului de modulare, la ridicarea caracteristicilor: tranzistoarelor, amplificatoarelor, oscilatoarelor, materialelor magnetice etc. Osciloscopul este unul din cele mai raspândite aparate de masurat si este de neînlocuit la masurarile pe circuite integrate numerice, fenomene tranzitorii si în televiziune.

Ca atare, sunt justificate cercetarile întreprinse de firme prestigioase pentru cresterea performantelor osciloscopului.

O privire de ansamblu asupra literaturii de catalog din ultimii ani indica urmatoarele tendinte: utilizarea circuitelor integrate, utilizarea ecranului în culori, utilizarea ecranului cu cristale lichide, implementarea într-o structura multifunctionala de tip multimetru, realizarea osciloscopului numeric cu microprocesor.

**Utilizarea circuitelor integrate.** Circuitele integrate patrund din ce în ce mai rapid în constructia osciloscopului, ceea ce face ca o serie de functionalitati (de exemplu baza de timp) sa fie implementate într-un singur circuit capabil sa execute automat anumite reglaje. Ca atare, osciloscopul devine mai compact, mai versatil, mai precis, mai usor de manevrat.

**Utilizarea ecranului în culori.** Desi ecranul tip TV color are rezolutie mai slaba decât ecranul obisnuit, se dovedeste a fi mai util la analizoarele logice. Acestea sunt osciloscoape specializate pe vizualizarea semnalelor logice din tehnica numerica. Afisarea simultana în culori a unui numar de semnale evita erorile de interpretare (confundarea curbilor), sporeste confortul si creste viteza de lucru.

**Utilizare ecranului cu cristale lichide.** Acesta a permis reducerea considerabila a gabariturii osciloscopului, deoarece dimensiunile "tubului" se reduc la cele ale ecranului. Datorita acestei calitati, osciloscopul a fost încorporat în structura unor multimetre numerice de buzunar, aparate cunoscute sub denumirea de *multiscop* ("Scope Meter").

De exemplu, aparatul Fluke 96 are functionalitatile :

- osciloscop cu doua canale cu memorie numerica:  $f = 50 \text{ MHz}$ ,  $1 \text{ mV/div.}$  -  $100 \text{ V/div.}$ ,  $10 \text{ ns/div.}$  -  $60 \text{ s/div.}$ , ecran  $7 \times 8 \text{ cm}^2$  ;
- voltmetru numeric: afisaj 32/3 cifre (2,999), precizie: 0,5 % cc. si 1-3 % c.a. game: 0,3; 3; 30; 300 V c.c. si c.a.;
- frecventmetru numeric cu 4 cifre, precizie 0,05%.

Ecranul în culori tip TV s-a înlocuit cu ecranul cu cristale lichide în culorile de baza roșu și verde. Acesta are rezoluția la fel de bună ca și ecranul obișnuit și păstrează ergonomia ecranului tip TV color.

**Osciloscopul numeric cu microprocesor.** Înlocuirea bazei de timp cablate a osciloscopului numeric cu un microprocesor a permis o simplificare importantă a comenzilor de operare (microprocesorul reglează automat finetea și luminozitatea spotului, sincronizarea trasei etc.), precum și corectarea automată a unor erori (liniaritate, deriva termică etc.), ceea ce a condus la o creștere importantă a preciziei (0,5-1 % față de 3-10 %), a versatilității și ergonomicității acestui tip de aparat. În plus osciloscopul cu microprocesor, poate fi asociat și cu alte aparate de măsurat numerice (voltmetre, frecvențmetre) într-un sistem automat de măsurat condus de calculator, prin intermediul unor interfețe standard (cum sunt IEEE-488 sau RS-232).

**Structuri multifuncționale de aparate numerice.** Prin încorporarea unui voltmetru numeric și a unui frecvențmetru numeric în cutia osciloscopului numeric se pot largi posibilitățile de exploatare prin: măsurarea precisă a tensiunii și frecvenței semnalului, afișarea rezultatelor acestor măsurări, vizualizarea semnalului și efectuarea unor calcule asupra semnalelor afișate.

Deoarece la frecvențe înalte (50-100 MHz) osciloscopul analogic este superior celui numeric s-au fabricat osciloscopia ce pot funcționa atât în analogic cât și în numeric.

Realizările din domeniul microelectronicii duc nemijlocit la miniaturizarea și creșterea performanțelor osciloscopiilor.

Mai nou, s-au realizat produse informatice de tip "software" care permit simularea întregului osciloscop catodic cu ajutorul unui calculator de tip IBM-PC. Printr-o placă de achiziție (v. cap. 15), marimile de analizat (măsurat),  $u_{y1}, u_{y2}, \dots, u_{yn}$ , sunt stocate într-un fișier, de unde sunt preluate – la cerere (prin comenzi ale programului-utilizator) – și afișate pe "display"-ul calculatorului (pe care se "desenează" și o grilă de calibrare), în diverse culori (alese prin comenzi-program), cu o bază de timp simulată (și calculată în ms/div. tot prin produsul-program specializat pentru "osciloscop").