

## 1.1. Principiile Măsurărilor Electronice

## 2. Punți de măsurare

## 3. Măsurarea frecvenței

## 4. Osciloscopul

### 4.1.1.1. Sistemul orizontal (Circuitul de declanșare + Baza de timp)

Sistemul orizontal (baza de timp declanșată) are rolul de a sincroniza "baza de timp", ceea ce înseamnă baleiajul (deviația) generatorului impulsului de declanșare, care furnizează tensiunea  $U_{BT}$  pentru cursa directă a spotului.

Semnificația blocurilor din Figura 5.15 este următoarea:

$k_1$  – divizor de tensiune;  $k_2$  – alege modul de SYNC (int, ext sau TV);  $k_4$  – comutator de polaritate;

**IP** – Invertor de Polaritate – util deoarece DS este declanșat doar pe frontul pozitiv.

**DS** – Declanșator Schmitt – este un formator de impulsuri, formând semnalul rectangular;

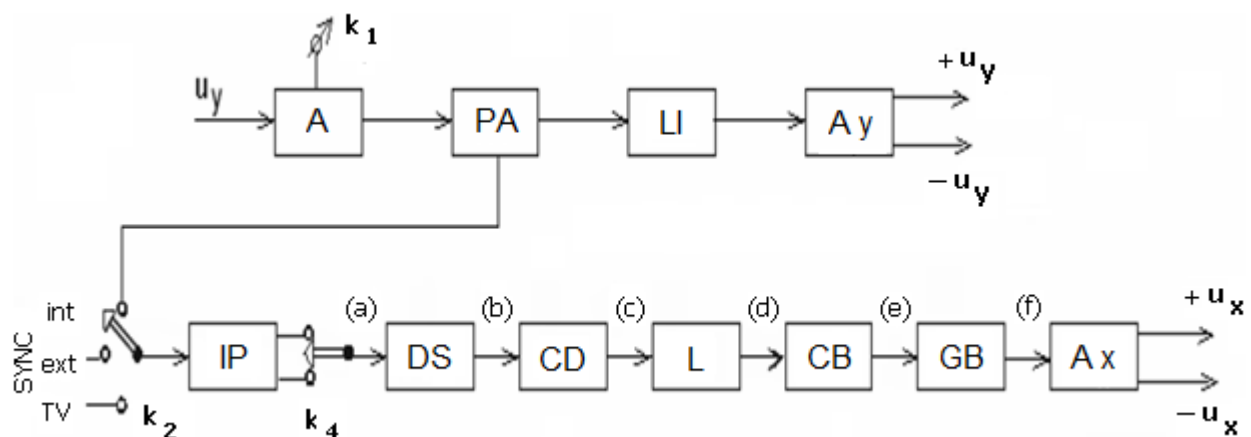


Fig.5.15 Baza de timp declanșată (sistemul orizontal)

**CD** – Circuit de Derivare – produce impulsuri ascuțite atunci când numai semnalul rectangular este aplicat la intrarea acestuia;

**L** – Limitator, selectează numai pulsurile pozitive;

**CB** – Circuit Bistabil (de declanșare) – generează impulsurile de comandă pentru declanșarea generatorului de baleiaj (în dinți de fierăstrău) GB. Baza de Timp Declanșată funcționează astfel:

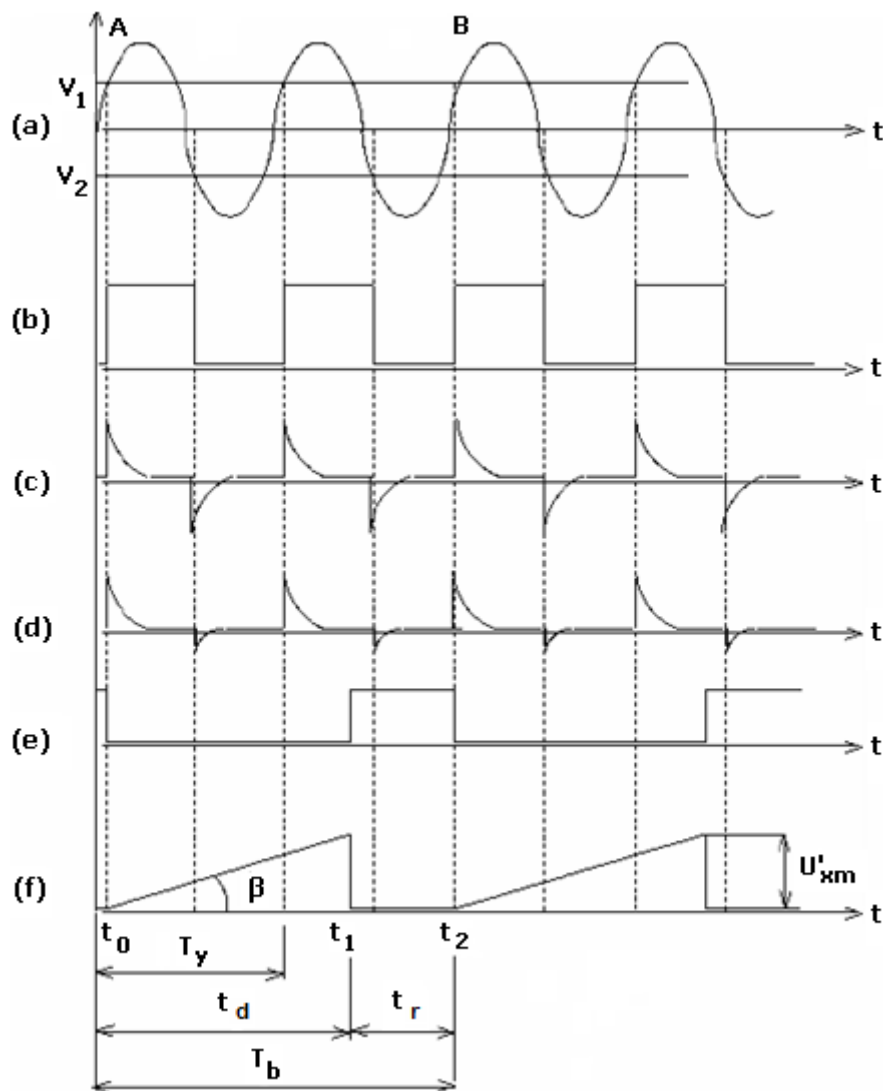


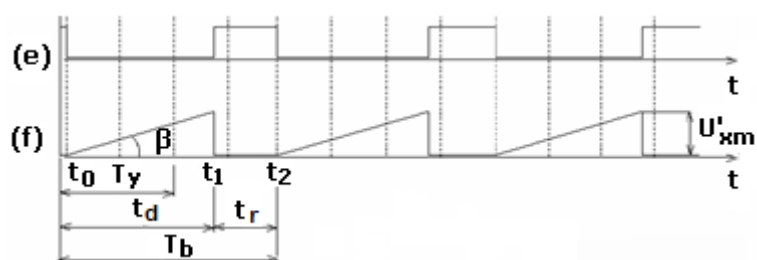
Fig.5.16 Funcționarea unei baze de timp declanșată

- Semnalul intern SYNC care vine de la PA (pre-amplificator), având aceeași formă ca semnalul afișat  $U_y$  (**graficul a**) va fi transformat într-un semnal rectangular (**graficul b**) de Declanșator Schmitt, care depinde de tensiunile de prag  $V_1$  &  $V_2$ . Potențiometrul "TRIG LEVEL" (nivelul de declanșare) reglează  $V_1$  &  $V_2$  pentru declanșarea CD.
- Circuitul de derivare produce impulsuri ascuțite pozitive pe frontul corespunzător semnalelor rectangulare pozitive, și impulsuri ascuțite negative pentru celălalt front (**graficul c**). Limitatorul selectează numai impulsurile ascuțite pozitive (**graficul d**).
- Bistabilul (CB) este setat pe starea inițială, ieșirea lui este "1" logic (repaus). Când L produce primul impuls, care este aplicat intrării pentru CB, setează linia de ieșire pentru CB la "0" logic (**graficul e**). În acest caz, acesta va comanda începutul funcționării GB, care va genera tensiunea rampă la momentul  $t_0$  (**graficul f**).



### Observații

Unghiul  $\beta$  a rampei depinde de caracteristicile lui GB (baza de timp).



- ▶ La momentul  $t_1$ , fasciculul este închis → pentru a începe o cursă nouă. Tot la acest moment ( $t_1$ ), ieșirea lui GB va fi resetată la "1" logic (CB în repaus).
- ▶ La momentul  $t_2$ , un nou dinte de fierăstrău va fi generat → CB nu se mai află în repaus.

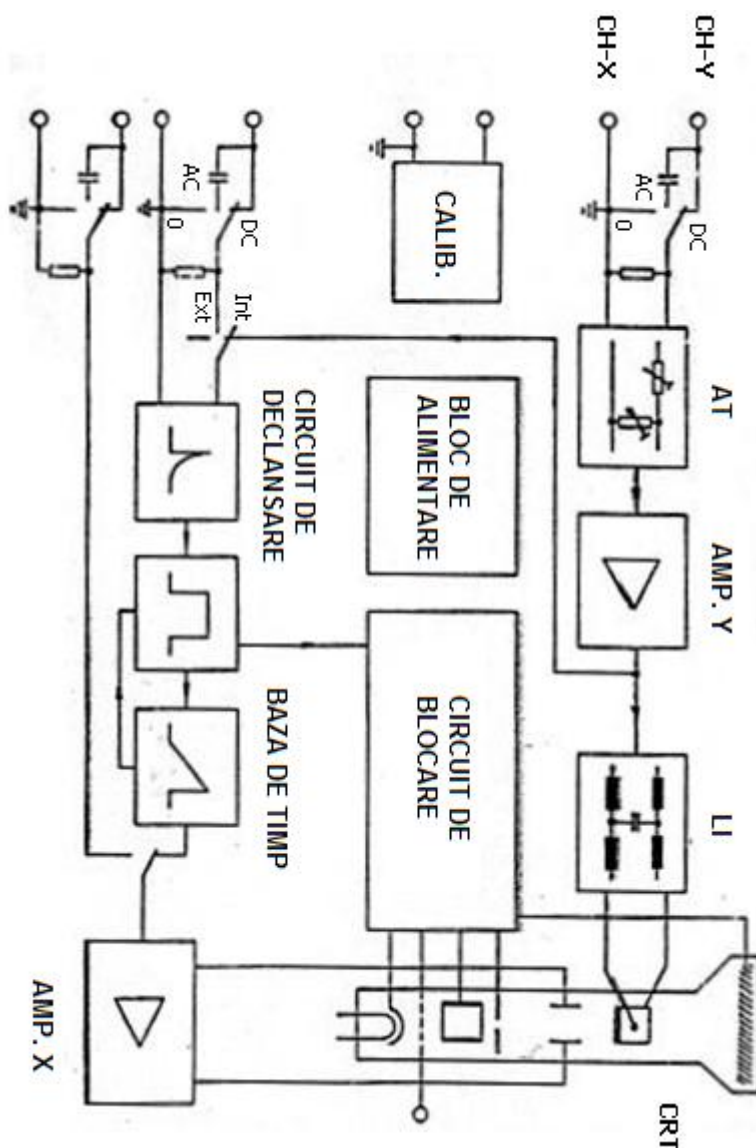


Fig.5.17 Schema bloc simplificată a sistemului de afișare a unui osciloscop

## 4.2. Osciloscopul digital

În prezent, cele mai multe osciloscopie produse sunt digitale. În urma progresului rapid al tehnologiei pentru semiconductori, a memoriilor, a convertoarelor de date, **procesoarele au devenit foarte ieftine în comparație cu CRT-urile**, în special cu cele de mare viteză. Proiectanții de instrumente au dezvoltat mai multe tehnici avansate pentru osciloscopia digitale cu memorie (DSO), astfel că cei mai importanți producători, cum ar fi Tektronix și Hewlett-Packard (acum Agilent Technologies), și-au întrerupt producția de osciloscopia analogice. În timpul anilor 1990, utilizarea tehnicilor de DSP (procesarea semnalului digital) au contribuit la înlocuirea structurilor de CRT de mare viteză cu tehnologii cum ar fi osciloscopia fosforescente digitale (DPO), etc.

Figura 5.18 descrie schema bloc simplificată a unui DSO. Memoria digitală utilizează **convertoare analogice-digitale și digital-analogice** pentru a realiza digitizarea și reconstrucția semnalului.

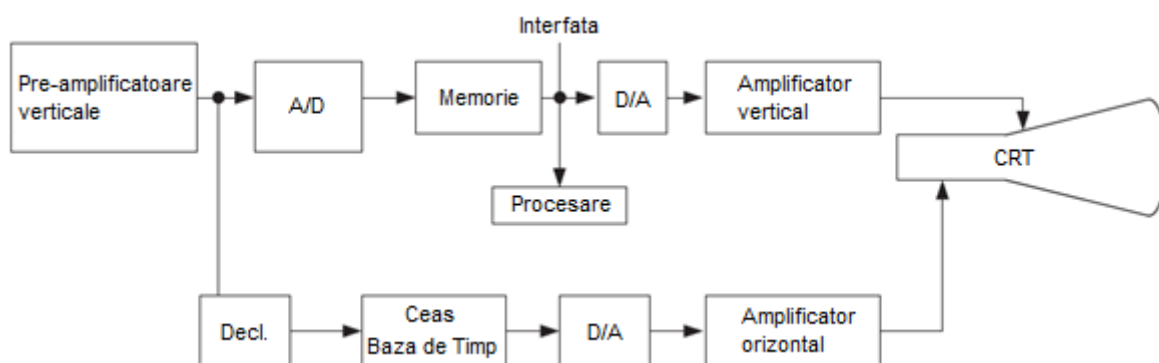


Fig.5.18 Schema osciloscopului digital cu memorie (cu CRT)



### Explicație

Achiziția semnalelor este realizată cu ajutorul convertorului analog-digital (CAD sau A/D) sau a digitizorului, care **măsoară (eșantionează) la intervale de timp distanțate uniform amplitudinea instantanee a semnalului generat la intrare pentru a-l converti într-o valoare digitală (număr), care va fi stocată în Memorie** (care este desigur digitală) (eng. Hold).

Când condiția de declanșare (=SYNC, sincronizare) este îndeplinită, procesul de eșantionare (eng. Sample) este oprit, **eșantioanele stocate sunt citite din memorie**, iar **forma de undă cu volți în timp este construită și desenată pe ecran**. Intervalul de timp dintre eșantioane  $t_{es}$  este "timpul de eșantionare," iar inversul său este "frecvența de eșantionare"  $f_{es}$ .

Semnalul care comandă procesul de eșantionare din CAD-uri (sau A/D) este "ceasul de eșantionare," iar acesta este generat și controlat de circuitul bazei de timp. Se folosește un oscilator de cristal ca referință pentru baza de timp pentru a garanta acuratețea intervalului eșantionului iar, în final, măsurarea timpului este realizată cu osciloscopul digital.

În Figura 5.19, care prezintă schema bloc a unui osciloscop digital tipic (cu LCD!), se pot observa funcții similare cu cele ale instrumentelor analogice: circuitul de declanșare și cel de calcul al poziției orizontale/verticale. Deși există diferențe semnificative între principiile de funcționare ale

osciloscoapelor digitale și celor analogice, producătorii iau în considerare o anumită tradiție și echipează instrumentul digital cu funcții foarte asemănătoare cu cele ale instrumentelor analogice.

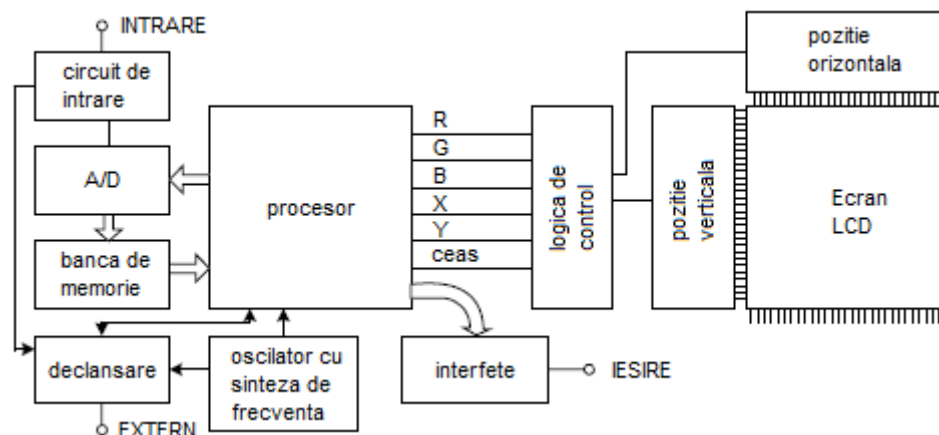


Fig.5.19 Schema bloc a unui osciloscop digital tipic (cu LCD în loc de CRT)

Diferențele principale dintre osciloscopul digital și cel analogic sunt următoarele: după conversia semnalului de intrare într-unul digital, **toate operațiile se efectuează digital** (cum ar fi procesarea de semnal). În osciloscoapele digitale există de obicei o funcție de stocare (Hold) care permite înregistrarea și reproducerea semnalelor cu ușurință. De asemenea, osciloscoapele cu procesare digitală sunt echipate cu funcții suplimentare, cum ar fi analiza FFT (eng. Fast Fourier Transform), funcția de mediere, integrare de semnal, măsurarea valorii și frecvenței semnalului, etc.

Imaginea pe ecranul instrumentelor analogice este blocată artificial – prin ajustarea corespunzătoare a frecvenței de sincronizare la frecvența semnalului testat. În cazul conversiei digitale reproducerea imaginii care reprezintă semnalul pare a fi mult mai simplă. După aplicarea semnalului de declanșare, tensiunea de intrare este eșantionată conform impulsurilor de ceas și astfel se obțin serii de eșantioane (Figura 5.20). Acest tip de eșantionare este denumită *eșantionare secvențială*. Rezultatul eșantionării este stocat în memorie și apoi semnalul este reprodus pe ecran “eșantion cu eșantion”.

Este importantă ajustarea axei de timp la impulsurile de ceas. Desigur, imaginea poate fi reprodusă direct pe ecran, evitând circuitul de memorie.

În cazul procesării digitale se pot reproduce imagini a mai multor semnale în același timp – funcționarea în multicanal este mult mai simplă decât în cazul instrumentelor analogice.

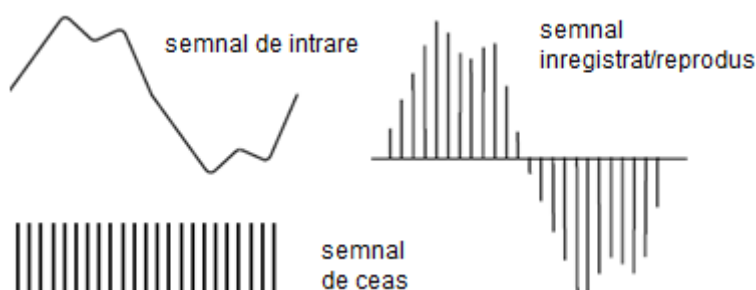


Fig.5.20 Semnalul înainte și după eșantionarea secvențială

În circuitul de intrare, pe lângă atenuatoarele convenționale trebuie să existe un circuit de eșantionare-și-menține/memorare (**sample & hold**) și un filtru anti-aliasing pentru CAD (A/D). Acest

filtru este foarte util, deoarece dacă frecvența de eșantionare este prea mică datorită efectului de aliasing, procesorul va eșantiona un semnal greșit (ilustrat în Figura 5.21). Astfel, va fi observat pe ecran un semnal de frecvență mai mică (linia continuă) în locul semnalului corect (linia întreruptă).

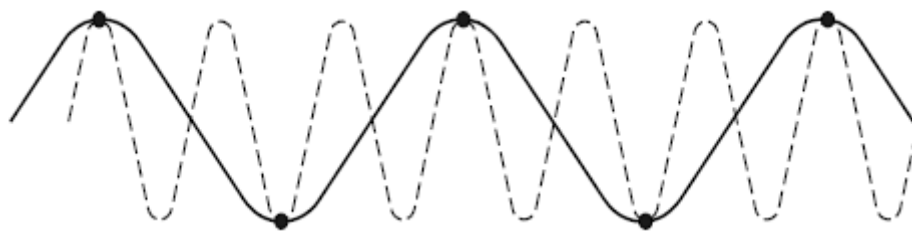


Fig.5.21 Efectul de aliasing în osciloscop digital (frecvența de eșantionare  $< 2 \times$  frecvența semnalului)



#### Explicație

Dacă un semnal este eșantionat la mai mult decât dublul frecvenței componente cu cea mai mare frecvență a semnalului, atunci semnalul inițial poate fi refăcut *exact* din eșantioane. O jumătate din frecvența de eșantionare,  $f_c$  este denumită "limita Nyquist" sau "frecvența critică Nyquist." ( $f_c = f_{es}/2$ ). Pentru a înțelege, se consideră problema refacerii unei sinusoidă pure cu frecvența apropiată de valoarea lui  $f_c$  dintr-o înregistrare de date eșantionate (Figura 5.22).

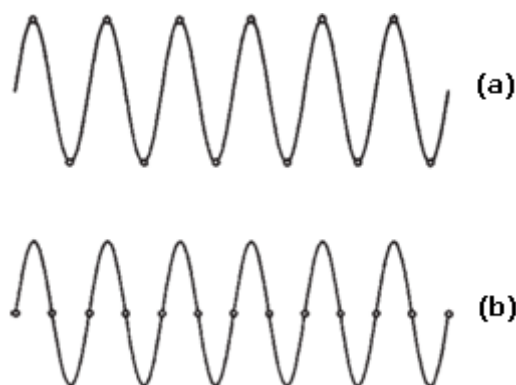


Fig.5.22 Două modele diferite de eșantionare care rezultă prin eșantionarea unei sinusoidă în apropierea frecvenței critice Nyquist

Dacă sunt două eșantioane pe ciclu, precum în Fig. 5.22 a, iar eșantioanele cad pe vârfurile sinusoidăi, atunci semnalul este ușor de analizat. Totuși, în Fig. 5.22 b, cele două eșantioane pe ciclu cad pe intersecțiile cu zero ale sinusoidăi, și toate au aceeași valoare!!! În acest caz, semnalul este imposibil de analizat.

Acum se va considera efectul eșantionării unui semnal care nu are banda limitată la  $f_c$ . Orice componentă de semnal cu frecvența mai mare decât  $f_c$  este greșit interpretată cu o frecvență mai mică decât  $f_c$  după eșantionare (Figura 5.23). Și acesta este un caz nedorit!

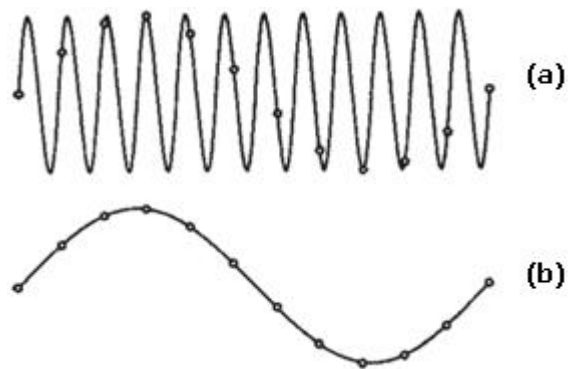


Fig.5.23 Aliasing: eșantionarea unui semnal cu frecvența peste  $f_s/2$  produce o imagine care va fi interpretată ca un semnal care are frecvența sub  $f_s/2$ .

Una din metodele de creștere a numărului de eșantioane este *eșantionarea aleatorie în mai multe puncte* prin care același semnal este eșantionat de mai multe ori cu eșantioane decalate în mod aleatoriu (Figura 5.24 a). Este foarte important ca unda eșantionată să fie adusă la punctul de declanșare.

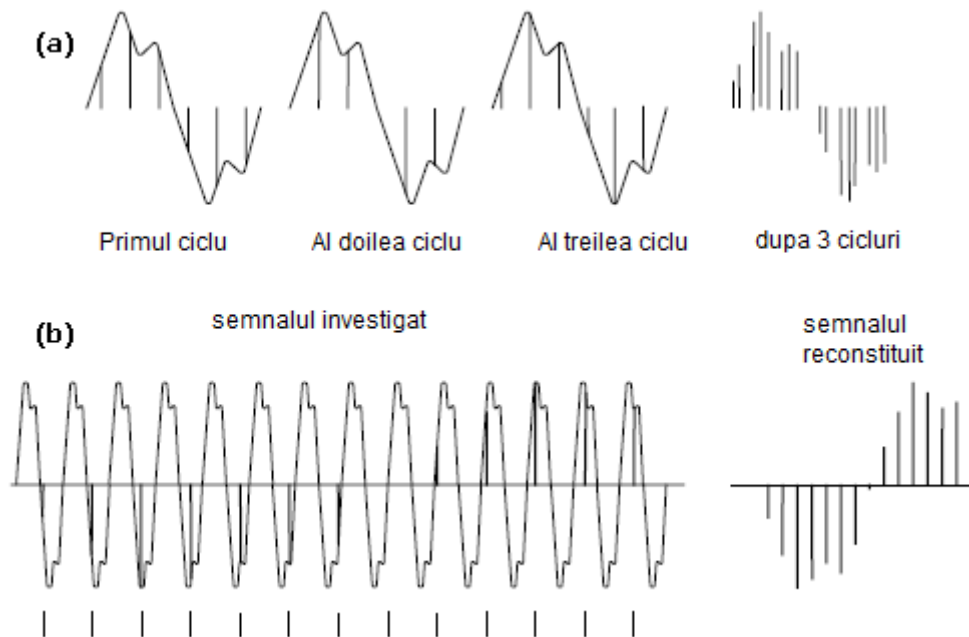


Fig.5.24 Tehnici de eșantionare: (a) eșantionarea aleatorie în mai multe puncte, (b) tehnica de eșantionare și menținere (en. sample and hold)

Prin *tehnica de eșantionare și menținere* (Figura 5.24 b) fiecare eșantion poate fi decalat cu un increment mic de timp. Astfel, de fiecare dată este eșantionat un alt punct al semnalului.

Tehnica digitală rezolvă multe din problemele analogice dar în același timp introduce noi probleme specifice. De exemplu, funcționarea analogică este efectiv în timp real (o mică întârziere este neglijabilă). În cazul funcționării digitale eșantionarea, memorarea și refacerea necesită timp, care nu este întotdeauna neglijabil! Soluția constă în folosirea unor convertoare analog-digitale rapide, cu o frecvență de eșantionare de  $1\text{ GHz}$  sau mai mare. O altă problemă constă în limitarea frecvenței acestor convertoare. Chiar și pentru un convertor de  $1\text{ GHz}$  lățimea de bandă este limitată în jur de  $500\text{ MHz}$  (care este totuși ușor de obținut pentru instrumente analogice).

Figura 5.25 prezintă un exemplu de ecran al osciloscopului digital. Se poate obține și o imagine în mai multe culori a semnalelor investigate. Figura 5.26 prezintă unul din cele mai populare osciloscopia digitale – osciloscopul de la Tektronix.

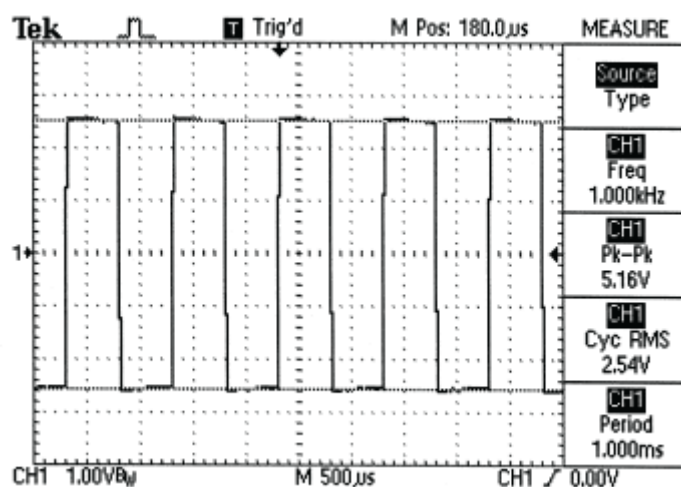


Fig.5.25 Exemplu de ecran al osciloscopului digital – modelul TDS 220 de la Tektronix (Tektronix 2005)



Fig.5.26 Exemplu de osciloscop digital – osciloscop de la Tektronix (Tektronix 2005)

### 4.3. Măsurători cu osciloscopul

Înainte de a realiza măsurări cu osciloscopul, calibrarea sondei reprezintă un pas imperativ. Sondele sunt folosite pentru a conecta punctul de măsurare al dispozitivului testat (DT) la intrarea unui osciloscop. Performanța măsurărilor efectuate depinde în mare măsură și de selecția sondei.

Multe osciloscopia prevăd lățimi de bandă de peste 1 GHz, dar semnalele cu asemenea frecvențe mari nu pot fi măsurate cu acuratețe decât dacă sonda folosită le poate direcționa precis către osciloscop. Sondele pasive standard cu un singur capăt, cu impedanța de intrare de 1M $\Omega$ , pot funcționa optim în multe aplicații, dar lățimile lor de bandă nu depășesc 500 MHz. Pentru semnale cu o lățime de bandă mai mare, sunt recomandate sondele active.



Modelul standard al impedanței de intrare a osciloscopului este prezentat mai jos. Rezistența de intrare a unui osciloscop este în general egală cu 1 M $\Omega$ . Pentru osciloscoapele care au lățimi de bandă mari (mai mari decât 500 MHz), se poate utiliza o impedanță de intrare de 50  $\Omega$ .

Condensatorul de intrare are o capacitate cu un ordin de mărime de 15 pF, dar această valoare nu este normalizată (variază între 10 și 20 pF). Dacă măsurătorile sunt efectuate cu un cablu coaxial standard (cu o capacitate de linie de 100 pF/m), condensatorul adus la punctul de măsurare are capacitatea de: 15 pF + d x 100 pF unde d este lungimea cablului. Pentru un cablu coaxial de 1 m, aceasta ar putea fi 115 pF, ceea ce se dovedește a fi contraproductiv (proba trebuie compensată).

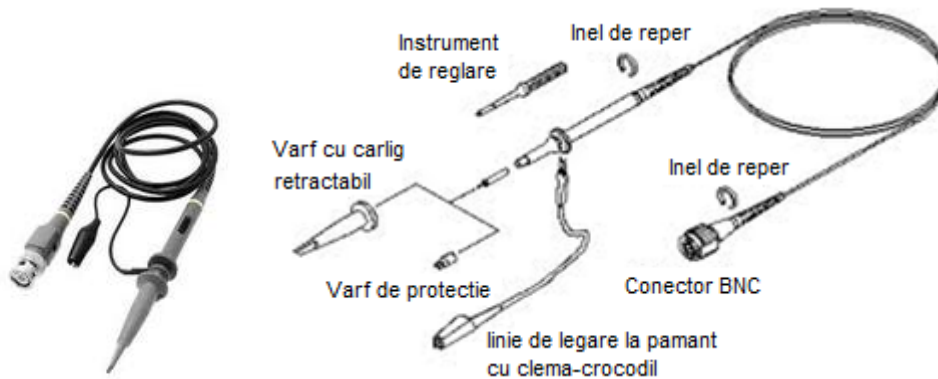
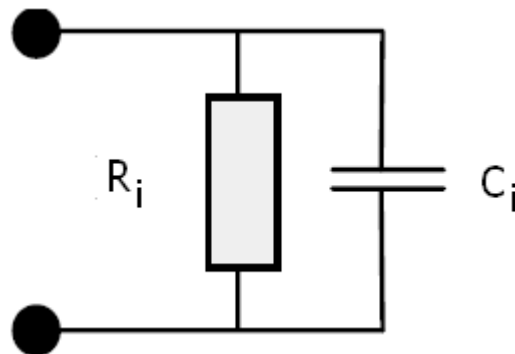


Fig.5.27 Sonda pasivă



Pentru a rezolva această problemă, se pot folosi sonde de măsurare. Sonda conține un divizor de tensiune RC compensat în frecvență:

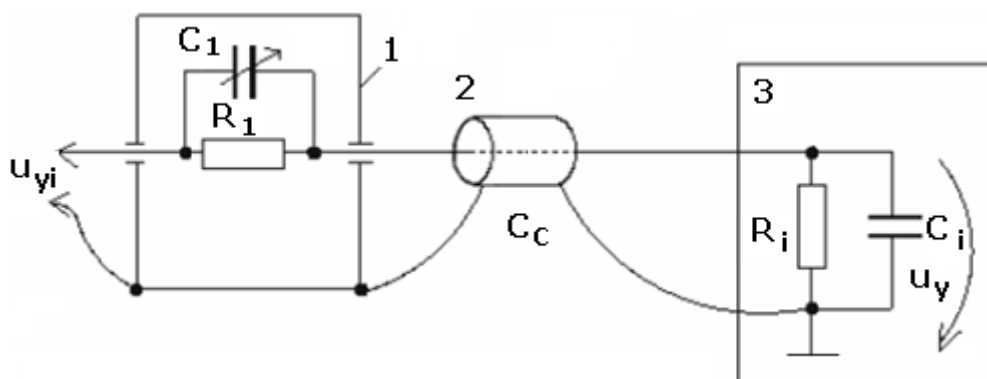
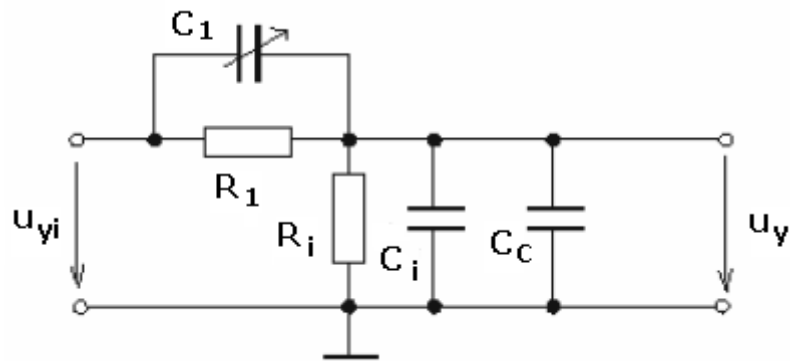


Fig.5.28 Compensarea sondei:1-sonda ( $R_1$  și  $C_1$ ), 2-cablul ( $C_c$ ), 3-osciloscopul ( $R_i$  și  $C_i$ )

Schema echivalentă este prezentată mai jos:



În această schemă, raportul tensiunilor (ieșire pe intrare) este:

$$m = \frac{U_y}{U_{yi}}$$

Pentru ca  $m$  (raportul tensiunilor) să nu depindă de frecvență (ceea ce va înseamna că este compensat în frecvență) următoarea condiție trebuie respectată:

$$R_1 \cdot C_1 = R_i \cdot C_2$$

unde  $C_2 = C_c + C_i$

Totuși, cum putem ști că sonda este compensată? Pentru a afla, trebuie aplicat un semnal rectangular cu frecvența de 1KHz, după cum se poate observa mai jos. Rezultatele sunt prezentate în Figura 5.29. Pentru intrarea a- (un semnal rectangular cu frecvența de 1KHz), semnalul de ieșire poate fi de trei tipuri: b-derivator (semnal scuțit), c-integrator (semnal rotunjit), d-compensat.

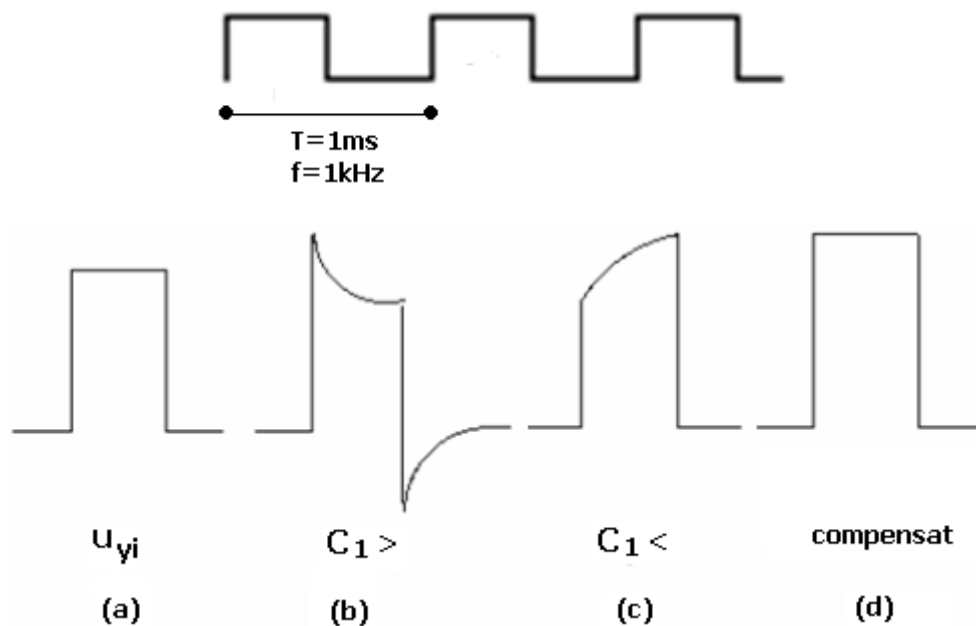
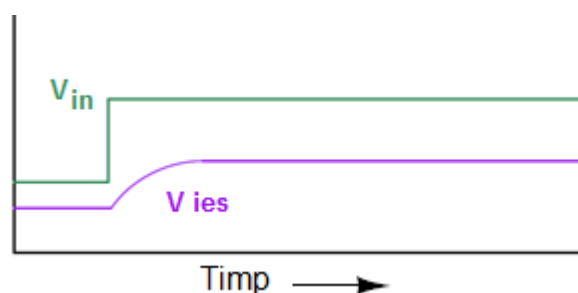
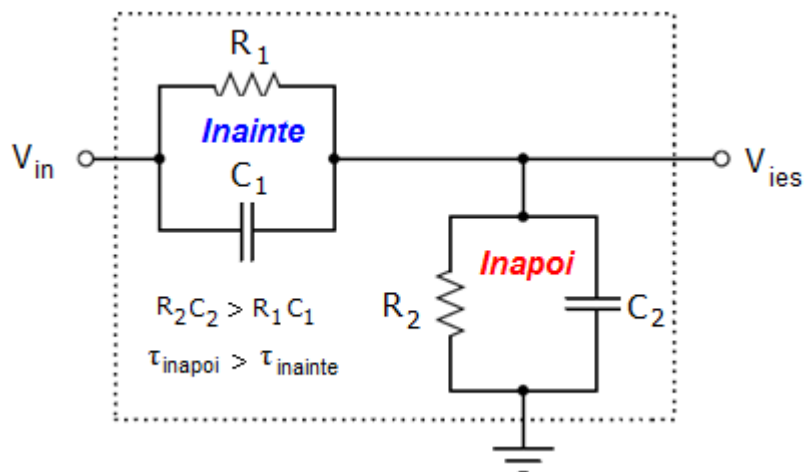


Fig.5.29 Intrarea (a) și rezultatele posibile (b, c, d): (b) sondă sub-compensată:  $C_1 > R_2 C_2 / R_1$ ; (c) sondă supra-compensată:  $C_1 < R_2 C_2 / R_1$ ; (d) compensată corect:  $C_1 = R_2 C_2 / R_1$

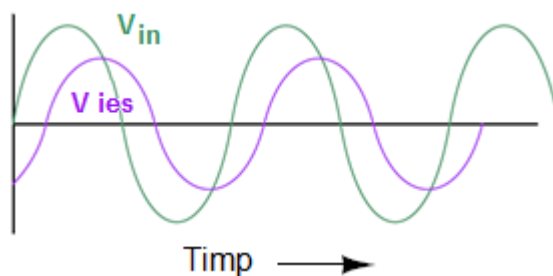


### Explicație

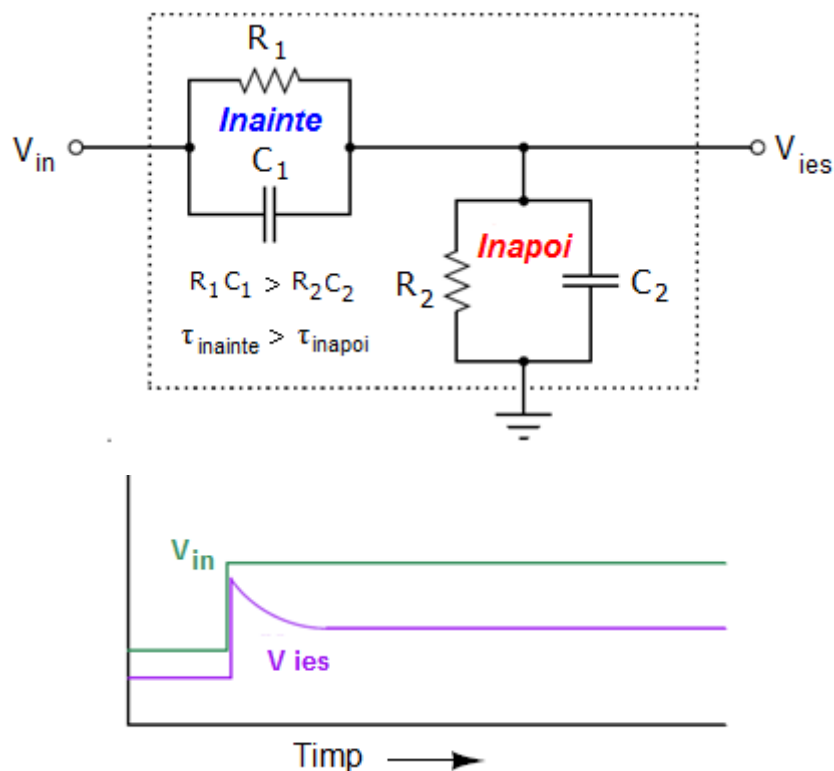
Cazul sondei **supra-compensate** este explicată de următoarea situație. Dacă constanta de timp defazată înapoi (după) depășește constanta de timp defazată înainte ( $\tau_{\text{def înapoi}}$  (sau după)  $> \tau_{\text{def înainte}}$ ), atunci circuitul va introduce o întârziere înapoi de ordinul întâi a semnalului de tensiune:



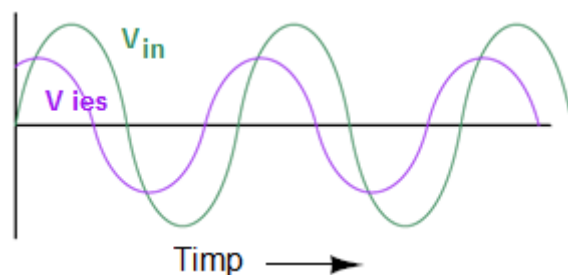
Un semnal rectangular care intră în rețea va ieși din ea ca semnal în **dinți de fierăstrău**. O intrare sinusoidală va deveni tot sinusoidală, dar cu defazaj în urmă (înapoi sau după). De fapt de aici funcția de întârziere înapoi își capătă numele: de la defazajul negativ pe care îl atribuie unei intrări sinusoidale.



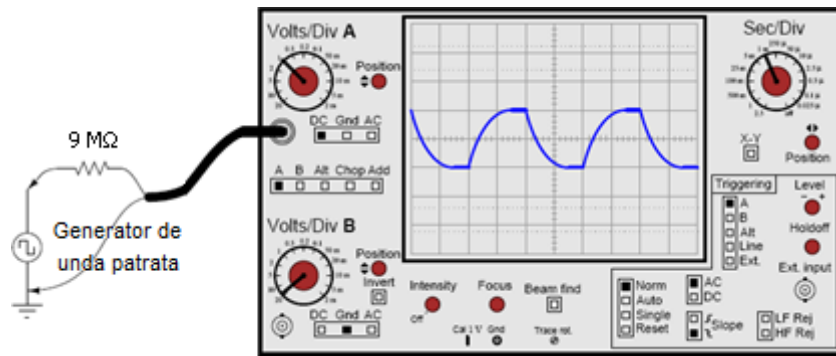
În schimb, dacă constanta de timp defazată înainte depășește constanta de timp defazată înapoi ( $\tau_{\text{def înainte}} > \tau_{\text{def înapoi}}$ ), atunci circuitul va introduce o întârziere înainte de ordinul întâi a semnalului de tensiune (o schimbare de treaptă a tensiunii de intrare va determina ca ieșirea să “fie înțepată” și apoi să se stabilizeze la o valoare staționară):



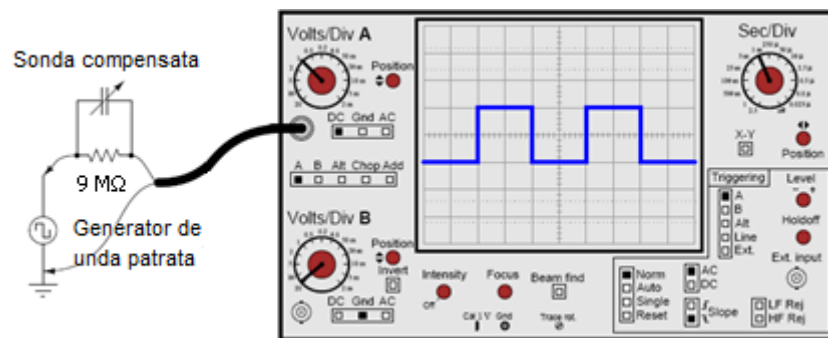
Un semnal rectangular care intră în rețea va ieși ca semnal cu o tranziție **ascuțită** pe fiecare muchie. O intrare sinusoidală va deveni tot sinusoidală, dar cu defazaj în față (înainte). Nu este surprinzător că aceasta este o funcție de întârziere înainte: datorită defazajului pozitiv pe care îl atribuie intrării sinusoidale.



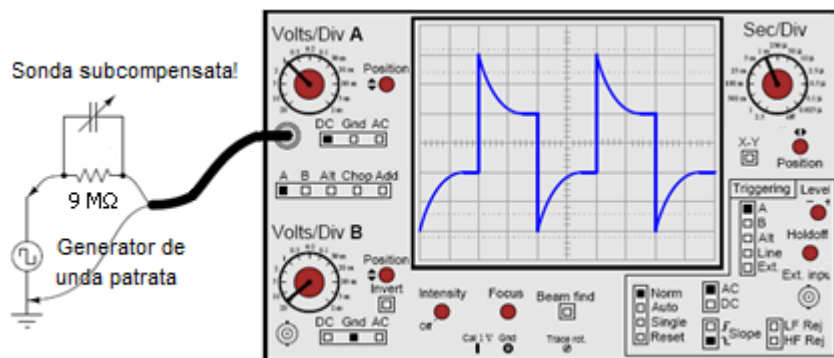
Această formă precisă a circuitului de întârziere înainte/înapoi aduce aplicația în contextul compensării capacității cablului coaxial în **sonda de osciloscop  $\times 10$** . Dacă un rezistor de  $9\text{ M}\Omega$  este conectat în serie cu intrarea standard a osciloscopului (cu impedanța de intrare de  $1\text{ M}\Omega$ ) pentru a obține raportul de divizare al tensiunii de 10:1, vor apare probleme datorate capacității cablului care conectează sonda la intrarea osciloscopului. În loc de a obține intrarea rectangulară, semnalul este "rotunjit" de efectul capacității în cablul coaxial iar la intrarea osciloscopului se obține (SUPRACOMPENSARE, defazaj după):



O soluție simplă pentru a rezolva această problemă constă în realizarea unei sonde 10:1 cu condensator variabil conectat în paralel cu rezistorul de 9 MΩ. Alăturarea unui rezistor de 9 MΩ cu acest condensator creează o rețea de defazaj înainte pentru a elimina efectele întârzierii înapoi (după) cauzată de capacitatea cablului și de impedanța osciloscopului de 1 MΩ în paralel. Când condensatorul este ajustat corect, osciloscopul va afișa precis forma oricărei forme de undă la capătul sondei, incluzând undele rectangulare:

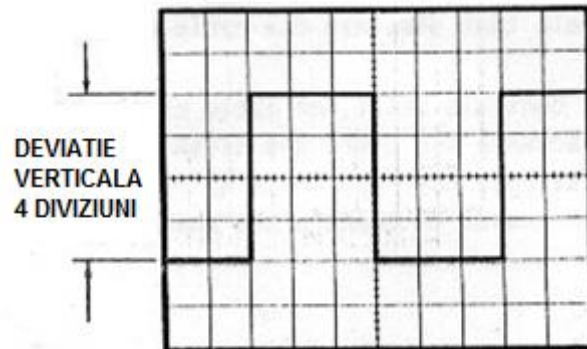


Totuși, dacă condensatorul de calibrare va fi setat la o valoare excesivă, sonda va subcompensa întârzierea înapoi (prea multă întârziere înainte), rezultând o formă de undă "înțepată" pe ecran. Deși acest lucru nu este de dorit în contextul sondelor de osciloscop, totuși acesta este exact efectul dorit pentru o funcție de întârziere (defazaj) în față (înainte) (SUBCOMPENSARE):



**Măsurarea amplitudinii:** Amplitudinea semnalului CA poate fi exprimată în termeni de tensiune vârf-la-vârf,  $U_{v-v}$  prin intermediul selecției comutatorului V/cm,  $k_v$ :

$$U_{v-v} = k_v \cdot V_d \quad \text{unde } V_d - \text{deviație verticală (cm)}$$



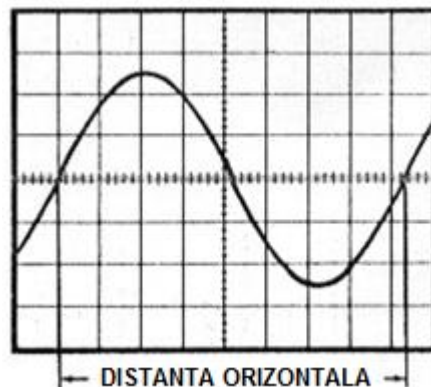
Exemplu: Dacă amplitudinea formei de undă afișate este 4 cm iar comutatorul este reglat la  $k_v = 2V/cm$ , amplitudinea **vârf-la-vârf** este:

$$U_{v-v} = 2V/cm \cdot 4cm = 8V$$

Pentru tensiuni sinusoidale, valoarea **r.m.s.** (efectivă) este:

$$U_{r.m.s} = \frac{U_{v-v}}{2\sqrt{2}}$$

**Intervalele de timp** sunt măsurate pe axa orizontală prin intermediul comutatorului  $k_T$  (TIMP/cm). Distanța orizontală dintre două puncte în cm este înmulțită cu valoarea pentru  $k_T$ .



Prin măsurarea intervalului de timp, se poate determina și frecvența unui semnal!

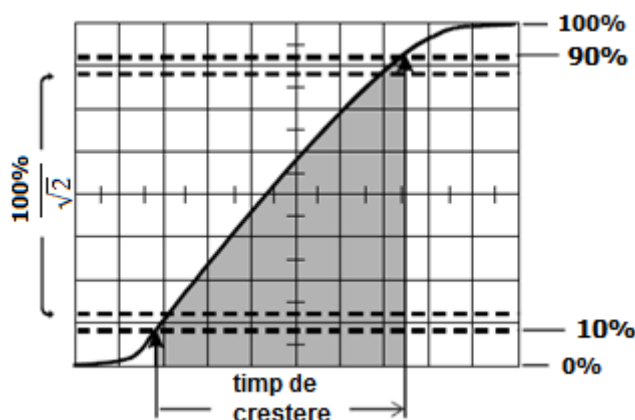
Exemplu: Pentru a măsura **perioada T** a unui semnal sinusoidal, comutatorul TIMP/CM este stabilit la 2 ms/cm. Distanța orizontală măsurată între două puncte apare pe ecran ca  $H_D = 8.3$  cm. Perioada care rezultă este

$$T(ms) = 8.3cm \cdot 2ms/cm = 16.6ms$$

Prin urmare, **frecvența f** este:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{16.6} = 60Hz$$

O altă metodă de a afla frecvența unui semnal constă în măsurarea **timpului de creștere**. Timpul de creștere indică cât de rapid un circuit va răspunde. Timpul de creștere este timpul necesar unei forme de undă de a ajunge de la 10% la 90% din intervalul de tensiune.



Acesta apare ca răspuns la unda rectangulară! Tensiunea de ieșire trebuie să se stabilizeze la o tensiune de regim staționar (0% și 100%).

Cele mai multe osciloscoape au linii punctate pe grila lor marcând punctele de 10% și de 90% folosite pentru măsurători. Aceasta nu este o metodă deloc precisă deoarece diferența dintre 90% și 10% este exact 80% din amplitudinea  $A$  a semnalului ( $0.8 A$ ). Această valoare este relativ apropiată de valoarea reală  $A/\sqrt{2}$  (care este aproximativ  $0.707 A$ ). O diferență de aprox.  $0.1 A$  va cauza erori mari!

Valoarea frecvenței (sau a lățimii de bandă) poate fi exprimată astfel:

$$f = \frac{0.35}{t_{\text{creștere}}}$$

**Măsurarea fazei:** Când două semnale cu frecvență egală sunt aplicate celor două intrări ale osciloscopului cu canal dual, se poate măsura defazajul dintre cele două semnale. Prin intermediul modului ALT sau CHOP cele două semnale sunt aduse la aceeași amplitudine și aliniate de-a lungul aceleiași linii de referință. Comutatorul TIMP/CM este apoi folosit pentru a fișa numai un ciclu, adică perioada  $T$  a semnalelor.

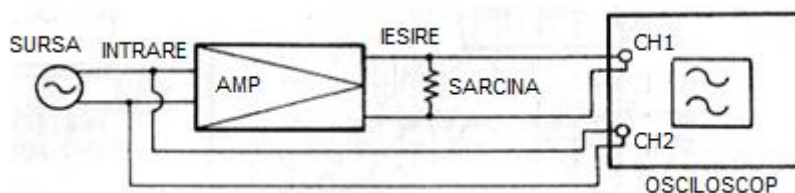
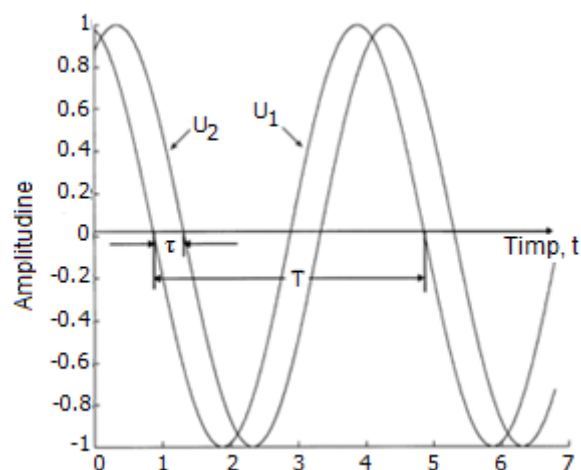


Fig.5.30 Circuitul de testare pentru măsurarea unghiului de fază dintre două semnale

De multe ori este necesar ca în practică măsurarea *defazajului* să aibă loc între două semnale cu aceeași frecvență; adică, trebuie măsurată *faza relativă* dintre două semnale mai degrabă decât *faza absolută* a fiecăruia. Adesea, când se măsoară faza relativă dintre două semnale, ambele se obțin de la aceeași sursă, pentru a avea defazaj constant!

Defazajul are următoarea expresie:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ$$



Exemplu: Dacă  $\tau = 1$  cm iar  $T = 8$  cm atunci:

$$\varphi = \frac{1}{8} \cdot 360^\circ = 45^\circ$$

O altă metodă de a măsura defazul dintre semnale este reprezentată de figurile **Lissajous**. Acest tip de măsurare utilizează modul XY (nu există axă de timp!). Semnalul necunoscut (testat) este aplicat intrării pentru CH2 iar semnalul de referință este aplicat intrării pentru CH1. Numai în cazul în care frecvența pentru cele două canale este egală și defazajul este constant, defazajul poate fi atunci măsurat:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{a}{b}\right)$$

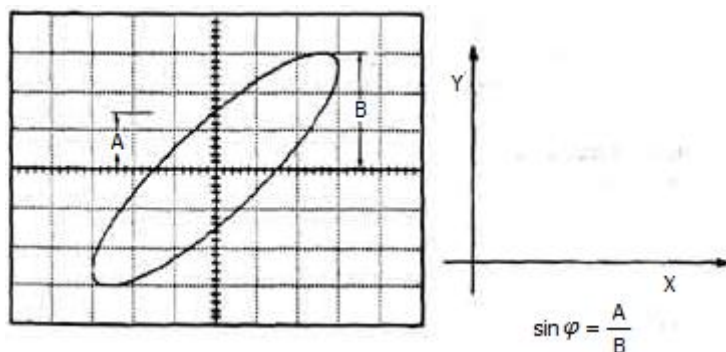


Fig.5.31 Măsurarea defazajului cu figura Lissajous (modul XY)



#### Exemple

Dacă cele două semnale au aceeași frecvență, atunci figura Lissajous va reproduce forma unei elipse. Forma elipsei se va modifica în funcție de defazajul dintre cele două semnale, și în funcție de raportul amplitudinilor celor două semnale. Figura 5.32 prezintă câteva figuri pentru două semnale cu frecvență sincronizată și cu amplitudini egale, dar cu diferite relații ale fazei.



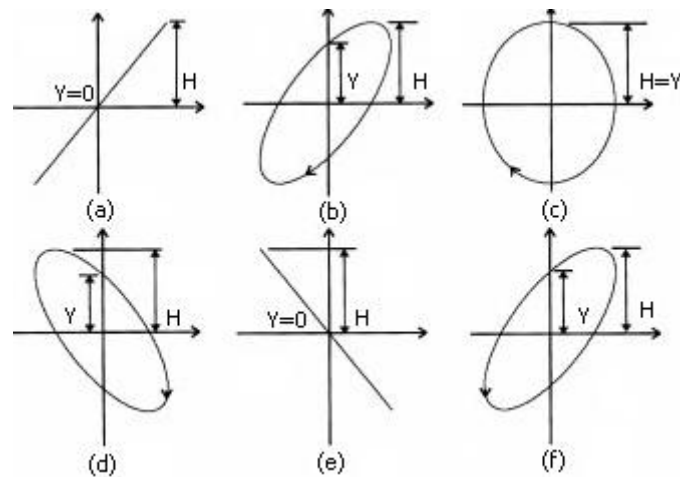


Fig.5.32 Figurile Lissajous pentru două semnale cu frecvență sincronizată și cu diferite defazaje: (a) defazajul = 0°; (b) defazajul = 45°; (c) defazajul = 90°; (d) defazajul = 135°; (e) defazajul = 180°; (f) defazajul = 315°.

Formula utilizată pentru a determina unghiul de fază este:

$$\sin \varphi = \pm \frac{Y}{H}$$

unde  $H$  este jumătate din înălțimea verticală a elipsei iar  $Y$  este segmentul care intersectează axa  $y$ .

Se poate măsura și frecvența necunoscută a unui semnal, atât timp cât aceasta este un multiplu al frecvenței cunoscute a celui alt semnal cu care se va compara. Dacă raportul dintre prima și a doua frecvență este un număr rațional (adică, este egal cu raportul dintre două numere întregi), atunci o curbă închisă va fi observată pe ecran (A se vedea Figurile 5.33 și 5.34).

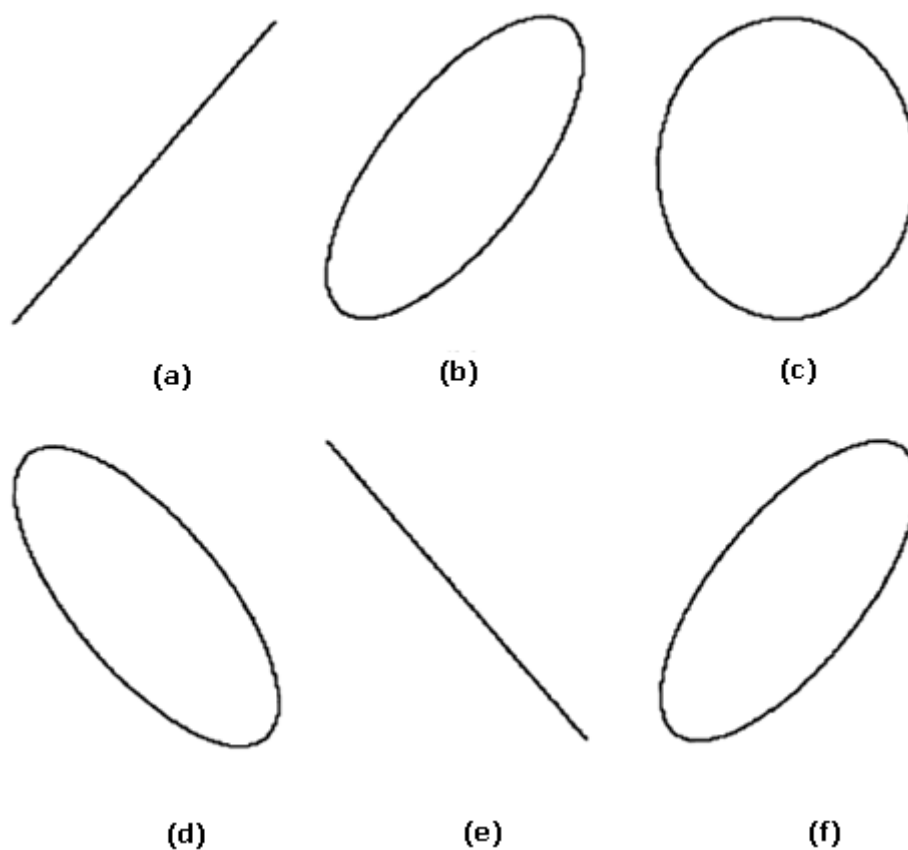


Fig.5.33 Figurile Lissajous pentru două semnale cu amplitudine egală, sincronizate în frecvență cu un unghi de fază (defazaj) relativ de (a) 0; (b)  $\pi/4$ ; (c)  $\pi/2$ ; (d)  $3\pi/4$ ; (e)  $\pi$ ; (f)  $-\pi/4$ .

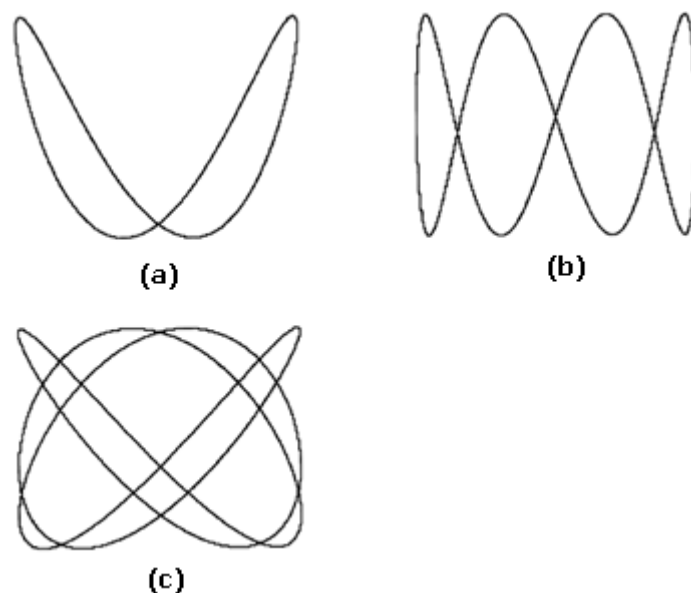
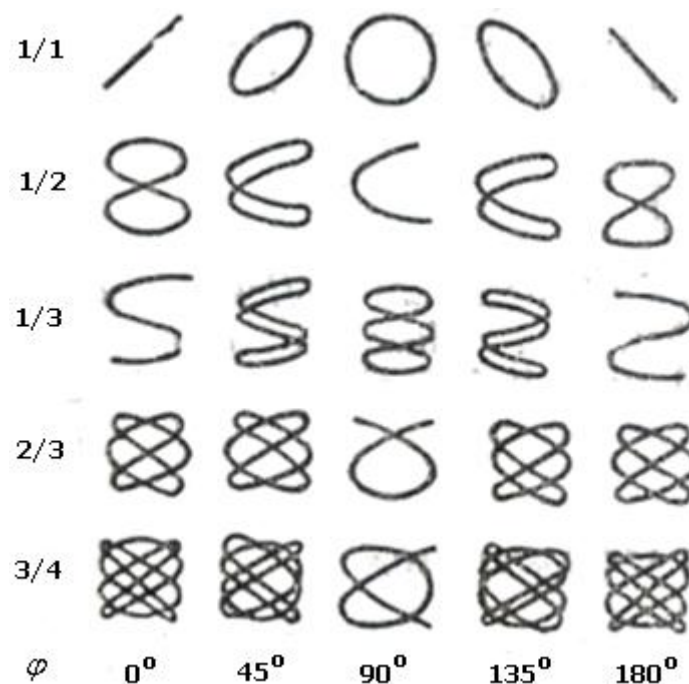


Fig.5.34 Figurile Lissajous pentru două semnale cu raport de frecvență verticală:frecvență orizontală de: (a) 2:1; (b) 4:1; (c) 4:3.

Dacă nu există nicio legătură între cele două frecvențe, atunci doar un petic de lumină va fi observat datorită persistenței ecranului osciloscopului. Figurile Lissajous pentru diferite raporturi de frecvență și diferite defazaje sunt prezentate mai jos:

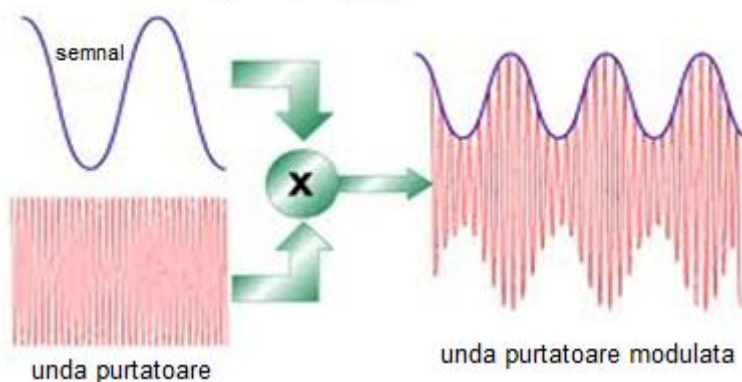


**Măsurarea modulației:** Modulația în amplitudine (AM) se folosește pentru transmisia de voce. Acest lucru înseamnă că informațiile sunt transmise prin intermediul unei radio purtătoare. Semnalul afișat pe ecranul osciloscopului arată astfel:



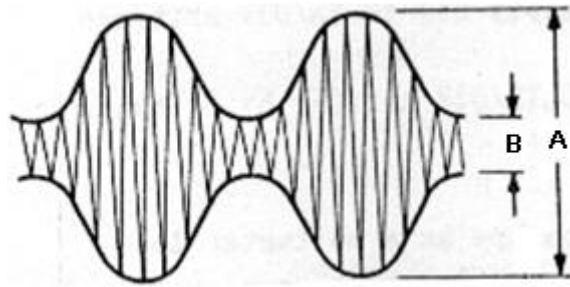
Modularea constă în combinarea semnalului de intrare A (semnalul de mesaj) cu semnalul B (semnalul purtător sau purtătoarea) astfel încât să varieze amplitudinea semnalului A:

#### Modulație în amplitudine (AM)



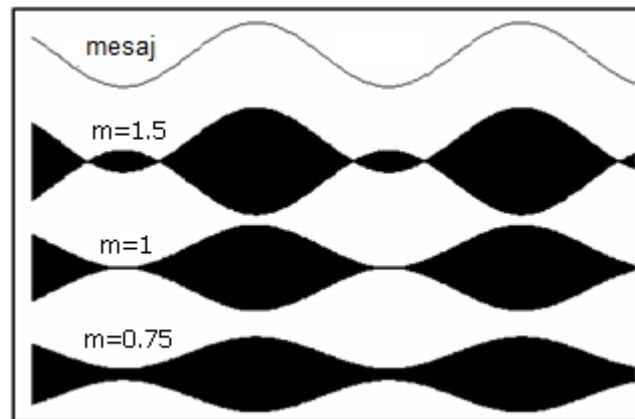
Pentru a afla cât de mult este semnalul modulat, trebuie folosită **metoda curbei de înfășurătoare**, pentru a determina gradul de modulație,  $m(\%)$ :

$$m = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100(\%)$$



În figura de mai jos sunt măsurate diferite grade de modulație:

**Exemple**



În primul caz:

$$m = \frac{1 - (-0.2)}{1 + (-0.2)} \cdot 100(\%) = 150\%$$

În al doilea caz:

$$m = \frac{1 - 0}{1 + 0} \cdot 100(\%) = 100\%$$

În al treilea caz:

$$m = \frac{1 - 0.2}{1 + 0.2} \cdot 100(\%) = 75\%$$

## Testarea cunoștințelor (Cursurile 5-6)

*Teorie:*

Ce poți măsura cu un osciloscop?

Care sunt cele două tipuri principale de osciloscop?

Ce este un osciloscop?

Cum poți afișa un semnal cu un osciloscop?

În ce condiții semnalul investigat este sincronizat cu semnalul în dinți de fierăstrău?

Când se obține imaginea pe ecranul osciloscopului?

Ce se întâmplă când fasciculul este oprit?

Ce trebuie făcut pentru a obține o imagine stabilă pe ecranul osciloscopului?

Ce nume au imaginile văzute pe ecranul osciloscopului?

Ce poți face cu un osciloscop și în același timp nu poți face cu un multimetru?

Care sunt avantajele osciloscopelor analogice (CRO) din punctul de vedere al performanței?

Aceste avantaje pot fi găsite și în osciloscoapele digitale cu memorie. Ce parametru de performanță este îmbunătățit folosind osciloscoapele digitale cu memorie (DSO)?

De ce crezi că osciloscopul poate fi descris ca "șurubelnița inginerului electronist"? Gândește-te la ce parametri ai unui semnal sunt analizați cu acest dispozitiv.

Care este principalul avantaj al osciloscopului analogic ca aparat de măsurat?

Care este principalul dezavantaj al osciloscopului analogic ca aparat de măsurat?

Poți explica cum lumina este generată și deviată dacă ai în față schema bloc a unui osciloscop?

De ce ecranul cu tubul catodic a fost înlocuit cu panoul de afișare cu cristale lichide LCD? Poți explica cum acest nou tip de ecran funcționează?

Care sunt blocurile componente ale unui osciloscop analogic în timp real?

Ce înseamnă AT în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Ce înseamnă PA în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Ce înseamnă FF în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Ce înseamnă CD în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Ce înseamnă BT în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Ce înseamnă CB în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Ce înseamnă BA în schema bloc a osciloscopului? Ce rol are?

Care este rolul fiecăruia dintre cele cinci comutatoare K0-K4?

Care sunt cele patru blocuri principale ale osciloscopului și care este rolul lor?

Care dintre cele patru blocuri este cel mai important?

Ce înseamnă CRT?

Care componente ale CRT-ului sunt incluse într-un tub de sticlă?

Care sunt principalele componente ale CRT-ului? Explică rolul fiecăreia.

Care este rolul catodului din cadrul tunului electronic?

Care este rolul comenzii electrozului din cadrul tunului electronic?

Care este rolul anodului de focalizare din cadrul tunului electronic?

Care este rolul anodului de accelerare din cadrul tunului electronic?

Care este principiul de funcționare a plăcilor de deviație?

Ce se întâmplă când plăcile se găsesc la același potențial?

Din ce cauză se produce accelerarea electronilor  $a_y$  în direcția Y?

Ce se întâmplă când electronii părăsesc plăcile de deviație?

Cum poate fi mărită deviația pe ecran ( $D_y$ )?

Care este unitatea de bază a unui afișaj de tip LCD sau LED?

Ce este grila?

Ce tipuri de erori sunt eliminate folosind grila și de ce?

Cum arată structura atenuatorului de intrare?

De ce este necesară compensarea în frecvență pentru sistemul vertical?

Ce marcaje speciale facilitează măsurarea timpului de creștere?

Care este condiția pentru ca un circuit de rețea RC să nu realizeze nicio compensare dinamică (un semnal rectangular care intră în această rețea va părăsi rețeaua tot ca semnal rectangular, în fază cu semnalul de intrare)?

Ce valori pot fi folosite pentru rezistența de intrare a amplificatorului vertical?

Care este rolul preamplificatorului?

Care este rolul liniei de întârziere?

Care este rolul amplificatorului vertical?

Care este rolul amplificatorului orizontal?

Care este diferența dintre sistemul de coordonate y-t și sistemul de coordonate x-y (modul XY)? Cum poți modifica sistemul de coordonate (modul de operare)?

Ce tip de tensiune este aplicată pe cilindrul Wehnelt pentru a spotul atunci când baza de timp este blocată?

Ce condiție trebuie satisfăcută pentru operarea bazei de timp?

Care este rolul amplificatorului de declanșare (COMP)?

Ce fel de tensiune este furnizată pentru funcția de baleiaj orizontal?

Care este principiul de operare a Bazei de Timp? Gândește la cum funcționează generatorul de dinți de fierăstrău.

Care este formula pentru tensiunea cu care condensatorul C se încarcă?

Care este semnificația cursei directe?

Ce se întâmplă la finalul cursei directe?

Care este semnificația cursei de revenire?

De ce cursa directă este mult mai lungă (în timp) decât cursa de revenire?

Cum arată pulsul de declanșare după comparația dintre  $U_x$  și  $U_{ND}$ ?

Oare de ce este necesar un impuls de pauză adițional?

Care este valoarea acestui impuls de pauză după ce dintele de fierăstrău a fost oprit?

Tensiunea aplicată pe plăcile verticale crește liniar sau nu? Motivează-ți răspunsul.

Este oare posibil să controlezi viteza spotului?

Ce condiție trebuie respectată pentru funcționarea circuitului de declanșare?

Care sunt cele trei moduri de declanșare? Care este cel mai des folosit?

Care sunt cele patru moduri de cuplaj? La ce frecvențe funcționează fiecare?

Care este rolul sistemului orizontal raportat la CRT?

Care este rolul sistemului orizontal raportat la baza de timp?

Care sunt blocurile sistemului orizontal (pentru o bază de timp declanșată)?

Ce semnificație are  $k_1$  și care este rolul lui?

Ce semnificație are  $k_2$  și care este rolul lui?

Ce semnificație are  $k_4$  și care este rolul lui?

Ce semnificație are IP și care este rolul lui? (ca element al Bazei de Timp)

Ce semnificație are DS și care este rolul lui? (ca element al Bazei de Timp)

Ce semnificație are CD și care este rolul lui? (ca element al Bazei de Timp)

Ce semnificație are L și care este rolul lui? (ca element al Bazei de Timp)

Ce semnificație are CB și care este rolul lui? (ca element al Bazei de Timp)

Cum este obținut semnalul rectangular?

Cum este obținut impulsul ascuțit?

Cum este obținut impulsul ascuțit mereu pozitiv?

Cum este obținută tensiunea de rampă?

Care este semnificația lui "1" logic?

Care este semnificația lui "0" logic?

Care este rolul unghiului  $\beta$ ?

Privește schema bloc a unui osciloscop digital cu memorie (DSO). Ce elemente noi poți identifica, elemente pe care nu le găsești în structura unui osciloscop analogic?

Ce elemente din schema osciloscopului digital se regăsesc și în osciloscoapele analogice?

Ce rol au convertoarele CAD (A/D) și CDA (D/A)? De ce sunt necesare pentru DSO?

Ce semnificație au  $t_{es}$  și  $f_{es}$ ? Care este relația dintre cei doi termeni?

Care este rolul ceasului de eșantionare?

Care sunt principalele diferențe dintre osciloscoapele digitale și analogice?

De ce este mai ușor să afișezi o imagine cu un osciloscop digital decât cu un osciloscop analogic?

Ce este eșantionarea secvențială?

De ce ai nevoie de un filtru anti-aliasing?

Ce se întâmplă pentru o sinusoidă (semnal sinusoidal) când două eșantioane pe ciclu cad pe intersecțiile cu zero ale sinusoidelor?

În ce constă fenomenul de aliasing?

De ce funcționarea digitală nu este cu adevărat în timp real ca în cazul funcționării analogice?

Care este soluția pentru această problemă? Care sunt cele două metode folosite?

Ce metodă crește numărul de eșantioane prin eșantionarea semnalului de mai multe ori cu eșantioane decalate aleatoriu?

Ce metodă crește numărul de eșantioane prin decalarea fiecărui eșantion cu un increment mic de timp?

Ce se întâmplă dacă impulsul investigat este mai lung decât perioada de eșantionare?

Cât este timpul de creștere cel mai mic detectabil în funcție de  $f_s$  (frecvența de eșantionare)?



De ce este practică creșterea frecvenței de eșantionare?

De ce este necesară compensarea sondei?

La ce frecvențe se recomandă folosirea sondelor pasive?

La ce frecvențe se recomandă folosirea sondelor active?

Care este valoarea normalizată a rezistenței de intrare ( $R_i$ ) a unui osciloscop?

Care este valoarea capacității de intrare ( $C_i$ ) a unui osciloscop?

Care este valoarea capacității cablului ( $C_c$ ) pentru o sondă pasivă în funcție de lungimea cablului?

Care este schema echivalentă a circuitului de compensare a sondei?

Ce condiție trebuie respectată pentru compensarea sondei dacă se cunosc: impedanța sondei  $R_1$  și capacitatea ei  $C_1$ , capacitatea cablului  $C_c$  și impedanța de intrare  $R_i$  și capacitatea de intrare  $C_i$  a osciloscopului?

Cum poți verifica dacă sonda este compensată?

Ce condiție trebuie respectată pentru ca sonda să fie sub-compensată?

Ce condiție trebuie respectată pentru ca sonda să fie supra-compensată?

Ce condiție trebuie respectată pentru ca sonda să fie compensată corect?

Ce tip de sondă produce un semnal în dinți de fierăstrău? În acest caz semnalul de la intrare va fi întârziat înainte sau în urmă (înapoi) față de semnalul de ieșire?

Ce tip de sondă produce un semnal cu tranziție ascuțită? În acest caz semnalul de la intrare va fi întârziat înainte sau în urmă (înapoi) față de semnalul de ieșire?

Un rezistor de  $9\text{ M}\Omega$  este conectat în serie cu intrarea standard a osciloscopului (cu impedanța de intrare de  $1\text{ M}\Omega$ ). Datorită capacității cablului intrarea rectangulară apare “rotunjită” de efectul capacității în cablul coaxial. Ce trebuie făcut pentru a compensa acest efect?

Ce se va întâmpla dacă condensatorul de compensare va fi setat la o valoare excesivă?

Cum poți măsura amplitudinea unui semnal?

Cum poți măsura perioada unui semnal?

Care sunt cele trei metode utilizate de un osciloscop pentru a măsura frecvența? Una dintre aceste metode folosește figurile Lissajous.

Care sunt cele două metode utilizate de un osciloscop pentru a măsura defazajul? Una dintre aceste metode folosește figurile Lissajous.

Ce condiții trebuie respectate pentru a măsura defazajul dintre două semnale?

Cum poți măsura faza relativă dintre două semnale dacă cele două nu se obțin de la aceeași sursă?  
Motivează-ți răspunsul.

Cum se pot obține figurile Lissajous?

Cum poate fi modulată un semnal în amplitudine?

Cum poți afla cât de mult este semnalul modulat?

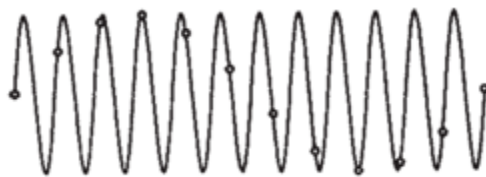
*Exerciții:*

Oare atenuatorul de intrare alcătuit din 2 perechi de RC:  $R_1=20\text{M}\Omega$  și  $C_1=2\text{pF}$ ;  $R_2=0.2\text{M}\Omega$  și  $C_2=10\text{nF}$  funcționează așa cum ar trebui (adică, ieșirea și intrarea sunt în fază și au aceeași formă)? Dacă nu, atunci intrarea este întârziată înainte sau în urma ieșirii?

Pentru circuitul bazei de timp, se dau următoarele valori:  $R = 5$  megaohmi,  $C = 10$  picofarazi și  $r = 50$  kilohmi. Care sunt intervalele de timp pentru cursa directă și cea de revenire,  $t_d$  și  $t_r$ ? Cât este raportul dintre  $t_d$  și  $t_r$ ? Este această valoare acceptabilă?

Semnalul (unda sinusoidală) din figură are frecvența de 24 kHz. Știind că frecvența de eșantionare este mai mică decât 48 kHz, care este frecvența unei sinusoidale interpretată de un observator?

(În figură sunt 11 intervale de eșantionare, nu 12)



Cât este valoarea capacității cablului ( $C_c$ ) pentru o sondă pasivă cu lungimea de 2 metri?

O sondă trebuie să fie compensată. Știind că  $R_1=43\text{M}\Omega$ ;  $C_1=4\text{pF}$ ;  $C_i=15\text{pF}$  iar cablul are o lungime de 2 metri, care este valoarea lui  $R_i$ ?

Pe ecranul osciloscopului deviația verticală este de 5 diviziuni iar comutatorul de tensiune indică 2V/cm pentru un semnal rectangular. Cât este valoarea efectivă?

Pe ecranul osciloscopului deviația orizontală este de 4 diviziuni iar comutatorul de timp indică 5ms/cm. Cât este frecvența minimă de eșantionare a acestui semnal?

Timul de creștere al unui semnal rectangular este de 17.5 nanosecunde. Cât este lățimea de bandă (frecvența) acestui semnal?

Pe ecranul osciloscopului se compară două semnale cu aceeași frecvență. Dacă frecvența lor este 10 kHz, iar diferența în timp dintre cele două semnale este 0.025 ms, atunci care este defazajul dintre cele două semnale?

O elipsă Lissajous are următoarele dimensiuni:  $A=1.41$  and  $B=2$ . Cât este defazajul?

Cât este defazajul pentru următoarea figură Lissajous?



Cât este raportul de frecvență a următoarei figuri Lissajous?

