

SONIA DEGERATU

SONIA DEGERATU

MATERIALE INTELIGENTE

Îndrumar de laborator



**EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2020**

Referenți științifici:
Prof.univ.dr.ing. Mihaela POPESCU
Conf.univ.dr.ing. Daniela POPESCU

Copyright © 2020 Editura Universitaria
Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
DEGERATU, SONIA

Materiale inteligente : îndrumar de laborator / Sonia Degeratu. -
Craiova : Universitaria, 2020
Conține bibliografie
ISBN 978-606-14-1574-8

62

© 2019 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare

PREFAȚA

Materialele inteligente - care au mai fost numite senzoriale, adaptive, deștepte (smart), metamorfice sau multifuncționale - prezintă o comportare complet neconvențională, o complexitate a mecanismelor de funcționare și o mare diversitate de aplicații. Ele au capacitatea de a reacționa la modificările mediului fie prin schimbări de formă, rigiditate, poziție, frecvența vibrațiilor interne, frecare internă sau vâscozitate (actuatori), fie prin emiterea unui semnal (senzor).

Pornind de la ideea că sistemele vii nu fac distincție între materiale și structuri, s-a dezvoltat noțiunea de sistem material inteligent. Materialele inteligente încorporează caracteristicile de adaptabilitate și de multifuncționalitate, fiind capabile să prelucreze informațiile, utilizând exclusiv proprietățile intrinseci ale materialelor.

Inteligența artificială, care poate fi modelată prin simulare pe calculator, implică cinci caracteristici de bază: senzitivitatea, impresionabilitatea, activitatea (realizare de sarcini și acțiuni), modificabilitatea (adaptare și învățare) și imprevizibilitatea (posibilitate de abatere de la experiența anterioară). Totuși, manifestările inteligenței artificiale nu pot fi privite drept produse ale conștiinței artificiale, deoarece aceasta nu poate fi încă modelată.

Prin analogie cu științele biologice, sistemele inteligente pot îndeplini funcții de activatori (mușchi), de senzori (nervi) sau de control (creier).

Noțiunea de material inteligent poate fi extinsă la un nivel mai înalt de inteligență artificială, prin încorporarea unei "funcții de învățare". Rezultă un material foarte inteligent care poate detecta variațiile mediului și-și poate modifica caracteristicile proprii astfel încât să controleze variațiile care au generat această modificare.

Anumite caracteristici „specifice acestor materiale inteligente” și care au dat și numele materialului respectiv, fac ca acestea să poată fi folosite în aplicații dintre cele mai diverse. Aceste proprietăți se referă la: efectul piezoelectric; efectul magnetostrictiv; efectul electroplastic; efectul de memorie a formei; proprietăți electroreologice; proprietăți pirosenzitive; polimeri electroactivi, proprietăți neliniare (electrooptice, electroacustice și electromagnetice).

Prezentul îndrumar conține șase lucrări de laborator, care se referă la următoarele categorii de materiale inteligente: piezocompozite, electroreologice și aliaje cu memorie a formei.

Patru dintre cele șase lucrări (1, 2, 4 și 6) au un caracter practic, în cadrul lor fiind prezentate proprietăți specifice materialului încercat, diferențe în raport cu materialele clasice, metode de încercare (necesare pentru efectuarea măsurărilor), fenomene care apar în timpul determinărilor și modalități de interpretare a rezultatelor.

Lucrările 3 și 5 au un caracter virtual.

Lucrarea 3 prezintă studiul comportării fluidelor electrorheologice plecând de la "modelele mecanice" care permit descrierea și reprezentarea ușoară a comportării acestor sisteme vâscoelastice liniare. Studiul dependenței de timp a deformației relative și a vitezei de curgere, pentru diferite forme de variație în timp ale efortului unitar se face prin simularea numerică a celor două modele, utilizând mediul Matlab/Simulink.

În lucrarea 5, pentru optimizarea dimensionării unei bare încastrate din aliaj cu memorie a formei, se folosește o interfață grafică în mediul de programare Visual Basic. Ea permite utilizatorului să configureze parametrii sistemului și să aleagă cea mai adecvată variantă de dimensionare, de analiză și de afișare a rezultatelor.

Îndrumarul se adresează, în primul rând, studenților Facultății de Inginerie Electrică, de la Master, specializarea Sisteme Electromecanice Complexe, dar poate fi util, în aceeași măsură, tuturor studenților de la alte facultăți tehnice, care au prevăzută în planul de învățământ disciplina de "Materiale inteligente".

Autoarea își exprimă speranța că acest îndrumar va constitui un ghid pentru studenți în însușirea unor tehnici de măsurare, precum și în studiul și analiza unor fenomene și proprietăți, specifice materialelor inteligente. În acest scop, se utilizează medii de programare, deja cunoscute de studenți, în vederea consolidării modului ingineresc de rezolvare a unor probleme tehnice.

Autoarea

Lucrarea 1

Încercarea materialelor piezocompozite pentru determinarea capacității, permitivității relative și a factorului de pierderi dielectrice

1. Generalități

1.1. Permitivitatea relativă ε_r (constanta dielectrică) a unui mediu izolant se definește ca fiind raportul dintre permitivitatea absolută a aceluși mediu și permitivitatea vidului:

$$\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0, \quad (1.1)$$

în care:

$$\varepsilon_0 = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9. \quad [F/m] \quad (1.2)$$

Experimental, permitivitatea relativă a unui material izolant se determină ca raport între capacitatea C_x a unui condensator, la care spațiul dintre și în jurul electrozilor este integral și exclusiv umplut cu materialul izolant respectiv și capacitatea C_0 a aceleiași dispunerii a electrozilor însă, în vid:

$$\varepsilon_r = C_x / C_0. \quad (1.3)$$

Permitivitatea relativă a aerului uscat, lipsit de CO_2 , la presiune atmosferică normală, fiind egală cu 1,00053, în practică se poate folosi capacitatea dispozitivului de electrozi în aer, C_a , în locul capacității în vid, C_0 , pentru determinarea cu suficientă precizie a permitivității relative, ε_r [20].

În cazul determinărilor practice, unde se folosesc ca unități [pF] și [cm], permitivitatea vidului, ε_0 , este:

$$\varepsilon_0 = 0,08854. \quad [pF/cm] \quad (1.4)$$

1.2. Unghiul de pierderi dielectrice δ , al unui material izolant, este unghiul complementar unghiului de defazaj (φ) dintre tensiunea aplicată și curentul respectiv, când dielectricul condensatorului este compus exclusiv din acest material.

Pentru un condensator cu dielectric ideal, diferența de fază între curent și tensiune este de $\pi/2$.

Pentru un condensator cu pierderi, decalarea curentului este mai mică de $\pi/2$, datorită atât a efectului de polarizare electrică, cât și a curenților de conducție și a curenților de suprafață (fig.1.1).

1.3. Factorul de pierderi dielectrice ($tg \delta$), al unui material electroizolant, reprezintă tangenta unghiului complementar celui de defazaj dintre tensiune și curent, în cazul unui condensator real [20].

Se știe că un condensator real, cu pierderi active în dielectric, admite o schemă echivalentă serie (fig. 1.2).

În această schemă pierderile active sunt reprezentate prin rezistența r .

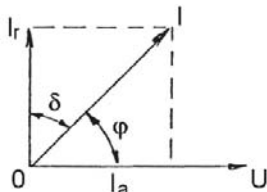


Fig. 1.1. Defazajul între curent și tensiune pentru un condensator

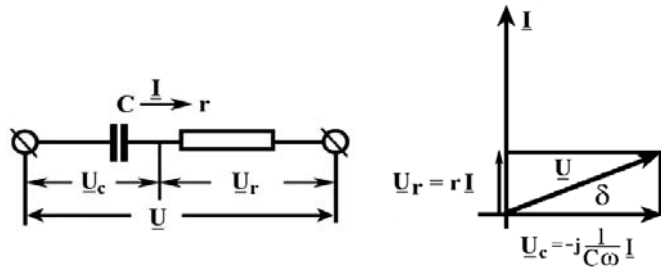


Fig. 1.2. Schema echivalentă a unui condensator cu pierderi și diagrama fazorială

Din diagrama fazorială se observă că, în cazul în care pierderile active în dielectric sunt mai mari, unghiul δ este mai mare. De aceea, pentru aprecierea acestor pierderi, s-a adoptat mărimea $\operatorname{tg} \delta$ denumită și „factor de pierderi dielectrice”, care, conform diagramei fazoriale, va avea expresia:

$$\operatorname{tg} \delta = r \cdot \omega \cdot C. \quad (1.5)$$

Valorile permitivității relative și ale factorului de pierderi dielectrice dau indicații precise în ceea ce privește aprecierea calității izolației, permițând astfel depistarea anumitor defecte, precum: izolația umezită, incluziuni de aer în izolație, neomogenitatea izolației sau slaba calitate a maselor de impregnare. Acest lucru este important și necesar atât pentru materialele izolante deja existente, cât și pentru cele noi.

În lucrarea de față se studiază modul de determinare a capacității, factorului de pierderi și permitivității relative cu ajutorul punții Schering tip TR-9701.

Spre deosebire de punțile de măsură care funcționează la înaltă tensiune utilizate pentru determinarea caracteristicilor materialelor izolante, aparatul folosit în acest caz prezintă avantajul că elimină măsurile de siguranță și protecție, condiționate de înalta tensiune, deoarece măsurările se fac cu tensiunea maximă de 40 V, într-un domeniu de frecvență $50 \div 300000$ Hz. Puntea Schering, tip TR-9701, este folosită atât pentru studiul materialelor izolante solide, cât și pentru cel al lichidelor izolante.

2. Scopul lucrării

2.1. Însușirea noțiunilor teoretice și a metodei de determinare a capacității, permitivității relative și a factorului de pierderi dielectrice, la compozitele piezoelectrice.

2.2. Determinarea, pe cale experimentală, a valorilor permitivității relative și factorului de pierderi dielectrice specifice fiecărui material compozit încercat și compararea acestor valori cu cele din literatura de specialitate.

2.3. Punerea în evidență a influenței condițiilor fizice în care se execută măsurările, cum ar fi: frecvența, temperatura, umiditatea, intensitatea câmpului electric, etc. asupra valorilor măsurate.

3. Problemele de studiat

3.1. Măsurarea capacității C_x a piezocompozitului.

3.2. Determinarea permitivității piezocompozitului.

3.3. Determinarea factorului de pierderi dielectrice al piezocompozitului.

4. Principiul de funcționare al punții Schering

Puntea Schering este o punte de curent alternativ. Alimentarea se face printr-un transductor de simetrie (fig. 1.3) care are sarcina să simetrizeze și, datorită utilizării generatorului asimetric, să împiedice influența generatorului sau a curenților perturbatori din afară la compensarea punții.

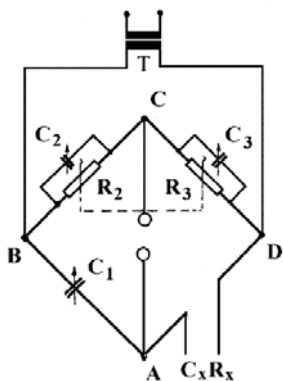


Fig. 1.3. Schema de principiu a punții Schering TR-9701:

T - transductor de intrare; C_1 - condensator variabil continuu, cu aer; C_2 - condensator variabil continuu, cu aer; C_3 - condensator variabil, cu aer, pentru reglarea la zero; S_1 - comutator decadic cu rezistențe;

C_x, R_x - capacitatea și rezistența de măsurat

Condiția de compensare a punții urmează regula generală: produsele impedanțelor brațelor opuse trebuie să fie egale între ele.

$$\left(\frac{1}{pC_x} + R_x \right) \left(\frac{R_2}{1 + pC_2R_2} \right) = \frac{1}{pC_1} \left(\frac{R_3}{1 + pC_3} \right) \quad (1.6)$$

în care $p = j\omega$ este pulsația imaginară. Rescriind (1.6), în alte forme, în final, rezultă:

$$\frac{R_2}{R_3} (1 + pC_xR_x)(1 + pC_3R_3) = \frac{C_x}{C_1} (1 + pC_2R_2) \quad (1.7)$$

Separând partea reală de cea imaginară obținem:

$$\frac{R_2}{R_3} [1 - (\omega C_3R_3)(\omega R_xC_x)] = \frac{C_x}{C_1} \quad (1.8)$$

$$\frac{R_2}{R_3} (\omega C_3 R_3 + \omega C_x R_x) = \frac{C_x}{C_1} \omega C_2 R_2. \quad (1.9)$$

Știind că $\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x$, vom avea:

$$\frac{R_2}{R_3} (1 - \omega C_3 R_3 \operatorname{tg} \delta) = \frac{C_x}{C_1}, \quad (1.10)$$

și:

$$\frac{R_2}{R_3} (\omega C_3 R_3 + \operatorname{tg} \delta) = \frac{C_x}{C_1} \omega R_2 C_2. \quad (1.11)$$

Împărțind ecuația (1.11) la ecuația (1.10) obținem:

$$\frac{\omega R_3 C_3 + \operatorname{tg} \delta}{1 - \omega C_3 R_3 \operatorname{tg} \delta} = \omega R_2 C_2, \quad (1.12)$$

sau:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega R_2 C_2 - \omega R_3 C_3}{1 - \omega^2 C_2 C_3 R_2 R_3}. \quad (1.13)$$

Dacă se înlocuiește această valoare a lui $\operatorname{tg} \delta$, în relația (1.10) se obține, pentru C_x , expresia:

$$C_x = \frac{R_2 C_1}{R_3} \cdot \frac{1 + \omega^2 R_3^2 C_3^2}{1 + \omega^2 R_2 R_3 C_2 C_3}. \quad (1.14)$$

Dacă $\omega^2 R_2 R_3 C_2 C_3 \ll 1$, $R_2 C_2 \gg R_3 C_3$ și $\omega^2 R_3^2 C_3^2 \ll 1$ se obțin, pentru $\operatorname{tg} \delta$ și C_x , formule simple^[20]:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_2 C_2 \quad (1.15)$$

$$C_x = \frac{R_2}{R_3} \cdot C_1 \quad (1.16)$$

Cum $\omega = 2\pi f$ și notând $2\pi f R_2 = B \cdot f$ (alegând corespunzător pe R_2), iar valoarea lui C_2 , la echilibrare, cu A , vom obține:

$$\operatorname{tg} \delta = A \cdot B \cdot f \quad (\text{cu } f \text{ în kHz}); \quad (1.17)$$

$$C_x = C_1 \cdot n \quad (\text{în pF}), \quad (1.18)$$

în care n este factorul citit la comutatorul S_1 și care poate fi 1, 10, 100 sau 1000.

5. Descrierea punții tip TR-9701 și a accesoriilor sale

Figura 1.4 reprezintă vederea din față a punții de măsură tip TR-9701.

Panoul frontal al acestei punți de măsură conține:

C_1 – condensator variabil, în pF, cu aer, pentru măsurarea capacităților;

C_2 – condensator variabil, în pF, cu aer, pentru măsurarea factorului de pierderi;

S_1 – comutator în trepte, selectiv, pentru reglarea limitei măsurării;

S_2 – comutator în trepte pentru extinderea domeniului capacității variabile C_2 ;

- 11 - buton reglaj brut frecvență;
- 12 - comutator funcțiuni;
- 13 - comutator nivel intrare;
- 14 - mufă intrare semnal;
- 15 - indicatori de multiplicare a valorii afișate.

Modul de lucru cu generatorul de semnal, pentru puntea Schering, este următorul:

- se cuplează aparatul la rețea prin cordonul de alimentare și se pornește de la întrerupătorul de rețea (1);
 - se stabilește forma semnalului din comutatorul (8);
 - se trece comutatorul de funcțiuni (12), pe poziția *F* (indicatorul afișează frecvența), sau $U \approx$ (afișează nivel semnal ieșire);
 - se stabilește domeniul de frecvență din comutatorul (3) și se reglează, din butonul de reglaj brut (11), frecvența;
 - se stabilește nivelul de ieșire din comutatorul (4), în trepte și continuu din potențiometrul reglaj nivel semnal ieșire (9);
 - se cuplează generatorul de semnal, de la ieșirea de 600Ω , poziția (6) din figura 1.6, la intrarea punții, de la borna „Generator” (IN) din figura 1.4.
- Ca indicator de nul se va folosi un osciloscop tip OX 710 D (fig. 1.7).

Panoul frontal al osciloscopului conține:

- 1, 2 – **Cal. 10 kHz și Cal. 1 kHz** - borne calibrare, care generează semnale dreptunghiulare standard cu frecvența de 10 kHz, respectiv 1 kHz și amplitudinea de 5V vârf la vârf;
- 3 – **EXT** – bornă pentru declanșarea bazei de timp cu un semnal aplicat din exterior. Intrarea este activă numai dacă comutatorul (15) este apăsat;
- 4 – buton pornit-oprit;
- 5 – **FOC** – buton focalizare spot luminos;
- 6 – **INTENS** – buton pentru intensitate spot;
- 7 – **MARCHE** – led semnalizare alimentare;
- 8 – buton baleiaj spot pe orizontală;
- 9 – **NIVEAU** – buton pentru fixarea punctului de declanșare a bazei de timp pe unul sau altul din fronturile semnalului de intrare alese prin intermediul comutatorului (13);
- 10 – buton pentru diminuarea progresivă a timpului de baleiaj pe orizontală; în poziția extremă stânga, timpul de baleiaj este cel indicat de butonul (11). Rotind de la stânga la dreapta timpul de baleiaj se va diminua progresiv;
- 11 – **s, ms, μ s** – comutator bază de timp ($0,2 \text{ s} \div 0,5 \mu\text{s}$). Cu ajutorul acestuia se poate măsura durata unui semnal electric. Fiecare pătrat inscripționat pe tubul catodic este un reper orizontal în secunde, milisecunde sau microsecunde pe centimetru, atâta timp cât butonul 10 este la extremitatea stângă;

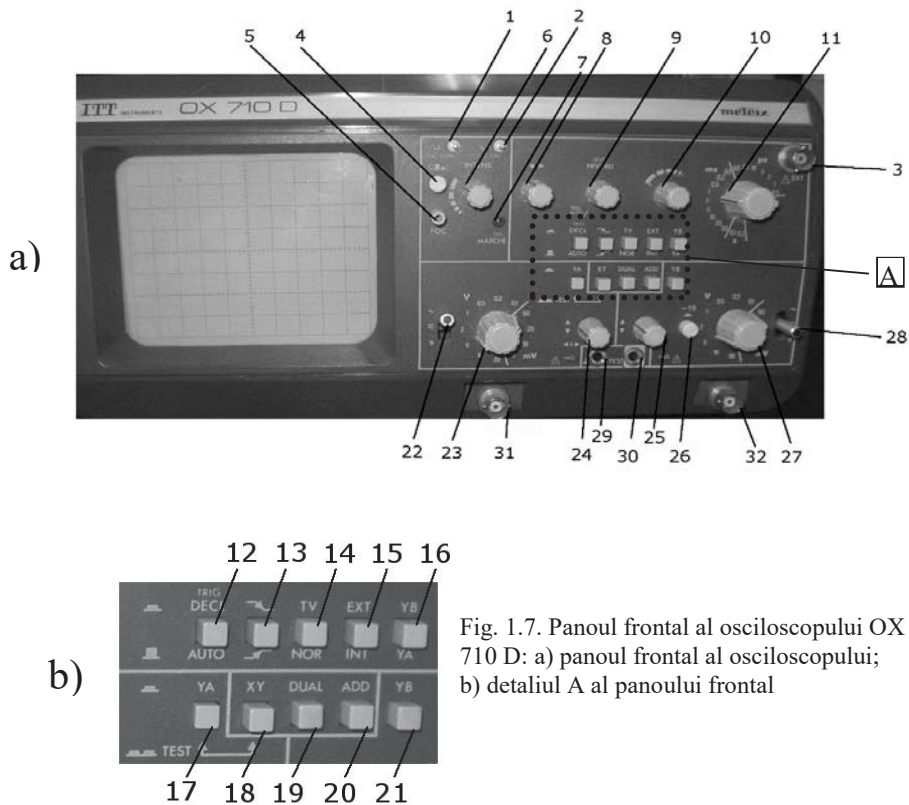


Fig. 1.7. Panoul frontal al osciloscopului OX 710 D: a) panoul frontal al osciloscopului; b) detaliul A al panoului frontal

12 – comutator pentru comanda de declanșare a bazei de timp:

- **DECL.** – comutator apăsat, semnifică faptul că declanșarea bazei de timp este comandată de prezența semnalului la bornele de intrare (31) sau (32), de tip BNC;
- **AUTO** – comutator neapăsat, semnifică faptul că baza de timp se declanșează automat chiar în lipsa semnalului la bornele de intrare;

13 – comutator pentru alegerea frontului semnalului de intrare care declanșează baza de timp; în poziția neapăsat declanșarea semnalului se face pe frontul pozitiv al semnalului de intrare, în timp ce pe poziția apăsat declanșarea se face pe frontul negativ;

14 – **NOR/TV** – comutator pentru alegerea tipului de semnal sincronizat. Poziția apăsat – **TV** – permite observarea pe ecran a semnalelor video-complexe, specifice televizoarelor și aparatelor video. Poziția neapăsat – **NOR** – se folosește pentru celelalte tipuri de semnale;

15 – **INT/EXT** – comutator pentru alegerea sursei semnalului de sincronizare;

16 – **YA/YB** – comutator de alegere a sursei interne de declanșare a bazei de timp;

17 – **YA** – comutator pentru canalul de intrare YA;

18 – **XY** – comutator pentru activarea funcției XY (canalul de intrare YA devine canal X, iar YB devine canal Y). Apăsarea simultană a comutatoarelor (17) și (18) activează funcția de test prin activarea bornelor de ieșire (29) și (30);

19 – **DUAL** – comutator care indică modul de afișare eșantionat pentru canalele de intrare YA și YB, pentru valori ale bazei de timp între 0,2 s și 5 ms și în mod de lucru alternat pentru valori ale bazei de timp între 2 ms și 0,5 μ s;

20 – **ADD** – comutator pentru adunarea semnalelor de pe canalele YA și YB;

21 – **YB** – semnifică utilizarea numai a canalului de intrare YB;

22 – selector de cuplare a semnalului pe borna de intrare YA cu trei poziții: „ \sim ” (când este transmisă doar componenta alternativă a semnalului de intrare); „ \cong ” (când sunt transmise atât componenta alternativă cât și cea continuă a semnalului de intrare); „0” (intrarea YA borna (31) nu mai este legată la amplificatorul de Y corespunzător);

23 – **mV/V** – buton de comandă a sensibilității pe verticală pentru canalul de intrare YA;

24 – buton pentru încadrarea semnalului aplicat la intrarea YA. Atunci când comutatorul (18) este apăsător, butonul (24) va folosi la deplasarea orizontală a spotului pe ecranul osciloscopului;

25 – buton pentru încadrarea semnalului aplicat la intrarea YB;

26 – **YB** – comutator care semnifică utilizarea numai a canalului YB de intrare;

27 – **mV/V** – buton de comandă a sensibilității pe verticală pentru canalul de intrare YB;

28 – selector de cuplare a semnalului pe borna de intrare YB cu trei poziții: „ \sim ” (când este transmisă doar componenta alternativă a semnalului de intrare); „ \cong ” (când sunt transmise atât componenta alternativă cât și cea continuă a semnalului de intrare); „0” (intrarea YB, borna (32) nu mai este legată la amplificatorul de Y corespunzător);

29 – bornă de masă pentru semnalul **TEST**;

30 – bornă activă pentru semnalul **TEST**;

31 – bornă de intrare pentru canalul YA;

32 – bornă de intrare pentru canalul YB.

Modul de lucru al osciloscopului tip OX 710 D, folosit ca indicator de nul pentru puntea Schering, este următorul:

- se conectează aparatul la rețea;
- se apasă butonul (4), pentru pornirea osciloscopului, ledul indicator (7) se va aprinde;

- se poziționează:

- comutatorul (22) pe poziția „0”;
- comutatorul (23) pe poziția 5V/div (sensibilitate minimă);
- butoanele (12), (13), (14), (15), (16) pe poziția neapăsător;
- butonul (17) pe poziția apăsător;

- se selectează baza de timp în raport cu frecvența de intrare;