

# WorkBench

## I. Noțiuni teoretice

### Legi fundamentale necesare studiului unui circuit electric:

**1. Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit:** *curentul electric care trece prin-o porțiune de circuit este egal cu raportul dintre căderea de tensiune  $U$  și rezistența electrică  $R$  a porțiunii de circuit respective.*

$$I = \frac{U}{R}$$

**2. Legea lui Ohm pentru întreg circuitul:** *intensitatea curentului electric dintr-un circuit este egală cu raportul dintre tensiunea electromotoare  $E$  a sursei și rezistența totală a circuitului (suma rezistențelor externe  $R$  și cele ale celei interne  $r$  ale sursei).*

$$I = \frac{E}{R + r}$$

**3. Teorema I a lui Kirchhoff:** *în cazul unui nod de rețea în care se întâlnesc “ $k$ ” ramuri, suma algebrică a intensităților curenților electrici este egală cu zero (se consideră pozitivi curenții care intră în nod și negativi cei care ies din el).*

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

**4. Teorema a II-a a lui Kirchhoff:** *de-a lungul conturului unui ochi de rețea, suma algebrică a tensiunilor electromotoare este egală cu suma algebrică a produselor dintre intensitatea curentului și rezistența electrică totală pe fiecare ramură.*

$$\sum_{i=1}^m E_i = \sum_{j=1}^n I_j R_j$$

### Instrumente electrice de măsură folosite la studiul circuitelor electrice

**1. Voltmetrul:** este un aparat cu o rezistență electrică internă mare (de ordinul  $M\Omega$ ) și care se folosește la măsurarea diferențelor de potențial dintre diferite puncte (noduri) ale unui circuit. Se montează întotdeauna în paralel cu nodurile a căror tensiune se dorește a fi măsurată. În cazul unui circuit în curent alternativ, voltmetrul va indica o valoare medie a tensiunii.

**2. Ampermetrul:** se folosește la măsurarea intensității curentului electric dintr-un circuit (de curent continuu sau alternativ). Datorită rezistenței interne foarte mici a

ampermetrului (de ordinul  $m\Omega$ ), acesta va fi montat în serie cu elementul a cărui curent se dorește a fi măsurat.

**3. Ohmmetrul:** este un aparat care permite măsurarea rezistenței electrice a unei porțiuni de circuit. Pentru a obține o valoare cât mai precisă, este necesar ca între cele două noduri între care se dorește determinarea rezistenței să nu existe surse de tensiune electromotoare și, de asemenea, să nu existe alte componente legate în paralel cu aceste noduri.

**4. Osciloscopul:** este un aparat care permite vizualizarea fenomenelor periodice electrice.

## II. Prezentarea aplicației WorkBench

WorkBench este un produs software destinat proiectării și testării circuitelor electrice de orice fel: circuite analogice, digitale, mixte (analog-digitale), circuite în curent continuu sau alternativ, scheme logice, etaje amplificatoare de audio și radio frecvență etc.

Față de aplicația standard, versiunea demo prezintă o serie de limitări, cum ar fi:

- limitarea numărului maxim de componente existente într-un circuit la 10
- unele tipuri de procedee și tehnici de analiză au fost dezactivate
- nu se pot construi subcircuite
- nu este permisă tipărirea sau salvarea modelului
- în cazul diodelor, tranzistoarelor, transformatoarelor ș.a. sunt afișate bibliotecile cu modele, dar în circuit nu se poate folosi decât modelul prestabilit (ideal).

Meniul principal al aplicației (care se prezintă sub forma de bară cu unelte = *ToolBar*) este prezentat în Figura 1. La selecția unuia dintre butoanele situate în partea inferioară, se deschid ferestre specifice, din care, prin tragere pe foaia de hârtie cu ajutorul mouse-ului, se alege diferitele tipuri de componente.



Figura 1 - Meniul principal al aplicației WorkBench

Modificarea proprietăților sau a diferitelor mărimi caracteristice ale diverselor componente se realizează prin executarea unui *dublu click* pe componenta respectivă.

Foarte utilă pentru înțelegerea mai ușoară a modului de funcționare a unui circuit se dovedește a fi marcarea cu culori diferite a cablurilor electrice care unesc componentele; această operație se realizează tot prin executarea unui *dublu click* pe cablul a cărui culoare se dorește a fi schimbată. De remarcat că, în cazul folosirii unui osciloscop, culoarea spotului (și, implicit, a semnalului afișat) păstrează culoarea firului de legătură dintre osciloscop și punctul de măsurare din circuit.

În continuare sunt prezentate principalele elemente de circuit întâlnite în practică, împreună cu o scurtă descriere a modului de funcționare, a modului de legare în circuit, și, respectiv, o enumerare a celor mai importanți parametri modificabili ai acestor componente.

### Surse de energie

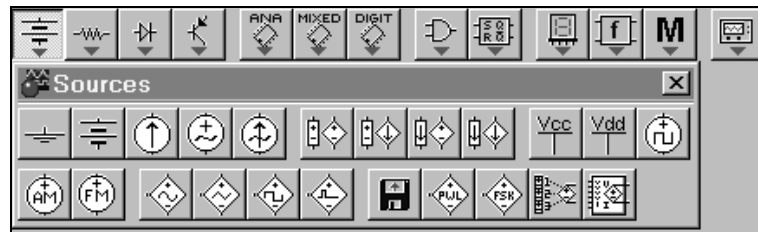


Figura 2 - Toolbar-ul Source (*Surse de energie*)



**Masa (împământarea)** - este punctul de referință (de potențial nul) al unui circuit electric; ea reprezintă 0 volți. Conceptul de "masă" definește, de fapt, punctul comun tuturor tensiunilor (știut fiind faptul că tensiunea electrică a fost definită practic ca o diferență de potențial). Raportate la masă, toate tensiunile dintr-un circuit sunt fie pozitive, fie negative.

Nu toate circuitele necesită, pentru buna lor funcționare, legarea la masă. Dar, în cazul în care se folosesc transformatoare, surse de energie controlate, osciloscop sau dacă avem componente analogice și digitale în același circuit, trebuie să se prevadă și o legătură la masă. Este foarte important să se lege la masă ambele circuite ale unui transformator.



**Bateria** - reprezintă o sursă de tensiune continuă cu valori cuprinse de la

câțiva  $\mu\text{V}$  până la sute de kV, și care este formată din unul sau mai multe elemente galvanice înseriate. Borna pozitivă a bateriei este cea din partea superioară (linia mai lungă și mai subțire). Acest element asigură la bornele sale (și, implicit, în întreg circuitul din care face parte) o cădere de tensiune de valoare prestabilită și constantă.



**Sursa de curent continuu** - produce un curent continuu de valoare constantă, cu valori reglabile de ordinul  $\mu\text{A}$  până la sute de kA. Sensul curentului prin sursă este indicat de săgeată (borna pozitivă este situată în partea superioară).



**Sursa de tensiune alternativă** - asigură o tensiune alternativă cuprinsă între câțiva  $\mu\text{V}$  până la sute de kV. Se poate modifica, deasemenea, valoarea medie a acestei tensiuni, frecvența și faza.



**Sursa de curent alternativ** - generează în circuitul electric în care este legată un curent alternativ a cărui valoare medie poate fi reglată în limite foarte largi ( $\mu\text{A}$  până la kA). Permite, în același timp, modificarea frecvenței și a fazei curentului din circuit.

### Elemente de bază ale unui circuit electric

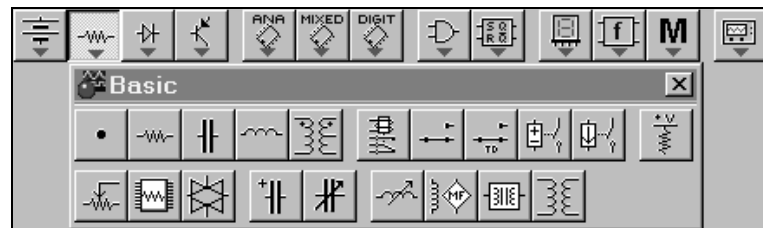


Figura 3 - Toolbar-ul Basics (*Elemente de bază*)



**Conectorul** - se folosește pentru unirea galvanică a "firelor" unui circuit electric. Un conector are patru puncte de conexiune, situate câte unul în fiecare din cei patru quadranți, el putând lega până la maxim patru fire. Un conector poate fi creat și automat, prin tragerea unui fir peste un altul existent deja în schemă. În cazul în care conectorii nu sunt necesari, ei dispar automat. Prin atașarea unei etichete (*label*) unui anumit conector, acesta devine permanent.



**Comutatorul** - componentă a unui circuit electric care permite cuplarea, respectiv decuplarea unei anumite ramuri dintr-un circuit, prin apăsarea unei anumite

taste. Această tastă (care implicit este *Space*) se stabilește prin indicarea unui nume în câmpul *Value* din caseta *Component Properties*.



**Rezistorul** - este elementul fizic definit printr-o rezistență electrică  $R$ ; el se caracterizează prin proprietatea sa de a se "împotrivi" trecerii curentului electric, de a opune o anumită rezistență parcurgerii sale de către acest curent.

Rezistența electrică a unui rezistor se calculează cu o formulă care cuantifică influența temperaturii ambiante asupra rezistivității unui material:

$$R = R_0 \cdot [1 + TC_1 \cdot (T - T_0) + TC_2 \cdot (T - T_0)^2], \quad \text{unde}$$

$R$  = rezistența rezistorului

$R_0$  = rezistența la temperatura  $T_0$

$T_0$  = temperatura normală ( $27^\circ\text{C}$  = constantă)

$TC_{1,2}$  = coeficientul de temperatură de ordinul 1, respectiv 2

$T$  = temperatura rezistorului

În mod implicit, se consideră că valoarea rezistenței nu este influențată de temperatură, adică avem de-a face cu cazul ideal în care coeficienții  $TC_{1,2}$  sunt zero, iar temperatura de lucru a rezistorului este cea normală ( $27^\circ\text{C}$ ). În acest caz, valoarea rezistenței  $R$  este egală cu  $R_0$  (aceasta din urmă fiind, de fapt, valoarea specificată în câmpul *Value* din caseta *Component Properties*).



**Potențiometrul** - un tip special de rezistor, a cărui rezistență poate fi modificată în timp real, în timpul funcționării. În câmpul *Value* din caseta *Component Properties* se poate regla valoarea rezistenței totale a potențiometrului, valoarea inițială (sub formă procentuală) precum și incrementul (tot sub formă procentuală).

În același timp, este necesară identificarea unei taste (de la A la Z), folosită pentru controlarea ulterioară a rezistenței potențiometrului. Astfel, pentru a scădea valoarea rezistenței, se apasă tasta stabilită (implicit, aceasta este *R*), iar pentru mărirea acestei valori, se folosește combinația *Shift + Tasta stabilită* (implicit, deci, *Shift + R*).



**Condensatorul electric** - este un element pasiv de circuit care înmagazinează energia electrică sub forma câmpului electrostatic care se formează între armăturile sale. Condensatorul electric are o comportare diferită în curent alternativ față de curentul continuu. Astfel, el acumulează sarcinile electrice pe armăturile sale, împiedicând trecerea curentului electric continuu prin circuit, în timp

ce permite trecerea mai mult sau mai puțin atenuată (în funcție de valoarea capacității și a frecvenței semnalului), în cazul curentului alternativ.



**Condensatorul electrolitic** - un tip mai special de condensator, a cărui conectare în circuitul electric trebuie să respecte polarizarea armăturilor (armătura pozitivă este cea din partea stângă, notată cu +).



**Condensatorul electric variabil** - un condensator cu capacitate variabilă, a cărui mod de funcționare este foarte asemănător cu cel al potențiometrului.



**Bobina** - este un element de circuit care înmagazinează energia sub forma unui câmp electromagnetic rezultat prin modificarea valorii curentului care străbate bobina respectivă. Proprietatea acesteia de a se opune modificării curentului din circuit poartă denumirea de inductanță ( $L$ ), care se măsoară în *Henry*.



**Bobina cu inductanță variabilă** - funcționează practic identic cu o bobină clasică, având în plus posibilitatea de modificare a valorii inductanței. Utilizarea acestui element este asemănătoare cu cea a potențiometrului sau a condensatorului electric variabil.



**Transformatorul** - este un aparat a cărui funcționare se bazează pe fenomenul inducției electromagnetice, construit pentru a primi putere electrică în curent alternativ, sub o tensiune  $U_1$  și o intensitate  $I_1$  aplicată unui circuit numit primar și a o reda, cu aceeași frecvență, sub o tensiune  $U_2$  și o intensitate  $I_2$  la bornele unui circuit secundar. Raportul dintre tensiunea la bornele circuitului primar, respectiv ale circuitului secundar se numește *raport de transformare al transformatorului*.

Datorită limitărilor impuse de folosirea unei versiuni demonstrative a aplicației software, acest parametru se poate ajusta prin editarea manuală a fișierului ce conține modelul transformatorului.

Pentru simularea în condiții optime, ambele circuite (primar și secundar) ale unui transformator trebuie să aibă un punct de referință comun, care trebuie să fie legat la masă.



**Releul electromagnetic** - se prezintă funcțional sub forma unei înfășurări cu o anumită inductanță specificată, și care provoacă închiderea sau deschiderea unui contact electric în momentul în care este străbătută de un curent electric de o

anumită valoare. Contactul rămâne în această poziție până când curentul electric din înfășurare coboară sub o valoare limită (de prag), caz în care contactul revine la starea inițială.

### Diode semiconductoare



Figura 4 - Toolbar-ul Diodes (*Diode*)



**Dioda semiconductoare** - este un element activ de circuit caracterizat prin că faptul că, în cazul polarizării directe, permite trecerea foarte ușoară a curentului electric prin circuit, respectiv blochează fluxul de electroni în condițiile polarizării inverse. Modificarea caracteristicilor sale se poate realiza prin editarea manuală (cu un editor de texte) a fișierelor din bibliotecile de modele existente.



**Dioda luminescentă (LED)** - o diodă care are proprietatea de a emite radiații luminoase în spectrul vizibil, atunci când se găsește în stare de conducție.



**Dioda stabilizatoare de tensiune (dioda Zenner)** - diodă specială, folosită în principal în montajele stabilizatoare de tensiune.



**Puntea redresoare** - această componentă folosește patru diode dispuse în punte pentru a realiza o redresare completă (a ambelor alternanțe) a unui semnal alternativ. Tensiunea alternativă se aplică pe o diagonală a punții (cea orizontală, în cazul de față), iar tensiunea redresată se culege de pe cealaltă diagonală.

### Tranzistoare

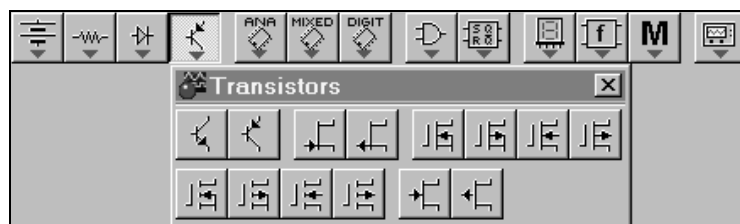


Figura 5 - Toolbar-ul Transistors (*Tranzistoare*)



**Tranzistorul bipolar** - este o componentă semiconductoare activă de

circuit cu două joncțiuni și trei terminale (numite B-bază, C-colector și E-emitor). Terminalul cu săgeată este emitorul, iar cel situat în plan vertical și simetric emitorului este colectorul.

După tipul zonelor semiconductoare din structura lor, tranzistorii sunt de două feluri: *npn* și *pnp*. Ambele funcționează principial identic, dar tensiunile aplicate au polarități diferite. Se poate spune că un tranzistor este, practic, un amplificator: cu valori relativ mici ale curentului din circuitul de intrare se pot comanda curenți foarte mari în circuitul de ieșire.

Tranzistoarele pot opera în trei modalități distincte, în funcție de terminalul care este comun atât circuitului de intrare, cât și celui de ieșire: cu bază comună, cu colector comun, respectiv cu emitor comun. Fiecare dintre aceste moduri de funcționare au impedanțe de intrare și de ieșire diferite, precum și factori de amplificare neidentici, oferind avantaje specifice, în funcție de problema dată.



**Tranzistorul cu efect de câmp** - este un tranzistor unipolar, controlat prin tensiune, care folosește un câmp magnetic indus pentru a controla curentul din circuitul de ieșire.

**Circuite integrate analogice (amplificatoare operaționale)**



Figura 6 - Toolbar-ul “Analog Integrated Circuits” (*Circuite integrate analogice*)



**Amplificatorul operațional** - este un circuit amplificator cu impedanță de intrare și câștig de tensiune de valori ridicate, în condițiile unei impedanțe de ieșire mici, destinat să lucreze în circuite cu reacție (cu buclă închisă). Sunt disponibile amplificatoare operaționale cu trei, cinci, șapte și respectiv nouă terminale de intrare.

**Circuite logice**

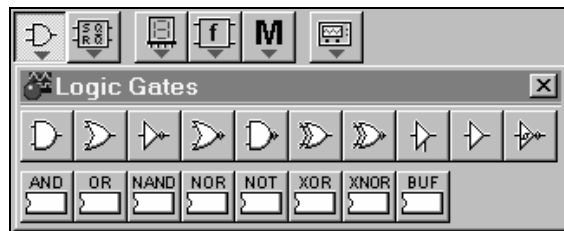


Figura 7 - Toolbar-ul Logic Gates (*Porți logice*)





**Circuitul logic ȘI** - execută operația logică conjunctivă, notată cu "SI" sau ".": în cazul în care toate intrările sunt adevărate (*True*), ieșirea este adevărată; în caz contrar, la ieșire se obține valoarea *False*.



**Circuitul logic SAU** - execută operația logică disjunctivă (SAU), notată cu "+": dacă cel puțin una dintre intrări are valoarea de adevăr *True*, atunci la ieșire obținem tot *True*. În cazul în care ambele intrări sunt *False*, la ieșire vom avea aceeași valoare de adevăr *False*.



**Circuitul logic NU** - realizează funcția logică de negare (inversare): dacă la intrare avem valoarea de adevăr *True*, la ieșire vom obține *False*, iar dacă la intrare intrarea este falsă, la ieșire vom obține un semnal cu valoare logică adevărată.

### Elemente de indicare și măsurare



Figura 8 - Toolbar-ul "Indicators" (*Elemente de indicare*)



**Voltmetrul** - instrument utilizat pentru măsurarea diferenței de potențial dintre două puncte ale unui circuit. Se pot măsura atât tensiuni continue (DC), cât și alternative AC (caz în care este afișată o valoare efectivă a acesteia), și, deasemenea, se poate regla valoarea rezistenței interne a voltmetrului. Latura înnegrită a voltmetrului indică borna negativă. Într-un circuit pot fi folosite oricâte voltmetre.



**Ampermetrul** - aparat de măsură cuplat în serie într-un circuit a cărui intensitate a curentului electric se dorește a fi măsurată. Se poate folosi atât în cazul circuitelor în curent continuu, cât și a circuitelor în curent alternativ (în acest caz va indica valoarea efectivă a curentului). Asemeni voltmetrului, latura înnegrită indică borna negativă. Dacă este necesar, valoarea rezistenței interne se poate modifica. Într-un circuit, este permis a se utiliza un număr nelimitat de ampermetre.



**Lampa incandescentă (becul)** - este un component rezistiv, care disipă energia sub formă de radiații luminoase. Se pot indica valorile puterii becului,

respectiv ale tensiunii maxime la care acesta lucrează; depășirea oricăruia dintre acești doi parametri duce la distrugerea becului. În cazul circuitului în curent alternativ, tensiunea la care rezistă lampa este dată de valoarea maximă a tensiunii instantanee din circuit, și nu de valoarea efectivă a acesteia.



**Lampa de probă** - este echivalentă unei diode luminescente (LED) și luminează în momentul în care o tensiune (semnal) ajunge la terminalul de intrare. Are avantajul că nu necesită existența altor elemente de circuit (rezistoare) sau legarea la masă. Poate fi folosită în cazul circuitelor logice, pentru determinarea valorii de adevăr a semnalelor de ieșire.

### Diverse



Figura 9 - Toolbar-ul Miscellaneous (*Diverse*)



**Siguranța fuzibilă** - componentă a unui circuit electric destinată protecției acestuia la scurtcircuite sau suprasarcini. În cazul în care curentul dintr-un circuit (alternativ sau continuu) depășește o anumită valoare limită (și care este modificabilă), siguranța se topește și întrerupe circuitul.



**Unitatea de stocare** - această componentă permite salvarea rezultatelor unei simulări într-un fișier ASCII. Vor fi notate timpul (timpul de simulare, și nu cel real) și potențialele nodurilor la care este legat. Numerotarea terminalelor este indicată de săgeată (terminalul 1 în partea superioară, iar ultimul - cu numărul 8 - în partea inferioară). Numele fișierului în care se salvează aceste informații se poate modifica.



**Motorul de curent continuu** - este un model ideal universal de motor care funcționează în curent continuu și care poate fi utilizat cu succes în studiul comportării unui motor electric cu excitație în serie, în paralel sau separată. Tipul de excitație este determinat de modul în care se interconectează terminalele statorului, respectiv rotorului.

Mărimea de ieșire a motorului este turația acestuia, exprimată în rotații/minut, și care poate fi măsurată prin cuplarea unui voltmetru sau osciloscop la terminalul

nr.5 (linia care corespunde rotorului motorului).

### Instrumente de măsurare și vizualizare



Figura 10 - Toolbar-ul "Instruments" (*Instrumente de măsurare*)



**Multimetru** - instrument folosit pentru măsurarea (în regim continuu sau alternativ) a tensiunilor, curenților, rezistenței sau pierderilor de semnal (măsurate în dB) dintre două puncte ale unui circuit. Multimetru este auto-scalabil, astfel încât nu este necesară indicarea prealabilă a unui domeniu de măsurare. Valorile interne ale rezistenței și ale curentului sunt setate pe valori apropiate de ideal, dar pot fi modificate (butonul *Settings*).



**Generatorul de semnal** - este o sursă de tensiune care poate genera semnale de formă sinusoidală, triunghiulară, respectiv treaptă. Se pot controla forma semnalului, frecvența, amplitudinea, perioada de lucru, respectiv deviația semnalului față de linia de nul.

Plaja de frecvențe este suficient de mare pentru a putea folosi generatorul de semnal inclusiv la testarea circuitelor audio și radio frecvență.



**Osciloscopul** - este aparatul de măsură cel mai utilizat în electronică. Cu ajutorul lui se pot vizualiza formele de undă ale diferitelor semnale electrice, având totodată posibilitatea măsurării parametrilor acestora (amplitudinea, respectiv perioada). Osciloscopul poate afișa concomitent două semnale, folosind cele două canale disponibile: *Channel A* și *Channel B*.

Principalele mărimi care se pot modifica sunt:

- **Time base** - baza de timp [*secunde/diviziune*] - reglează scara de afișare de-a lungul axei orizontale a osciloscopului; cu cât frecvența semnalului este mai mare, cu atât baza de timp trebuie să fie mai mică.
- scara de afișare pe verticală a semnalului [*volți/diviziune*] pentru fiecare canal dintre cele două canale în parte.
- **Y position** - poziția originii semnalului afișat față de axa orizontală de referință,

pentru fiecare canal în parte.

- modul de cuplare al osciloscopului (**AC**, **0**, **DC**) - permite selectarea pentru fiecare canal în parte a modului de cuplare
  - **AC** : este afișată doar componenta alternativă a semnalului
  - **DC** : este afișată suma componentei continue și a celei alternative (semnalul complet)
  - **0** : este afișat un semnal de referință, la nivelul originii fixate în caseta "Y position"

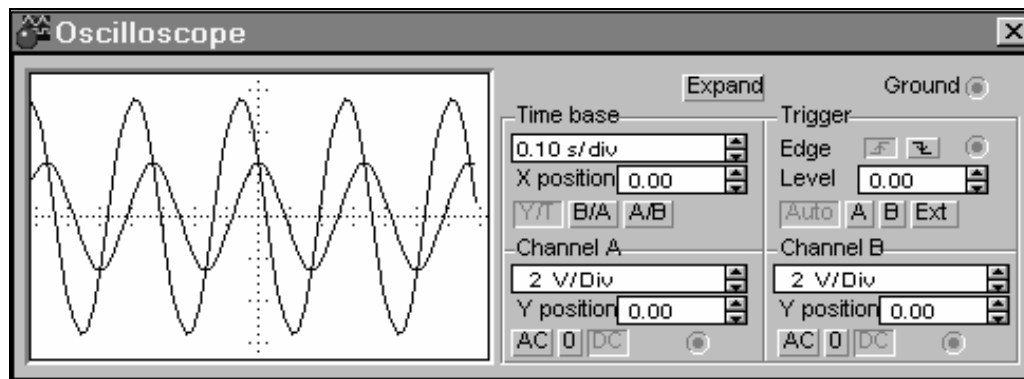


Figura 11 - Aspectul osciloscopului (în forma minimizată)