



CLUJ-NAPOCA
2000

ANALIZA SEMNALELOR CU PSPICE

Editura Albastră



Coordonator serie
Smaranda Derveșteanu

Tehnoredactare computerizată
Codruța Poenaru

Coperta
Liviu Derveșteanu

Tiraj
500 exemplare

Tipărit
EDITURA ALBASTRĂ
comanda 79 / 2000

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE	5
1. INTRODUCERE ÎN PSPICE	7
2. ANALIZA SPECTRALĂ A SEMNALELOR PERIODICE	17
2.1. Breviar de calcul	17
2.2. Probleme rezolvate.....	19
3. ANALIZA SPECTRALĂ A SEMNALELOR NEPERIODICE	79
3.1. Breviar de calcul	79
3.2. Probleme rezolvate.....	81
4. SEMNALE MODULATE	142
4.1. Breviar teoretic.....	142
4.1.1. Modulația în amplitudine (M.A.)	143
4.1.1.1. Semnalul modulator este un semnal sinusoidal	143
4.1.1.2. Semnalul modulator este o sumă de semnale sinusoidale.....	144
4.1.2. Modulația în frecvență (M.F.).....	145
4.1.2.1. Modulația în frecvență (M.F.) de bandă îngustă	146
4.1.2.2. Modulația în frecvență (M.F.) de bandă largă.....	147
4.1.3. Modulația în fază (M. Φ . sau M.P.)	148
4.2. Probleme rezolvate.....	149
5. SIMULATORUL PSPICE	167
5.1. Instrucțiuni de descriere a componentelor.....	167
5.2. Instrucțiuni de comandă	176
BIBLIOGRAFIE	182

Mulțumim colegelor și colegilor din Catedra Electronică și Informatică a Academiei de Aviație și Apărare Antiaeriană "Henri Coandă", îndeosebi doamnei E. L. Bidu și domnului G. C. Constantinescu, pentru sprijinul acordat, precum și studenților noștri care au avut răbdarea să testeze exemplele, încurajându-ne în efortul nostru.

De asemenea, aducem mulțumiri editurii Casa de Editură Albastră și în special doamnei director Smaranda Derveșteanu, pentru calitatea și condițiile grafice deosebite în care a fost realizată această lucrare.

Brașov, ianuarie 2000

Autorii

1. INTRODUCERE ÎN PSPICE

Simulatorul *PSpice* ce cuprinde următoarele componente: *Probe*, *Schematics*, reprezintă un puternic instrument de lucru pentru ingineri, studenți și inițiați în electronică.

Analiza cu **PSPICE** prezintă două variante de lucru:

1. Prima variantă constă în scrierea unui program într-un editor de texte (recomandăm utilizarea editorului *Notepad* din **Windows**), program ce descrie circuitul de analizat, și apoi interpretarea lui de către *Pspice*. Vizualizarea rezultatelor se realizează prin intermediul utilitarului *Probe*.
2. A doua variantă constă în desenarea directă a circuitului de analizat în *Schematics*.

a. Simularea circuitelor prin scrierea programului în *Notepad*

Când se începe o sesiune de lucru în *Pspice*, este bine să se lanseze toate programele de care este nevoie (*Notepad*, *Pspice*, *Probe*) evitând astfel reîncărcarea lor în memorie de fiecare dată când sunt necesare.

Înainte de crearea fișierului de intrare, se impune desenarea schemei complete a circuitului ce va fi analizat, precum și marcarea tuturor nodurilor. Nodul *zero(0)* - de obicei punctul de masă - trebuie să apară obligatoriu pe circuit, deoarece este considerat de simulator ca referință. Celelalte noduri este bine să le notăm cu cifre (se poate și cu litere) în ordine crescătoare de la stânga spre dreapta. Desenarea circuitului precum și notarea nodurilor ajută foarte mult în momentul în care se descrie circuitul și în momentul în care se vizualizează semnalele (în *Probe* se pot vizualiza doar tensiunile dintre un anumit nod și nodul zero).

Unitățile de măsură considerate implicit de *Pspice* sunt următoarele: *volt*, *amper*, *ohm*, *farad*, *henry* și *watt*. Factorii de scală acceptați sunt prezentați în Tabelul 1.1.

Simbol	Factor de scară	Denumire
F	10^{-15}	femto-
P	10^{-12}	pico-
N	10^{-9}	nano-
U	10^{-6}	micro-
M	10^{-3}	mili-
K	10^{+3}	kilo-
MEG	10^{+6}	mega-
G	10^{+9}	giga-
T	10^{+12}	tera-

Fișierul de intrare este alcătuit dintr-un set de instrucțiuni utilizate pentru analiza circuitelor. *Pspice* nu face diferența între literele mari și cele mici. Spațiile sunt echivalente cu TAB, paranteze rotunde, semne de egalitate și virgule. Dacă o linie de program este mai lungă decât optzeci de caractere, sau se dorește scrierea ei pe mai multe rânduri, se poate continua pe rândul următor la începutul acestuia plasându-se obligatoriu semnul plus (+).

Un program de analiză cuprinde:

- *o instrucțiune titlu* – ce se scrie obligatoriu pe primul rând al paginii; prima linie a programului este interpretată implicit ca instrucțiune Titlu;
- *o instrucțiune de comentariu* – ce începe obligatoriu cu simbolul asterisc (*);
- *instrucțiuni de descriere a componentelor* – ce încep cu numele componente care are ca prim simbol o literă specifică;
- *instrucțiuni de comandă* – ce încep obligatoriu cu simbolul punct (.);
- *instrucțiunea de sfârșit* – .END.

Prima instrucțiune este obligatoriu una de titlu, iar ultima una de sfârșit, în rest necontând ordinea lor (este totuși preferabil pentru o mai bună citire a programului să se urmeze ordinea de mai sus).

După scrierea programului (în *Notepad*) acesta trebuie salvat (de preferință într-un director propriu), urmărind algoritmul:

Notepad : **File** → **Save As**, sub numele **NUME.CIR** (numele este facultativ, dar extensia **.CIR** este obligatorie, ea transformând înșiruirea de caractere alfanumerice scrise în *Notepad* într-un fișier de intrare pentru *Pspice*).

Pentru a deschide un asemenea fișier, se urmărește algoritmul:

Notepad : **File** → **Open** → **Files of type** → **All Files** → se selectează fișierul **NUME.CIR** → **OPEN** → Se deschide fișierul **NUME.CIR**.

Analiza fișierului scris în *Notepad* se face prin simulatorul *Pspice* urmărind algoritmul:

Pspice : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.CIR** → **OPEN** → Mesaj de sfârșit a analizei.

Se creează, (sfârșitul analizei este semnalizată atât optic cât și sonor) un fișier de ieșire **NUME.OUT** plasat în același director ca și fișierul **NUME.CIR**.

Examinarea fișierului **NUME.OUT** se poate face doar prin intermediul editorului *Notepad* urmărind algoritmul:

Notepad : **File** → **Open** → **Files of type** → **All Files** → se selectează fișierul **NUME.OUT** → **OPEN** → Se deschide fișierul **NUME.OUT**.

În acest fișier se găsesc rezultatele analizelor făcute asupra circuitului, cerute prin intermediul instrucțiunilor de comandă.

În cazul în care simulatorul *Pspice* sesizează greșeli în fișierului scris în *Notepad* acest lucru este de semnalat în fișierul **NUME.OUT** (**Atenție!**: se semnalează doar erori de sintaxă, de descriere a circuitului și de neconvergență matematică – iterațiile succesive nu converg către o soluție, analiza fiind abandonată – **nu** și erori de funcționare a circuitului – de exemplu un amplificator cu T.B. de joasă putere poate fi alimentat la tensiuni de ordinul sutelor de volți fără ca *Pspice* să se “revolte”). Modificările aferente ce trebuie făcute, se efectuează în fișierul **NUME.CIR**. După modificarea fișierului acesta este salvat, urmărind algoritmul:

Notepad : **File** → **Save**

Noul fișier se plasează peste cel vechi. Acest fișier va fi apoi din nou “rulat”, până nu vor mai fi erori. În cazul în care se dorește să se modifice un fișier scris în *Notepad*, după care se dorește păstrarea ambelor fișiere, ultimul se salvează, urmărind algoritmul:

Notepad : **File** → **Save As**, sub numele **ALT NUME.CIR**

Pentru a putea folosi utilitarul *Probe*, este necesar ca în fișierul scris în *Notepad* să existe instrucțiunea de comandă **.PROBE**. În acest caz avem posibilitatea de a vizualiza pe ecranul calculatorului a semnalelor din circuitul de analizat, practic utilitarul *Probe* îndeplinind rolul unui osciloscop. În această

situație se va crea un nou fișier cu același nume ca acela scris în *Notepad*, plasat în același director, dar cu extensia **.DAT**.
 Respect pentru oameni și cărți

În concluzie, în directorul personal trebuie să existe următoarele fișiere:

- **NUME.CIR** ce conține instrucțiunile scrise în *Notepad* și care poate fi deschis doar prin *Notepad*;
- **NUME.OUT** ce conține informațiile obținute în urma analizei circuitului solicitat prin instrucțiunile de comandă; acest fișier se poate deschide doar prin *Notepad*;
- **NUME.DAT** ce conține datele necesare utilitarului *Probe*.

Analiza cu utilitarul *Probe* se face cu comanda **Open** din meniul **File**, deschizându-se fișierul **NUME.DAT**. Pentru a obține formele de undă dorite, se urmărește algoritmul:

Probe : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.DAT** → **OPEN** → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalele alese pentru vizualizare → **OK**.

Facilitățile oferite de acest utilitar sunt destul de multe ele putând fi decoperite fie cu răbdare studiind meniurile acestuia, fie apelând la [5]. Enumerăm totuși câteva dintre ele:

- pentru a vizualiza mai multe mărimi pe grafice diferite dar ce apar pe același ecran, se urmărește algoritmul:

Probe : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.DAT** → **OPEN** → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalul ales pentru vizualizare ce va fi plasat pe graficul 1 → **OK** → **Plot** → **Add Plot** → Apare un nou sistem de axe → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalul ales pentru vizualizare ce va fi plasat pe graficul 2 → **OK**.

- pentru a avea două axe verticale câte una pentru fiecare mărime (de exemplu pentru o tensiune gradată în volți și pentru un curent, gradată în amperi), se urmărește algoritmul:

Probe : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.DAT** → **OPEN** → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalul ales pentru vizualizare ce va fi plasat pe graficul 1 → **OK** → **Plot** → **Add Y Plot** → Apare o nouă axă Y → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalul ales pentru vizualizare ce va fi

plasat pe graficul 1, corespunzându-i axa Y situată în dreapta ecranului → **OK**.

- pentru a obține o reprezentare grafică directă a analizei Fourier (transformata Fourier a semnalului reprezentat în timp), se urmărește algoritmul:

Probe : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.DAT** → **OPEN** → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalele alese pentru vizualizare, obținându-se variațiilor în timp → **OK** → **Plot** → **X Axis Settings Trace** → se setează opțiunea **Fourier** → **OK**.

- pentru a modifica domeniul de valori pe care îl poate lua mărimea de pe axa X, se urmărește algoritmul:

Probe : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.DAT** → **OPEN** → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalele alese pentru vizualizare → **OK** → **Plot** → **X Axis Settings Trace** → se setează opțiunea **User Defined**, marcându-se apoi valoarea inițială și finală a acesteia → **OK**

- pentru a găsi coordoatele unor valori reprezentate grafic, se urmărește algoritmul:

Probe : **File** → **Open** → se selectează fișierul **NUME.DAT** → **OPEN** → **Trace** → **Add** → Se selectează semnalul ales pentru vizualizare → **OK** → **Tools** → **Cursor** → **Display**.

Va apărea un cursor care poate fi deplasat pe curbă ținând apăsat butonul din stânga mouse-ului.

Coordonatele punctului de pe cursor sunt indicate într-o casetă plasată în partea stânga, jos a graficului.

Pentru a plasa cursorul în unul din punctele particulare ale graficului se procedează astfel:

.... **Tools** → **Cursor** → **Max**
 Valoarea maximă a graficului.

.... **Tools** → **Cursor** → **Min**
 Valoarea minimă a graficului.

.... **Tools** → **Cursor** → **Peak**
 Următoarea valoare de vârf a curbei din punctul în care se afla cursorul în momentul în care s-a ales această opțiune – se poate

“merge” astfel din vârf în vârf.

Respect pentru **Tools** → **Cursor** → **Trough**

Următoarea valoare de minim a curbei din punctul în care se afla cursorul în momentul în care s-a ales această opțiune.

- pentru inscripționarea curbei se procedează astfel:

.... **Tools** → **Label** → alegându-se apoi setarea dorită (**Text** **Mark**)

- pentru a renunța la cursor se procedează astfel:

.... **Tools** → **Cursor** → **Display**.

b. Simularea circuitelor prin utilizarea programului *Schematics*

Programul *Schematics* este un editor grafic de circuite care permite utilizatorului să-și deseneze circuitul într-o formă adecvată analizei *Pspice*. Se observă că făcând analogia cu analiza obținută prin scrierea programului în *Notepad*, de data aceasta nu vom mai descrie circuitul ci pur și simplu îl vom desena.

Pentru a desena circuitul, se urmărește algoritmul:

Schematics : **File** → **New**

Se observă că zona disponibilă desenului este marcată cu o rețea de puncte, pentru ușurința plasării componentelor.

Pentru a plasa componentele schemei, se urmărește algoritmul:

Schematics : **Draw** → **Get New Part** → **Browse**

Se deschide o fereastră - **Get part** -, aceasta având în partea dreaptă o listă cu bibliotecile (cataloge) disponibile - **Library** - iar în partea stângă o listă cu componentele conținute în biblioteca aleasă - **Part**.

Spre exemplu pentru a plasa un rezistor în schemă se procedează astfel:

În fereastra **Get part** se selectează biblioteca aferentă componentelor pasive (**analog.slb**), iar din lista - **Part** - din stânga, se alege rezistorul **R**. După comanda **OK** cursorul se transformă în simbolul rezistorului. Această componentă poate fi plasată oriunde pe suprafața de lucru, iar după poziționarea ei, fixarea rezistorului pe ecran se face printr-un simplu clic cu stânga mouse-ului. În acest mod se pot aduce pe ecran toate elementele constitutive ale schemei. Spre exemplu sursele de semnal se găsesc în biblioteca **source.slb**, componentele active în biblioteca **eval.slb** iar punctul de masă al circuitului (ce

trebuie obligatoriu plasat în orice schemă) se găsește în biblioteca **port.slb** sub denumirea **AGND**. Dacă nu mai este nevoie de alte componente ale schemei, comanda **Get New Part** se dezactivează cu un clic pe butonul din dreapta a mouse-ului.

Pentru a deplasa, copia, roti...o componentă a schemei se apelează la tehnici cunoscute din interfața grafică **Windows** (Se selectează componenta respectivă – printr-un clic cu stânga mouse-ului. În acest moment componenta respectivă își schimbă culoarea în roșu. Apelând meniul **Edit** se pot face toate schimbările dorite).

Pentru a interconecta componentele schemei între ele, conductorul de legătură este adus pe ecran, urmărind algoritmul:

Schematics : **Draw** → **Wire** cursorul transformându-se într-un creion.

Cu un clic pe butonul stâng se marchează punctul de început al traseului. Deplasând cursorul se observă că legătura este trasată temporar cu linie punctată. Marcarea punctului de sfârșit al traseului se face cu un clic pe butonul din stânga. Dacă se dorește schimbarea direcției traseului cu 90^0 se execută un clic în acel punct, continuându-se traseul în direcția dorită.

În cazul în care se dorește schimbarea traseului cu un unghi diferit de 90^0 , se urmărește algoritmul:

Schematics : **Configure** → **Display Options** → din fereastra **Options** se desetează căsuța corespunzătoare opțiunii **Orthogonal**.

Dacă după realizarea unei conexiuni se dorește să se treacă la o altă legătură într-o altă parte a schemei se apasă tasta **Space** și se deplasează cursorul (creionul) în regiunea dorită (deplasarea are loc fără trasarea conexiunii). Dezactivarea comenzii de trasare a conexiunilor se face cu un clic pe butonul din dreapta.

Pentru a defini sau atribui valorile cerute tuturor componentelor din schemă se procedează astfel:

Schematics : se selectează componenta corespunzătoare (culoarea se schimbă în roșu) → **Edit** → **Attributes** → se realizează modificările necesare → **Save Attr.** → **OK**

Observație:

În fereastra de modificare a valorilor se poate ajunge și cu un dublu clic pe butonul stâng al mouse-ului, pe componenta aleasă.

Parametrii surselor de semnal sunt echivalenți cu cei folosiți la scrierea fișierului în *Notepad*.

Modificarea valorilor componentelor (sau a denumirii lor) se poate face cu un dublu clic pe butonul stâng al mouse-ului, fie pe valoarea lor fie pe numele lor.

Este recomandabil să se noteze nodurile schemei. Acest lucru se poate realiza notând unul din traseele ce ajunge în acel nod. Se selectează traseul, pentru ca apoi printr-un dublu clic pe butonul din stânga mouse-ului se deschide o fereastră în care se notează numărul aferent nodului. De obicei masa se va nota cu cifra zero.

După desenarea schemei aceasta trebuie salvată (de preferință într-un director propriu), urmărind algoritmul:

Schematics : **File** → **Save As**, sub numele **NUME.SCH** (numele este facultativ, dar extensia **SCH** este obligatorie, ea transformând desenul într-o formă interpretabilă de către *Schematics*).

Analiza programului ce apare sub forma unei scheme se poate realiza cu ajutorul lui *Pspice* urmărind algoritmul:

Schematics : **Analysis** → **Run Pspice** → Mesaj de sfârșit a analizei.

Se creează un fișier de ieșire **NUME.OUT** plasat în același director ca și fișierul **NUME.SCH** ce poate fi analizat astfel:

Schematics : **Analysis** → **Examine Output**

În cazul existenței unor greșeli este indicată atât natura cât și locul unde se află în schemă. După corectarea acestora programul trebuie din nou salvat și analizat (**Run Pspice**).

În ipoteza în care nu apar erori, vizualizare a semnalele dorite se realizează prin intermediul utilitarul *Probe* (a cărui facilități le-am descris la pct.a). Lansarea acestui utilitar se realizează automat după analiza circuitului, dacă există această facilități, ce se poate introduce urmărind algoritmul:

Schematics : **Analysis** → **Auto run Probe** → se setează comanda **Automatically Run Probe After Simulation** → **OK**

Pentru a specifica ce analiză dorim să facem asupra circuitului, înainte de a da comanda de analiză a circuitului, se dau următoarele comenzi:

Schematics : **Analysis** → **Setup** (această comandă este echivalentă unor instrucțiuni de comandă din fișierul scris în *Notepad*) → din cele douăsprezece posibilități se aleg cele necesare studiului, prin bifarea etichetei (**Enable**) corespunzătoare și prin precizarea parametrilor de studiu → **OK**

Vom prezenta spre exemplificare modul în care se realizează o analiză tranzitorie (variația semnalelor în timp):

Schematics : **Analysis** → **Setup** → **Analysis Setup** → se bifează eticheta din dreptul butonului **Transient** → se apasă butonul **Transient** → **Transient Analysis** → se specifică următorii parametrii: **Print Step** (pasul de calcul) și **Final Time** (momentul final al analizei).

ATENȚIE!

Valoarea acestor parametri trebuie corelată cu cea a parametrilor eventualelor surse de semnal ce apar în schemă.

Dacă este cazul se bifează și următoarele etichete: **Detailed Bias Pt.** și **Use Init. Conditions**, ultima, având importanță dacă se dorește ca în analiza efectuată să se țină seama de condițiile inițiale (de exemplu la studierea unui circuit basculant astabil C.B.A. acest lucru este important) → **OK** → **OK**

În cazul în care se dorește o analiză spectrală, algoritmul este următorul:

Schematics : **Analysis** → **Setup** → **Analysis Setup** → se bifează eticheta din dreptul butonului **Transient** → se apasă butonul **Transient** → **Fourier Analysis** → se setează eticheta **Enable Fourier** și se specifică următorii parametrii: **Center Frequency**, **Number of Armonics**, **Output Vars.** → **OK** → **OK**

Observație:

Se poate observa analogia între aceste ultime două comenzi și instrucțiunile **TRAN** și **FOUR** utilizate la scrierea fișierului în *Notepad*.

În concluzie în directorul personal trebuie să existe următoarele fișiere:

- **NUME.SCH**
 Conține desenul circuitului într-o formă interpretabilă de *Schematics*.
- **NUME.NET**, (fișier de legături)
 Conține lista componentelor, valoarea acestora precum și nodurile între care sunt interconectate și care poate fi deschis din meniul **Analysis** cu comanda **Examine Netlist**.