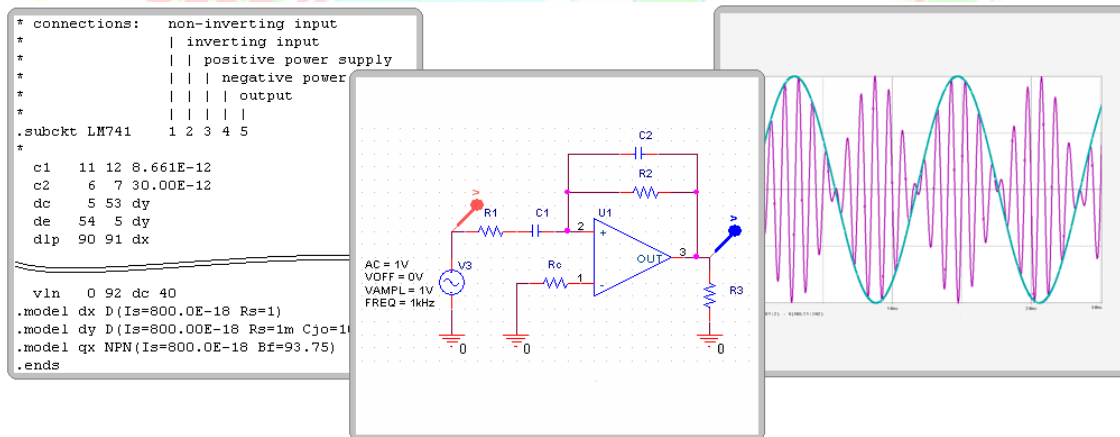


Gheorghe PANĂ

Marius Cătălin CARP



Tehnici de simulare

Aplicații în ingineria electrică și electronică

ISBN 978-973-598-991-0

Editura Universității Transilvania din Brașov

2011

© 2011 EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: 500091 Brașov,
B-dul Iuliu Maniu 41A
Tel:0268 – 476050
Fax: 0268 476051
E-mail : editura@unitbv.ro

Toate drepturile rezervate

**Editură acreditată de CNCSIS
Adresa nr.1615 din 29 mai 2002**

**Referenți științifici: Prof. dr. ing. Ioan OLTEAN
Conf. dr. ing. Carmen GERIGAN**

Tehnoredactare: Autorii

Corectură: Autorii

Copertă: Autorii

ISBN 978-973-598-991-0

Cuprins

Introducere.....	6
1. Noțiuni generale	7
2. Descrierea tip text a circuitelor	11
2.1 Descrierea componentelor.....	11
2.2 Inserarea comentariilor.....	11
2.3 Instrucțiunile.....	11
2.4 Factorii de scală	12
2.5 Reguli de descriere a elementelor de circuit	12
2.6 Descrierea elementelor de circuit cu două terminale.....	15
2.6.1 Rezistoare	16
2.6.2 Condensatoare	16
2.6.3 Bobine	16
2.6.4 Surse de polarizare și de semnal independente	17
2.6.5 Diode.....	17
2.7 Elemente de circuit cu mai mult de două terminale.....	18
2.7.1 Bobine cuplate	18
2.7.2 Surse comandate	18
2.7.2.1 Surse de tensiune comandate în tensiune	19
2.7.2.2 Surse de curent comandate în curent	19
2.7.2.3 Surse de curent comandate în tensiune	19
2.7.2.4 Surse de tensiune comandate în curent	20
2.7.3 Comutatoare	20
2.7.4 Linii de transmisiune.....	20
2.7.5 Tranzistoare bipolare	21
2.7.6 Tranzistor cu efect de câmp cu grilă joncțiune (TEC-J)	22
2.7.7 Tranzistor cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor (TEC-MOS).....	22
2.8 Analize SPICE	23
2.8.1 Tipuri de analize	23
2.8.2 Rezultatul simulării și variabilele de ieșire	24
2.8.3 Parametrii analizei – temperatura	24
2.8.4 Simularea în c.c.	24
2.8.4.1 Determinarea punctului static de funcționare (PSF).....	24
2.8.4.2 Caracteristica de transfer în c.c.	26
2.8.4.3 Funcția de transfer	26

2.8.4.4	Analiza de senzitivitate	26
2.8.5	Inițializarea valorilor de potențiale din noduri	27
2.9	Aplicația 1 – funcția de transfer.....	27
2.10	Aplicația 2 – simulare în c.c. (.PRINT, .PLOT, .DC, .TF, .TEMP).....	28
2.11	Analiza în domeniul timp	30
2.11.1	Analiza tranzitorie.....	30
2.11.2	Analiza Fourier	31
2.12	Aplicația 3 – răspunsul în timp	31
2.13	Aplicația 4 – utilizarea condițiilor inițiale	33
2.14	Simularea în c.a.	34
2.14.1	Analiza în c.a. cu baleierea frecvenței	34
2.14.2	Vizualizarea rezultatelor	34
2.14.3	Analiza de zgomot	35
2.15	Aplicația 5 – analiza în c.a. cu baleierea frecvenței	35
2.16	Aplicația 6 – răspunsul în frecvență al modulului și fazei.....	37
2.17	Aplicația 7 – analiza de zgomot.....	38
3.	Descrierea grafică a circuitelor	40
3.1	Lansare Capture	40
3.2	Crearea unui proiect nou	40
3.3	Munca pe un proiect existent.....	41
3.4	Fereastra <i>Project Manager</i>	43
3.5	Plasarea componentelor	44
3.6	Plasarea alimentărilor și a masei.....	44
3.7	Plasarea legăturilor (firelor)	45
3.8	Modificarea referințelor și a valorilor de componente.....	45
3.9	Identificarea legăturilor prin Labels.....	45
3.10	Aplicația 8 – descrierea grafică a unui circuit simplu	46
3.11	Aplicația 9 – descrierea grafică a unui circuit complex	47
3.12	Aplicația 10 – descriere grafică și echivalare Thévenin - 1.....	49
3.13	Aplicația 11 – descriere grafică și echivalare Thévenin - 2.....	50
4.	Simularea în curent continuu	52
4.1	Aplicația 12 – simulare în c.c. completă	53
4.2	Aplicația 13 – funcția de transfer.....	60
5.	Simularea în curent alternativ	62
5.1	Aplicația 14 – simulare în c.a. cu baleierea frecvenței	63
5.2	Aplicația 15 – răspunsul în frecvență al unui filtru RIAA pasiv	67
5.3	Aplicația 16 – răspunsul în frecvență al unui corector de ton	68
6.	Simularea în domeniul timp.....	71
6.1	Analiza în domeniul timp	71

6.2	Aplicația 17 – forme de undă la un redresor monoalternanță	72
6.3	Aplicația 18 – forme de undă la un redresor dublă-alternanță	75
6.4	Aplicația 19 – răspunsul în timp al unui amplificator de semnal mic	76
7.	Simularea funcțională și ierarhică	79
7.1	Tipuri de descriere a circuitelor	79
7.2	Subcircuitul SPICE	79
7.3	Plasarea unui subcircuit în circuitul de nivel înalt	80
7.4	Aplicația 20 – utilizarea subcircuitelor	80
8.	Proiectarea și simularea cablajului imprimat	85
8.1	Încărcarea unui proiect existent	85
8.2	Aplicația 21 – pregătirea circuitului	86
8.3	Aplicația 22 – rutarea automată	91
8.4	Aplicația 23 – crearea de noi simboluri	95
8.5	Aplicația 24 – crearea de amprentă nouă	99
	Bibliografie	104

Introducere

Lucrarea se adresează, în principal, studenților de la programele de studii de Electronică Aplicată și Tehnologii și Sisteme de Telecomunicații dar poate fi utilizată, ca un ghid util de simulare a circuitelor proiectate, de către toți studenții de la programele de studii de profil electric.

Simularea comportării circuitelor electrice și electronice constituie un pas important în proiectarea acestor circuite deoarece permite verificarea proiectului înainte de realizarea lui practică și scurtarea timpului dintre proiectare și realizarea montajului pe placa de probă.

Lucrarea este structurată în opt capitole și cuprinde numeroase aplicații cu rol de exemple pentru prezentarea diferitelor aspecte ale tehnicilor de simulare a circuitelor electrice și electronice.

Aplicațiile dezvoltate se bazează pe pachetul de programe OrCAD Cadence și utilizează componentele: OrCAD Capture pentru desenarea schemelor, Pspice A/D pentru simularea SPICE și OrCAD Layout pentru proiectarea circuitelor imprimate.

Capitolul 1 prezintă aspecte generale legate de simulatoare de circuite, cu accent pe programul de simulare SPICE, devenit standard în simularea circuitelor electrice și electronice.

Capitolul al 2-lea se ocupă de descrierea tip text a circuitelor. Prezintă sintaxa de descriere a principalelor componente cu 2 terminale, a componentelor cu mai mult de 2 terminale și a principalelor analize SPICE.

În capitolul al 3-lea se prezintă cea de a doua modalitate de descriere a circuitelor și anume descrierea grafică prin desenarea lor. Cele două modalități de descriere a circuitelor sunt strâns legate între ele, deoarece chiar și în cazul descrierii grafice, programul de desenare și simulare creează un fișier text cu descrierea tip text a circuitului.

Următoarele 3 capitole prezintă cele trei tipuri importante de analize SPICE: în c.c., în c.a. și în domeniul timp.

Capitolul al 7-lea prezintă modul de realizare a subcircuitelor, rolul lor și modul lor de utilizare.

În ultimul capitol, se pune accent pe proiectarea cablajelor imprimate începând de la modul de trecere de la un circuit simulat în SPICE la cel pentru realizarea cablajului, continuând cu pregătirea cablajului în ceea ce privește unele proprietăți, realizarea de noi simboluri de componente pentru a le putea alocă amprente și crearea de noi amprente, pe baza foilor de catalog.

1. Noțiuni generale

Simulatorul de circuit este un program de calculator cu ajutorul căruia se poate prezice comportarea circuitelor reale. Componentele reale sunt înlocuite în simulare cu modele. Deoarece rezultatul simulării nu poate ține seama de toate procesele fizice din componente și elementele parazite ale cablajului imprimat (PCB - Printed Circuit Board), simularea va reflecta numai calitatea modelului utilizat. Din această cauză simularea nu poate substitui în întregime verificarea funcționării circuitului pe placa de probă. Pe de altă parte, simularea permite măsurarea curenților, tensiunilor și puterilor, care altfel sunt imposibil de determinat. Cele mai multe programe de uz general se bazează pe diverse versiuni de SPICE și pot lucra cu componente analogice, digitale și de semnal mixt. Programele comerciale includ desenarea schemei (așa numita captură de schemă), biblioteci de modele, afișarea de forme de undă și funcții de analiză.

În SPICE circuitele se reprezintă prin așa numita listă de conexiuni (netlist). Captura schemei permite desenarea circuitului și translatează automat schema în listă de conexiuni. Programele complete de proiectare și analiză sunt relativ scumpe. Proiectanții, care doresc simularea circuitelor fără să cumpere întregul pachet software, au la dispoziție trei variante:

- Varianta demo, limitată la circuite de dimensiuni mici și cu unele funcții dezactivate;
- Program tip „open source” cu suport tehnic minim sau deloc;
- Program furnizat de fabricantul de componente care este adecvat, de cele mai multe ori, doar pentru proiecte care conțin componentele fabricantului respectiv.

Programele de simulare pot fi realizate pentru analiza a trei tipuri importante de circuite electronice:

- circuite analogice, ca de exemplu programele fără licență *LTSpice*, *Tina-TI* și pachetul de programe, varianta demo, *OrCAD 16.5*;
- circuite digitale, ca de exemplu programele fără licență *CPUSim* sau *Logisim*;
- circuite care prelucrează semnale mixte, ca de exemplu programele fără licență *MicroCap 10*, *Proteus* sau *QUCS*.

Varietatea de programe este foarte mare. Utilizatorul va alege programul care îi este cel mai prietenos și ușor de învățat și aplicat. Principiile de lucru sunt foarte asemănătoare, indiferent de programul ales.

De importanță practică mare sunt programele de realizare a PCB-urilor. Aceste programe sunt, de cele mai multe ori, realizate doar pentru proiectarea cablajelor imprimate și obținerea fișierelor tehnologice pentru realizarea fizică a cablajelor. În această categorie se pot enumera programele fără licență *DesignSpark PCB*, *Eagle* sau *Target3001*!.

Puține firme își permit să aibă și colective puternice de realizare a componentei de simulare Spice din pachetul de programe. În această categorie se poate aminti programul fără licență *OrCAD 16.5* care conține cele trei componente importante: desenarea circuitului (*OrCAD Capture*), simularea circuitului desenat (*OrCAD Pspice*) și proiectarea cablajului imprimat (*OrCAD Layout*). Inițialele SPICE provin de la Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis, adică program de simulare cu precădere a circuitelor integrate.

Programul SPICE a fost realizat, inițial, pentru simularea funcționării circuitelor integrate, înainte de realizarea (“turnarea”) lor în siliciu dar el este un program foarte bun de simulare și a funcționării circuitelor electrice și electronice.

Programul SPICE a fost dezvoltat în Laboratorul de cercetări în electronică din cadrul Universității Berkeley din California, USA.

La începutul anilor 1970 a fost creat, mai întâi, programul CANCER (Computer Analysis of Non-Linear Circuits Excluding Radiation).

În anul 1972 este realizat SPICE 1 (scris în limbajul FORTRAN) și devine standard în industrie.

În anul 1975 este realizat SPICE 2 (scris tot în limbajul FORTRAN) și este pus la dispoziția publicului.

În anul 1985 apare varianta SPICE 3, rescris în limbajul de programare C.

În anii 1980 și mai târziu apar versiuni comerciale, ca de exemplu HSPICE, IS_SPICE și MICROCAP. Firma MicroSim realizează PSPICE, prima versiune SPICE pentru calculatoare personale (PC). Companiile integrează versiunile de SPICE în pachetele de programe de desenare a circuitelor (schematic capture) și de proiectare a cablajelor imprimate (layout).

Circuitele pot fi descrise în două moduri:

1. tip text prin linii succesive de text care conțin informația despre modul de interconectare a componentelor și despre tipurile de analiză realizate;
2. grafic prin desenarea lui.

Cum lucrează SPICE?

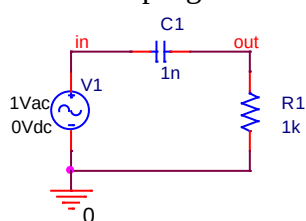
La pasul 1:

În descrierea tip text, utilizatorul introduce lista de conexiuni (netlist) și rezultă un fișier text cu extensia *.CIR;

În descrierea grafică se desenează schema cu ajutorul unor simboluri grafice iar apoi schema este convertită în listă de conexiuni.

Totdeauna “în spatele” unei scheme desenate se găsește descrierea sa tip text.

De exemplu, în cazul circuitului din fig. 1.1, a descrierea tip text, creată de simulatorul SPICE din pachetul de programe OrCAD, are forma din fig. 1.1, b.



a)

```
**** INCLUDING SCHEMATIC1.net ****
* source fig_1_1
V_V1      IN 0 DC 0Vdc AC 1Vac
C_C1      IN OUT 1n
R_R1      OUT 0 1k
```

b)

Fig. 1.1.

La pasul 2 are loc rularea simulării:

SPICE citește fișierul netlist și efectuează analizele cerute;

Rezultatele sunt puse într-un fișier tip text cu extensia *.OUT și/sau într-un fișier binar de date, având extensia *.DAT, atunci când urmează reprezentări grafice.

La pasul 3 se efectuează vizualizarea rezultatelor simulării:

- Sub formă de text în fișierul de ieșire care are extensia *.OUT;
- Sub formă grafică prin vizualizarea formelor de undă cerute și cuprinse în fișierele de tipul *.DAT. Etapa aceasta se mai numește și postprocesare grafică. Se poate spune că SPICE dispune de un “osciloscop soft” pentru vizualizarea formelor de undă.

În fig. 1.2 se prezintă schema logică după care SPICE realizează o analiză în timp.

Esența SPICE o constituie **analiza nodală** (blocurile 3 și 4 din fig. 1.2) realizată prin definirea matricei nodale și prin rezolvarea ecuațiilor nodale ale circuitului pentru tensiuni.

Buclo interioară (2 - 6) găsește soluția pentru **circuitele neliniare**. Dispozitivele neliniare se înlocuiesc prin modele echivalente liniare. Se efectuează mai multe **iterații** până când calculele **converge** spre o soluție.

Buclo exterioră (7 - 9), împreună cu bucla interioară, realizează o **analiză în timp** creând modele liniare echivalente pentru componentele acumulative de energie (capacitoare și inductive) și alegând cele mai bune puncte de timp.

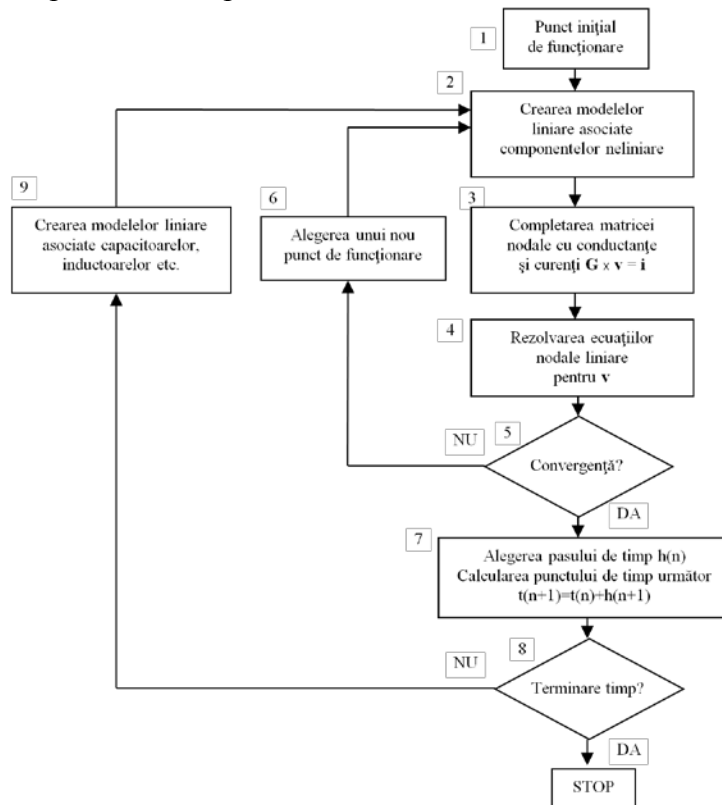


Fig. 1.2.

SPICE se bazează pe o analiză nodală.

Masa se notează cu 0 (zero) ca și valoarea potențialului masei într-un circuit.

Nodurile care se pot restrânge la unul singur au un singur nume (număr). De exemplu, în fig. 1.3 toate firele verticale se pot desena tip stea și pornesc dintr-un singur nod notat cu 1 pe fig. 1.3.

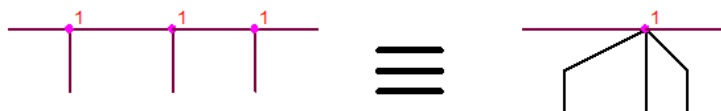


Fig. 1.3.

Punctul de înseriere a două componente se consideră nod și se numerotează. De exemplu în punctul de conexiune dintre sursa de semnal V_2 și condensatorul C_2 se pune nodul 2 (fig. 1.4):

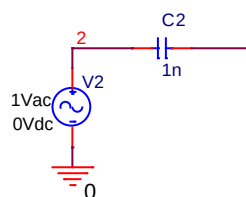


Fig. 1.4.

Componentele încep cu o literă caracteristică. În tabelul 1.1 se prezintă tipurile de componente și litera caracteristică lor:

Tabelul 1.1. Litera caracteristică diferitelor componente

Dispozitive pasive	Surse independente	Surse comandate	Comutatoare ideale	Dispozitive semiconductoare
R - rezistență	V – sursă de tensiune	E – sursă de tensiune comandată în tensiune	S – comutator controlat prin tensiune	D - diodă
C - condensator	I – sursă de curent	F – sursa de curent comandată în curent	W – comutator controlat prin curent	Q – tranzistor bipolar
L – bobină		G – sursa de curent comandată în tensiune		J – Tranzistor cu efect de câmp cu grilă joncțiune
K – cuplaj inductiv		H – sursă de tensiune comandată în curent		M – Tranzistor cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor
T – linie de transmisiune				B – Tranzistor cu efect de câmp GaAs

2. Descrierea tip text a circuitelor

Fișierul **sursă** sau de **intrare** este creat de utilizator la descrierea tip text a circuitului, are extensia *.CIR și este sub formă de text simplu, fără formătări speciale.

Prima linie este instrucțiunea de TITLU. Spre deosebire de celelalte tipuri de instrucțiuni, la cea de titlu nu trebuie pus punct în prima coloană.

Ultima linie din fișierul text este instrucțiunea de încheiere (.END).

Celelalte linii pot fi scrise în orice ordine. Pentru claritatea descrierii circuitului, se recomandă următoarea ordine în scrierea liniilor din fișierul de intrare:

- Descrierea componentelor pasive și active
- Descrierea surselor de alimentare și de semnal
- Instrucțiunile corespunzătoare analizelor

2.1 Descrierea componentelor

Descrierea componentelor se face cu ajutorul mai multor câmpuri.

Primul câmp începe cu litera caracteristică, urmată de un șir alfanumeric.

Urmează două sau mai multe câmpuri, care reprezintă nodurile în care se conectează componenta, după care urmează valoarea sau numele modelului.

Între câmpuri se folosesc separatori:

- Spațiu
- Tab
- Virgula
- (
-)

2.2 Inserarea comentariilor

Inserarea comentariilor permite înțelegerea cu mai multă ușurință a descrierii circuitului. O linie de comentariu începe cu asterisc (*) în prima coloană. Dacă se dorește inserarea unui comentariu pe linia de descriere a unei componente, atunci se pune punct și virgulă (;) după descrierea acelei componente.

Exemple:

* descrierea circuitului

R1 1 2 1k

...

sau

RL 5 0 10k; RL este rezistenta de sarcina

2.3 Instrucțiunile

Instrucțiunile încep cu punct în prima coloană. La instrucțiunea de titlu NU trebuie să se treacă punct în prima coloană.

Exemple de analize (instrucțiuni):

- .LIB cale\biblioteca.lib – aduce modelul componentei
- .DC Vx val1 val2 pas – analiză de c.c.
- .OP – determinarea PSF-ului (operating point)
- .AC dec pct/dec f_start f_stop – analiza în frecvență
- .TRAN pas t_analiză t_start pas_max – analiză în timp
- .FOUR f_centrală var_ies – analiză Fourier
- .PROBE – determină SPICE să culeagă datele necesare postprocesării grafice

2.4 Factorii de scală

Orice număr poate fi urmat de unul din factorii de scală din tabelul 2.1:

Tabelul 2.1. Factorii de scală

T=tera=10 ¹² =1E12	M=mili=10 ⁻³ =1E-3
G=giga=10 ⁹ =1E9	U=micro=10 ⁻⁶ =1E-6
MEG=mega=10 ⁶ =1E6	N=nano=10 ⁻⁹ =1E-9
K=kilo=10 ³ =1E3	P=pico=10 ⁻¹² =1E-12
MIL=2,54*10 ⁻⁶	F=femto=10 ⁻¹⁵ =1E-15

Trebuie acordată atenție la descrierea unei rezistențe de 1MΩ (1 megohm)

Deoarece descrierea tip text nu ține seama de literă mică sau literă mare, 1M este identic cu 1m adică 1 mili. De aceea se folosește prescurtarea Meg:

R1 1 2 1Meg

sau

R1 1 2 1E6

Exprimarea valorii unei mărimi din fișierul de ieșire poate fi sub forma:

IB 7.41E-06 și înseamnă 7,41μA

IC 1.18E-03 și înseamnă 1,18mA

VBE 6.49E-01 și înseamnă 0,649V

2.5 Reguli de descriere a elementelor de circuit

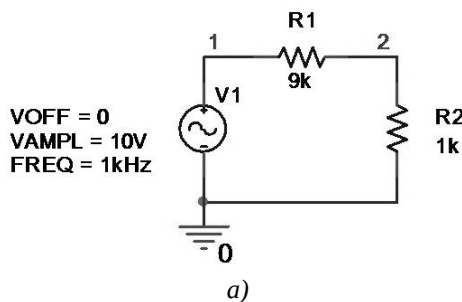
În descrierea elementelor de circuit trebuie respectate următoarele reguli:

- *nodurile circuitului sunt descrise întotdeauna prin întregi pozitivi;*
- *nu este necesar ca numerotarea să fie secvențială;*
- *un circuit trebuie să aibă întotdeauna un nod de masă care se notează obligatoriu cu 0 (zero);*
- *fiecare element de circuit trebuie să fie conectat cel puțin în două noduri (sau mai multe noduri, în funcție de tipul de componentă). De exemplu un tranzistor bipolar care are 3 terminale se va conecta în 3 noduri;*
- *în fiecare nod este obligatoriu să se conecteze cel puțin două elemente;*

Dacă există, accidental, un nod în care este conectată o singură componentă, SPICE dă mesajul de eroare:

“Less than 2 connections at node...” și se specifică numele (numărul) nodului.

Dacă descrierea circuitului din fig. 2.1, a este scrisă sub forma din fig. 2.1, b,



R1 1 2 9k
R2 2 0 1k
V1 1 0 SIN(0 10V 1kHz)
.tran 10us 5ms 0 10us
.PROBE
.END

b)

Fig. 2.1.

atunci SPICE afișează mesajul:

ERROR -- Less than 2 connections at node 2

Cauza acestei erori o constituie absența instrucțiunii de titlu.

Descrierea corectă trebuie să fie sub forma:

Divizor rezistiv

R1 1 2 9k
R2 2 0 1k
V1 1 0 SIN(0 10V 1kHz)
.tran 10us 5ms 0 10us
.PROBE
.END

- Pentru fiecare nod trebuie să existe cel puțin o cale de curent continuu spre masă.

De exemplu, în cazul circuitului din fig. 2.2, a nodul 3 dintre condensatoarele C1 și C2 nu are cale de c.c. la masă. În fișierul de ieșire, SPICE dă mesajul:

ERROR -- Node 3 is floating

Pentru a evita mesajul de eroare, se conectează între nodul 3 și masă un rezistor cu valoare foarte mare a rezistenței - 1Tohm (fig. 2.2, b).

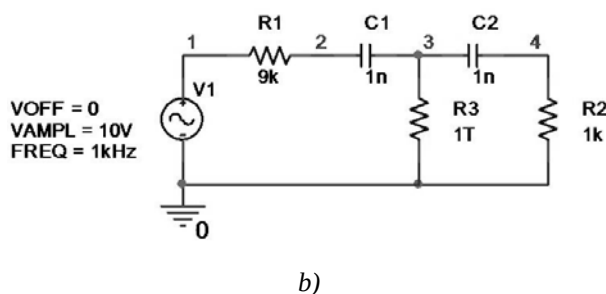
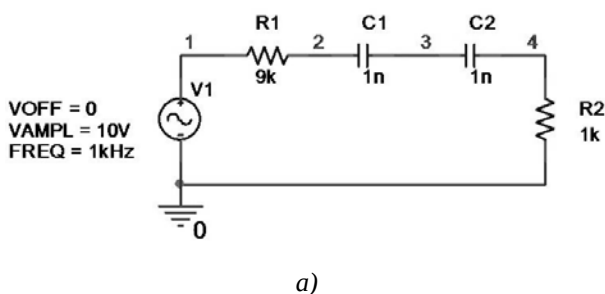


Fig. 2.2.

- Circuitul nu poate avea un ochi format numai din surse de tensiune și/sau bobine.

De exemplu, în cazul circuitelor din fig. 2.3, a SPICE afișează mesajul de eroare:

ERROR – Voltage source and/or inductor loop involving V_V1

You may break the loop by adding a series resistance

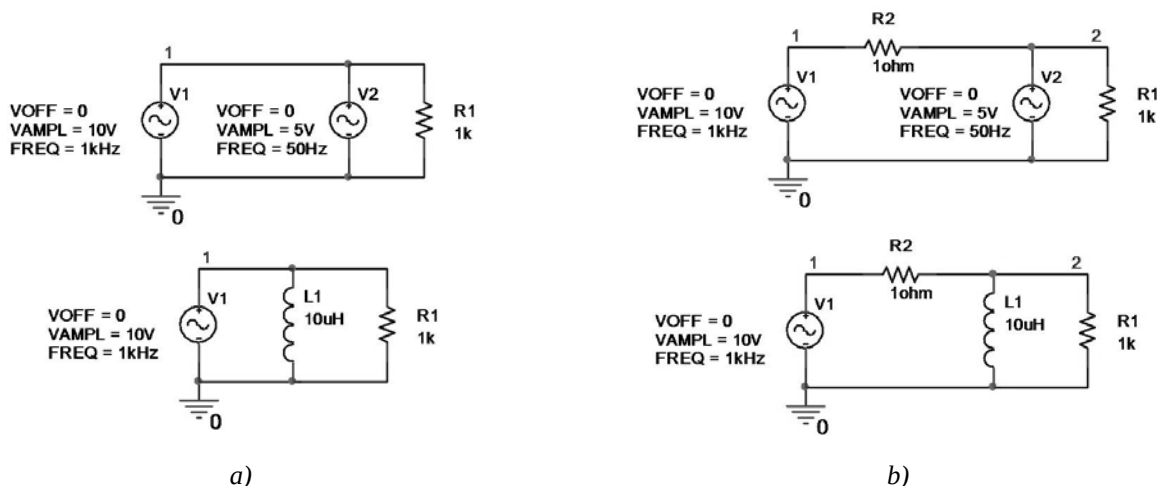


Fig. 2.3.

Remediul constă în întreruperea buclei cu o rezistență de valoare foarte mică (1 ohm pe exemplul analizat - fig. 2.3, b).

- *Circuitul nu poate conține o ramură numai cu surse de curent și condensatoare.*

De exemplu, în cazul circuitului din fig. 2.4, a SPICE afișează mesajul de eroare:

ERROR -- Node 1 is floating



Fig. 2.4.

Pentru evitarea erorii, se conectează între nodul 1 de înseriere a sursei de curent cu condensatorul și masă un rezistor cu valoare foarte mare a rezistenței (1TΩ, de exemplu – fig. 2.4, b):

Observație importantă: chiar și descrierea grafică a circuitului (desenarea lui) este însoțită de o descriere tip text!

De exemplu, descrierea tip text pentru circuitul din fig. 2.5 se găsește în fișierul de ieșire (*.OUT).

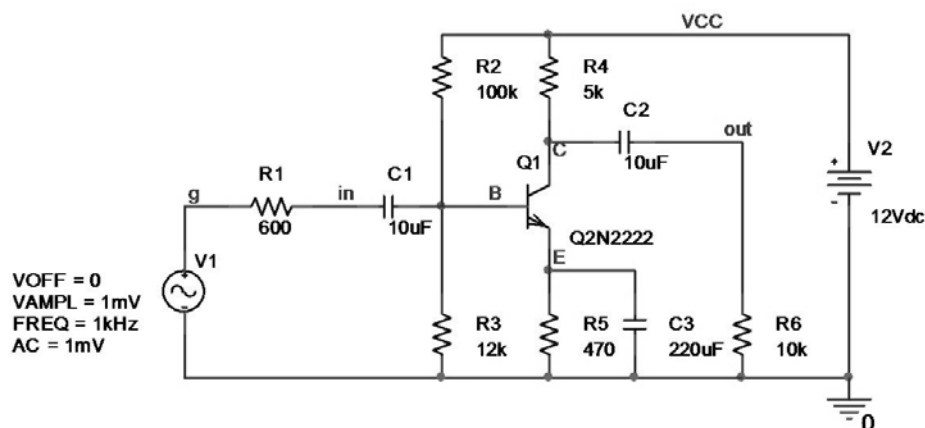


Fig. 2.5.

Descrierea tip text a circuitului din fig. 2.5, citită din fișierul de ieșire, este de forma:

```
**** CIRCUIT DESCRIPTION
*****
** Creating circuit file "fig_2_5.cir"
** WARNING: THIS AUTOMATICALLY GENERATED FILE MAY BE OVERWRITTEN BY SUBSEQUENT
SIMULATIONS
*Libraries:
* Profile Libraries :
* Local Libraries :
* From [PSPICE NETLIST] section of C:\OrCAD\OrCAD_10.5\tools\PSpice\PSpice.ini file:
.lib "nom.lib"
*Analysis directives:
.OP
.PROBE V(alias(*)) I(alias(*)) W(alias(*)) D(alias(*)) NOISE(alias(*))
.INC "..\SCHEMATIC1.net"
**** INCLUDING SCHEMATIC1.net ****
* source fig_2_5
R_R1      G IN 600
R_R2      B VCC 100k
R_R4      C VCC 5k
R_R5      0 E 470
R_R3      0 B 12k
R_R6      0 OUT 10k
V_V1      G 0 AC 1mV
+SIN 0 1mV 1kHz 0 0 0
V_V2      VCC 0 12Vdc
C_C1      IN B 10uF
C_C2      C OUT 10uF
C_C3      0 E 220uF
Q_Q1      C B E Q2N2222
**** RESUMING fig_2_5.cir ****
.END
```

2.6 Descrierea elementelor de circuit cu două terminale

- Elemente de circuit cu două terminale sunt:
- Rezistoare (liniare)
- Condensatoare (liniare și neliniare)
- Bobine (liniare și neliniare)
- Surse de tensiune independente (liniare)
- Surse de curent independente (liniare)
- Diode (neliniare)

2.6.1 Rezistoare

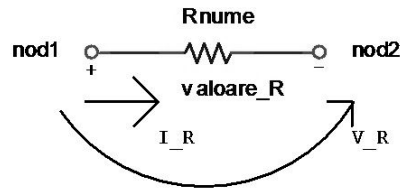


Fig. 2.6.

Descrierea unui rezistor (fig. 2.6) este:

`Rnume nod1 nod2 valoare_R <TC=tc1,< tc2>>`

Valorile trecute între parantezele frânte sunt opționale.

Rezistența poate fi pozitivă sau negativă dar nu poate fi nulă.

Sensul pozitiv al curentului prin rezistor este de la borna 1 la borna 2.

2.6.2 Condensatoare

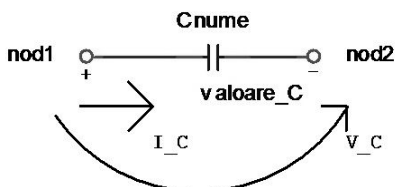


Fig. 2.7.

Descrierea unui condensator (fig. 2.7) este:

`Cnume nod1 nod2 valoare_C <IC=VC0>`

Observații:

- IC (Initial Conditions) este opțional și este utilizat pentru a specifica valoarea inițială VC0 (la t=0) a tensiunii pe condensator.
- Opțiunea IC=VC0 este folosită numai atunci când în declarația .TRAN (analiză în timp) este specificat UIC (Use Initial Conditions – folosește condițiile inițiale).

2.6.3 Bobine

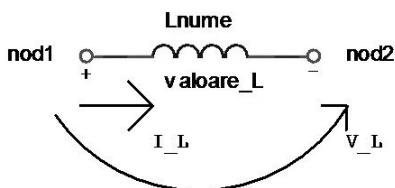


Fig. 2.8.

Descrierea unei bobine (fig. 2.8) este:

`Lnume nod1 nod2 valoare_L <IC=IL0>`

Observații:

- IC este opțional și este utilizat pentru a specifica valoarea inițială (la t=0) a curentului IL0 care trece prin bobină.
- Opțiunea IC= IL0 este folosită numai atunci când în declarația .TRAN (analiză în timp) este specificat UIC (Use Initial Conditions – folosește condițiile inițiale).

2.6.4 Surse de polarizare și de semnal independente

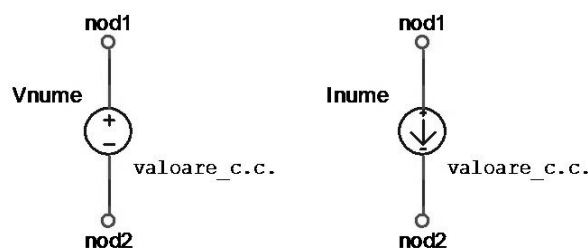


Fig. 2.9.

Descrierea surselor independente de tensiune, respectiv de curent (fig. 2.9) este:

Vnume... nod1 nod2 <<DC>...valoare_c.c.> <AC <modul_c.a.
+ <fază_c.a.>>> <TRAN_funcție <valoare1 <valoare2...>>>
Inume... nod1 nod2 <<DC>...valoare_c.c.> <AC <modul_c.a.
+ <fază_c.a.>>> <TRAN_funcție <valoare1 <valoare2...>>>

2.6.5 Diode

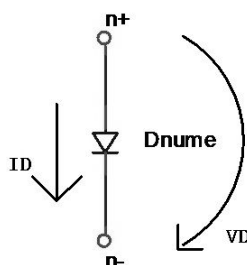


Fig. 2.10.

Descrierea unei diode (fig. 2.10) este:

Dnume n+ n- MODEL_num

Observații:

Numele modelului (*MODEL_num*) se poate specifica prin declarațiile:

- **.MODEL** – descrierea modelului
- **.LIB** – căutarea modelului într-o bibliotecă de modele

Parametrii modelului de diodă se prezintă în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. – Parametrii modelului de diodă

Numele	Parametrul	Unități	Valoarea predefinită
IS	Curentul de saturație	A	10^{-14}
N	Coeficientul de emisie	-	1
RS	Rezistența serie parazită	Ω	0
TT	Timpul de tranzit	s	0
CJO	Capacitatea la polarizare nulă	F	0
VJ	Diferența internă de potențial	V	1
M	Coeficientul de „gradare”	-	0.5
EG	Energia de activare	eV	1.11
BV	Tensiunea de străpungere	V	∞
IBV	Curentul la tensiunea de străpungere	A	10^{-3}

2.7 Elemente de circuit cu mai mult de două terminale

Elementele de circuit cu mai mult de 2 terminale sunt:

- Bobine cuplate
- Surse comandate
- Comutatoare
- Linii de transmisiune
- Tranzistoare bipolare (TB)
- Tranzistoare cu efect de câmp cu grilă joncțiune (TEC-J)
- Tranzistoare cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor (TEC-MOS)

2.7.1 Bobine cuplate

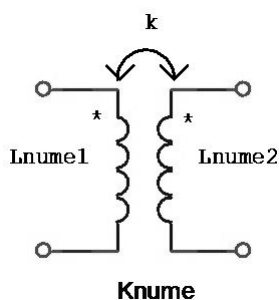


Fig. 2.11.

Descrierea unor bobine cuplate (fig. 2.11) este:

Knume Lnume1 Lnume2 k

Observații:

- Bobinele Lnume1 și Lnume2 trebuie să fie definite anterior în fișierul de intrare.
- Coeficientul de cuplaj k trebuie să fie: $0 < k < 1$
- La desenarea în OrCAD Capture, se consideră $k=1$.

Un exemplu tipic de bobine cuplate îl reprezintă transformatorul din structura unui redresor (fig. 2.12):

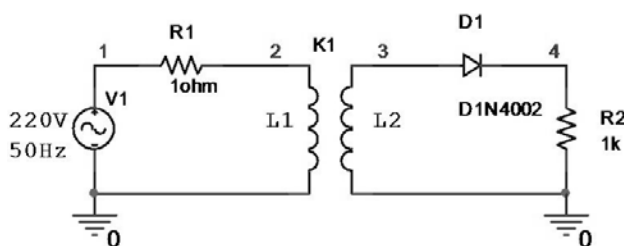


Fig. 2.12.

Descrierea transformatorului din fig. 2.12 este:

L1	2	0	100mH
L2	3	0	1mH
K1	L1	L2	0.99

2.7.2 Surse comandate

Sursele comandate furnizează tensiuni sau curenți care sunt funcții de alte tensiuni sau curenți, mărimi numite de comandă.

În SPICE sunt disponibile patru tipuri de surse comandate:

- Surse de tensiune comandate în tensiune – notație E;
- Surse de curent comandate în curent – notație F;
- Surse de curent comandate în tensiune – notație G;
- Surse de tensiune comandate în curent – notație H.

Sursele comandate pot fi liniare sau neliniare.

2.7.2.1 Surse de tensiune comandate în tensiune

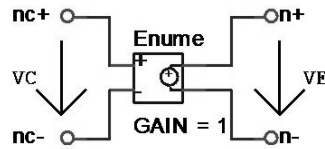


Fig. 2.13.

Descrierea sursei de tensiune comandată în tensiune (fig. 2.13) este:

Ename n+ n- nc+ nc- GAIN

Relația constitutivă este:

$$V_E = GAIN \times V_C$$

unde $GAIN$ este amplificarea în tensiune.

2.7.2.2 Surse de curent comandate în curent

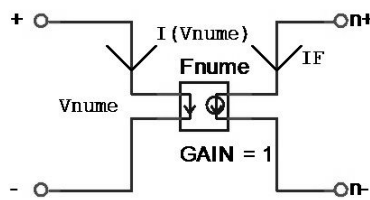


Fig. 2.14.

Descrierea sursei de curent comandată în curent (fig. 2.14) este:

Fnume n+ n- Vnume GAIN

V_{nume} este sursa de tensiune prin care curge curentul de control iar $I(V_{nume})$ este variabila de comandă.

Relația constitutivă este:

$$I_F = GAIN \times I(V_{nume})$$

unde $GAIN$ este amplificarea în curent.

2.7.2.3 Surse de curent comandate în tensiune

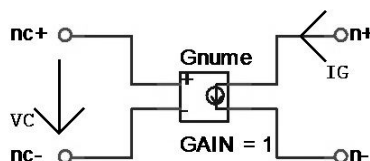


Fig. 2.15.

Descrierea sursei de curent comandată în tensiune (fig. 2.15) este:

Gnume n+ n- nc+ nc- GAIN

Relația constitutivă este:

$$I_G = GAIN \times V_C$$

unde $GAIN$ este transconductanța exprimată în S.

2.7.2.4 Surse de tensiune comandate în curent

Descrierea sursei de curent comandată în tensiune (fig. 2.16) este:

Hnume n+ n- Vnume GAIN

Vnume este sursa de tensiune prin care curge curentul de control iar $I(Vnume)$ este variabila de comandă.

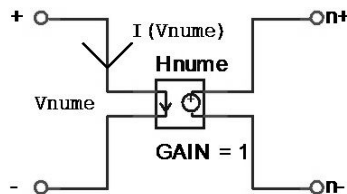


Fig. 2.16.

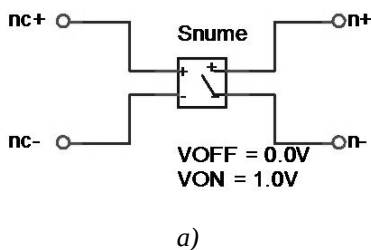
Relația constitutivă este:

$$V_H = GAIN \times I(Vnume)$$

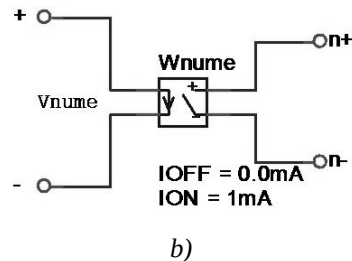
unde $GAIN$ este transrezistența exprimată în Ω .

2.7.3 Comutatoare

Comutatoarele pot fi comandate prin tensiune (fig. 2.17, a) sau prin curent (fig. 2.17, b). Comportarea de comutator este modelată cu rezistențele din stările ON – conducție, respectiv OFF – blocare.



a)



b)

Fig. 2.17.

Formatul general al comutatoarelor comandate prin tensiune este:

Snume n+ n- nc+ nc- Model <ON/OFF>

Formatul general al comutatoarelor comandate prin curent este:

Wnume n+ n- Vnume Model <ON/OFF>

2.7.4 Linii de transmisiune

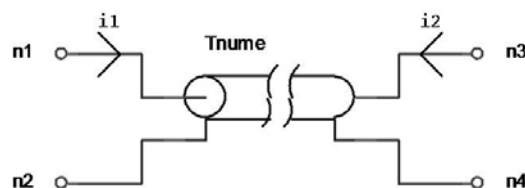


Fig. 2.18.

Forma unei declarații de linie de transmisiune este:

Tnume n1 n2 n3 n4 z0=Z0 <td=TD> <f=frecventa nl=NL>> <IC=vn1,n2, i1, vn3,n4 i2>

unde NL reprezintă valoarea normalată a lungimii electrice a liniei, exprimată în lungimi de undă la o frecvență f dată. Valoarea implicită pentru NL este 0,25, adică frecvența este frecvența la care linia are lungimea egală cu $\lambda/4$.

Alte relații: întârzierea liniei - $TD = \frac{NL}{frecventa}$ și $NL = \frac{1}{\lambda}$.

2.7.5 Tranzistoare bipolare

Descrierea unui tranzistor bipolar (fig. 2.19) este:

Qnume nC nB nE <nS> MODEL_num

Numele modelului (MODEL_num) se poate specifica prin declarațiile:

- .MODEL – descrierea modelului;
- .LIB – căutarea modelului într-o bibliotecă de modele.

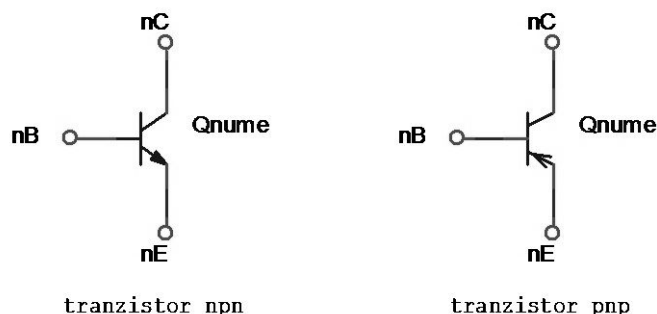


Fig. 2.19.

Parametrii modelului de tranzistor bipolar se prezintă în tabelul 2.3:

Tabelul 2.3. Parametrii modelului de tranzistor bipolar

Numele	Parametrul	Unități	Valoarea predefinită
IS	Curentul de saturație	A	10^{-16}
BF	Câștigul în curent direct	-	100
BR	Câștigul în curent invers	-	1
NF	Coeficientul de emisie direct	-	1
NR	Coeficientul de emisie invers	-	1
VA	Tensiunea Early directă	V	∞
VAR	Tensiunea Early inversă	V	∞
RC	Rezistența serie a colectorului	Ω	0
RE	Rezistența serie a emitorului	Ω	0
RB	Rezistența serie a bazei	Ω	0
TF	Timpul de tranzit direct	s	0
TR	Timpul de tranzit invers	s	0
CJE	Capacitatea joncțiunii BE la polarizare nulă	F	0
VJE	Diferența internă de potențial a joncțiunii BE	V	0.75
MJE	Coeficientul de „gradare” a joncțiunii BE	-	0.33
CJC	Capacitatea joncțiunii BC la polarizare nulă	F	0
VJC	Diferența internă de potențial a joncțiunii BC	V	0.75
MJC	Coeficientul de „gradare” a joncțiunii BC	-	0.33
CJS	Capacitatea joncțiunii CS la polarizare nulă	F	0
VJS	Diferența internă de potențial a joncțiunii CS	V	0.75
MJS	Coeficientul de „gradare” a joncțiunii CS	-	0.33

2.7.6 Tranzistor cu efect de câmp cu grilă joncțiune (TEC-J)

Descrierea unui tranzistor cu efect de câmp cu grilă joncțiune (fig. 2.20) este:

Jnume nD nG nS MODEL_num

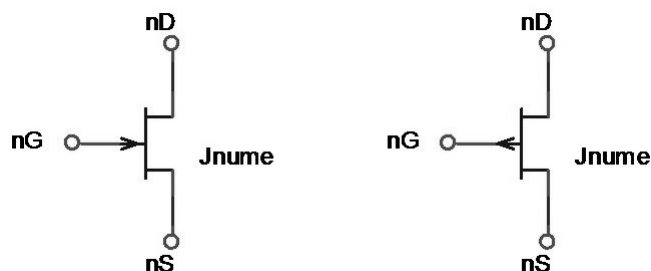


Fig. 2.20.

Numele modelului (MODEL_num) se poate specifica prin declarațiile:

- .MODEL – descrierea modelului;
- .LIB – căutarea modelului într-o bibliotecă de modele.

Parametrii modelului de TEC-J se prezintă în tabelul 2.4:

Tabelul 2.4. Parametrii modelului TEC-J

Numele	Parametrul	Unități	Valoarea predefinită
VTO	Tensiunea de prag (pinch-off voltage)	V	-2
BETA	Parametrul de transconductanță	AV^{-2}	10^{-4}
LAMBDA	Parametrul de modulație a lungimii canalului	V^{-1}	0
RD	Rezistența serie din drenă	Ω	0
RS	Rezistența serie din sursă	Ω	0
CGS	Capacitatea joncțiunii GS la polarizare nulă	F	0
CGD	Capacitatea joncțiunii GD la polarizare nulă	F	0
PB	Diferența internă de potențial a joncțiunii grilei	V	1
IS	Curentul de saturația a joncțiunii grilei	A	10^{-14}

2.7.7 Tranzistor cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor (TEC-MOS)

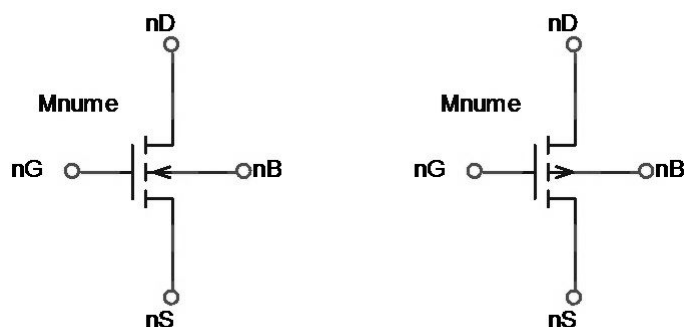


Fig. 2.21.

Descrierea unui tranzistor cu efect de câmp metal-oxid-semiconductor (fig. 2.21)este:

Mnume nD nG nS nB MODEL_num <L=L<W=W...>>

Numele modelului (MODEL_num) se poate specifica prin declarațiile:

- .MODEL – descrierea modelului;
- .LIB – căutarea modelului într-o bibliotecă de modele.

Parametrii modelului de TEC-MOS se prezintă în tabelul 2.5:

Tabelul 2.5. Parametrii TEC-MOS

Numele	Parametrul	Unități	Valoarea predefinită
VTO	Tensiunea de prag	V	0
KP	Parametrul de transconductanță	AV^{-2}	2×10^{-5}
GAMMA	Factorul de substrat	$V^{1/2}$	0
PHI	Potențialul de suprafață	V	0,6
LAMBDA	Parametrul de modulație a lungimii canalului	V^{-1}	0
RD	Rezistența serie din drenă	Ω	0
RS	Rezistența serie din sursă	Ω	0
RSH	Rezistența pe pătrat a difuziilor D/S	$\Omega/\square$	0
CBD	Capacitatea joncțiunii BD la polarizare nulă	F	0
CBS	Capacitatea joncțiunii BS la polarizare nulă	F	0
CJ	Capacitatea de fund a joncțiunii D/S la polarizare nulă	F	0
MJ	Coeficientul de „gradare” al joncțiunii de fund DB/SB	-	0,5
JSW	Capacitatea laterală a joncțiunii DB/SB la polarizare nulă	F	0
MJSW	Coeficientul de „gradare” al joncțiunii laterale DB/SB	-	0,33
PB	Diferența internă de potențial a joncțiunii DB/SB	V	1
IS	Curentul de saturație al joncțiunii DB/SB	A	10^{-14}
CGDO	Capacitatea dată de suprapunerea GD, pe unitatea de lățime a canalului	Fm-1	0
CGSO	Capacitatea dată de suprapunerea GS, pe unitatea de lățime a canalului	Fm-1	0
CGBO	Capacitatea dată de suprapunerea GB, pe unitatea de lungime a canalului	Fm-1	0
TOX	Grosimea oxidului subțire	m	∞
LD	Difuzia laterală	m	0

2.8 Analize SPICE

SPICE poate realiza diferite tipuri de analize în 3 moduri de simulare:

- Simularea în curent continuu;
- Simularea în curent alternativ și
- Simularea în domeniul timp.

Declarația de control începe cu un punct în prima coloană.

2.8.1 Tipuri de analize

Principalele tipuri de analiză se definesc pe cele 3 tipuri de simulări:

Simularea în c.c. permite analizele:

- .OP - determină potențialele de c.c. și datele despre punctul de funcționare al elementelor neliniare;
- .TF - determină funcția de transfer a circuitului (amplificarea, rezistența de intrare și rezistența de ieșire), la semnal mic, în bandă pentru circuitul văzut în c.c. Este tip text.
ATENȚIE: condensatoarele întrerup circuitul și denaturează răspunsul dat de Spice;
- .DC - determină caracteristica de transfer care este un grafic;
- .SENS - realizează analiza de sensibilitate

Simularea în c.a. permite analizele:

- .AC - analiză de c.a. cu baleierea frecvenței (parcurea unui interval de frecvență specificat, de exemplu între 1Hz și 1MHz);
- .NOISE - analiză pentru determinarea zgomotului la intrare și ieșire.

Simularea în domeniul timp permite analizele:

- .TRAN - calculează formele de undă ale tensiunilor și curenților pentru un interval de timp specificat de utilizator;
- .FOUR - calculează componentele spectrale (amplitudine și fază) ale semnalelor periodice (adică ale semnalelor cu frecvența de 2 ori mai mare, de 3 ori ș.a.m.d. decât frecvența semnalului inițial pentru care se face analiza – semnal de frecvență fundamentală sau armonica întâi).

2.8.2 Rezultatul simulării și variabilele de ieșire

- .PRINT - prezentarea tabelară a variabilelor de ieșire și
- .PLOT - prezentarea sub formă de grafic alfanumeric a variabilelor de ieșire.

Formatul general al declarațiilor este:

`.PRINT/.PLOT analiză_TIP IESIRE_var1 +<IESIRE_var2...> <limite_grafic>`

unde analiză_TIP poate fi DC, AC, NOISE sau TRAN și este urmată de până la 8 variabile de ieșire care pot fi tensiuni sau curenți. Pentru mai mult de 8 variabile de ieșire se adaugă alte declarații PRINT/PLOT.

2.8.3 Parametrii analizei – temperatura

Schimbarea valorii temperaturii la care se face simularea

`.TEMP val_1 <val_2...>`

Modificarea valorii temperaturii nominale TNOM

`.OPTIONS TNOM=noua valoare`

2.8.4 Simularea în c.c.

2.8.4.1 Determinarea punctului static de funcționare (PSF)

Forma declarației de control este:

`.OP`

Soluția de c.c. se citește în fișierul de ieșire (*.OUT) și conține:

- SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION unde se găsesc valorile potențialelor din noduri și
- OPERATING POINT INFORMATION unde se găsesc valorile curenților, ale tensiunilor între terminale și ale elementelor circuitului echivalent de semnal mic, toate aceste valori fiind calculate numai pentru elementele neliniare din circuit (diode, tranzistoare).

PSF-ul stabil al circuitului se determină în următoarele condiții:

- Se consideră aplicate numai sursele de alimentare de c.c.;
- Condensatoarele se consideră circuit întrerupt (se consideră înlocuite cu fir întrerupt sau cu gol);
- Bobinele se consideră scurtcircuit (se consideră înlocuite cu fir);

De exemplu, determinarea PSF-ului unui tranzistor bipolar din schema unui amplificator de semnal mic (asm) – fig. 2.22.

Descrierea circuitului este:

asm

RB	5	2	1.5Meg
RC	5	3	5k
RL	4	0	10k
C1	1	2	10uF


```

C2      3      4      10uF
Q1      3      2      0  Q2N2222
.lib    eval.lib
Vcc     5      0      dc  10V
V1      1      0      sin(0 1mV 1kHz)
.OP
.end

```

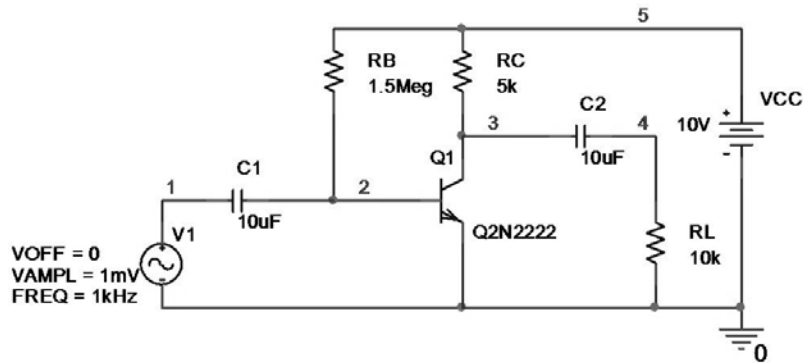


Fig. 2.22.

Rezultatele din fișierul de ieșire se găsesc sub forma:

```

**** SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION   TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****
NODE VOLTAGE  NODE VOLTAGE  NODE VOLTAGE  NODE VOLTAGE
( 1) 0.0000   ( 2) .6436   ( 3) 5.1528   ( 4) 0.0000   ( 5) 10.0000
**** OPERATING POINT INFORMATION  TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****

**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

NAME      Q1
MODEL     Q2N2222
IB        6.24E-06
IC        9.69E-04
VBE       6.44E-01
VBC       -4.51E+00
VCE       5.15E+00
BETADC    1.55E+02
GM        3.74E-02
RPI       4.61E+03
RX        1.00E+01
RO        8.10E+04
CBE       5.17E-11
CBC       3.76E-12
CJS       0.00E+00
BETAAC    1.72E+02
CBX/CBX2  0.00E+00
FT/FT2    1.07E+08

```

2.8.4.2 Caracteristica de transfer în c.c.

Forma declarației de control pentru caracteristica de transfer în c.c. este:

`.DC V/I_ume1 start1 stop1 pas1 +<V/I_ume2 start2 stop2 pas2...>`

Sursele independente V/I_ume trebuie specificate anterior printr-o declarație de sursă independentă.

În urma efectuării analizei, se obține reprezentarea grafică pentru variația oricărei tensiuni sau a oricărui curent în funcție de modul în care se modifică sursa independentă V/I_ume.

2.8.4.3 Funcția de transfer

Forma declarației de control este:

`.TF IESIRE_var V/I_ume`

unde

- IESIRE_var reprezintă variabila de ieșire
- V/I_ume specifică o sursă independentă de tensiune sau curent, conectată la intrarea diportului definit de declarația .TF

Calculul funcției de transfer se face:

- presupunând că rețeaua are caracter pur rezistiv (condensatoarele = gol, bobinele = s.c.) și
- pentru circuitul liniarizat adică pentru circuitul care rezultă la încheierea analizei de c.c. atunci când SPICE a determinat valorile tuturor elementelor modelului de semnal mic.

În fișierul de ieșire se găsesc:

- raportul variabilă de ieșire/variabilă de intrare
- rezistența de intrare
- rezistența de ieșire

2.8.4.4 Analiza de senzitivitate

Analiza de senzitivitate permite aprecierea efectelor pe care le au variațiile valorilor elementelor circuitului și a parametrilor de model asupra unei variabile de ieșire selectate, deci și asupra funcționării circuitului.

Forma declarației de control este

`.SENS IESIRE_var1 <IESIRE_var2...>`

unde IESIRE_var1, IESIRE_var2... reprezintă variabilele de ieșire.

Rezultatele privind senzitivitatea se dau în fișierul de ieșire în secțiunea **DC SENSITIVITY ANALYSIS** sub antetul **DC SENSITIVITIES OF OUTPUT...** și urmează, în ordine, variabilele de ieșire specificate de utilizator în declarația de control.

Pentru circuitul analizat (fig. 2.23), în fișierul de ieșire se obțin rezultatele grupate în tabelul 2.6:

Tabelul 2.6.

ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)
R_R1	1.000E+03	9.078E-04	9.078E-03
R_RC	5.000E+03	-9.175E-04	-4.587E-02
V_VCC	1.000E+01	9.416E-01	9.416E-02
V_V1	6.500E-01	-1.448E+02	-9.414E-01

unde

$$NORMALIZED = \frac{VALUE \times SENSITIVITY}{100} [\%]$$

2.8.5 Inițializarea valorilor de potențiale din noduri

Toate programele de simulare electrică neliniară calculează soluția iterativ. Procesul iterativ pornește cu o estimare inițială a potențialelor. SPICE presupune că la început toate potențialele nodurilor sunt egale cu zero.

În cazurile în care SPICE nu poate găsi soluția după 100 iterații (număr predefinit), se poate depăși impasul utilizând declarația de inițializare a potențialelor din noduri:

`.NODESET V(nod1)=val1 <V(nod2)=val2...>`

Efectul acestei declarații este de a impune potențialul val1 nodului nod1, potențialul val2 nodului nod2 etc. pentru primele iterații ale calculului soluției.

2.9 Aplicația 1 – funcția de transfer

Pentru circuitul din fig. 2.23 se cere să se efectueze o analiză .TF (funcția de transfer).

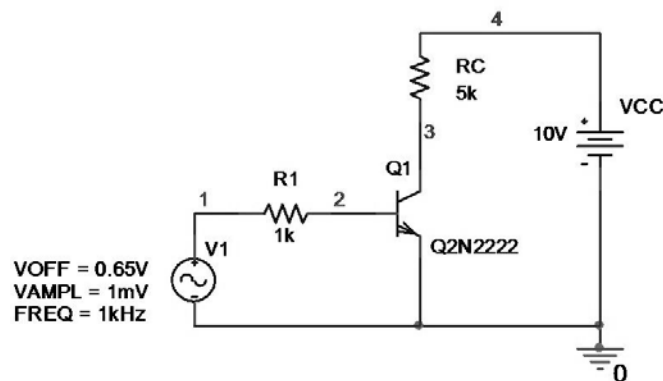


Fig. 2.23.

Descrierea circuitul este:

```
asm2
R1  1  2  1k
RC  4  3  5k
Q1  3  2  0  Q2N2222
.lib  eval.lib
Vcc 4  0  dc  10
V1  1  0  sin(0 1mV 1kHz)
.TF  V(3)  V1
.end
```

Se observă că înainte de instrucțiunea .end se adaugă linia corespunzătoare analizei cerute:

```
.TF      V(3)  V1
```

unde V(3) este variabila de ieșire iar V1 este sursa independentă de tensiune de la intrare.

În fișierul de ieșire se obțin liniile de text:

```
****  SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS
V(3)/V_V1 = -1.448E+02
INPUT RESISTANCE AT V_V1 = 5.594E+03
OUTPUT RESISTANCE AT V(3) = 4.708E+03
```

ceea ce înseamnă:

- amplificarea = -144,8 ($\Rightarrow$ amplificator inversor)
- rezistența de intrare “văzută de V1” = $5,594\text{k}\Omega \Rightarrow R_{PI} = 5,594\text{k}\Omega - R_1 - R_X = 4,584\text{k}\Omega$
- rezistența de ieșire “văzută din colector” = $r_o \parallel R_C = 4,7\text{k}\Omega \Rightarrow r_o = 80,6\text{k}\Omega$

Parametrii de semnal mic se prezintă pe fig. 2.24:

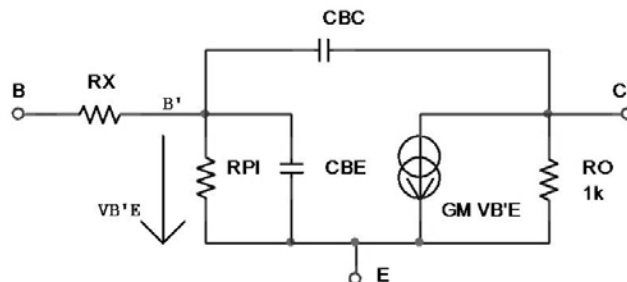


Fig. 2.24.

Observații

Analiza .OP evidențiază pentru parametrii RX și RPI valorile:

- $R_X = 1.00\text{E}+01$
- $R_{PI} = 4.58\text{E}+03$

2.10 Aplicația 2 – simulare în c.c. (.PRINT, .PLOT, .DC, .TF, .TEMP)

Să se studieze comportarea circuitului din fig. 2.25 la -10°C și apoi la $+50^\circ\text{C}$, efectuându-se simularea în c.c. (.PRINT, .PLOT, .DC, .TF, .TEMP).

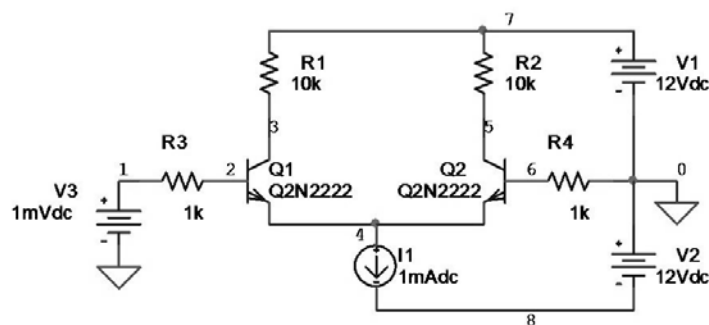


Fig. 2.25.

Se lansează programul Pspice AD.exe din pachetul de programe OrCAD. Fișierul de intrare se scrie sub forma:

Amplificator diferential

```
R1      7      3      10K
R2      7      5      10K
R3      1      2      1K
R4      6      0      1K
Q1      3      2      4      Q2N2222
Q2      5      6      4      Q2N2222
.LIB    EVAL.LIB
```

```

V1      7      0      DC      12
V2      8      0      DC     -12
V3       1      0      DC      1mV
I1       4      8      DC      1mA
.DC     V3     -100mV      100mV 1mV
.TF     V(3,5) V3
.PRINT DC  V(3,5)
.PLOT DC  V(3,5)
.TEMP -10    50
.PROBE
.END

```

Răspunsurile din fișierul de date pentru caracteristica de transfer:

- Efectul declarației de control .DC (fig. 2.26):

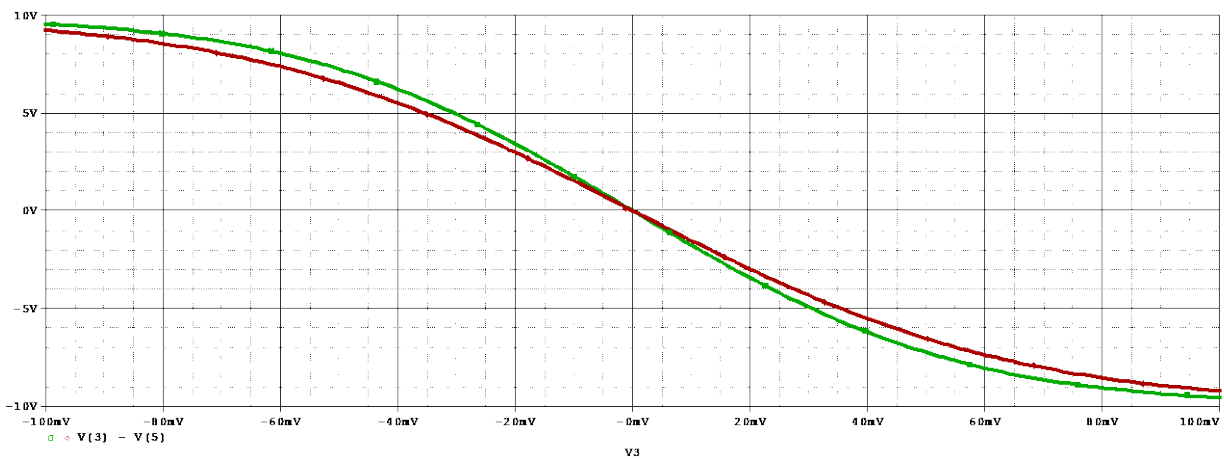


Fig. 2.26.

unde curba cu verde corespunde la TEMP=-10 iar cea cu roșu la TEMP=50.

- Răspunsurile din fișierul de ieșire pentru funcția de transfer:

TEMP=-10°C

**** SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

V(3,5)/V3 = -1.772E+02

INPUT RESISTANCE AT V3 = 1.460E+04

OUTPUT RESISTANCE AT V(3,5) = 1.885E+04

TEMP=50°C

**** SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

V(3,5)/V3 = -1.531E+02

INPUT RESISTANCE AT V3 = 2.299E+04

OUTPUT RESISTANCE AT V(3,5) = 1.884E+04

- Efectul declarației de control .PRINT:

Amplificator diferential

**** DC TRANSFER CURVES TEMPERATURE = -10.000 DEG C

V3 V(3,5)

```
-1.000E-01  9.544E+00
-9.900E-02  9.528E+00
-9.800E-02  9.511E+00
-9.700E-02  9.494E+00
```

```
-----
9.700E-02 -9.493E+00
9.800E-02 -9.511E+00
9.900E-02 -9.528E+00
1.000E-01 -9.544E+00
```

- Efectul declarației de control .PLOT:

```
****      DC TRANSFER CURVES      TEMPERATURE = -10.000 DEG C
```

```
*****
```

```
V3          V(3,5)
            (*)----- -1.0000E+01 -5.0000E+00 0.0000E+00 5.0000E+00 1.0000E+01
```

```
-----
-1.000E-01  9.544E+00 .      .      .      *
-9.900E-02  9.528E+00 .      .      .      *
-9.800E-02  9.511E+00 .      .      .      *
-9.700E-02  9.494E+00 .      .      .      *
-9.600E-02  9.475E+00 .      .      .      *
```

```
.....
-5.000E-03  8.844E-01 .      .      *
-4.000E-03  7.081E-01 .      .      *
-3.000E-03  5.314E-01 .      .      *
-2.000E-03  3.544E-01 .      .      *
-1.000E-03  1.773E-01 .      *
0.000E+00  1.025E-11 .      *
1.000E-03 -1.773E-01 .      *
2.000E-03 -3.544E-01 .      *
3.000E-03 -5.314E-01 .      *
4.000E-03 -7.081E-01 .      *
5.000E-03 -8.844E-01 .      *
```

```
.....
9.800E-02 -9.511E+00 .*      .      .
9.900E-02 -9.528E+00 .*      .      .
1.000E-01 -9.544E+00 .*      .      .
```

2.11 Analiza în domeniul timp

2.11.1 Analiza tranzitorie

SPICE calculează formele de undă ale tensiunilor și curenților pe un interval de timp specificat de utilizator. Forma declarației de control este:

```
.TRAN TPAS TSTOP <TSTART <TMAX>> <UIC>
```

- **TPAS** reprezintă pasul de timp cu care declarațiile .PRINT/.PLOT afișează rezultatele analizei;
- **TSTOP** reprezintă timpul final de analiză;
- Momentul de început al analizei, **TSTART**, poate fi zero sau diferit de zero;
- **TMAX** reprezintă valoarea maximă a pasului de timp.

Observații: Opțiunea UIC face ca valorile potențialelor și curenților, inițializate prin folosirea lui IC, să fie diferite de zero, spre deosebire de celelalte valori care, inițial, se consideră egale cu zero.

2.11.2 Analiza Fourier

Forma declarației de control este:

.FOUR frecventa IESIRE_var1 <IESIRE_var2...>

unde

- frecventa reprezintă frecvența fundamentală (în OrCAD Capture este denumită Center Frequency)
- IESIRE_var1 <IESIRE_var2...> sunt variabilele de ieșire, tensiune sau curent, ale căror componente spectrale urmează a fi calculate.

Observații:

- Declarația .FOUR se folosește împreună cu declarația .TRAN;
- numărul implicit de armonici este egal cu 9;
- se raportează și valoarea de c.c. a variabilei/variabilelor de ieșire;
- se raportează și distorsiunile armonice totale (THD – Total Harmonic Distortion).

2.12 Aplicația 3 – răspunsul în timp

Să se determine răspunsul în timp al circuitului din fig. 2.27 și componentele spectrale ale semnalului de ieșire dacă la intrare se aplică un semnal cu amplitudinea de 200 mV. Să se compare parametrul THD pentru semnal de intrare de 20mV, respectiv 200mV.

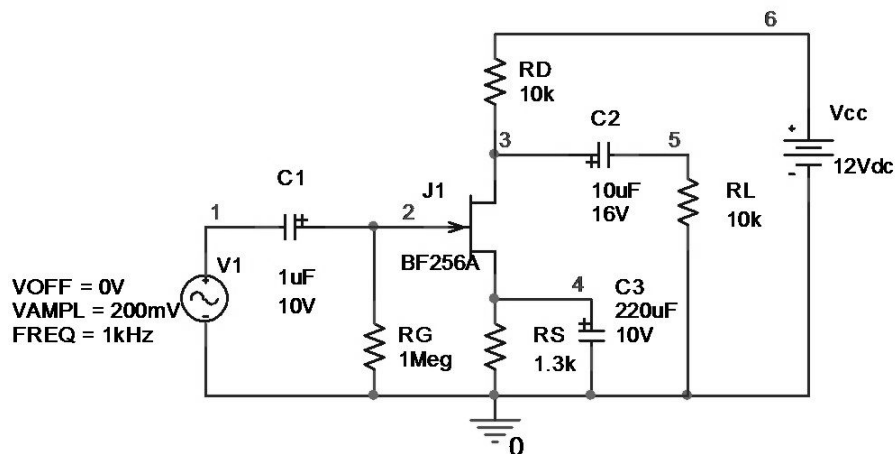


Fig. 2.27.

Fișierul de intrare este de forma:

Amplificator de semnal mic

```
RG  0  2  1Meg
RS  0  4  1.3k
RD  3  6  10k
```

```

RL    0  5   10k
C1    2  1   1uF
C2    3  5   10uF
C3    4  0   220uF
J1    3  2   4   BF256A
.LIB  JFET.LIB
V1    1  0   SIN(0V 200mV 1kHz)
.TRAN 10us  5ms  0  10us
.FOUR 1kHz  V(5)
.PROBE
.END

```

Răspunsul în timp pentru un semnal de intrare cu amplitudinea de 200 mV se prezintă în fig. 2.28:

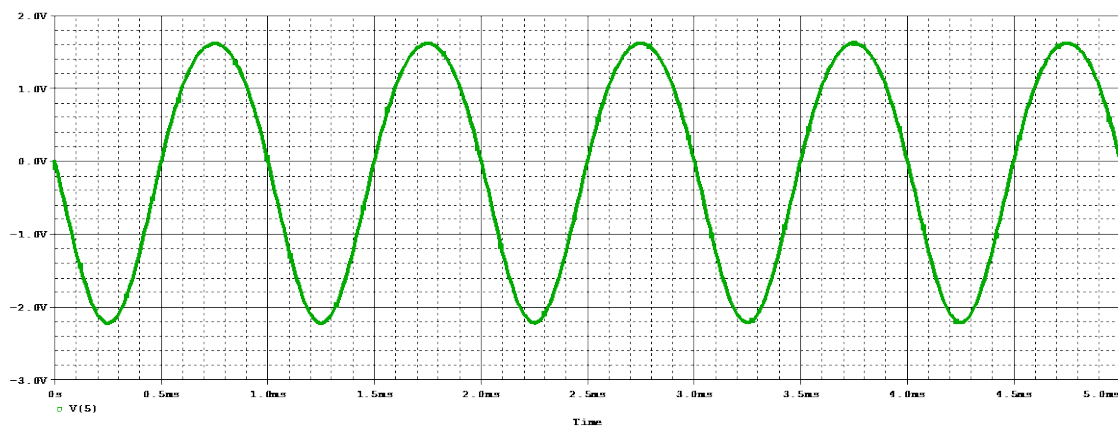


Fig. 2.28.

Se observă o distorsionare a formei de undă: alternanța negativă are amplitudinea mai mare decât alternanța pozitivă.

Analiza Fourier se extrage din fișierul de ieșire:

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(5)

DC COMPONENT = -1.402312E-01

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	1.000E+03	1.915E+00	1.000E+00	-1.799E+02	0.000E+00
2	2.000E+03	1.535E-01	8.013E-02	9.032E+01	4.500E+02
3	3.000E+03	1.356E-03	7.083E-04	1.783E+02	7.179E+02
4	4.000E+03	1.734E-04	9.054E-05	1.670E+02	8.865E+02
5	5.000E+03	1.196E-04	6.244E-05	-1.755E+02	7.238E+02
6	6.000E+03	9.669E-05	5.049E-05	1.782E+02	1.257E+03
7	7.000E+03	9.175E-05	4.791E-05	-1.798E+02	1.079E+03
8	8.000E+03	7.689E-05	4.015E-05	-1.743E+02	1.265E+03
9	9.000E+03	6.388E-05	3.336E-05	-1.771E+02	1.442E+03

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.013777E+00 PERCENT

Coeficientul total de distorsiuni este 8% și confirmă distorsiunea observată a formei de undă de la ieșire.

Răspunsul în timp pentru semnal cu amplitudinea de 20 mV are aspectul din fig. 2.29.

Coeficientul total de distorsiuni este, în acest caz 0,79%:

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 7.904535E-01 PERCENT

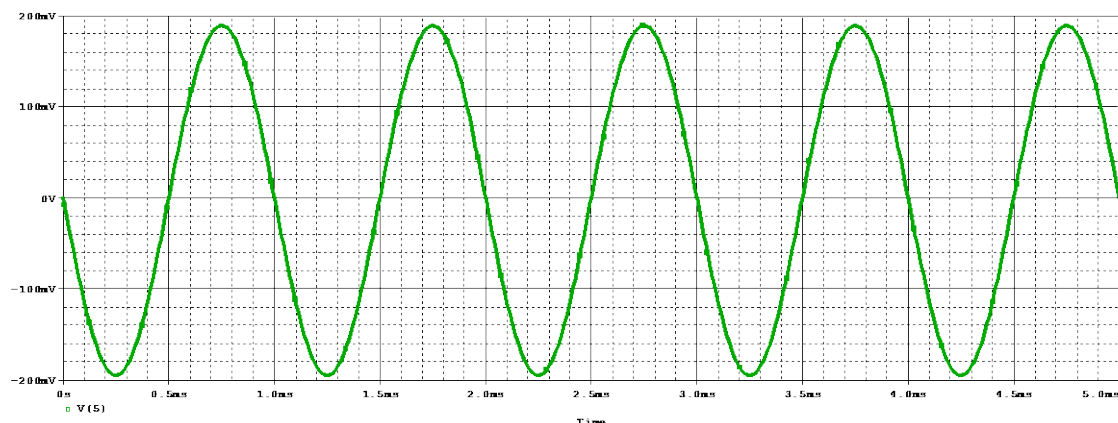


Fig. 2.29.

2.13 Aplicația 4 – utilizarea condițiilor inițiale

Circuitul din fig. 2.30 reprezintă un oscilator în punte WIEN. Din cauza idealității componentelor, circuitul nu începe să oscileze decât printr-o ”forțare”, utilizând condiții inițiale la unul dintre condensatoare.

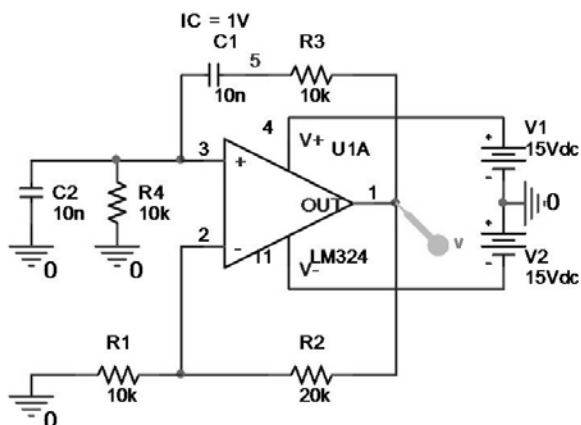


Fig. 2.30

Descrierea circuitului este de forma:

oscilator WIEN

R1	2	0	10k			
R2	1	2	20k			
R3	1	5	10k			
R4	3	0	10k			
C1	5	3	10n	IC=1V		
C2	3	0	10n			
XU1A	3	2	4	11	1	LM324
.lib	opamp.lib					
V1	4	0	15V			
V2	11	0	-15V			
.tran	1u	5m	0	1u		UIC

.probe

.end

În absența condițiilor inițiale, tensiunea de ieșire este egală cu zero. Considerând inițial condensatorul C1 încărcat cu 1V, rezultă, la ieșire, un semnal sinusoidal.

2.14 Simularea în c.a.

În modul de simulare de curent alternativ se calculează răspunsul în frecvență al circuitelor liniare și al circuitelor echivalente de semnal mic corespunzătoare circuitelor neliniare, liniarizate în jurul punctului static de funcționare.

Tipuri de analize de semnal mic:

.AC - analiză de curent alternativ cu baleierea frecvenței (parcurea unui domeniu de frecvență) și

.NOISE - analiză pentru determinarea zgomotului la intrare și ieșire.

2.14.1 Analiza în c.a. cu baleierea frecvenței

SPICE determină potențialele din noduri și curenții din laturi pentru un număr de valori specificate ale frecvenței.

Forma declarației de control este:

.AC interval nr_puncte fstart fstop

unde

interval arată modul de variație a frecvenței între valoarea inițială fstart și valoarea finală fstop și poate fi:

- LIN - variație liniară a frecvenței;
- OCT - variație în octave (1 octavă = intervalul dintre f1 și f2, $f2 > f1$ și $f2 = 2f1$);
- DEC - variație în decade (1 decadă = intervalul dintre f1 și f2, $f2 > f1$ și $f2 = 10f1$).

nr_puncte indică:

- numărul de frecvențe pentru un interval de o octavă (OCT), dacă s-a cerut analiza pe octave;
- numărul de frecvențe pentru un interval de o decadă (DEC) dacă s-a cerut analiza pe decade sau
- numărul de valori ale frecvenței cuprins între fstart și fstop la variație liniară a frecvenței (LIN).

2.14.2 Vizualizarea rezultatelor

Vizualizarea rezultatelor se poate face în 3 moduri:

- tabelar în fișierul de ieșire

.PRINT AC AC_IESIRE_var1 <AC_IESIRE_var2...>

- grafic alfanumeric în fișierul de ieșire

.PLOT AC AC_IESIRE_var1 <AC_IESIRE_var2...>

- grafic în urma postprocesării grafice

.PROBE

Variabilele de ieșire AC_IESIRE_var conțin în afară de tipul variabilei, V sau I și de numele nodurilor și date suplimentare:

- VR sau IR - partea reală a numărului complex;
- VI sau II - partea imaginară a numărului complex;
- VM sau IM - modulul numărului complex, $|V|$ sau $|I|$;

- VP sau IP - argumentul (faza) numărului complex;
- VDB sau IDB - modulul numărului complex exprimat în decibeli (dB), $20\log_{10}|V|$ sau $20\log_{10}|I|$.

2.14.3 Analiza de zgomot

Tipurile de zgomot dezvoltat în componentele electronice sunt:

- Zgomot termic (thermal noise)
- Zgomot de alicie (shot noise);
- Zgomot de licărire (flicker noise);
- Zgomot de rafale (burst noise).

Rezistoarele produc zgomot termic iar dispozitivele semiconductoare produc zgomot de alicie, zgomot de licărire și zgomot de rafale.

Observații:

- Generatoarele de curent de zgomot sau de tensiune de zgomot asociate diferitelor elemente de circuit sunt caracterizate prin valoarea pătratică medie $\overline{i^2}$ sau $\overline{v^2}$.
- Valorile surselor de zgomot sunt proporționale cu banda de frecvență Δf în care se face măsurarea.
- Sursele de zgomot sunt caracterizate prin densitatea spectrală de putere $\overline{i^2}/\Delta f$ sau $\overline{v^2}/\Delta f$, exprimată în V^2/Hz sau A^2/Hz .

Forma declarației de control este:

`.NOISE V(nod1,<nod2>) V/I_ume numar`

unde

- `V(nod1, <nod2>)` și `V/I_ume` definesc modul de conectare ca diport a circuitului pentru calculul de zgomot;
- `V(nod1, <nod2>)` este mărimea de ieșire;
- `V/I_ume` este o sursă independentă de tensiune/curent care trebuie să se regăsească în descrierea circuitului
- `numar` arată că în raportul recapitulativ din fișierul de ieșire se listează valoarea contribuției fiecărei surse de zgomot din `numar` în `numar` de valori ale frecvențelor pentru care s-a realizat analiza. Frecvențele se determină pe baza specificațiilor din declarația `.AC`. Tipărirea în raportul recapitulativ începe cu `fstart`.

2.15 Aplicația 5 – analiza în c.a. cu baleierea frecvenței

Să se determine banda de frecvență a amplificatorului de semnal mic din fig. 2.31.

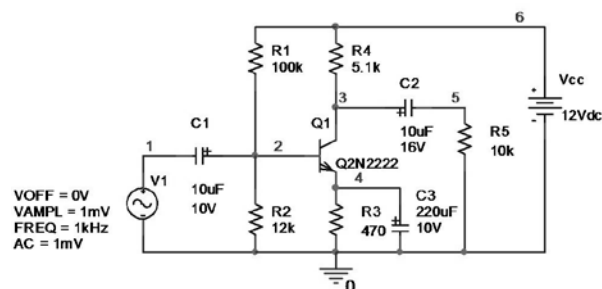


Fig. 2.31.

Fișierul de intrare este de forma:

Amplificator de semnal mic

```

R1      6      2      100k
R2      2      0      12k
R3      4      0      470
R4      6      3      5.1k
R5      5      0      10k
C1      1      2      10uF
C2      3      5      10uF
C3      4      0      220uF
Vcc     6      0      DC    12
V1      1      0      AC    1mV
Q1      3      2      4      Q2N2222
.LIB    BIPOLAR.LIB
.AC     DEC     10     1Hz    1GHz
.PROBE
.END

```

Răspunsul în frecvență are aspectul din fig. 2.32:

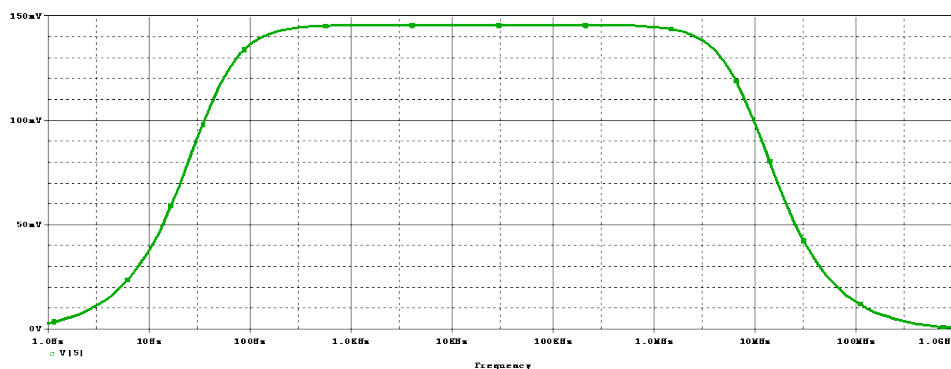


Fig. 2.32.

Dacă se poiază ferestrele Probe Cursor corespunzătoare deplasării cursorilor la frecvențele la care amplitudinea scade la 0,707 din cea maximă, se obține:

Probe Cursor			
A1 =	19.953K,	145.549m	
A2 =	37.273,	103.077m	
dif=	19.915K,	42.472m	

și $f_i=37,2\text{Hz}$, respectiv

Probe Cursor			
A1 =	19.953K,	145.549m	
A2 =	9.0568M,	103.077m	
dif=	-9.0368M,	42.472m	

și $f_s=9,05\text{MHz}$.

Răspunsul în frecvență se poate exprima și în decibeli (fig. 2.33):

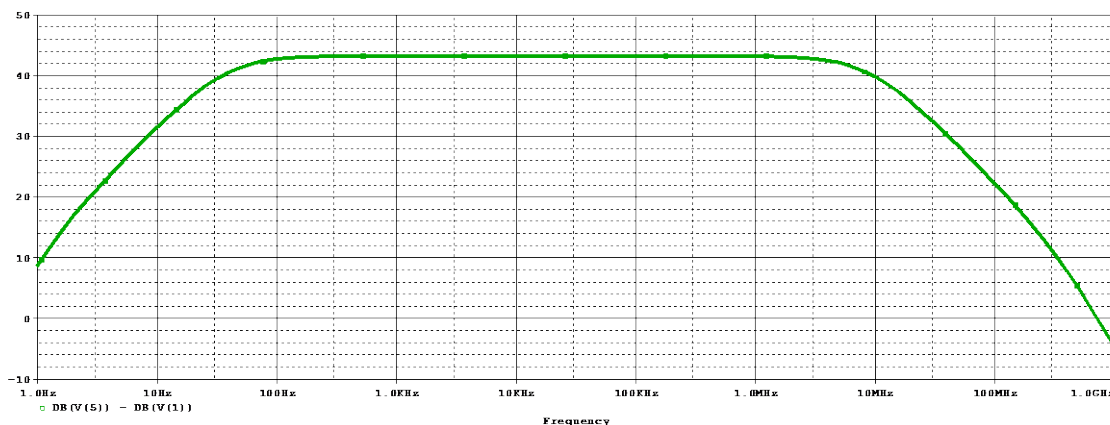


Fig. 2.33.

De această dată, frecvențele limită inferioară, respectiv superioară se găsesc acolo unde amplitudinea scade cu 3dB și sunt identice cu cele determinate mai sus.

2.16 Aplicația 6 – răspunsul în frecvență al modului și fazei

Circuitul din fig. 2.34 reprezintă un amplificator neinversor realizat cu amplificator operațional (AO). Să se determine prin analiză de c.a. răspunsul modului în frecvență și răspunsul fazei în frecvență. Ambele curbe se reprezintă pe același grafic.

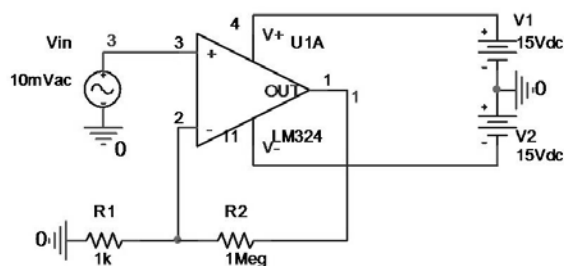


Fig. 2.34.

Descrierea circuitului este:

amplificator neinversor cu AO

```
X1      3      2      4      11      1      LM324
.lib    opamp.lib
R1      0      2      1k
R2      2      1      1Meg
V+      4      0      dc      15V
V-      11     0      dc      -15V
Vin     3      0      ac      0.01
.ac     dec    10     1Hz     1Meg
.probe
.end
```

Răspunsurile în frecvență sunt reprezentate în fig. 2.35. Cu verde s-a reprezentat caracteristica de amplitudine iar cu roșu cea de fază.

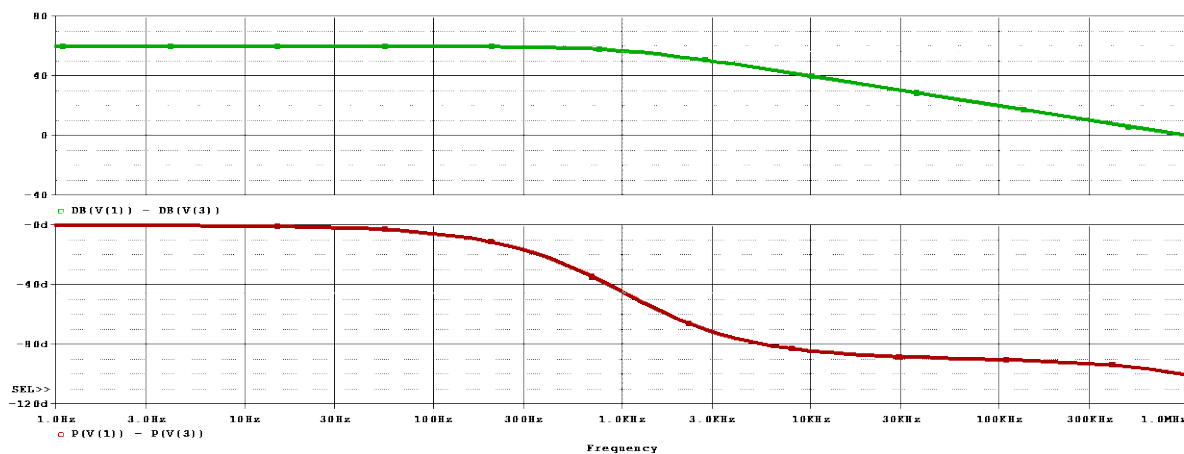


Fig. 2.35.

Prin activarea ferestrelor Probe Cursor pe cele două curbe, se evidențiază pe caracteristica de amplitudine frecvența la -3dB iar pe cea de fază valoarea fazei la frecvența de -3dB, în condițiile în care amplificarea maximă este de 59,9dB:

Probe Cursor			
B1 =	1.0122K,	56.879	
B2 =	1.0122K,	-45.166	
dif=	0.000,	102.045	

- Frecvența la -3dB este 1kHz;
- Faza corespunzătoare este -45°.

2.17 Aplicația 7 – analiza de zgomot

Să se determine zgomotul generat de elementele circuitului din fig. 2.36:

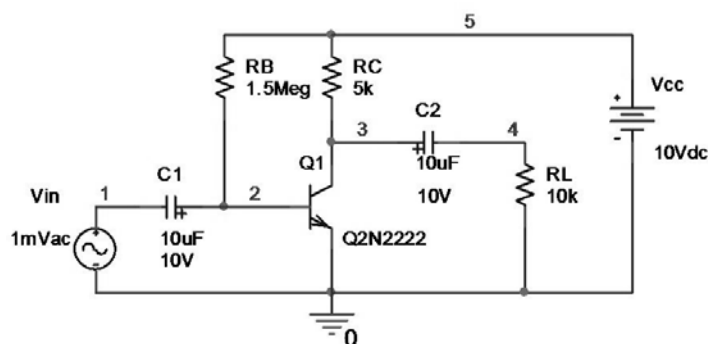


Fig. 2.36.

Descrierea tip text a circuitului este:

Asm - analiza de zgomot

RB	5	2	1.5Meg
RC	5	3	5k
RL	4	0	10k
C1	1	2	10uF
C2	3	4	10uF
Q1	3	2	0 Q2N2222

```
.lib      eval.lib
Vcc       5      0      dc      10
Vin       1      0      ac      1mV
.ac       dec    10     1Hz     100kHz
.NOISE V(4) Vin    10
.end
```

Observații:

- Cuadripolul pe care se face analiza de zgomot este definit de V(4) – ieșirea și Vin – intrarea;
- Raportarea în fișierul de ieșire se face pentru 1Hz, 10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz și 100kHz, adică pornind de la 1Hz pentru frecvențe din 10 în 10, lucru posibil deoarece în declarația .ac s-au luat 10 puncte/decadă.

Rezultatele analizei de zgomot:

- Influența rezistențelor din circuit – tensiune de zgomot exprimată în $V/\sqrt{\text{RT HZ}} = V/\sqrt{\text{Hz}}$. Rezultatele se prezintă în tabelul 2.7:

Tabelul 2.7. tensiuni de zgomot pentru circuitul din fig. 2.35

FREQUENCY	RB	RC	RL
1.000E+00 HZ	3.76E-08	3.96E-09	9.86E-09
1.000E+01 HZ	1.88E-08	5.80E-09	4.33E-09
1.000E+02 HZ	1.99E-09	5.83E-09	4.12E-09
1.000E+03 HZ	2.00E-10	5.83E-09	4.12E-09
1.000E+04 HZ	2.00E-11	5.83E-09	4.12E-09
1.000E+05 HZ	2.00E-12	5.83E-09	4.12E-09

- Zgomotul total la ieșire și zgomotul referit la intrare se prezintă în tabelul 2.8:

Tabelul 2.8

FREQUENCY	TOTAL OUTPUT NOISE VOLTAGE	EQUIVALENT INPUT NOISE AT Vin
1.000E+00 HZ	5.093E-07 V/RT HZ	2.264E-08 V/RT HZ
1.000E+01 HZ	2.632E-07 V/RT HZ	2.348E-09 V/RT HZ
1.000E+02 HZ	7.948E-08 V/RT HZ	6.666E-10 V/RT HZ
1.000E+03 HZ	7.486E-08 V/RT HZ	6.275E-10 V/RT HZ
1.000E+04 HZ	7.482E-08 V/RT HZ	6.271E-10 V/RT HZ
1.000E+05 HZ	7.481E-08 V/RT HZ	6.270E-10 V/RT HZ

Observații:

- Tensiunea de zgomot este mai mare la frecvențe mici ale semnalului prelucrat;
- Influența cea mai mare, la frecvențe joase, o are rezistorul RB.

3. Descrierea grafică a circuitelor

Toate programele moderne de simulare SPICE au și componenta de desenare a circuitelor, urmată de definirea analizelor și lansarea programului de simulare.

Descrierea grafică a circuitelor reprezintă o formă mai ușoară decât cea tip text deoarece în faza de desenare nu trebuie cunoscute declarațiile de descriere a elementelor de circuit și mai spectaculoasă deoarece rezultă schema circuitului.

Pentru descrierea grafică a unui circuit se parcurg mai mulți pași:

3.1 Lansare Capture



Se realizează cu dublu clic pe iconul: Capture Student

3.2 Crearea unui proiect nou

Clic pe iconul:  (Create Document) sau **File - New - Project...**

Apare fereastra *New Project* din fig. 3.1:

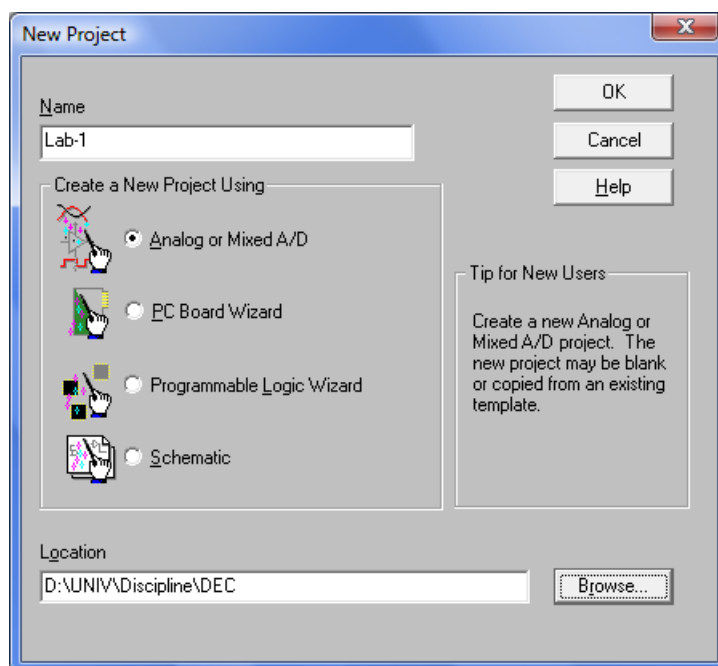


Fig. 3.1.

Se poate alege opțiunea **PC Board Wizard** pentru realizarea cablajului imprimat dar și a unei simulări.

Dacă se dorește numai simulare SPICE, se alege opțiunea **Analog or Mixed A/D**.

În oricare din cele două opțiuni trebuie să se specifice locația unde se dorește salvarea proiectului (se poate folosi mai bine **Browse** după ce se creează un folder special pentru proiecte). Se validează cu clic pe butonul .

Pentru ambele opțiuni prezentate mai sus apare fereastra din fig. 3.2:

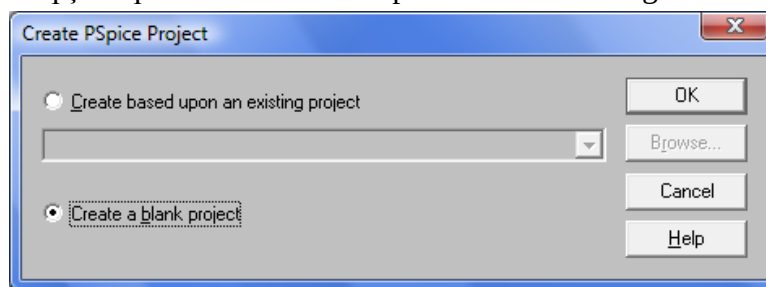


Fig. 3.2.

Se bifează **Create a blank project**. Când se bifează **Create based upon an existing project** se pot utiliza componentele definite într-un proiect realizat anterior.

Când în fereastra New Project se bifează **PC Board Wizard** după validarea cu **OK** apare fereastra din fig. 3.3:

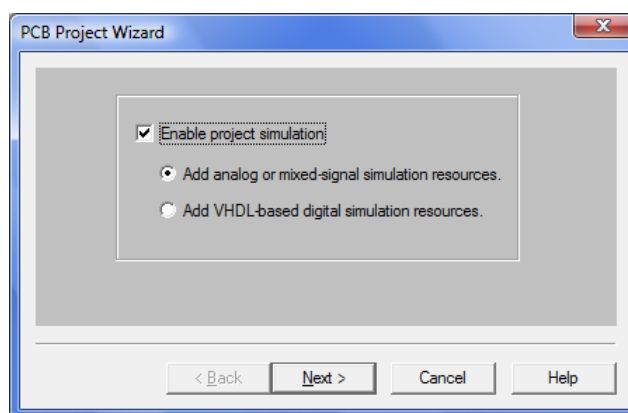


Fig. 3.3.

Dacă se dorește și simulare SPICE, se validează **Enable project simulation**, urmat de clic pe butonul **Next**. Apare fereastra din fig. 3.4:

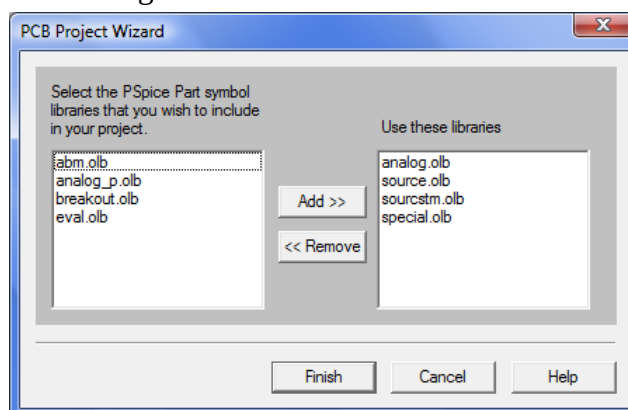


Fig. 3.4.

Se dă clic pe **Finish**. Librăriile de simboluri pot fi adăugate și ulterior, prin selectare și clic pe butonul **Add**.

3.3 Munca pe un proiect existent

Pentru a deschide un proiect creat anterior, se dă clic pe butonul  (**Open Document**) sau se alege din meniul **File - Open - Project...** După ce se alege fișierul dorit, având extensia ***.opj**, se deschid mai multe ferestre – fig. 3.5:

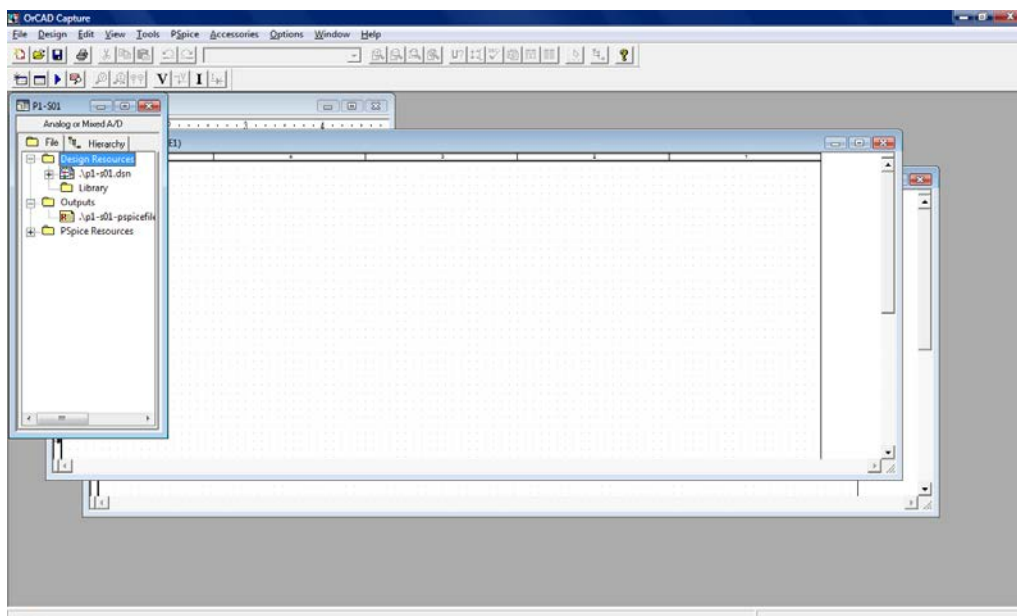


Fig. 3.5.

În fereastra mică din stânga figurii se expandează folder-ul **.p1-s01.dsn**, apoi folder-ul **SCHEMATIC1** și se face dublu clic pagina dorită a proiectului - **PAGE1** din fig. 3.6.

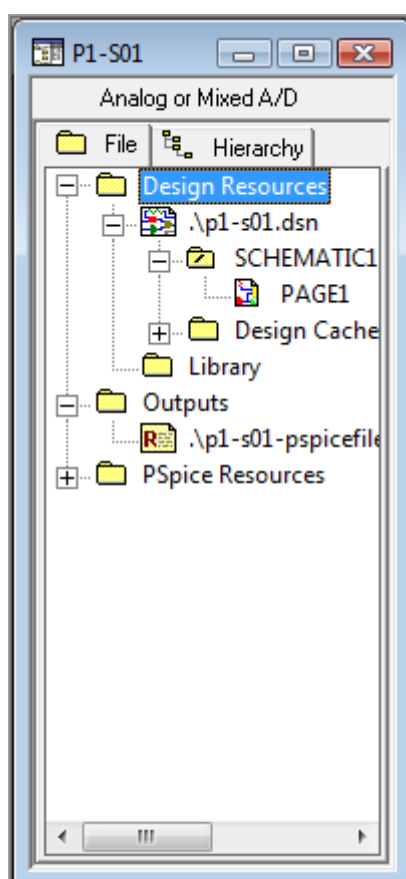


Fig. 3.6.

În fereastra situată imediat sub cea vizualizată în fig. 3.6 apare schema desenată într-o sesiune de lucru anterioară și se pot face editările dorite.

3.4 Fereastra *Project Manager*

Fereastra *Project Manager* permite vizualizarea tuturor fișierelor proiectului.

Din meniul **Window** (fig. 3.7) se alege numele proiectului (**P1-S01** în exemplul ales).

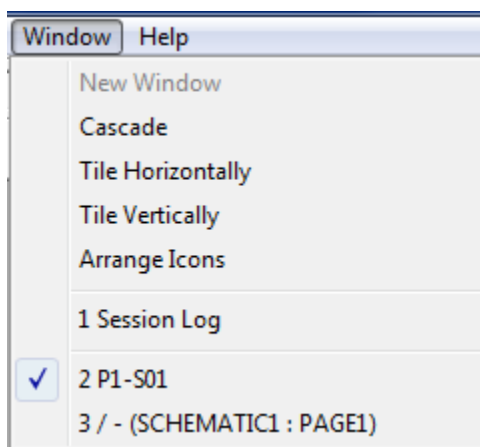


Fig. 3.7.

Dând clic pe **File**, se deschide fereastra fig. 3.8:

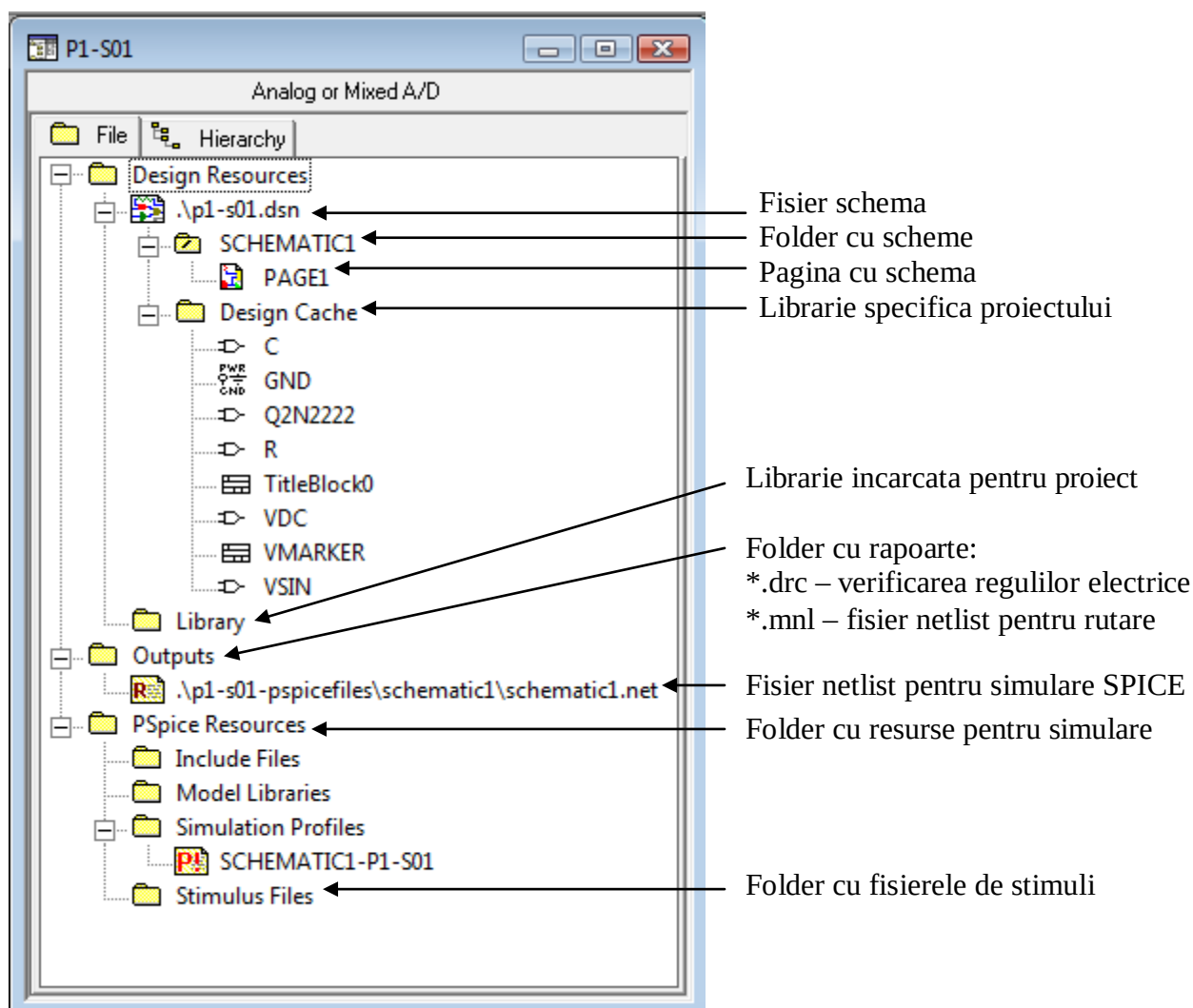


Fig. 3.8.

3.5 Plasarea componentelor

Plasarea componentelor se face dând clic pe butonul  (Place Part) sau din meniul **Place – Part...** sau utilizând scurtătura **P** (clic pe litera P). Se deschide fereastra din fig. 3.9:

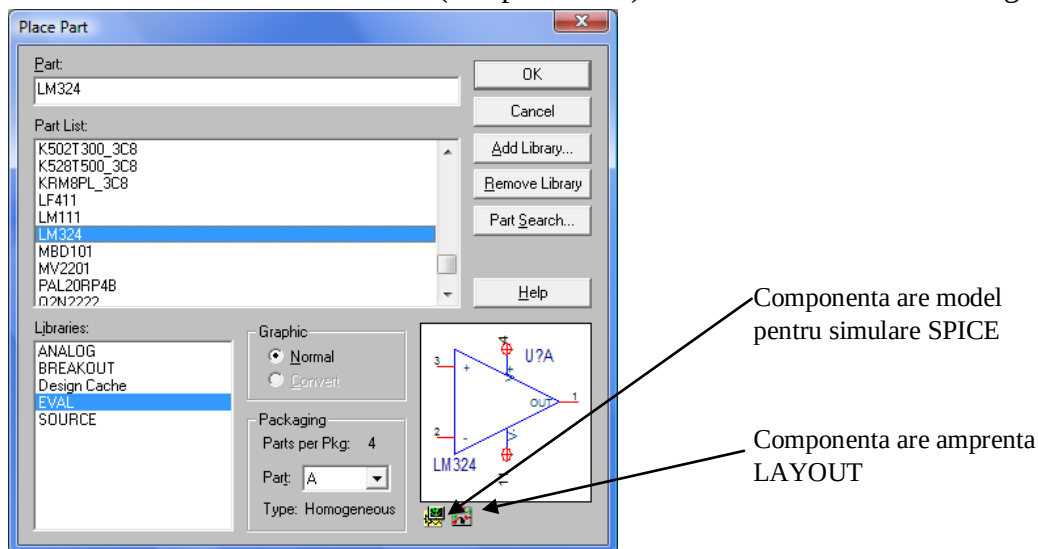


Fig. 3.9.

Dacă este nevoie se pot adăuga biblioteci noi de componente utilizând butonul **Add Library...**

Se alege biblioteca unde se găsește componenta dorită și se dă clic pe butonul **OK**.

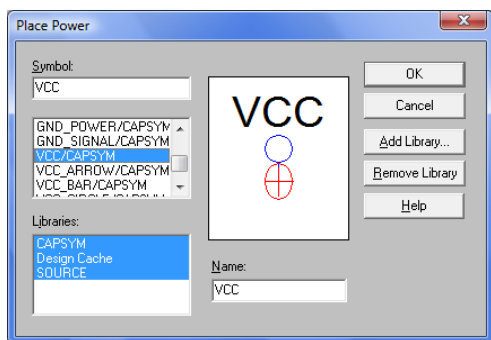
Piesa plasată se poate roti apăsând tasta **R** (R - rotate) sau oglindi (clic dreapta și apar opțiunile de oglindire orizontală sau verticală) după care cu clic stânga componenta se așează pe foaia de lucru. În caz că se cere repetarea componentei în schemă, cursorul păstrează forma componentei alese.

3.6 Plasarea alimentărilor și a masei

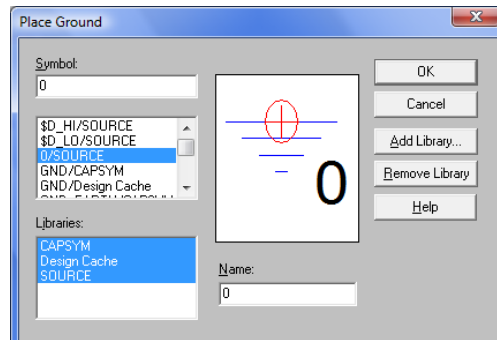
Pentru a nu încărca desenul cu traseele de alimentare, se pun pe foaie, într-o extremă – de exemplu dreapta, bateriile de alimentare (Part Name = VDC) și se folosesc simboluri de alimentare, denumite identic la baterie și la pinul de alimentare al montajului.

Simbolul de alimentare se alege dând clic pe butonul  sau din meniul **Place – Power...** sau scurtătura **F**. Se poate lucra cu **VCC/CAPSYM** (fig. 3.10, a).

Simbolul de masă adecvat simulării SPICE este cel care are numele **0**. Pe fig. 3.10, b este denumit **0/SOURCE**.



a)



b)

Fig. 3.10.

Numele simbolului de alimentare se poate schimba (edita) dând dublu clic pe nume și în fereastra de dialog trecând la **Value**: noul nume.

Simbolul de masă se poate pune pe schemă și dând clic pe butonul . Se deschide o fereastră de **Place Ground** asemănător cu cel de **Place Power**...

3.7 Plasarea legăturilor (firelor)

Plasarea legăturilor (firelor) se face dând clic pe butonul  (Place Wire) sau din meniul **Place - Wire** sau cu ajutorul scurtăturii **W**.

Trasarea unui fir necesită un clic de fiecare dată când se dorește fixarea firului. O schimbare de direcție este posibilă după un clic. Atunci când cursorul ajunge într-un loc unde conexiunea este posibilă, apare un punct roșu pe desen (aidoma unei lipituri!).

Pentru a termina legatura se tastează **Esc** de două ori sau **End Mode** din meniul contextual (clic dreapta).

Se cere atenție ca fiecare pin al unei componente să nu fie legat direct la alt pin al altei componente ci printr-un fir scurt cât permite grila (grid) – punctele de pe desen.

Firele care se încrucișează pot fi legate între ele printr-un clic în momentul în care al doilea fir ajunge la primul sau ulterior dând clic pe butonul  (Place Junction) sau din meniul **Place - Junction** sau folosind scurtatura **J**. În cazul plasării greșite a unei joncțiuni, plasarea alteia peste ea, o înlătură (acțiune binară – cu un clic se pune iar cu următorul se înlătură).

Plasarea repetată a firelor orizontale de aceeași lungime se realizează cu **Edit - Repeat Place** sau scurtătura **F4**.

3.8 Modificarea referintelor si a valorilor de componente

Componentele au *reper (parte) de referință* – **Part Reference** cu numele Part Reference și valoarea **R1, R2,...** în cazul rezistoarelor, de exemplu și *valoare* – **Value** care are ca nume Value și ca valoare chiar valoarea componentei – 22k sau 4.7k (de exemplu), în cazul rezistenței.

În cazul unui amplificator operațional (AO) Part reference este U1A iar Value – LM324 (numele circuitului integrat pentru care primul AO din cele 4 componente s-a numit U1A).

Valorile componentelor discrete trebuie să fie menționate cu convențiile simulatorului SPICE:

- Unitatea de măsură este facultativă dar este preferabil să fie menționată (în afara de simbolul Ω care este imposibil de obținut în SPICE);
- Prefixele sunt următoarele: p (pico), n (nano), u (micro), m (mili), k (kilo), meg (mega), g (giga), t (terra).
- SPICE nu este key sensitive, nu face deosebire între literă mică și literă mare.

3.9 Identificarea legaturilor prin Labels

Traseele echipotențiale (Net) pot fi identificate printr-un label sau **Net Alias** utilizând butonul  (**Place Net Alias**) sau din meniul **Place - Net Alias** sau scurtătura **N**.

Un nume de alias (etichetă) care se termină printr-o cifră va fi automat incrementată pentru următoarea apelare. Numele de etichetă (alias) nu trebuie să aibă litere sau cifre accentuate sau spații.

Un alias poate să fie plasat doar atunci când extremitatea cursorului mouse-ului se găsește pe un fir sau pe un bus. Toate tentativele de a le plasa în altă parte vor fi refuzate.

Etichetele permit identificarea unui fir dintr-un bus.

3.10 Aplicația 8 – descrierea grafică a unui circuit simplu

Să se descrie grafic, utilizând programul OrCAD Capture schema din fig. 3.11. Circuitul reprezintă un filtru pasiv de tipul RIAA (Record Industry of American Association), utilizat la înregistrare.

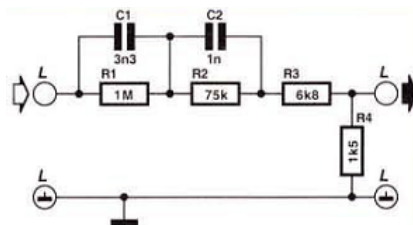


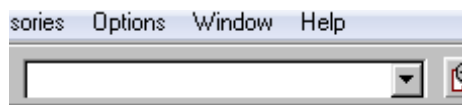
Fig. 3.11. Schemă preluată din colecția revistei Elektor – nr. 7/8 din 2010

Analizând valorile de componente, se observă existența unui rezistor – R1 care are valoarea de 1M Ω - notația de pe schemele electronice. În SPICE valoarea acestei rezistențe se scrie 1Meg.

Simbolul de masă trebuie să aiba numele 0 (zero) pentru ca simulatorul SPICE să poată lucra și să nu returneze mesaj de eroare. Dacă se dorește numai desenarea circuitului, numele 0 pentru masă nu este obligatoriu.

Pentru desenarea circuitului se parcurg următorii pași:

1. Lansarea programului *Capture*:
 - Dublu clic pe *Capture.exe*;
 - Se alege din meniul File / New / Project;
 - Dacă se dorește simulare se bifează *Analog or Mixed A/D*. În caz contrar se lasă bifarea implicită de la *Schematic*.
 - Se completează numele proiectului în fereastra *Name*;
 - Se alege locația D:\Temp (de exemplu) în fereastra *Location*;
 - Se bifează *Create a blank project* – OK.
2. Adăugarea bibliotecilor de componente:
 - *Place part* tastând **P** sau meniul *Place* submeniul *Part...* sau butonul *Place part* ;
 - Clic pe *Add Library...*;
 - Se selectează conținutul folderului urmat de *Open*;
 - Se închide fereastra *Place part* sau se caută o componentă.
3. Plasarea componentelor:
 - Pentru alegerea unei componente se scrie numele componentei în fereastra **Place Part**;



- plasarea componentei (cursorul capătă forma componentei): **clic** în foaia de desenare;
- rotirea componentei (cât timp simbolul componentei este mov): se tastează **R**;

- oglindirea componentei (cât timp simbolul componentei este mov): clic dreapta pe componentă și se selectează **Mirror Horizontally** sau **Mirror Vertically**, după caz;
- anularea plasării componentei: se tastează **Esc**.

Observații:

- ultimele 10 componente alese se pot apela din fereastra **Place Part**;
- se recomandă să nu se unească componentele între ele direct. Este bine să se lase spațiu pentru fir plasat cu comanda **W**.

4. Editarea componentei:

- selectarea unei componente: clic pe simbolul componentei;
- rotire (**R**), oglindire (clic dreapta urmat de **Mirror Horizontally** sau **Mirror Vertically**);
- modificare nume: **dublu clic pe nume** și în fereastra **Value** din **Display Properties** se scrie noul nume;
- modificare valoare: **dublu clic pe valoare** și în fereastra **Value** din **Display Properties** se scrie noua valoare.

5. Trasarea liniilor de conexiune

Place / Wire, sau se tastează **W**, sau clic pe butonul 

Cursorul se transformă într-o cruciuliță. Se dă **clic** la începutul liniei, **se trage cursorul** până în poziția dorită și se dă din nou **clic**. Punctele de joncțiune se pun automat. Linia se poate frânge o singură dată la 90°.

6. Plasarea de etichete pe fire

Se notează cu **Lin** - intrarea, **Lout** - ieșirea și **L0** – masa.

Desenul realizat în OrCAD Capture are forma din fig. 3.12

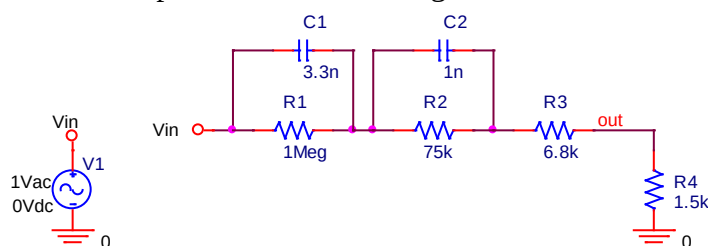


Fig. 3.12.

3.11 Aplicația 9 - – descrierea grafică a unui circuit complex

Să se descrie grafic, utilizând programul OrCAD Capture schema din fig. 3.12. Circuitul reprezintă un amplificator de putere clasă B pilotat cu ajutorul unui amplificator operațional de tipul TL084.

Circuitul este mai complex decât cel din fig. 3.11. Etajul final este alcătuit din tranzistoarele complementare T_3 și T_4 .

La desenarea circuitului nu trebuie obligatoriu să se acorde atenție modului de denumire a tranzistoarelor bipolare. Pot fi păstrate numele de pe schema originală. Capture are un autocorect care adaugă în fața numelui pus de utilizator litera Q caracteristică acestor tipuri de tranzistoare.

În loc de difuzor trebuie, pentru a se putea face simularea SPICE, să se conecteze un rezistor cu valoarea de 8Ω .

Simbolul condensatoarelor electrolitice C_9 și C_{11} are o armătură albă care reprezintă borna polarizată plus. Cealaltă armătură reprezintă minusul condensatorului.

Parametrul CMAX reprezintă valoarea tensiunii de lucru a condensatoarelor. Se face dublu clic pe acest parametru și se trece valoarea sa în volți. În acest exemplu valoarea se ia egală cu 16V.

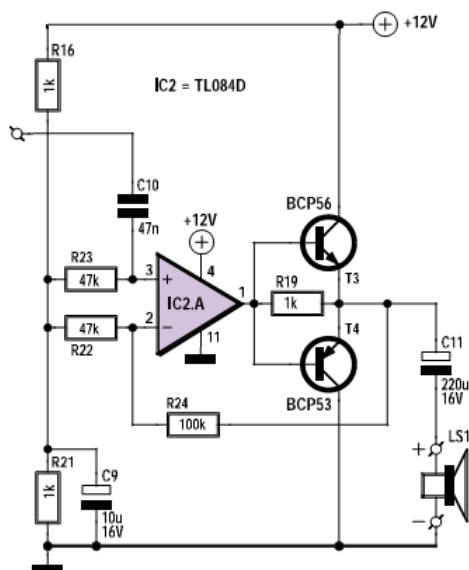


Fig. 3.12. Schemă preluată din colecția revistei Elektor – nr. 5 din 2011

Borna unde se aplică semnalul de intrare se obține dintr-o bornă de alimentare VCC/CAPSYM, redenumită Vin, de exemplu.

Definirea unui profil de simulare presupune parcurgerea următorilor pași:

- Din meniul *PSpice* se alege submeniul *New Simulation Profile* sau clic pe butonul 
 - În fereastra *New Simulation* se dă un nume (poate fi cel al proiectului), urmat de *Create*
 - În fereastra *Simulation Settings* se alege *Bias Point* de la *Analysis Type*
- Rularea programului de simulare **SPICE** se face prin utilizarea uneia din comenzile:

PSpice / Run, sau **F11** sau clic pe butonul 

Prin activarea butonului “voltmetru”  de pe foaia de desenare, se pot vedea valorile potențialelor din nodurile circuitului.

Desenul realizat în OrCAD Capture are forma din fig. 3.14:

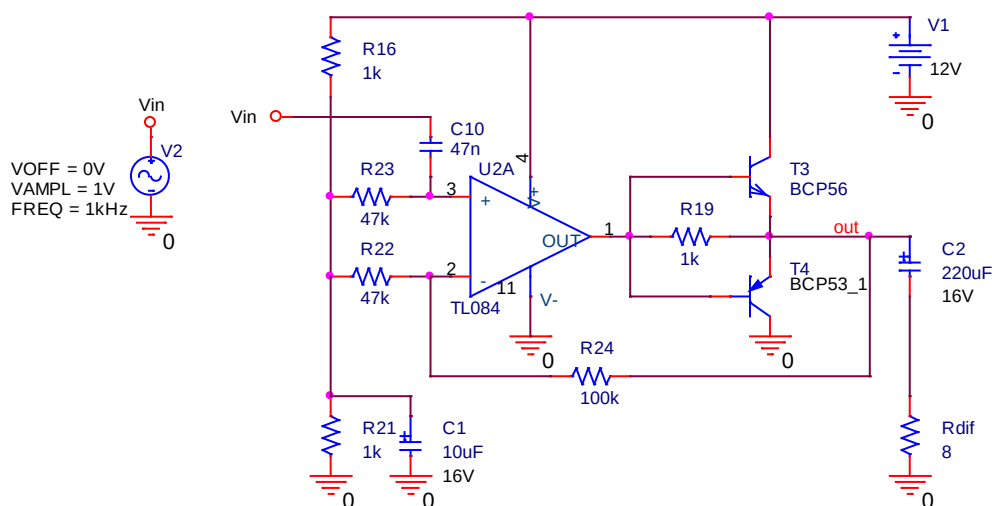


Fig. 3.14.

Schema cu valorile potențialelor din noduri se prezintă în fig. 3.15:

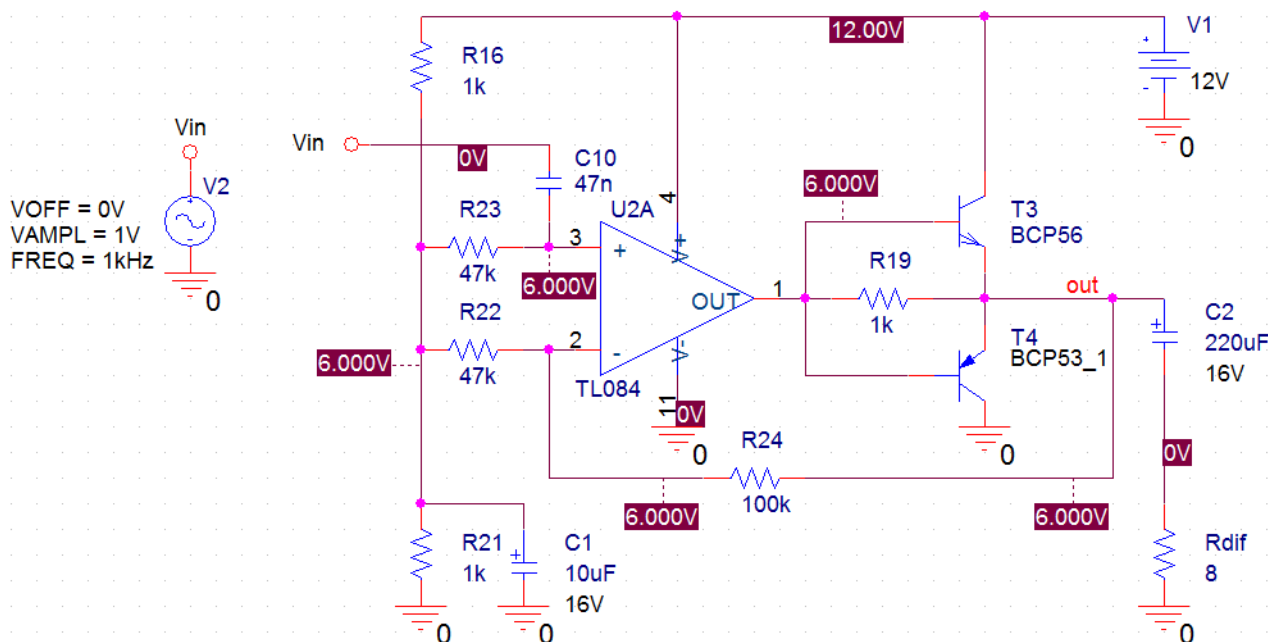


Fig. 3.15.

3.12 Aplicația 10 – descriere grafică și echivalare Thévenin - 1

Să se deseneze cu ajutorul programului *Capture* circuitul din fig. 3.16 și să se determine:

- căderea de tensiune între bornele A1 și B1;
- căderea de tensiune pe rezistorul R5;
- curentul prin rezistorul R3;
- curenții prin rezistoarele R4 și R5.

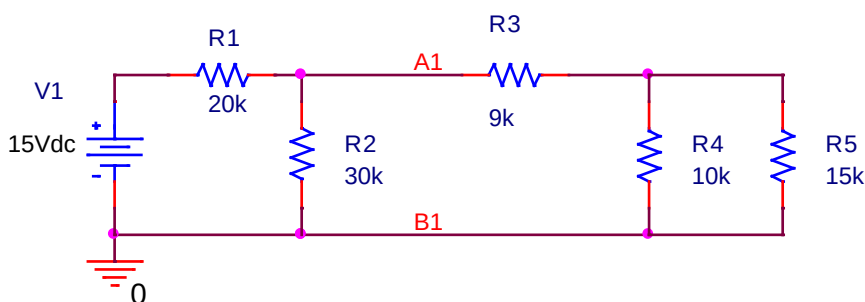


Fig. 3.16.

Se desenează circuitul în OrCAD Capture.

Pentru vizualizarea tensiunilor din nodurile circuitului și a curenților din laturi, se activează (prin clic) butoanele „V” și „I” din grupul de butoane  de pe foaia de desenare Capture.

Se dă clic pe butonul „New Simulation profile” și se lasă opțiunile propuse implicit de program.

Se rulează SPICE, se revine în foaia de desenare Capture și se dă clic pe butonul „V” și apoi pe butonul „I”. Se obțin răspunsurile din fig. 3.17.

Valorile de pe desenele din fig. 17 se trec în tabelul 3.1.

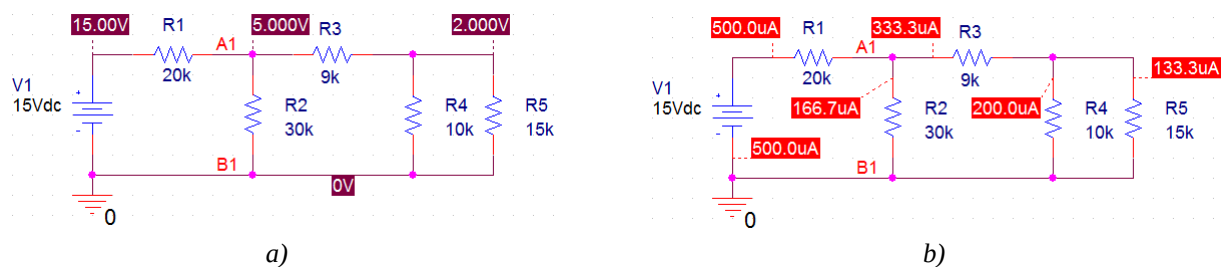


Fig. 3.17.

Tabelul 3.1.

U_{A1B1} [V]	U_{R5} [V]	I_{R3} [mA]	I_{R4} [mA]	I_{R5} [mA]
5	2	0,333	0,2	0,133

3.13 Aplicația 11 – descriere grafică și echivalare Thévenin - 2

Să se deseneze, utilizând OrCAD Capture, circuitul rezultat prin aplicarea teoremei Thévenin circuitului din fig. 3.16. Se obține circuitul din fig. 3.18.

Să se determine:

- căderea de tensiune între bornele A2 și B2;
- căderea de tensiune pe rezistorul R5;
- curentul prin rezistorul R3;
- curenții prin rezistoarele R4 și R5.

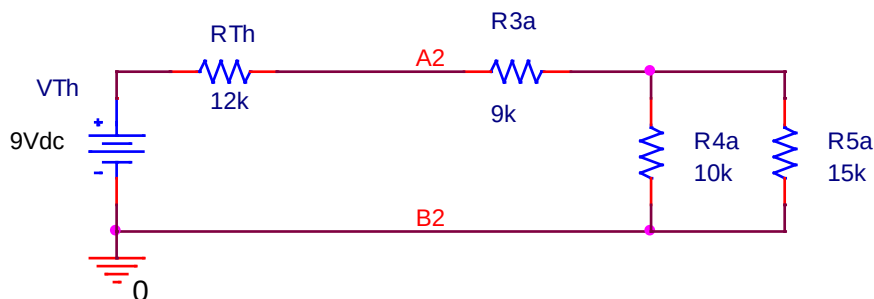


Fig. 3.18

Se desenează circuitul în OrCAD Capture.

Pentru vizualizarea tensiunilor din nodurile circuitului și a curenților din laturi, se activează (prin clic) butoanele „V” și „I” din grupul de butoane  de pe foaia de desenare Capture.

Se dă clic pe butonul „New Simulation profile” și se lasă opțiunile propuse implicit de program.

Se rulează SPICE, se revine în foaia de desenare Capture și se dă clic pe butonul „V” și apoi pe butonul „I”. Se obțin răspunsurile din fig. 3.19.

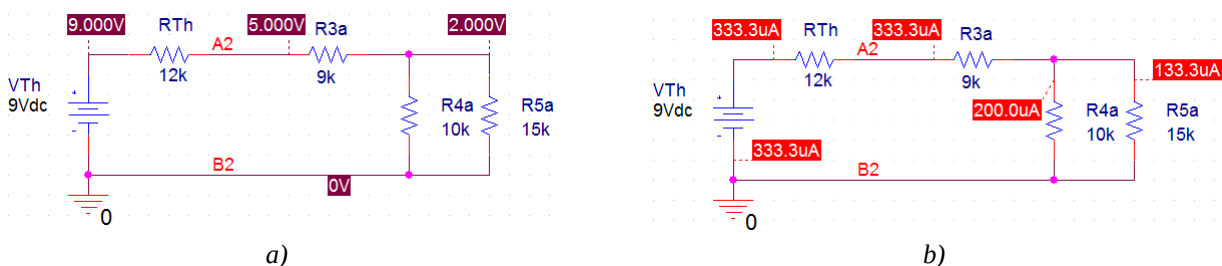


Fig. 3.19.

Valorile de pe desenele din fig. 19 se trec în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

U_{A2B2} [V]	U_{R5a} [V]	I_{R3a} [mA]	I_{R4a} [mA]	I_{R5a} [mA]
5	2	0,333	0,2	0,133

Analizând rezultatele obținute în aplicațiile 10 și 11, se observă că valorile din puncte omoloage ale circuitelor din fig. 16 și 18 sunt identice. Rezultă că din punct de vedere electric cele două circuite sunt echivalente.

4. Simularea în curent continuu

Pentru a alege tipul de analiză SPICE și parametrii necesari, se dă clic pe butonul *New Simulation Profile* de pe pagina de desenare Capture (fig. 4.1):

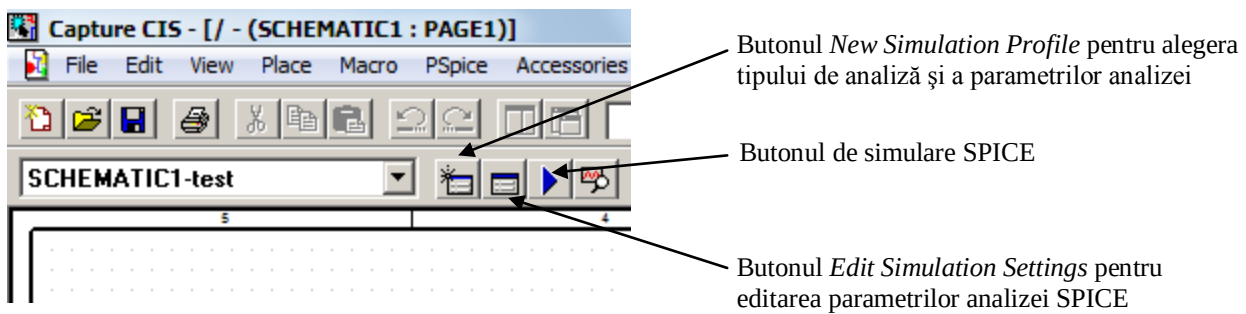


Fig. 4.1

După un clic pe butonul *New Simulation Profile* se deschide fereastra de dialog din fig. 4.2 care permite denumirea profilului de simulare în vederea unei utilizări ulterioare:

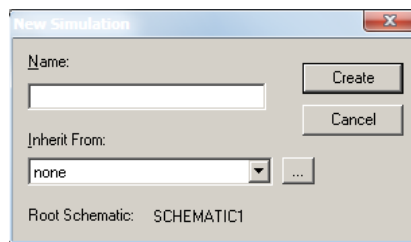


Fig. 4.2.

După completarea în fereastra *Name* se dă clic pe butonul *Create*.

Alegerea tipului de analiză și a parametrilor analizei se fac prin intermediul ferestrei *Simulation Settings* din fig. 4.3:

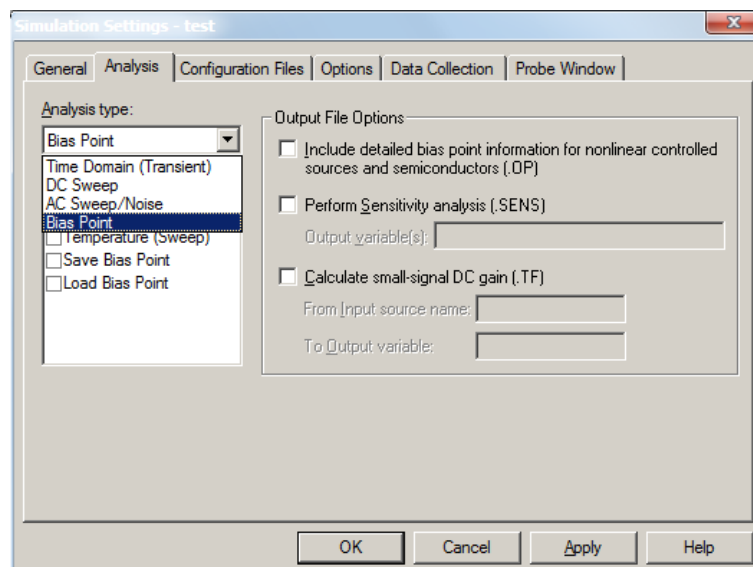


Fig. 4.3.

Pentru simularea de curent continuu, din fereastra *Analysis type* se poate alege:

- *DC Sweep* – analiza de c.c. pentru trasarea caracteristicii de transfer a circuitului analizat;
- *Bias Point* – analiza de c.c. care conține componente selectabile prin bifare în fereastra din dreptul lor și care corespund analizelor SPICE descrise ca la modul text:
 - o .OP
 - o .SENS
 - o .TF

4.1 Aplicația 12 – simulare în c.c. completă

Amplificatorul diferențial din fig. 4.4 este polarizat cu ajutorul unei oglinzi de curent. Să se efectueze o simulare de c.c. și să se determine:

- a) Caracteristica de transfer;
- b) Punctele statice de funcționare ale tranzistoarelor;
- c) Funcția de transfer;
- d) Senzitivitatea tensiunii de ieșire diferențiale, $V(out1, out2)$.

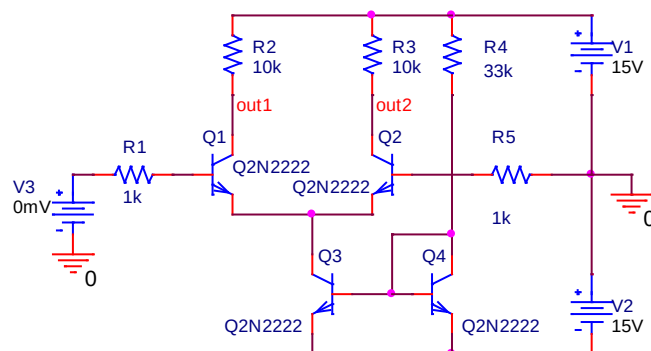


Fig. 4.4.

- a) Caracteristica de transfer se obține dacă se alege tipul de analiză *DC Sweep* în fereastra de dialog *Simulation Settings* (fig. 4.5):

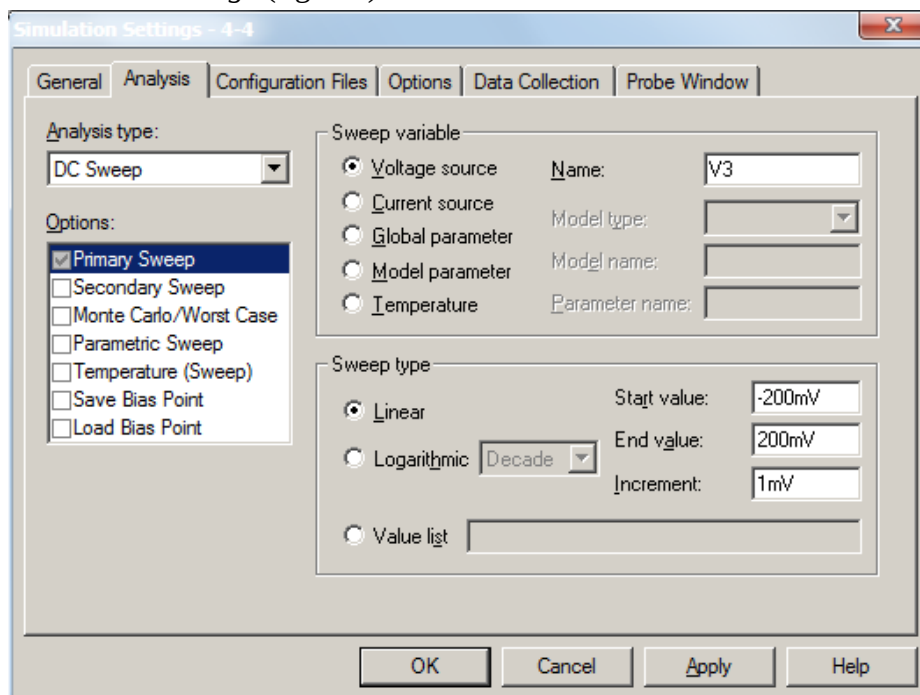


Fig. 4.5.

În zona *Sweep variable* se trece numele sursei independente de tensiune a cărei modificare duce la obținerea caracteristicii de transfer. În cazul circuitului din fig. 4.5, sursa independentă de tensiune de la intrare (baza tranzistorului Q1) este V3.

Se consideră o variație a tensiunii sursei V3 între -200mV și +200mV, cu un pas de variație de 1mV. Aceste valori se completează în zona *Sweep type*:

- *Start value* = -200mV,
- *End value* = 200mV și
- *Increment* = 1mV

Se alege modul liniar de variație a tensiunii sursei independente de tensiune, V3, bifând în cerculețul din dreptul opțiunii *Linear*.

Urmează clic pe butonul **OK**.

Butonul de simulare SPICE devine activ (se colorează în albastru), se apasă butonul și programul începe simularea SPICE.

După ce se încheie simularea, se deschide fereastra de postprocesare analogică *SCHEMATIC1-nume circuit* (fig. 4.6).

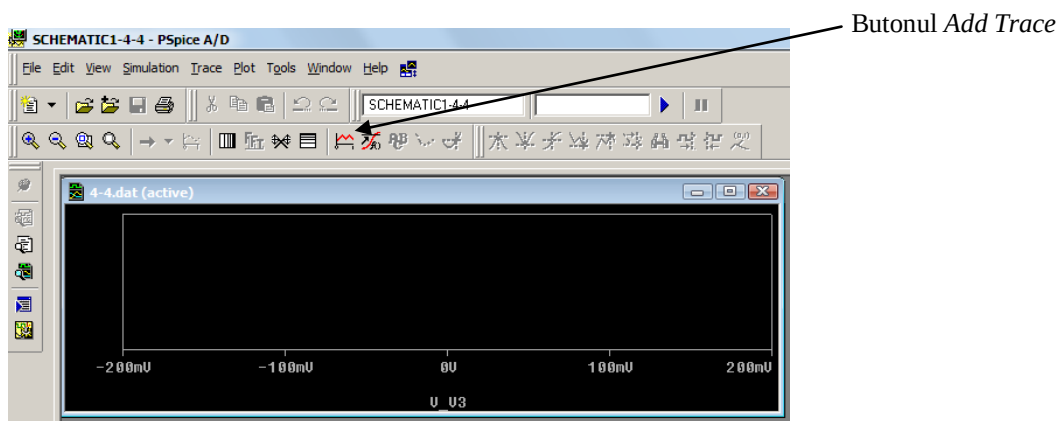


Fig. 4.6

Pentru a adăuga o curbă se dă clic pe butonul  - *Add Trace* sau se alege din meniul **Trace** – **Add Trace**. Se deschide fereastra *Add Trace* din fig. 4.7. În această fereastră apar, ca denumire, toate potențialele din noduri și curenții din laturi.

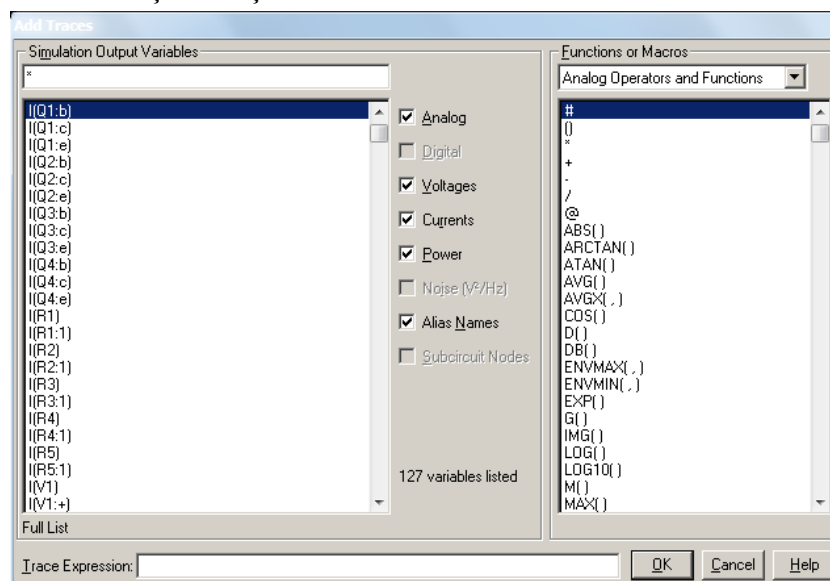


Fig. 4.7.

Orice clic pe o mărime din fereastra *Simulation Output Variables* determină apariția acelei variabile în fereastra de jos – *Trace Expression:*. În cazul acestei aplicații deoarece $V(out1,out2)=V(out1)-V(out2)$, în fereastra *Trace Expression:* se scrie $V(out1)-V(out2)$.

Pentru a alege mai ușor variabila sau variabilele a căror reprezentare grafică se dorește, se pot invalida tipurile de variabile *Alias Names*, *Power* și *Currents*.

Se observă că pe abscisa caracteristicii apare domeniul de variație a tensiunii sursei independente V3, așa cum a fost specificat în fereastra *Simulation Settings*.

Prin alegerea variabilei tip expresie $V(out1)-V(out2)$, se obține caracteristica de transfer cerută (fig. 4.8):

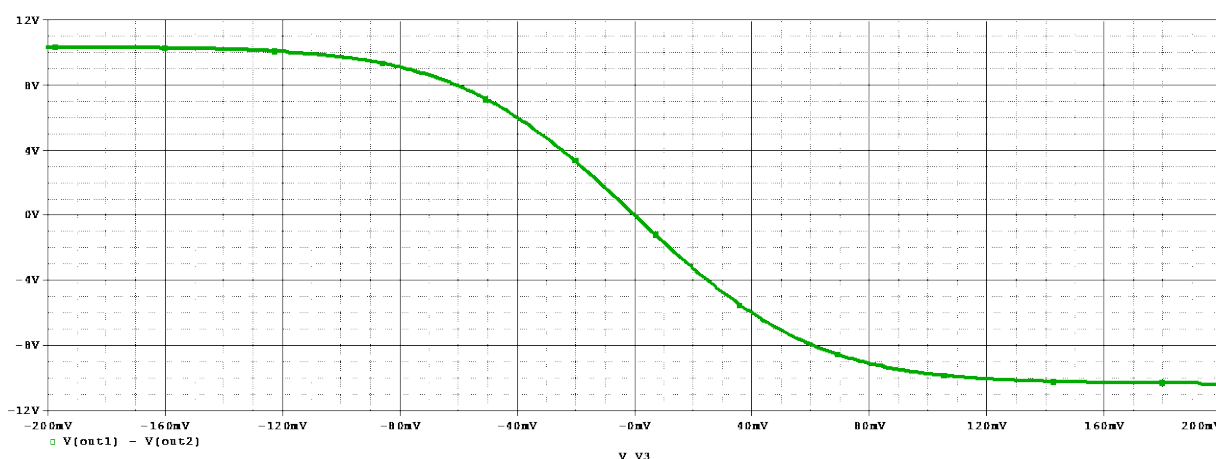


Fig. 4.8.

Caracteristicile curbei (culoare, tipar și grosime) se pot modifica, pentru o vizibilitate mai bună, dând clic dreapta pe curbă și modificând grosimea liniei caracteristicii. Se deschide fereastra de dialog *Trace Properties* (fig. 4.9):

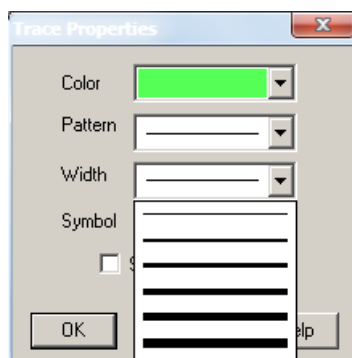


Fig. 4.9.

Caracteristica se poate copia și însera într-un document alegând din meniul **Window** comanda **Copy to Clipboard...** Se deschide fereastra de filtrare a culorii curbei – *Copy to Clipboard – Color Filter* din fig. 4.10:

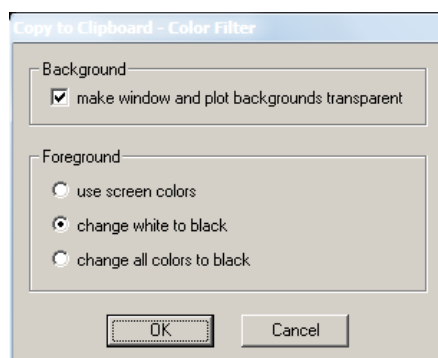


Fig. 4.10.

Se pot lăsa setările implicite sau se pot modifica opțiunile în funcție de cerințele utilizatorului.

Din moment ce caracteristica de transfer este în memorie (Clipboard), prin lipire (Paste sau scurtătura **Ctrl+V**) curba se poate aduce într-un document.

- b) Punctele statice de funcționare (PSF) ale tranzistoarelor se obțin dacă se alege tipul de analiză *Bias Point* în fereastra de dialog *Simulation Settings* (fig. 4.11), dând clic pe butonul *Edit Simulation Settings* din foaia de desenare Capture. În zona *Output File Options* se bifează la .OP:

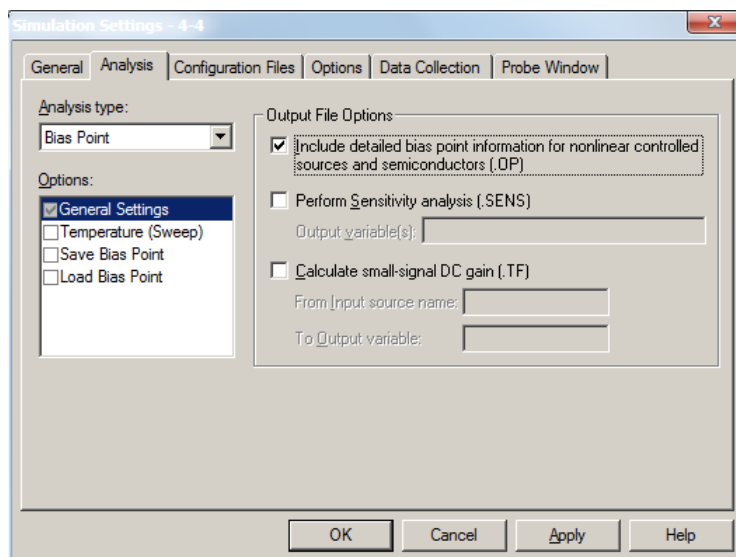


Fig. 4.11.

Clic pe butonul OK, se rulează SPICE-ul și se observă că fereastra SCHEMATIC1 rămâne de culoare gri, ceea ce este normal pentru că nu s-a cerut reprezentare grafică.

Valorile din PSF se găsesc în fișierul de ieșire care se poate citi dând clic pe butonul View Simulation Output File (fig. 4.12):

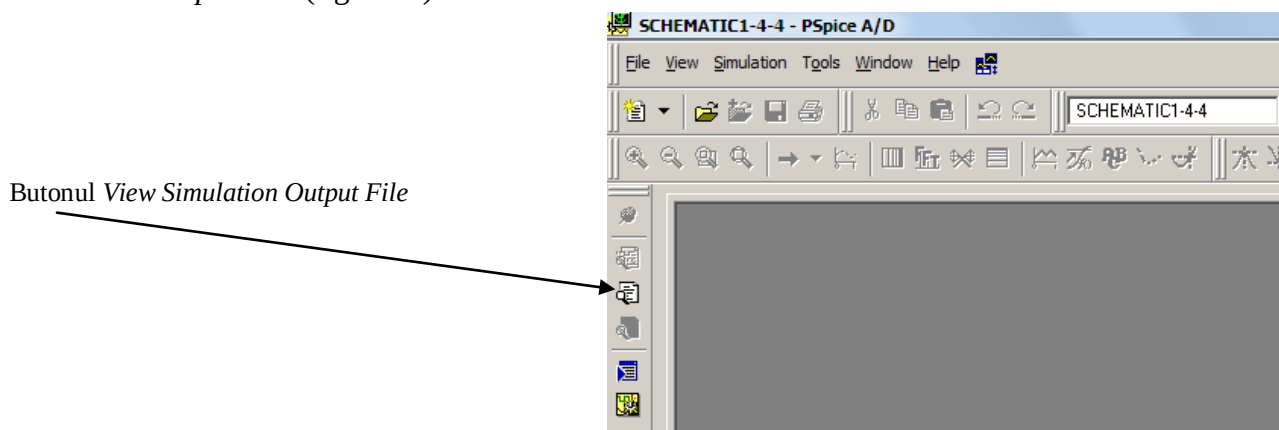


Fig. 4.12.

Fișierul de ieșire conține:

- descrierea tip text a circuitului cu numerotarea automată a nodurilor - CIRCUIT DESCRIPTION,
- parametrii de model pentru tranzistoarele bipolare - BJT MODEL PARAMETERS,
- potențialele din noduri - SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION,
- valorile curenților prin sursele de tensiune - VOLTAGE SOURCE CURRENTS
- puterea disipată totală - TOTAL POWER DISSIPATION,

- informații despre punctul de funcționare - OPERATING POINT INFORMATION
Mărimile cerute ale PSF-ului se prezintă în tabelul 4.1:

Tabelul 4.1 – PSF-ul tranzistoarelor

NAME	Q_Q1	Q_Q2	Q_Q3	Q_Q4
MODEL	Q2N2222	Q2N2222	Q2N2222	Q2N2222
IB	3.34E-06	3.34E-06	6.01E-06	6.01E-06
IC	5.17E-04	5.17E-04	1.04E-03	8.78E-04
VBE	6.26E-01	6.26E-01	6.43E-01	6.43E-01
VBC	-9.84E+00	-9.84E+00	-1.37E+01	0.00E+00
VCE	1.05E+01	1.05E+01	1.44E+01	6.43E-01
BETADC	1.55E+02	1.55E+02	1.73E+02	1.46E+02
GM	1.99E-02	1.99E-02	4.01E-02	3.38E-02
RPI	8.68E+03	8.68E+03	4.78E+03	4.78E+03
RX	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01
RO	1.62E+05	1.62E+05	8.44E+04	8.44E+04
CBE	4.40E-11	4.40E-11	5.28E-11	5.02E-11
CBC	2.96E-12	2.96E-12	2.66E-12	7.31E-12
CJS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BETAAC	1.73E+02	1.73E+02	1.92E+02	1.62E+02
CBX/CBX2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
FT/FT2	6.76E+07	6.76E+07	1.15E+08	9.36E+07

- c) Funcția de transfer se obține dacă se alege tipul de analiză *Bias Point* în fereastra de dialog *Simulation Settings* (fig. 4.13), dând clic pe butonul *Edit Simulation Settings* din foaia de desenare Capture. În zona *Output File Options* se bifează la .TF:

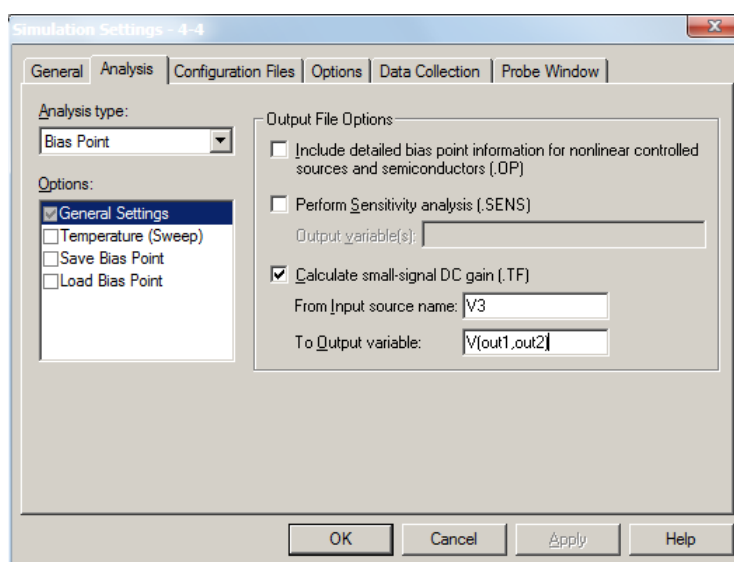


Fig. 4.13.

Clic pe butonul OK și se rulează SPICE-ul.

Valorile prin care se caracterizează funcția de transfer se citesc tot din fișierul de ieșire în zona SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS:

$V(OUT1,OUT2)/V_V3 = -1.683E+02$

INPUT RESISTANCE AT V_V3 = 1.938E+04

OUTPUT RESISTANCE AT V(OUT1,OUT2) = 1.884E+04

Mărimile afișate indică:

- amplificare egală cu 168,3, semnul minus arătând că semnalul de ieșire este în antifază cu cel de intrare;
 - rezistența dinamică văzută de la sursa de tensiune V3 egală cu 19,38k Ω și
 - rezistența dinamică văzută între cele 2 colectoare ale tranzistoarelor Q1 și Q2 egală cu 18,84 k Ω .
- d) Sensitivitatea tensiunii de ieșire diferențiale, V(out1,out2) se obține dacă se alege tipul de analiză *Bias Point* în fereastra de dialog *Simulation Settings* (fig. 4.14), dând clic pe butonul *Edit Simulation Settings* din foaia de desenare Capture. În zona *Output File Options* se bifează la .SENS și la Output Variable(s) se completează variabila de ieșire pentru care se dorește această analiză, V(out1,out2), în acest caz:

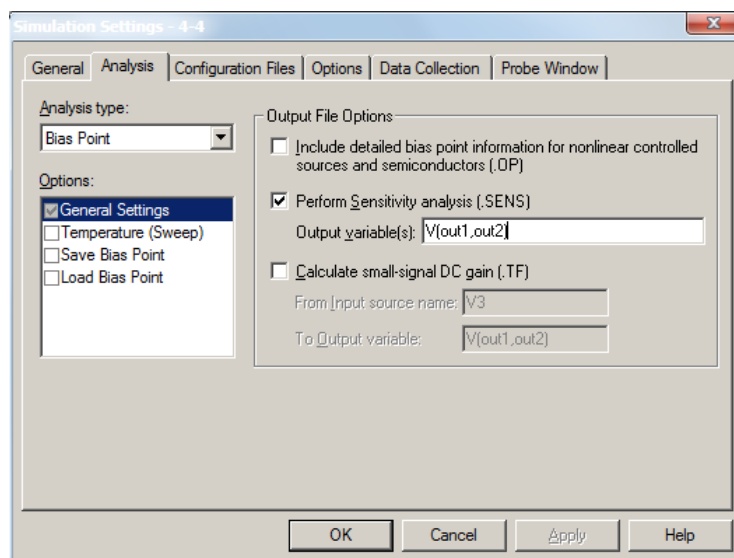


Fig. 4.14.

Clic pe butonul OK și se rulează SPICE-ul.

Valorile prin care se caracterizează sensibilitatea tensiunii de ieșire se citesc tot din fișierul de ieșire în zona DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(OUT1,OUT2):

ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)
R_R4	3.300E+04	-2.705E-18	-8.928E-16
R_R5	1.000E+03	-5.628E-04	-5.628E-03
R_R1	1.000E+03	5.628E-04	5.628E-03
R_R2	1.000E+04	-4.868E-04	-4.868E-02
R_R3	1.000E+04	4.868E-04	4.868E-02
V_V1	1.500E+01	2.264E-15	3.396E-16
V_V2	1.500E+01	4.058E-15	6.087E-16
V_V3	0.000E+00	-1.683E+02	0.000E+00
Q_Q1			
RB	1.000E+01	5.628E-04	5.628E-05
RC	1.000E+00	3.000E-05	3.000E-07
RE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

BF	2.559E+02	-1.186E-03	-3.035E-03
ISE	1.434E-14	1.848E+13	2.649E-03
BR	6.092E+00	6.932E-11	4.223E-12
ISC	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IS	1.434E-14	-3.178E+14	-4.557E-02
NE	1.307E+00	-3.751E+00	-4.902E-02
NC	2.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IKF	2.847E-01	-2.731E-02	-7.776E-05
IKR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
VAF	7.403E+01	7.712E-03	5.709E-03
VAR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Q_Q2

RB	1.000E+01	-5.628E-04	-5.628E-05
RC	1.000E+00	-3.000E-05	-3.000E-07
RE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
BF	2.559E+02	1.186E-03	3.035E-03
ISE	1.434E-14	-1.848E+13	-2.649E-03
BR	6.092E+00	-6.932E-11	-4.223E-12
ISC	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IS	1.434E-14	3.178E+14	4.557E-02
NE	1.307E+00	3.751E+00	4.902E-02
NC	2.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IKF	2.847E-01	2.731E-02	7.776E-05
IKR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
VAF	7.403E+01	-7.712E-03	-5.709E-03
VAR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Q_Q3

RB	1.000E+01	-2.052E-17	-2.052E-18
RC	1.000E+00	-1.058E-18	-1.058E-20
RE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
BF	2.559E+02	1.808E-18	4.626E-18
ISE	1.434E-14	-2.414E-02	-3.462E-18
BR	6.092E+00	-8.511E-26	-5.185E-27
ISC	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IS	1.434E-14	6.174E+00	8.853E-16
NE	1.307E+00	5.034E-15	6.579E-17
NC	2.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IKF	2.847E-01	9.606E-16	2.735E-18
IKR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
VAF	7.403E+01	-1.886E-16	-1.396E-16
VAR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Q_Q4

RB	1.000E+01	2.049E-17	2.049E-18
RC	1.000E+00	1.044E-18	1.044E-20
RE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
BF	2.559E+02	8.910E-19	2.280E-18
ISE	1.434E-14	-1.190E-02	-1.706E-18
BR	6.092E+00	-4.227E-28	-2.575E-29
ISC	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
IS	1.434E-14	-6.139E+00	-8.803E-16
NE	1.307E+00	2.481E-15	3.243E-17
NC	2.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

IKF	2.847E-01	-9.477E-16	-2.698E-18
IKR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
VAE	7.403E+01	-1.314E-20	-9.725E-21
VAR	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Observații:

- Toate cele 3 analize de la Bias Point se pot realiza dintr-o singură rulare a programului de simulare, fiecare analiză generând rezultate în fișierul de ieșire.

4.2 Aplicația 13 – funcția de transfer

Să se determine funcția de transfer pentru circuitul din fig. 4.15.

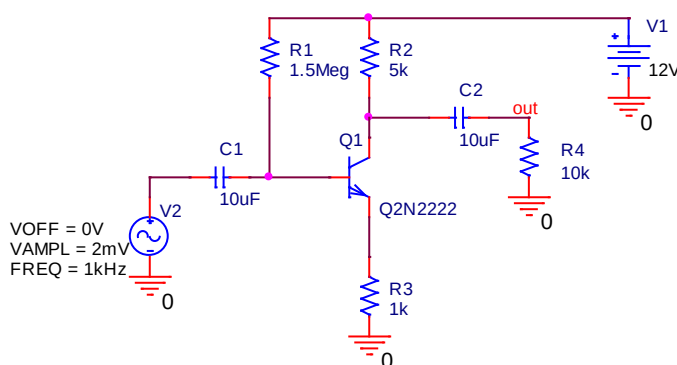


Fig. 4.15.

Se alege analiza de c.c. *Bias Point* din fereastra de dialog *Simulation Settings*, dând clic pe butonul *Edit Simulation Settings* din foaia de desenare Capture. În zona *Output File Options* se bifează la .TF și se fac completările:

- La *From Input source name*: se trece V2,
 - La *To Output variable*: se trece V(out).
- Clic pe butonul OK și se rulează SPICE-ul.

Valorile prin care se caracterizează funcția de transfer se citesc din fișierul de ieșire în zona SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS:

V(OUT)/V_V2 = 0.000E+00
 INPUT RESISTANCE AT V_V2 = 1.000E+20
 OUTPUT RESISTANCE AT V(OUT) = 1.000E+04

Rezultatul este dezamăgitor și incorect deoarece s-a pierdut din vedere elementul esențial: ANALIZA ESTE DE CURENT CONTINUU. Din cauza condensatoarelor C1 și C2, schema nu poate fi „citită” în c.c. de programul de simulare.

Concluzia importantă este aceea că nu se poate determina funcția de transfer decât pentru circuitele care „pot fi citite în c.c.”.

Circuitul din fig. 4.15 poate fi redesenat sub forma din fig. 4.16 care poate fi „citită” în c.c. Pentru a face acest lucru, s-au păstrat aceleași potențiale în noduri și aceași curenți prin laturi (circuit echivalent) și s-a renunțat la R4. În final, se determină rezistența de ieșire a montajului considerând R4 legat în paralel cu rezistența de ieșire oferită de simulare.

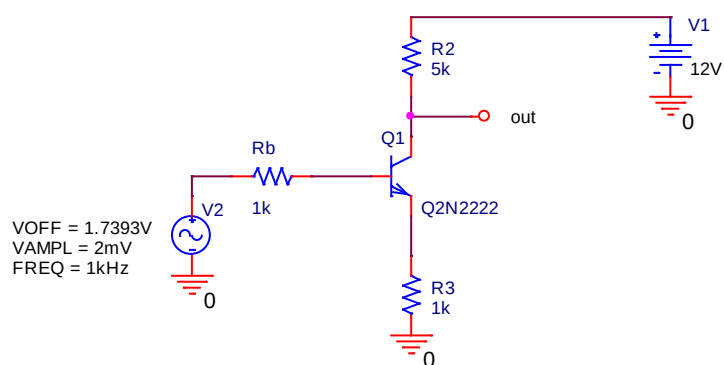


Fig. 4.16.

Valorile prin care se caracterizează funcția de transfer se citesc din fișierul de ieșire în zona SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS:

$$V(\text{OUT})/V_V2 = -4.815\text{E}+00$$

$$\text{INPUT RESISTANCE AT } V_V2 = 1.672\text{E}+05$$

$$\text{OUTPUT RESISTANCE AT } V(\text{OUT}) = 4.988\text{E}+03$$

5. Simularea în curent alternativ

Tipul de analiză de curent alternativ și parametrii necesari se aleg prin intermediul ferestrei *Simulation Settings* (fig. 5.1) dând clic pe butonul *New Simulation Profile* de pe pagina de desenare Capture. În fereastra de dialog care se deschide se completează la *Name* numele profilului de simulare, urmat de un clic pe butonul *Create*.

Fereastra *Simulation Settings* poate fi activată ori înainte, ori după desenarea circuitului în foaia de lucru Capture.

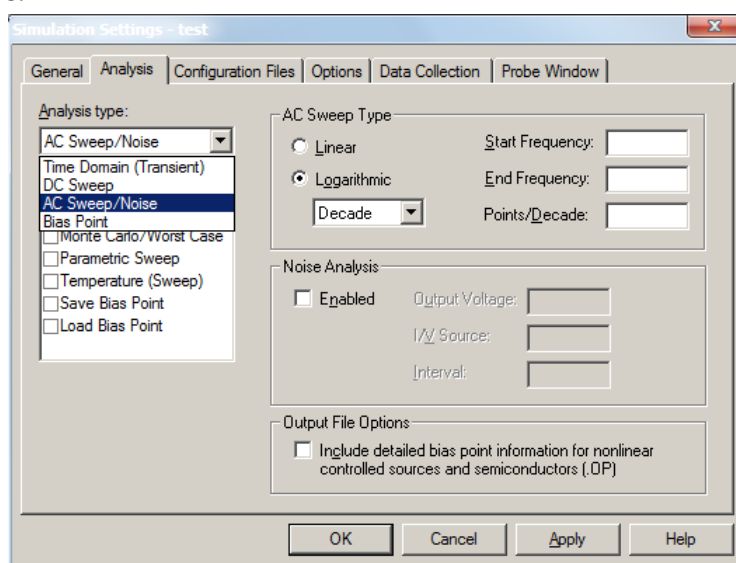


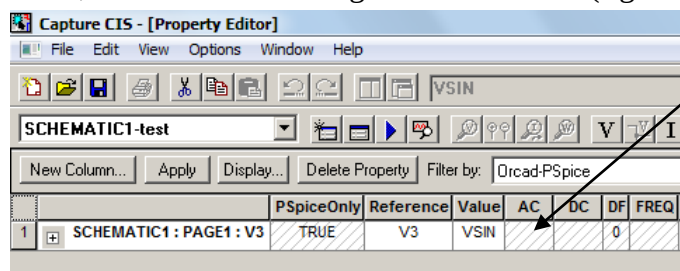
Fig. 5.1.

Parametrii analizei se referă la:

- Modul de variație liniar sau logaritmic al frecvenței;
- Frecvența de start a analizei;
- Frecvența finală (de stop) a analizei;
- Numărul de puncte pe o decadă pentru care se culeg date.

Tot prin intermediul ferestrei *Simulation Settings* se poate permite și analiza de zgomot – *Noise Analysis* pentru care se specifică variabila de ieșire pentru care se studiază influența zgomotului, sursa independentă de tensiune sau curent de la intrarea circuitului și intervalul de frecvență pentru care se evaluează zgomotul.

La intrarea circuitului supus analizei, se conectează o sursă de c.a. de tipul VAC. Dacă se conectează o sursă de semnal sinusoidal, de tipul VSIN, atunci, în urma unui dublu clic pe simbolul sursei, în fereastra de dialog care se deschide (fig. 5.2) se completează câmpul **AC**.



Câmp ce trebuie completat pentru a adăuga componenta de c.a. unei surse de tensiune sinusoidală și astfel permisiunea de a se putea efectua analiza în c.a.

Fig. 5.2.

5.1 Aplicația 14 – simulare în c.a. cu baleierea frecvenței

Se consideră amplificatorul de semnal mic din fig. 5.3.

- Să se studieze influența valorii condensatoarelor din circuit asupra benzii de frecvență a amplificatorului.
- Să se verifice dacă amplificatorul poate prelucra semnale de audiofrecvență.

Pentru efectuarea acestei analize, se modifică, pe rând, valoarea câte unui condensator, celelalte păstrând valoarea inițială de pe schemă, astfel $C1=C2=0,1\mu\text{F}$ și $C3=22\mu\text{F}$.

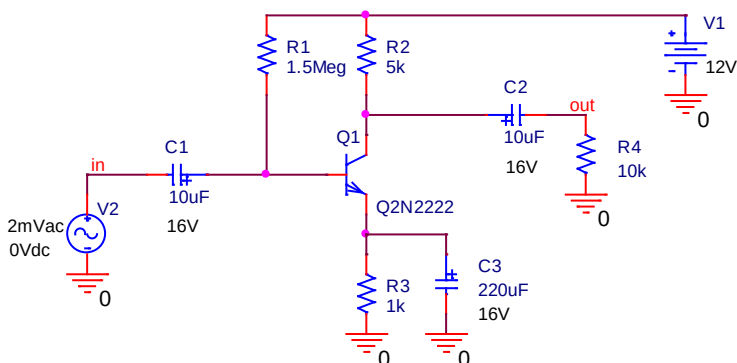


Fig. 5.3.

Un amplificator prelucrează corect semnale alternative de audiofrecvență dacă domeniul de variație a frecvenței, la ieșirea amplificatorului, se încadrează în limitele 20Hz – 20kHz, unde 20Hz reprezintă frecvența limită inferioară, f_i iar 20kHz – frecvența limită superioară, f_s . Aceste frecvențe, după modul lor de determinare pe răspunsul în frecvență, se mai numesc și frecvențe la -3dB.

Condensatoarele conectate de utilizator în circuit sunt:

- condensatoarele de cuplare** cu ajutorul cărora se aduce semnalul la montaj, respectiv se culege semnalul amplificat și
- condensatorul de decuplare** care, dacă sunt montate, decuplează un rezistor (din emitorul sau sursa tranzistorului amplificator).

Aceste condensatoare influențează comportarea circuitului la frecvențe joase.

Capacitățile tehnologice ale tranzistorului amplificator influențează comportarea circuitului la frecvențe înalte.

Parametrii analizei din fereastra *Simulation Settings* sunt (fig. 5.4):

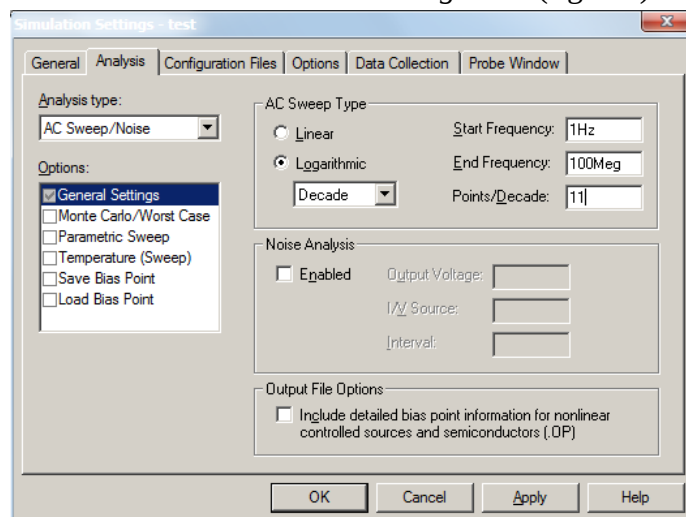


Fig. 5.4.

Parametrii se acceptă dând clic pe butonul *OK*.

Se determină, mai întâi, frecvențele limită pentru valorile inițiale ale condensatoarelor.

a) Se desenează schema și se lansează simularea SPICE.

Se cere postprocesorului grafic să afișeze amplificarea circuitului, exprimată în decibeli.

Relația analitică de calcul este

$$A_v = 20 \lg \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

În SPICE această relație se scrie:

$$\text{DB(V(out))-DB(V(in))}$$

În fereastra SCHEMATIC1 se deschide meniul **Trace / Add Trace** și în rubrica *Trace Expression* se adaugă DB(V(out))-DB(V(in)). Se obține răspunsul în frecvență din fig. 5.5:

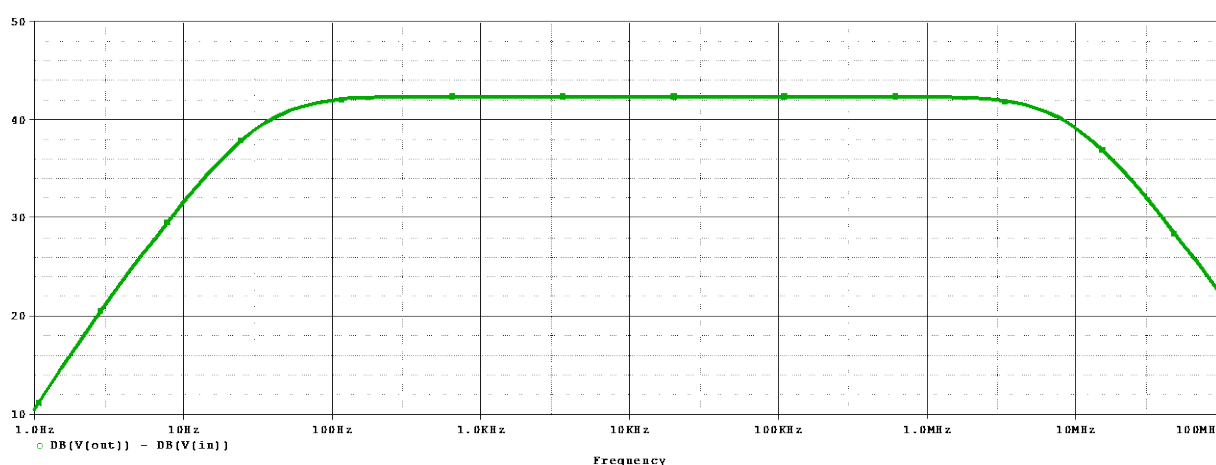


Fig. 5.5.

Pentru a importa curba răspunsului în frecvență în documentul Word, după ce s-a modificat lățimea curbei se alege meniul *Window* și din el submeniul *Copy to Clipboard...* Se lasă setările implicite oferite de program și cu comanda *Paste* sau *CTRL+V* se lipește curba în document.

Pentru a determina frecvențele limită trebuie să se activeze cursoarele din meniul **Trace/Cursor/Display** sau clic pe butonul  - *Display Cursor* (fig. 5.6) sau cu scurtătura **Shift+Ctrl+C**.

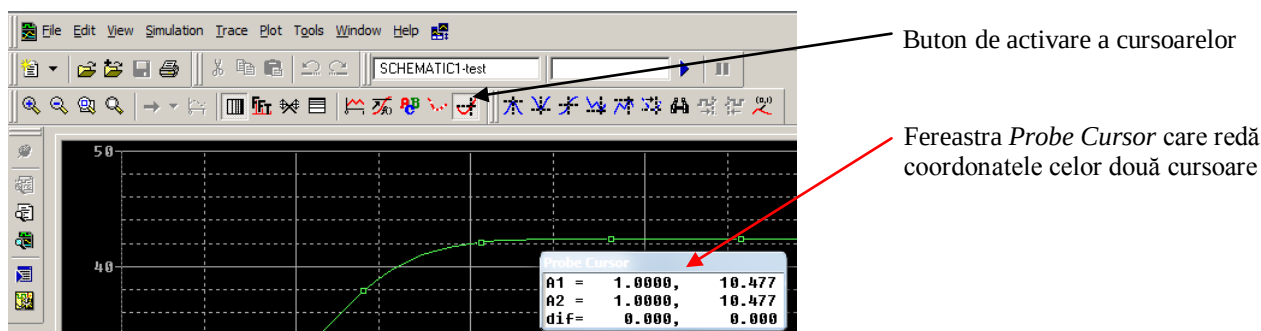


Fig. 5.6.

Pe curba din fig. 5.5, după activarea cursorului, se determină maximul utilizând butonul corespunzător situat la dreapta butonului *Display Cursor*. Se găsește o valoare de 42,4dB.

Scăzând 3dB din maximul determinat mai sus se găsește ordonata până la care se mișcă cele două cursoare, pe abscisă corespunzând frecvența.

Primul cursor se deplasează cu cheile direcționale stânga/dreapta.

Al doilea cursor se deplasează ținând apăsată tasta Shift și cu cheile direcționale stânga/dreapta.

Cursorul 1 se poate utiliza pentru determinarea frecvenței limită superioare, de exemplu, iar cursorul al 2-lea pentru determinarea frecvenței limită inferioare sau se poate lăsa cursorul 1 să indice maximul iar cursorul 2 indică, pe rând frecvențele limită (fig. 5.7):

Probe Cursor				Probe Cursor			
A1 =	18.738K,	42.425		A1 =	18.738K,	42.425	
A2 =	33.430,	39.409		A2 =	9.3846M,	39.445	
dif=	18.705K,	3.0158		dif=	-9.3658M,	2.9799	

Fig. 5.7.

Analizând cele 2 ferestre *Probe Cursor* rezultă că:

- frecvența limită inferioară este $f_i=33,4\text{Hz}$ iar
- frecvența limită superioară este $f_s=9,38\text{MHz}$.

După efectuarea acestei analize, se modifică valoarea condensatorului $C1=0,1\mu\text{F}$, celelalte condensatoare fiind $C2=10\mu\text{F}$ și $C3=220\mu\text{F}$.

Înainte de a lansa simularea SPICE, se deschide fereastra *Simulation Settings* și în meniul *Probe Window* se bifează **Last plot** în zona **Show** (fig. 5.8). În felul acesta, la următoarea lansare a SPICE se repetă ultima expresie scrisă în fereastra *Trace Expression*. În cazul analizat, se reprezintă curba corespunzătoare expresiei $\text{DB}(\text{V}(\text{out}))-\text{DB}(\text{V}(\text{in}))$, ținând seama de modificările făcute în circuit.

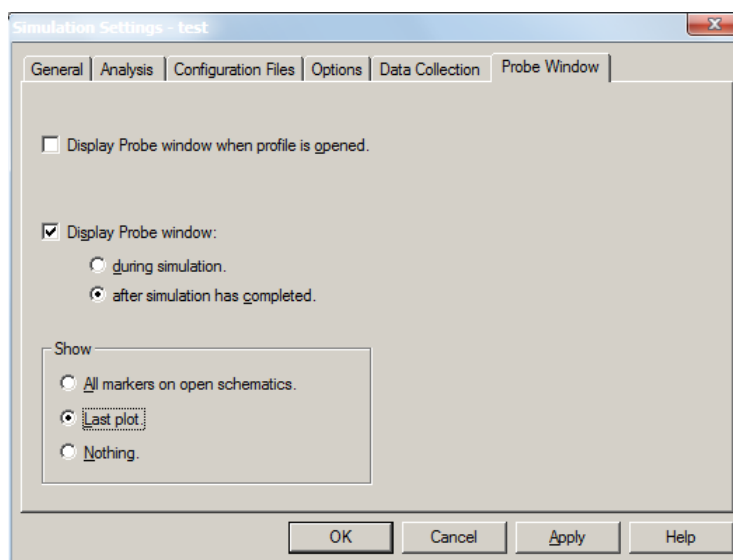


Fig. 5.8.

Din analiza ferestrelor *Probe Cursor* rezultă că se modifică doar f_i , astfel:

- când $C1=0,1\mu\text{F}$ rezultă $f_i=408,4\text{Hz}$ (fig. 5.9):

Probe Cursor			
A1 =	65.793K,	42.378	
A2 =	408.424,	39.370	
dif=	65.385K,	3.0084	

Fig. 5.9.

- când $C2=0,1\mu F$ rezultă $f_i=119,2\text{Hz}$ (fig. 5.10):

Probe Cursor			
A1 =	65.793K,	42.425	
A2 =	119.231,	39.450	
dif=	65.674K,	2.9746	

Fig. 5.10.

- când $C3=22\mu F$ rezultă $f_i=303,9\text{Hz}$ (fig. 5.11):

Probe Cursor			
A1 =	65.793K,	42.425	
A2 =	303.920,	39.457	
dif=	65.489K,	2.9674	

Fig. 5.11.

- b) Din analiza pentru valorile inițiale ale condensatoarelor, rezultă că amplificatorul nu este adecvat pentru prelucrarea semnalelor de audiofrecvență deoarece $f_i=33,4\text{Hz}$. Ținând seama de analiza efectuată la subpunctul a), trebuie modificate, în sens crescător, valorile condensatoarelor $C1$, $C2$ și $C3$ sau numai a unuia/unora dintre ele.
- Se modifică mai întâi $C1=22\mu F$ și se obține $f_i=31,8\text{Hz}$ (fig. 5.12):

Probe Cursor			
A1 =	65.793K,	42.425	
A2 =	31.875,	39.467	
dif=	65.761K,	2.9582	

Fig. 5.12.

Variația frecvenței limită inferioare este prea mică. Se revine la valoarea $C1=10\mu F$.

- Se modifică $C2=22\mu F$ și se obține $f_i=33,4\text{Hz}$ (fig. 5.13):

Probe Cursor			
A1 =	65.793K,	42.425	
A2 =	33.430,	39.414	
dif=	65.760K,	3.0106	

Fig. 5.13.

Rezultatul este fără modificare. Se revine la valoarea $C2=10\mu F$.

- Se modifică $C3=470\mu F$ și se obține $f_i=17,7\text{Hz}$ (fig. 5.14):

Probe Cursor			
A1 =	65.793K,	42.425	
A2 =	17.712,	39.412	
dif=	65.776K,	3.0129	

Fig. 5.14.

Analiza SPICE în curent alternativ, aplicată unui amplificator de semnal mic, conduce la următoarele observații:

- Condensatoarele montate în circuit influențează comportarea circuitului la frecvențe joase;
- Cea mai mare influență asupra frecvenței limită inferioare o are condensatorul de decuplare $C3$.

Simularea de curent alternativ este utilă în studiul comportării circuitelor de tip filtru.

La înregistrarea sunetului de audiofrecvență pe suport magnetic sau pe discuri de vinil, se utilizează filtre care atenuează frecvențele joase, lasă nemodificate cele medii și le amplifică pe cele înalte. Motivul este următorul: amplitudinea semnalelor la frecvențe joase este mai mare decât la frecvențe medii care au amplitudine mai mare decât cele de frecvențe înalte. În felul acesta se evită saturarea miezului magnetic la înregistrarea pe bandă sau o mișcare prea amplă a acului gravor în cazul discului de vinil. S-au impus două standarde: NAB (National Association of Broadcasters) în

cazul benzii magnetice și RIAA (Recording Industry Association of America) în cazul discurilor de vinil.

Filtrele utilizate pot fi pasive sau active, cele din urmă fiind mai eficiente, oferind și amplificare. Cele pasive nu realizează decât atenuare.

5.2 Aplicația 15 – răspunsul în frecvență al unui filtru RIAA pasiv

Să se determine răspunsul în frecvență al unui filtru RIAA pasiv, utilizat la înregistrarea sunetului (fig. 5.15) și să se determine frecvențele caracteristice.

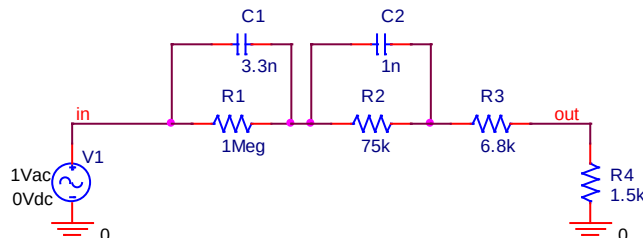


Fig. 5.15.

După desenarea circuitului pe foaia de lucru Capture, se alege simularea *AC Sweep/Noise* și se aleg parametrii de simulare în fereastra *Simulation Settings*:

- Start Frequency 1Hz
- End Frequency 1Meg
- Points/Decades 11

Se reprezintă grafic $DB(V(out)) - DB(V(in))$. Rezultă răspunsul în frecvență din fig. 5.16:

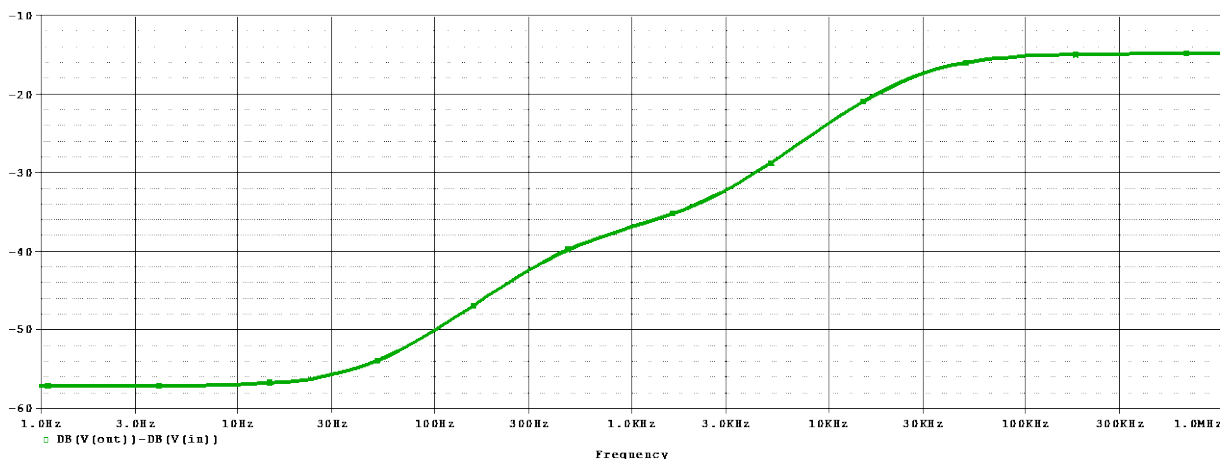


Fig. 5.16.

Determinarea frecvențelor caracteristice se face astfel:

- Frecvența f_1 (teoretic 500Hz) se determină acolo unde valoarea atenuării este mai mică cu 3dB față de valoarea la 1kHz;
- Frecvența f_2 (teoretic 50Hz) se determină acolo unde atenuarea este cu 3dB peste valoarea minimă de la frecvențe joase;
- Frecvența f_3 (teoretic 2122Hz) se determină acolo unde atenuarea este cu 3dB peste valoarea de la 1kHz.

Pe curba din fig. 5.16, valorile frecvențelor caracteristice se determină în 3 pași. Cursorul 1 este de referință iar cursorul 2 indică valoarea cerută, astfel:

- $f_1=48,1\text{Hz}$ (fig. 5.17)

Probe Cursor			
B1 =	1.0000,	-57.171	
B2 =	48.116,	-54.188	
dif=	-47.116,	-2.9836	

Fig. 5.17.

- $f_2=464\text{Hz}$ (fig. 5.18)

Probe Cursor			
B1 =	1.0000K,	-36.938	
B2 =	464.159,	-39.964	
dif=	535.841,	3.0259	

Fig. 5.18.

- $f_3=2180\text{Hz}$ (fig. 5.19)

Probe Cursor			
B1 =	1.0000K,	-36.938	
B2 =	2.1804K,	-33.946	
dif=	-1.1804K,	-2.9922	

Fig. 5.19.

Un exemplu de filtru activ, întâlnit frecvent în aparatura de audiofrecvență, este corectorul de ton. Acest filtru are în construcția sa două potențiometre care permit amplificarea sau atenuarea semnalelor în zona frecvențelor joase și înalte. În cazul fiecărui potențiometru, poziția cursorului într-o extremă corespunde la amplificare maximă (de regulă de 10 ori care înseamnă 20dB) sau atenuare maximă (tot de 10 ori deci -20dB). Poziția mediană a cursorului nu afectează răspunsul în frecvență al circuitului de corecție.

5.3 Aplicația 16 – răspunsul în frecvență al unui corector de ton

Să se determine răspunsul în frecvență al unui corector de ton (fig. 5.20), considerând 3 poziții ale cursoarelor potențiometrelor corespunzătoare la amplificare maximă, atenuare maximă și situația fără modificare.

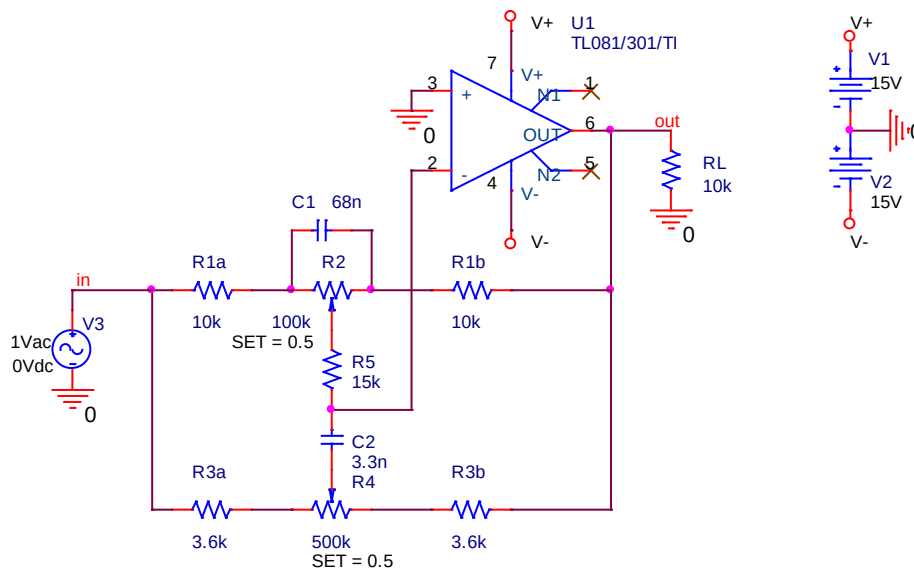


Fig. 5.20.

Potențiometrele au un parametru SET cu ajutorul căruia se poate simula poziția cursorului. Descrierea subcircuitului SPICE a potențiometrului este:

```
.SUBCKT POT 1 T 2 PARAMS: VALUE=1k SET=0.5
RT 1 T {VALUE*(1-SET)+.001}
RB T 2 {VALUE*SET+.001}
.ENDS
```

Între un capăt și cursor valoarea este $VALUE*(1-SET)+.001$ iar între cursor și celălalt capăt al potențiometrului valoarea este $VALUE*SET+.001$. Datorită valorii de 0.001Ω , parametrul SET poate lua valorile extreme 0, respectiv 1.

SPICE permite lucrul cu circuite identice din punct de vedere a valorilor componentelor utilizate. Pentru a determina răspunsul în frecvență corespunzător la cele 3 poziții ale potențiometrelor (stânga, mijloc și dreapta), se copiază circuitul de 2 ori și în fiecare din cele 3 circuite se alege pentru potențiometre parametrul SET corespunzător situațiilor analizate (fig. 5.21).

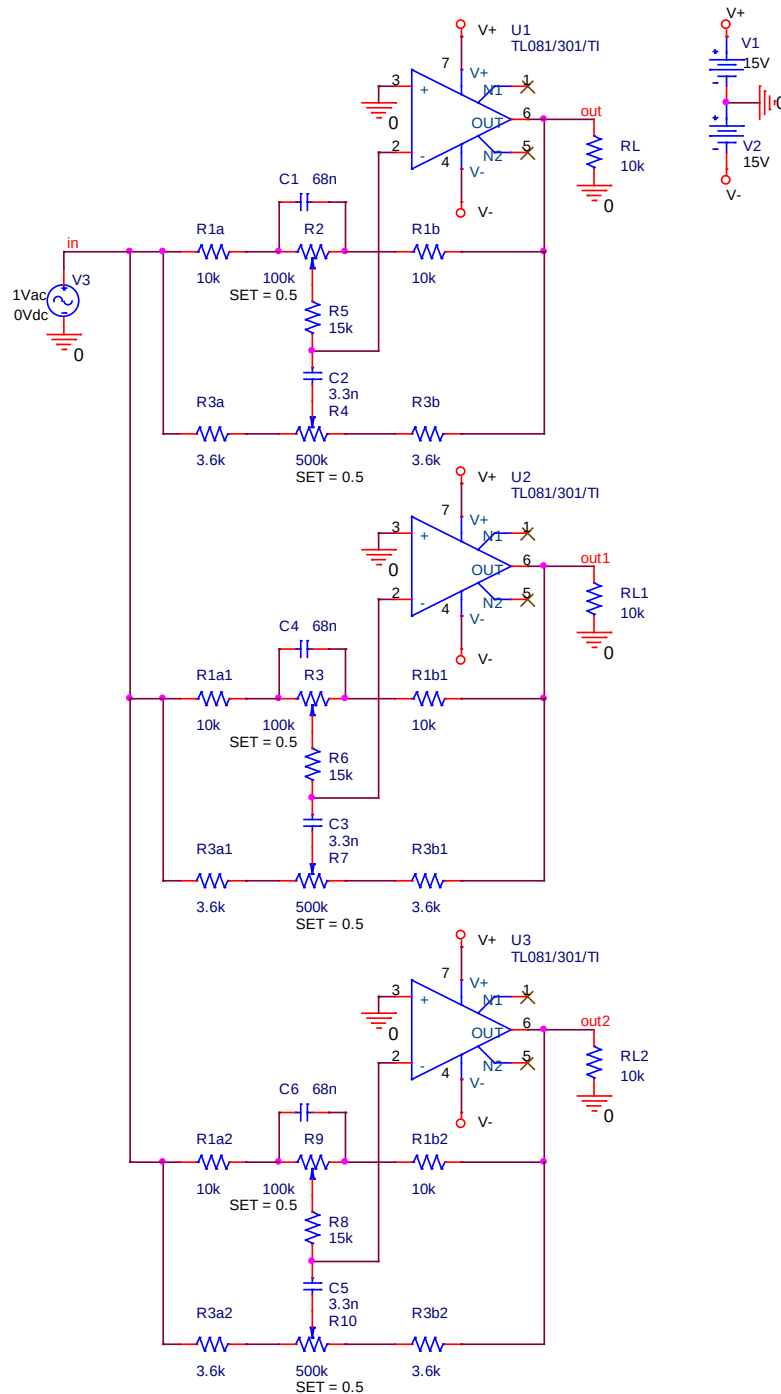


Fig. 5.21

Răspunsul în frecvență pentru cele 3 poziții ale potențimetrelor are aspectul din fig. 5.22:

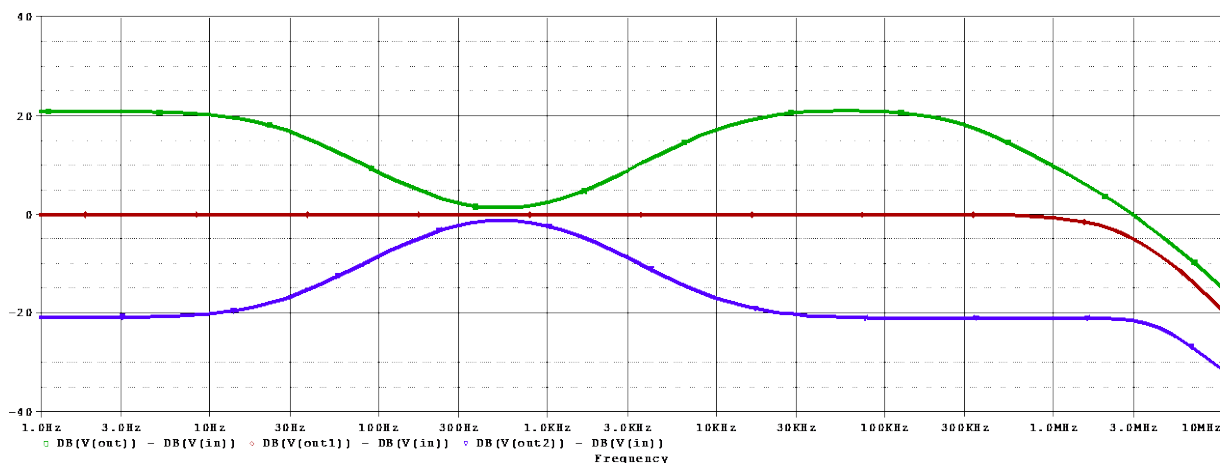


Fig. 5.22.

- $DB(V_{out}) - DB(V_{in})$, culoare verde corespunde amplificării maxime atât la frecvențe joase cât și la frecvențe înalte;
- $DB(V_{out1}) - DB(V_{in})$, culoare roșie corespunde situației fără influență. Cursorile potențimetrelor sunt în poziție mediană;
- $DB(V_{out2}) - DB(V_{in})$, culoare albastră corespunde atenuării maxime atât la frecvențe joase cât și la frecvențe înalte.

6. Simularea în domeniul timp

6.1 Analiza în domeniul timp

Analiza în domeniul timp și parametrii ei se aleg dând clic pe butonul *New Simulation Profile* din foaia de desenare Capture. În fereastra *Simulation Settings* care se deschide (fig. 6.1) în zona *Analysis type* se alege opțiunea *Time Domain (Transient)*.

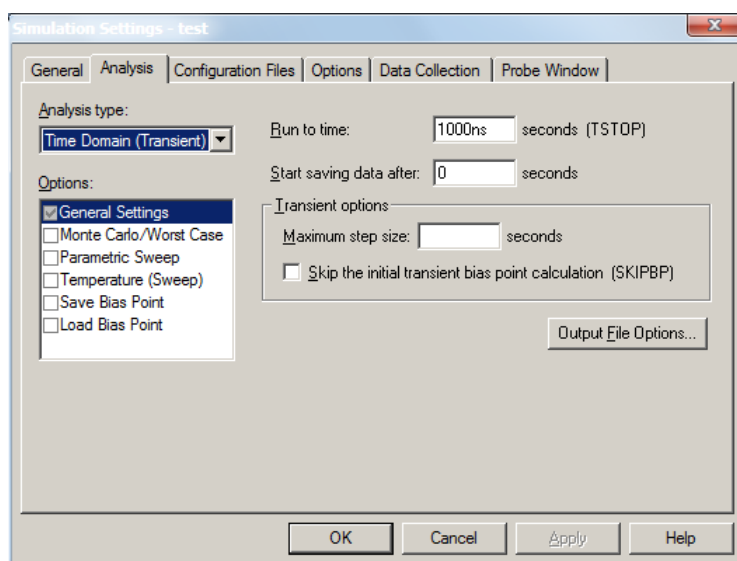


Fig. 6.1.

Programul oferă valorile implicite: *Run to time*: 1000ns și *Start saving data after* 0.

Pentru o curbă fin reprezentată, trebuie completat și câmpul *Maximum step size*:. În cazul unui semnal periodic cu perioada T , pasul maxim de timp, t_{step} trebuie să satisfacă relația:

$$t_{\text{step}} \leq \frac{T}{100}$$

Dând clic pe butonul *Output File Options...* se deschide fereastra de dialog din fig. 6.2 care permite, bifând în câmpul *Perform Fourier Analysis* să se completeze mărimile cerute pentru efectuarea analizei Fourier și determinarea coeficientului total de distorsiuni pe care, un etaj de amplificare, de exemplu, îl poate introduce.

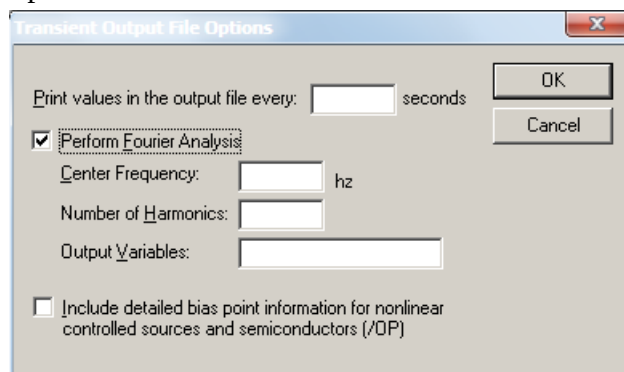


Fig. 6.2.

În fereastra *Transient Output File Options* se poate alege și pasul de timp cu care să se treacă valori în fișierul de ieșire și să se efectueze analiza de c.c. tip .OP.

Analiza în domeniul timp permite studiul redresoarelor de c.c.

6.2 Aplicația 17 – forme de undă la un redresor monoalternanță

Circuitul din fig. 6.3 reprezintă un redresor monofazat monoalternanță.

Să se reprezinte grafic formele de undă ale tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului component al redresorului, precum și a tensiunii redresate.

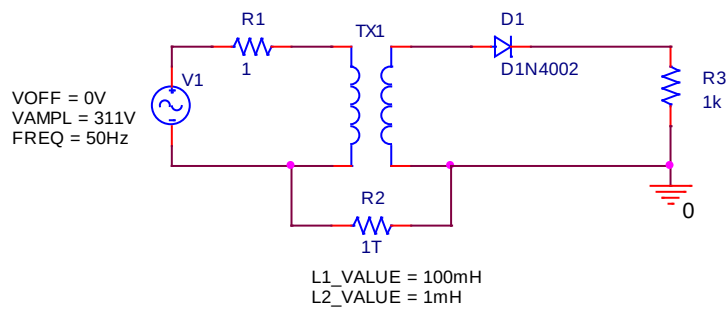


Fig. 6.3.

Pentru a respecta condiția practică – primarul transformatorului este izolat de secundar dar și pentru a respecta o condiție importantă a simulatorului SPICE, conform căreia fiecare punct din circuit trebuie să aibă o cale de c.c. la masă, rezultă modelul de transformator din această aplicație.

Masa montajului este cea din secundar. Între primar și secundar s-a conectat o rezistență de valoare foarte mare (primarul izolat față de secundar) de $1T\Omega = 10^{12}\Omega$, de exemplu, dar care asigură cale de c.c. la masa montajului.

În circuitul înfășurării primare, pentru a nu se forma un ochi de circuit care conține numai surse ideale de tensiune și bobine, s-a introdus o rezistență de valoare mică.

Pentru a efectua simulare, la intrarea circuitului se aplică o sursă de tensiune sinusoidală la care trebuie completați 3 parametri:

- VOFF = tensiunea de offset. Semnalul sinusoidal poate varia în jurul unei tensiuni continue egală cu zero sau diferită de zero. De cele mai multe ori se preferă VOFF=0;
- VAMPL = amplitudinea semnalului sinusoidal. În cazul tensiunii de la rețeaua de c.a.

$$VAMPL = 220V \times \sqrt{2} \approx 311V$$

- FREQ = frecvența semnalului sinusoidal. În cazul rețelei de c.a. FREQ=50Hz.

Raportul de transformare se ajustează din valorile inductanțelor celor două bobine cuplate magnetic, utilizând relația:

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

Astfel, dacă raportul de transformare este $N_1/N_2=10$ rezultă $L_1=100 \times L_2$. Dacă $L_1=100mH$, rezultă pentru L_2 valoarea de 1mH.

Valorile inductanțelor L_1 și L_2 se stabilesc dând dublu clic pe simbolul transformatorului. În fereastra *Capture CIS [Property Editor]* (fig. 6.4) care se deschide, se alege mai întâi opțiunea *Orcad Pspice* în fereastra *Filter by:* și apoi se caută câmpurile cu valorile pentru L_1 și L_2 .

Se înlocuiește valoarea implicită a inductanțelor (10uH) cu cea dorită de utilizator și cu clic pe butonul *Display* se alege din fereastra *Display Properties* (fig. 6.5) opțiunea *Name and Value*.

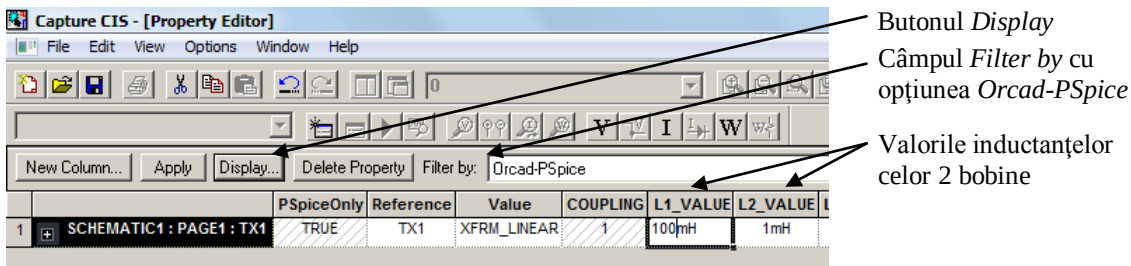


Fig. 6.4.

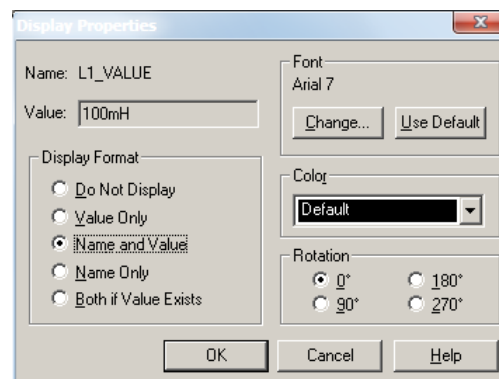


Fig. 6.5.

Parametrii simulării se completează în fereastra *Simulation Settings* din fig. 6.6:

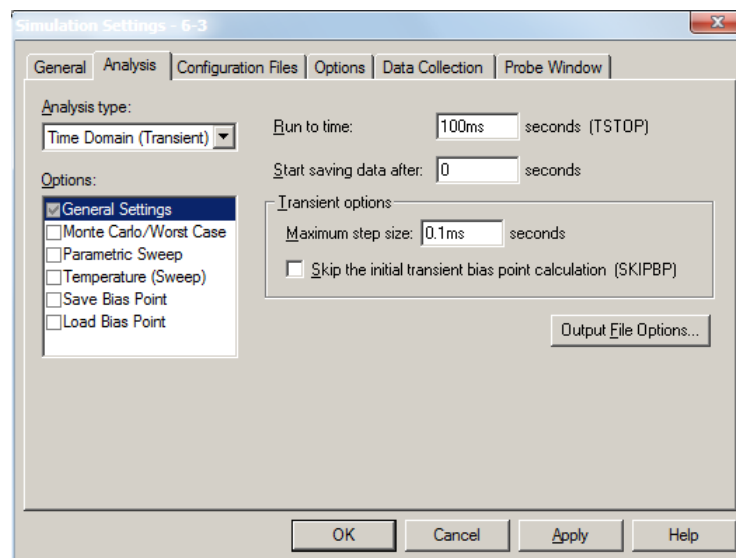


Fig. 6.6.

Formele de undă se pot vizualiza utilizând markerii de tensiune de pe foaia de desenare Capture (fig. 6.7):

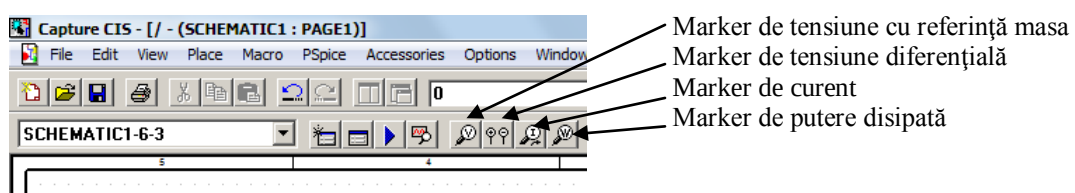


Fig. 6.7.

Formele de undă ale tensiunilor din primar și secundar se prezintă în fig. 6.8:

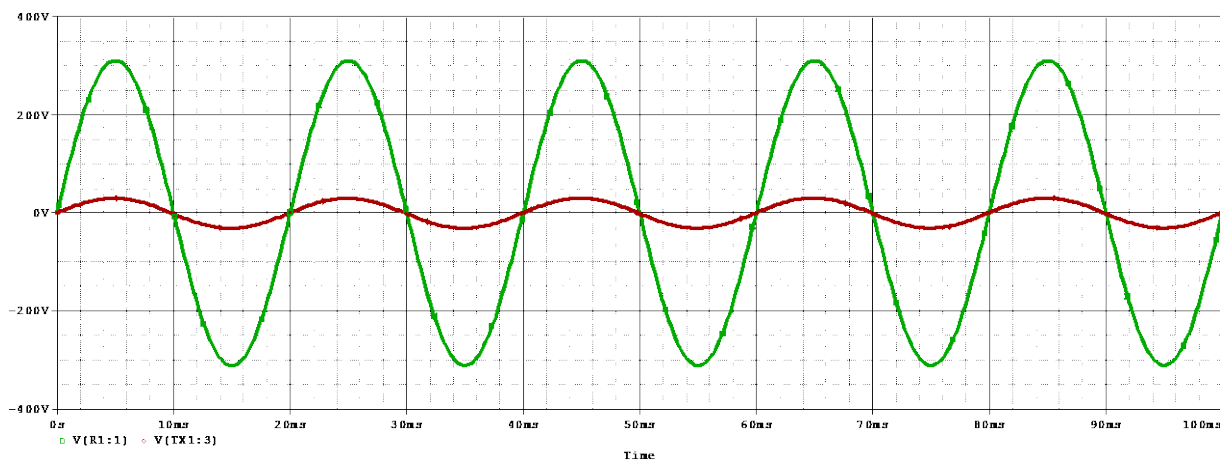


Fig. 6.8.

Formele de undă din secundar și de pe rezistența de sarcină se prezintă în fig. 6.9:

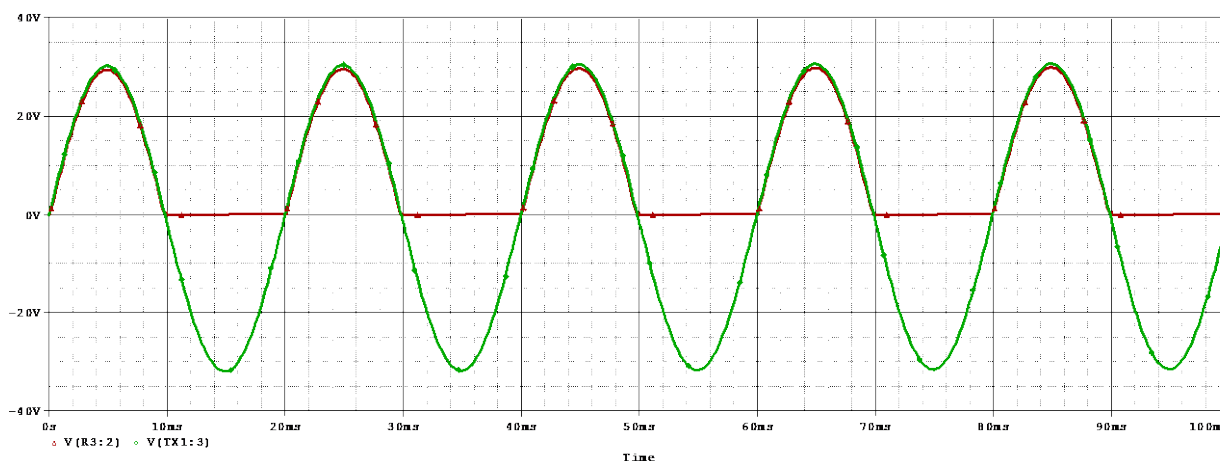


Fig. 6.9.

Realizând o mărire a imaginii (zoom, fig. 6.10), se observă că între forma de undă din secundar (verde) și cea de pe rezistența de sarcină (roșu), diferența este egală cu căderea de tensiune pe dioda polarizată direct (în timpul alternanței pozitive a tensiunii din secundar):

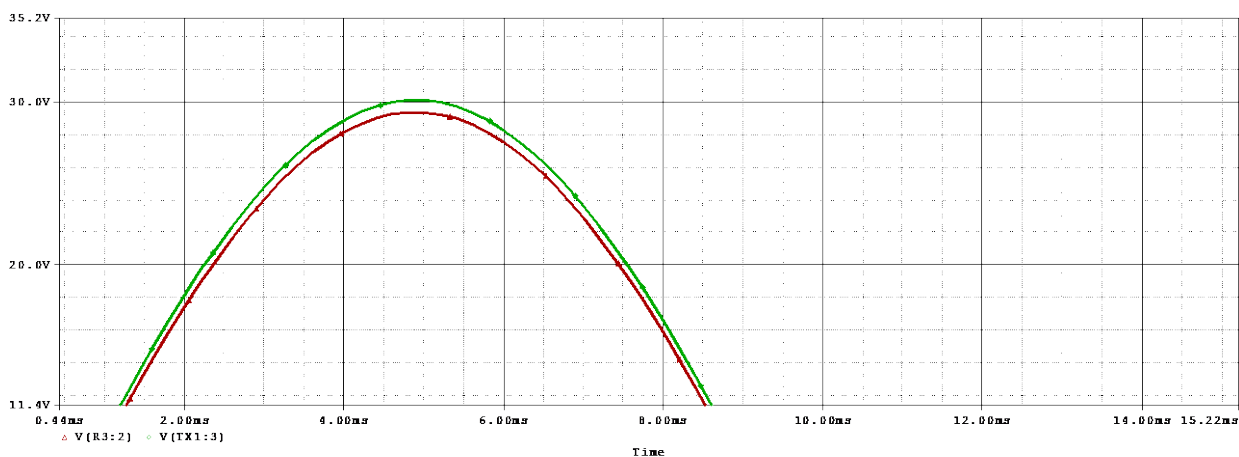


Fig. 6.10.

Căderea de tensiune pe dioda în conducție, observată în fereastra *Probe Cursor* este de 0,75V (fig. 6.11):

Probe Cursor		
A1 =	4.8086m,	30.129
A2 =	4.8036m,	29.379
dif=	5.0095u,	750.223m

Fig. 6.11.

Observații:

- dacă în fereastra *Simulation Settings* nu se completează nimic în căsuța *Maximum step size*, formele de undă din primar și secundar au aspectul din fig. 6.12.
- Forma de undă este colțuroasă, iar dacă se efectuează o analiză Fourier se observă că factorul total de distorsiuni este foarte mic.
- Concluzia este următoarea: forma de undă nu este distorsionată ci pasul de timp pentru analiză este prea mare și trebuie micșorat.

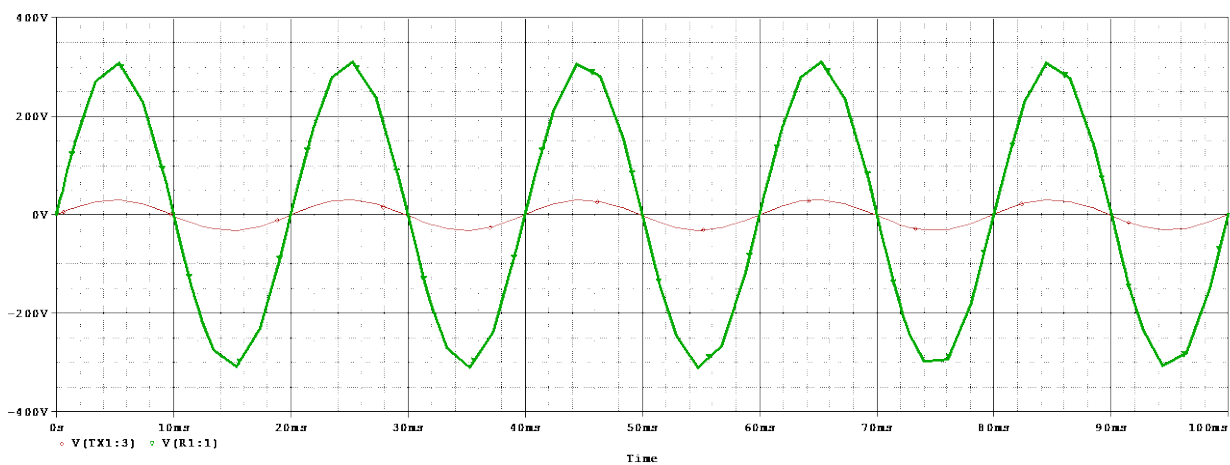


Fig. 6.12.

6.3 Aplicația 18 – forme de undă la un redresor dublă-alternanță

Circuitul din fig. 6.13 reprezintă un redresor dublă-alternanță realizat cu o punte redresoare obținută cu ajutorul a 4 diode de același tip. Să se determine formele de undă ale tensiunilor din secundar și de pe rezistența de sarcină.

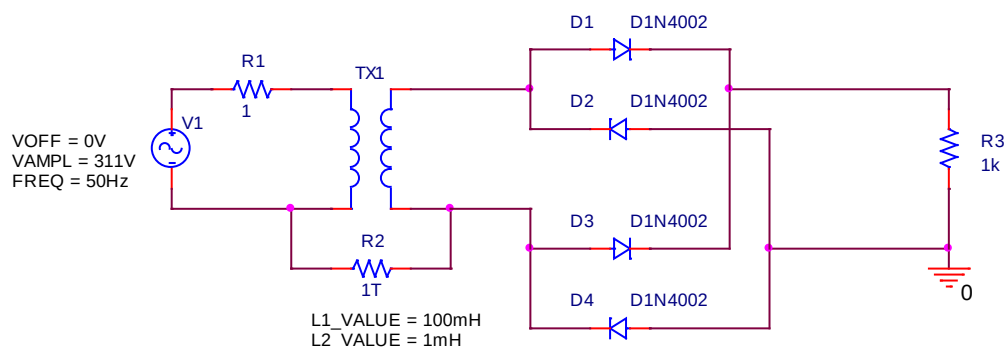


Fig. 6.13.

Formele de undă cerute se prezintă în fig. 6.14.

În cazul acestui tip de redresor, secundarul transformatorului nu mai are o bornă legată la masă. Din această cauză, pentru a vizualiza forma de undă a tensiunii din secundar, se utilizează sonde (marker) diferențiale.

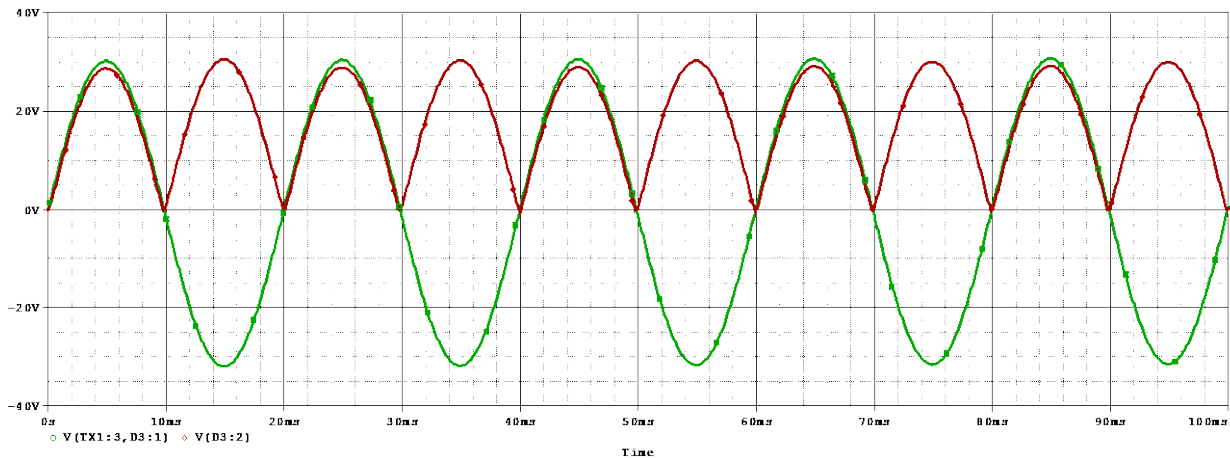


Fig. 6.14.

Un amplificator poate prelucra nedistorsionat semnale sinusoidale doar dacă amplitudinea semnalului de pe joncțiunea bază-emitor a tranzistorului amplificator îndeplinește condiția de semnal mic, adică să fie mult mai mică decât tensiunea termică ce are aproximativ 25mV. O mărime mai mică de cel puțin 10 ori decât o alta, începe să îndeplinească această condiție „de mai mic” sau chiar de „mult mai mic”.

6.4 Aplicația 19 – răspunsul în timp al unui amplificator de semnal mic

Să se determine răspunsul în timp al amplificatorului de semnal mic din fig. 6.15 pentru 2 valori ale amplitudinii semnalului de intrare și anume 1mV, respectiv 10mV. În fiecare caz, se cere să se determine coeficientul total de distorsiuni (THD – Total Harmonic Distortion).

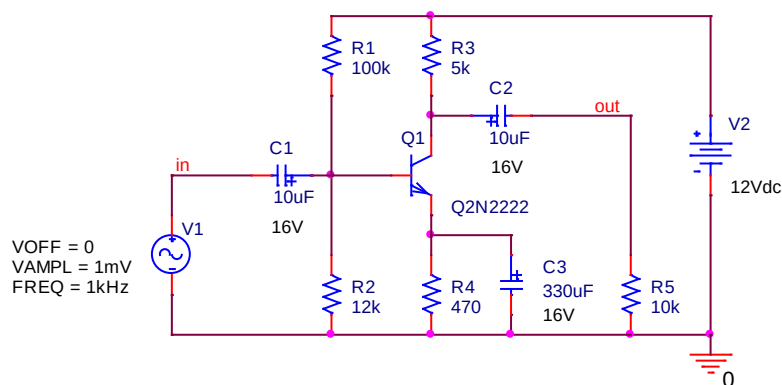


Fig. 6.15.

După desenarea circuitului se deschide fereastra *Simulation Settings* dând clic pe butonul *New Simulation Profile* din foaia de desenare Capture.

Se completează cu parametrii prezentați în fig. 6.16.

Dând clic pe butonul *Output File Options...* se aleg parametrii pentru analiza Fourier (fig. 6.17). Urmează de 2 ori clic pe butoane OK.

Ca rezultat al acestei analize se afișează în fișierul de ieșire, pe lângă componentele spectrale ale semnalului de ieșire V(out) și THD-ul.

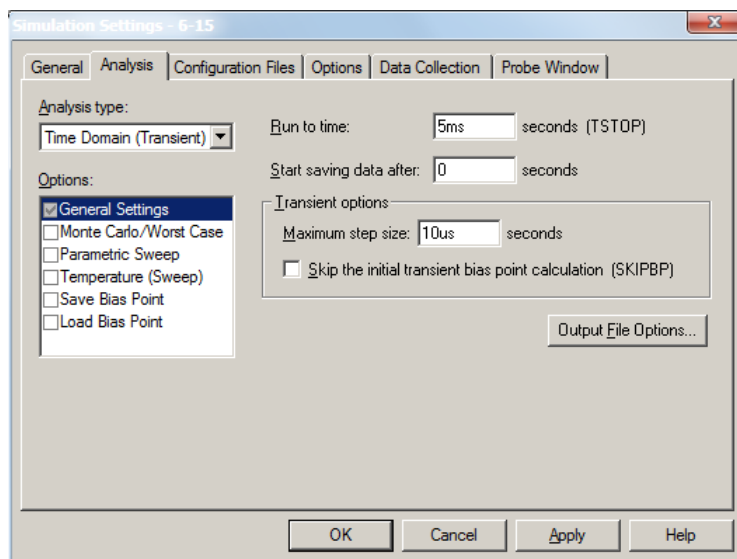


Fig. 6.16.

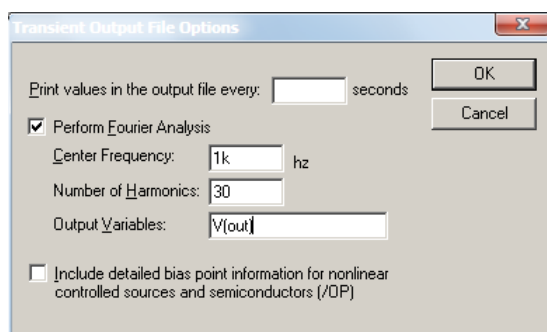


Fig. 6.17.

Pentru 1mV la intrare, forma de undă a tensiunii de ieșire este reprezentată în fig. 6.18:

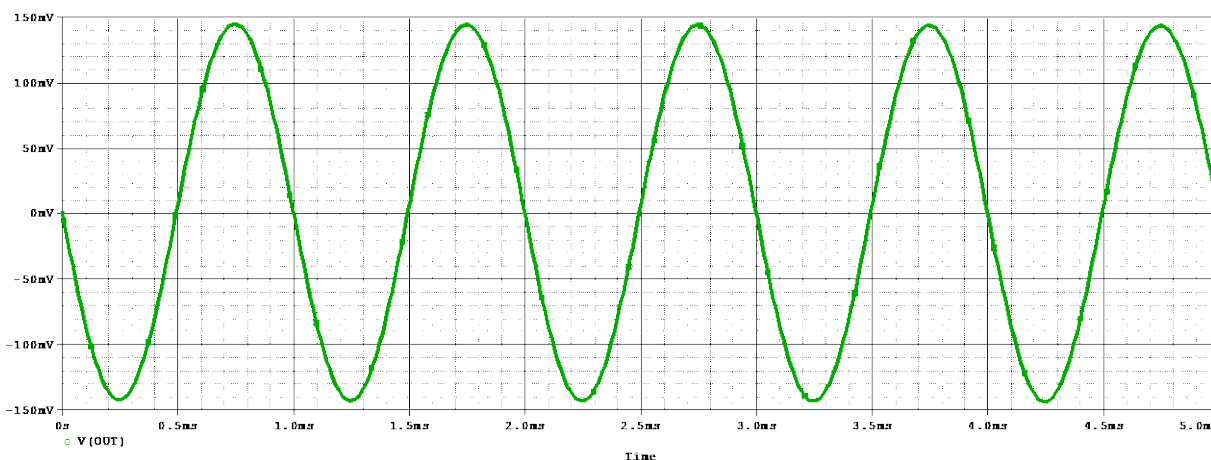


Fig. 6.18.

Forma de undă este sinusoidală și, cel puțin privită cu ochiul liber, nedistorsionată, cele două semialternanțe ale semnalului fiind egale.

Dând clic pe butonul  - *View Simulation Output File*, se deschide fișierul de ieșire și în secțiunea FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(OUT) se pot găsi valorile componentelor spectrale ca amplitudine și fază precum și parametrul THD.

Pentru 1mV la intrare se găsește:

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.526690E-01 PERCENT

adică 0,85%.

Se repetă aceeași analiză dar pentru o amplitudine a semnalului de intrare de 10mV.

Se modifică parametrul VAMPL al sursei de semnal sinusoidal: VAMPL=10mV.

Se obține răspunsul în timp din fig. 6.19:

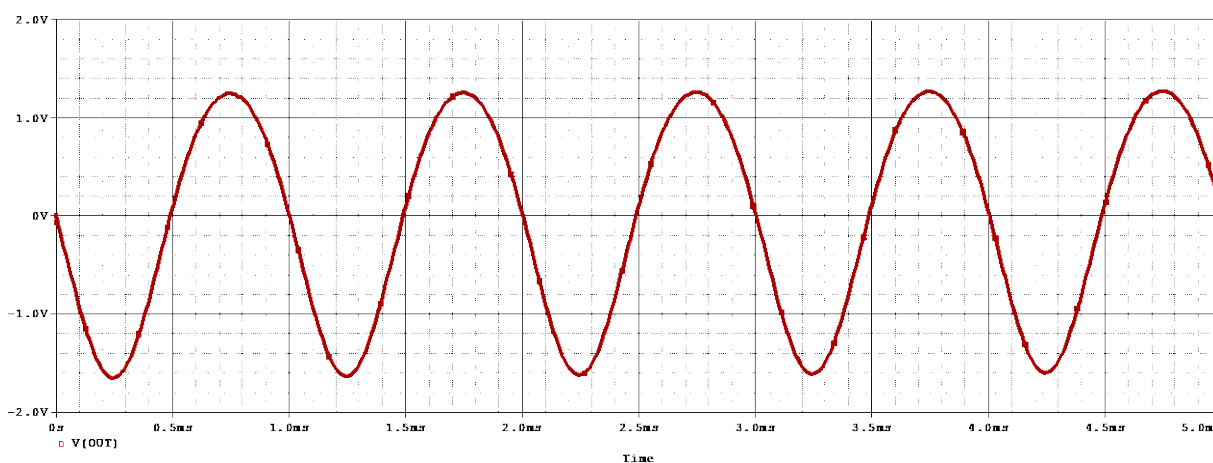


Fig. 6.19.

Forma de undă a tensiunii de ieșire, V(out) este vizibil distorsionată, alternanța negativă având amplitudine mai mare decât cea pozitivă. Această observație este confirmată și de valoarea THD-ului, care este în acest caz:

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 8.569913E+00 PERCENT

adică 8,5%.

7. Simularea funcțională și ierarhică

7.1 Tipuri de descriere a circuitelor

Circuitele pot fi reprezentate prin două tipuri de descriere:

- Descrierea structurală
- Descrierea funcțională

Descrierea structurală folosește elemente de circuit ca rezistoare, condensatoare, tranzistoare ș.a. pentru care există corespondență directă cu componentele de pe placa de circuit imprimat sau dintr-un circuit integrat.

Descrierea funcțională constă în gruparea mai multor componente într-un bloc, după criteriul funcției pe care o realizează. SPICE permite crearea de către utilizator a subcircuitelor. Se definește astfel o subrețea sau un bloc, care poate fi apoi instanțiat (apelat) de ori câte ori este nevoie în circuitul de nivel înalt.

Descrierea funcțională folosește două tipuri principale de modele:

- **Modelul ideal** care
 - este simplu,
 - furnizează caracteristica relevantă a dispozitivului,
 - conduce la timp de simulare scurt.
- **Modelul funcțional**
 - este complex,
 - utilizează un număr de componente considerabil mai mic în comparație cu descrierea structurală,
 - durată de simulare semnificativ mai redusă în comparație cu descrierea structurală.

7.2 Subcircuitul SPICE

Subcircuitul SPICE este un bloc de circuit care apare mai mult decât o dată în întreg circuitul și constă din primitive Spice: rezistoare, condensatoare, diode, tranzistoare, surse comandate.

Declarația de control prin care se începe descrierea tip text a unui subcircuit are forma:

```
.SUBCKT SUB_num1 nod1 <nod2...>
```

unde

- SUB_num1 definește în mod univoc subcircuitul iar
- nod1, nod2,... sunt nodurile sale externe care pot fi conectate la un circuit exterior, numit și circuitul de nivel înalt.

Încheierea definiției unui subcircuit se marchează prin declarația:

```
.ENDS <SUB_num1>
```

Observații:

- Nu există limită pentru numărul nodurilor externe;
- Celelalte noduri care apar în definirea subcircuitului se numesc noduri interne;
- Nodurile interne nu pot fi conectate sau referite în circuitul de nivel înalt;

- Nodul de masă (nodul 0) este un nod global atât pentru circuitul de nivel înalt cât și pentru toate subcircuitule;
- Se pot utiliza aceleași numere/nume atât pentru descrierea subcircuitului cât și a circuitului de nivel înalt;
- Declarații permise în descrierea subcircuitului sunt: .MODEL și .SUBCKT;
- Declarații interzise sunt: .NODESET și IC;
- Pentru a depăși această limitare, toate nodurile care trebuie inițializate se definesc în linia .SUBCKT ca noduri externe.

7.3 Plasarea unui subcircuit în circuitul de nivel înalt

Plasarea unui subcircuit în circuitul de nivel înalt se realizează prin intermediul unei apelări (unei instanțieri) de forma:

Xnume xnod1 <xnod2...> SUB_num

Observații:

- xnod1, xnod2... sunt numerele sau numele nodurilor din circuitul în care este instanțiat subcircuitul SUB_num;
- xnod1, xnod2... trebuie să corespundă nodurilor nod1, nod2,... din declarația .SUBCKT corespunzătoare lui SUB_num.

7.4 Aplicația 20 – utilizarea subcircuitelor

Utilizând subcircuite, să se simuleze un egalizor grafic cu trei celule și cu potențioetrele de reglaj (R4, R10 și R16) pe poziție de maxim (fig. 7.1).

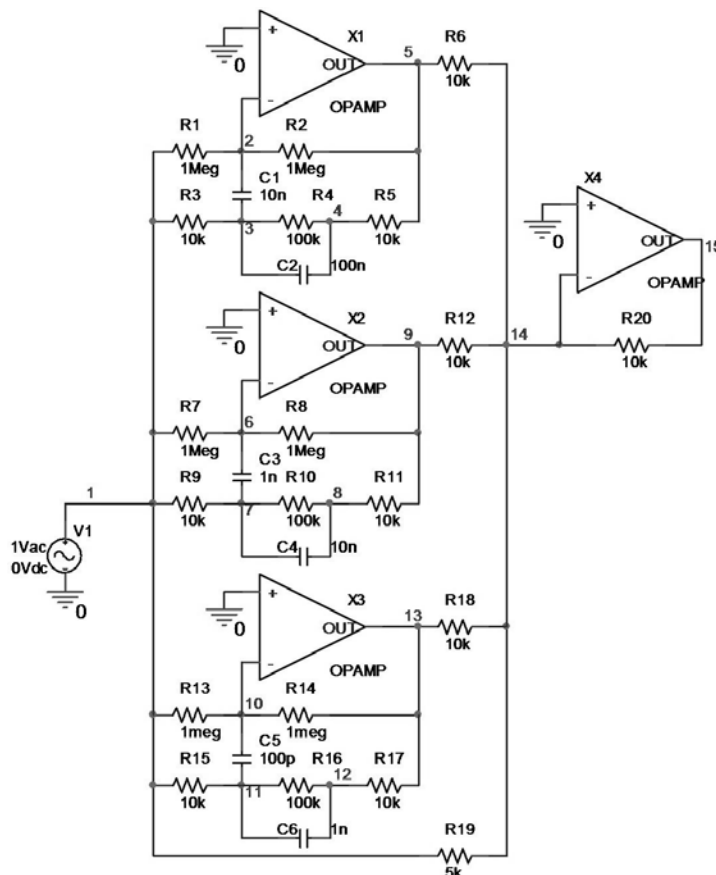


Fig. 7.1.

Amplificatoarele operaționale (AO) se înlocuiesc cu un model simplificat (model funcțional) având aspectul din fig. 7.2:

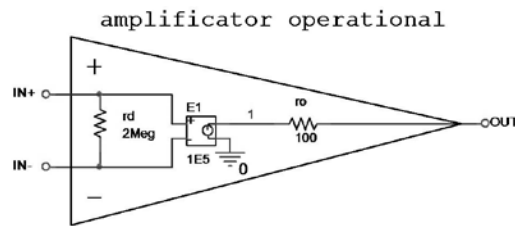


Fig. 7.2.

Subcircuitul corespunzător AO se descrie sub forma:

```
.SUBCKT      opamp      IN+  IN-  OUT
rd           IN+        IN-  2Meg
E1           1          0    IN+  IN-  1E5
ro           1          OUT  100
.ends        opamp
```

Descrierea circuitului egalizor grafic care utilizează AO este de forma:

Egalizor grafic

*subcircuitul AO

```
.SUBCKT      opamp      IN+  IN-  OUT
rd  IN+  IN-  2Meg
E1  1    0    IN+  IN-  1E5
ro  1    OUT  100
.ends  opamp

X1  0    2    5    opamp
X2  0    6    9    opamp
X3  0    10   13   opamp
X4  0    14   15   opamp

R1  1    2    1Meg
R2  2    5    1Meg
R3  1    3    10k
R4  3    4    100k
R5  4    5    10k
R6  5    14   10k
R7  1    6    1Meg
R8  6    9    1Meg
R9  1    7    10k
R10 7    8    100k
R11 8    9    10k
R12 9    14   10k
R13 1    10   1Meg
R14 10   13   1Meg
R15 1    11   10k
R16 11   12   100k
R17 12   13   10k
```

```

R18  13    14    10k
R19   1    14     5k
R20  14    15    10k
C1    3     2    10n
C2    4     3    100n
C3    6     7     1n
C4    7     8    10n
C5   11    10   100p
C6   12    11     1n
V1    1     0    AC   1Vac
.AC   101    1    1Meg
.PROBE
.END

```

Circuitul reprezintă un egalizor grafic cu trei celule. O celulă a egalizorului grafic are structura reprezentată în fig. 7.3:

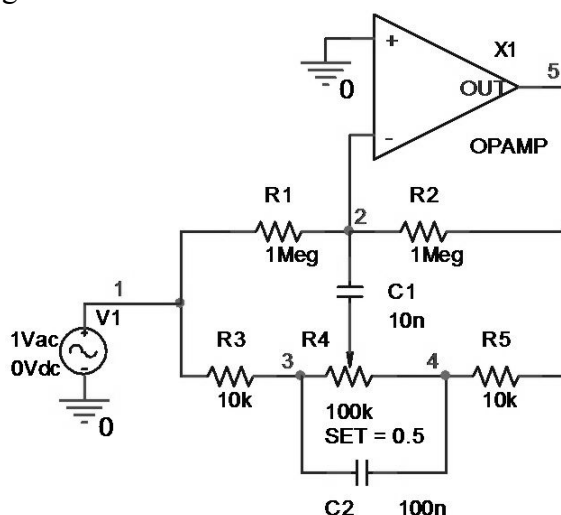


Fig. 7.3.

În circuitele practice, R4 este un potențiomtru, ca în fig. 7.3. În simulare s-a considerat că potențiomtrul are cursorul în extrema din stânga. Situația corespunde la amplificarea maximă.

Poziția cursorului la potențiomtru se poate controla cu ajutorul parametrului SET:

- SET=0.5 --> cursorul este la mijloc;
- SET=0 --> cursorul este în stânga (nodul 3 de conexiune a lui R4) – fig. 7.4;
- SET=1 --> cursorul este în dreapta (nodul 4 de conexiune a lui R4) – fig. 7.4.

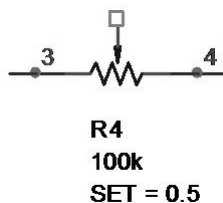


Fig. 7.4.

- SET=0.5 răspunsul în frecvență al circuitului este fără modificare (fig. 7.5):

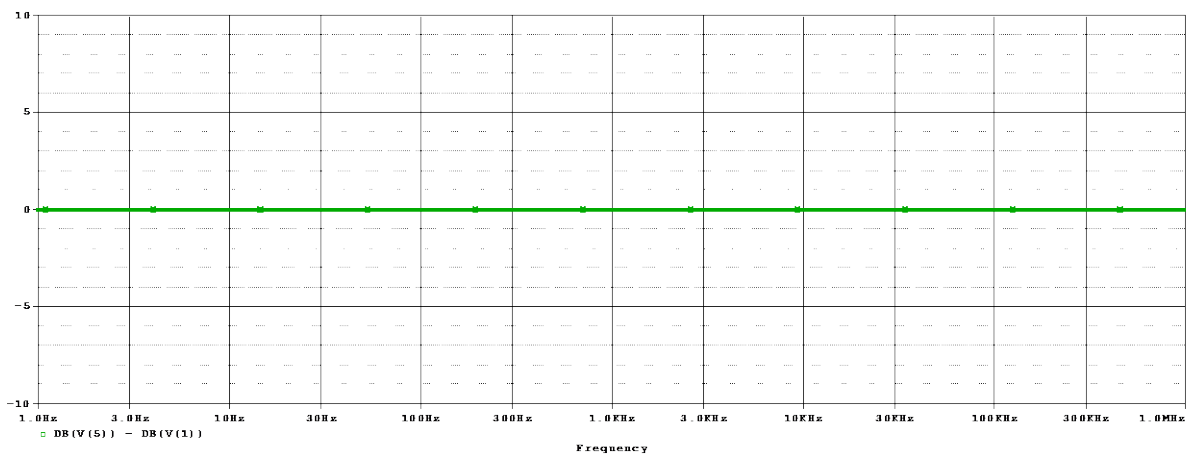


Fig. 7.5.

- SET=0 corespunde la amplificare maximă pentru așezarea potențiometrului pe foaia Capture (fig. 7.6):

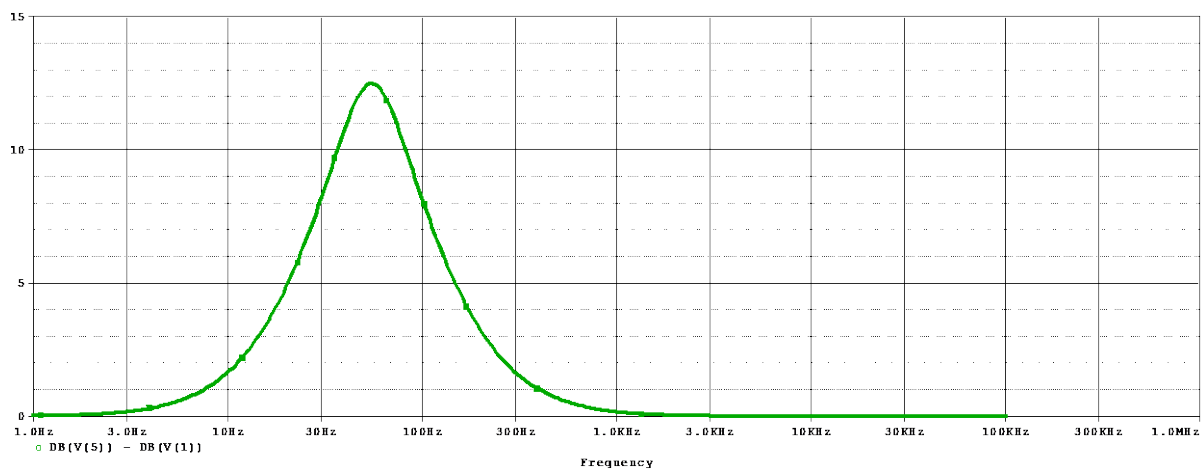


Fig. 7.6.

- SET=1 corespunde la atenuare maximă (fig. 7.7)

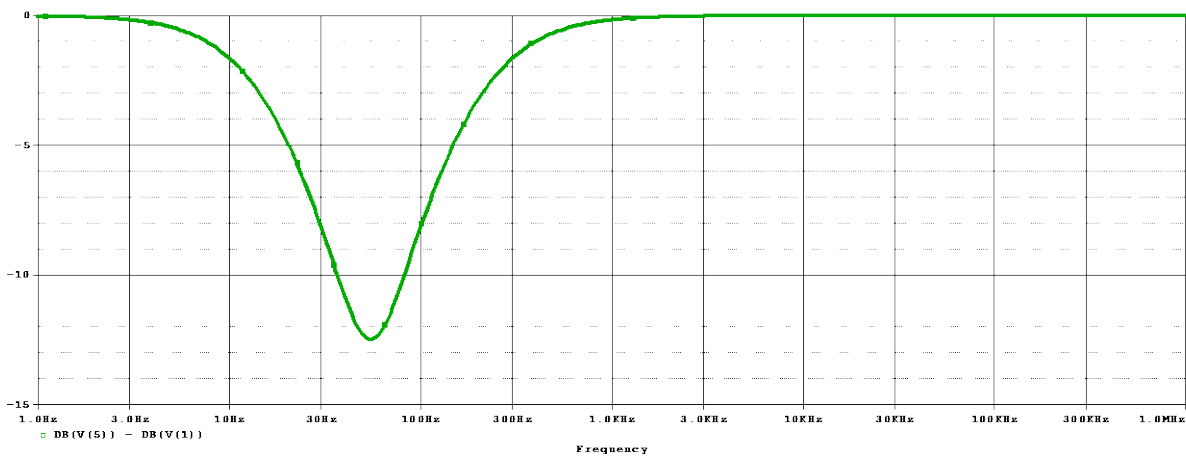


Fig. 7.7.

Răspunsul în frecvență corespunzător celor trei celule ale egalizorului grafic se prezintă în fig. 7.8.:

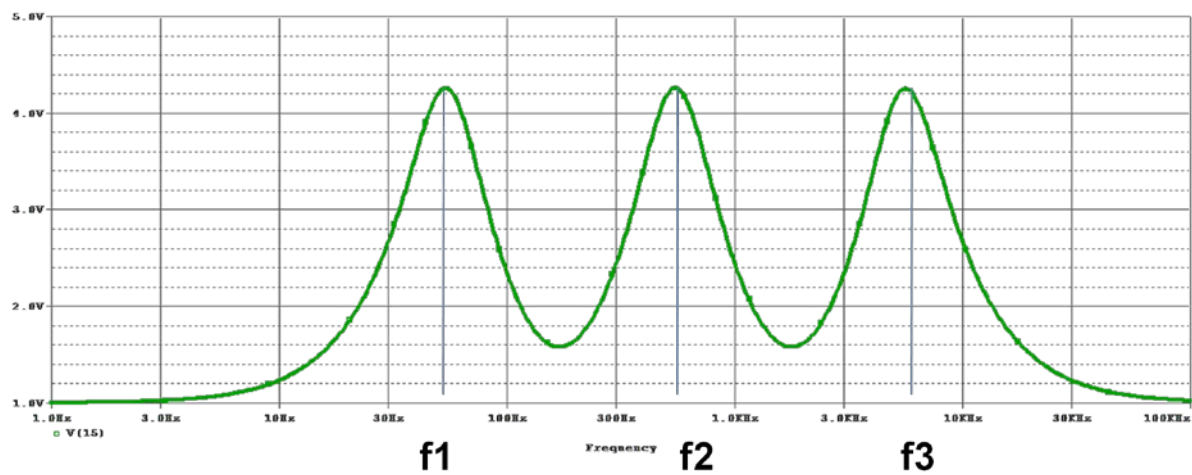


Fig. 7.8.

Frecvențele corespunzătoare celor 3 puncte de maxim sunt:
 $f_1=54\text{Hz}$, $f_2=552\text{Hz}$ și $f_3=5,65\text{kHz}$

8. Proiectarea si simularea cablajului imprimat

8.1 Încărcarea unui proiect existent

Pentru realizarea cablajului imprimat se începe un proiect nou sau se încarcă un proiect existent.

În cazul utilizării unui proiect creat anterior, se parcurg următorii pași:

- Sunt necesare fișierele cu extensia ***.DSN** și ***.opj**;
- Se lansează *Capture.exe* sau *Capture CIS.exe*;
- Se deschide proiectul existent din meniul *File / Open / Project...* sau clic pe butonul *Open document* ;
- Se alege numele fișierului ***.opj** dorit ;
- În fereastra *Update Old Project* care se deschide (fig. 8.1) se dă clic pe *Cancel*;

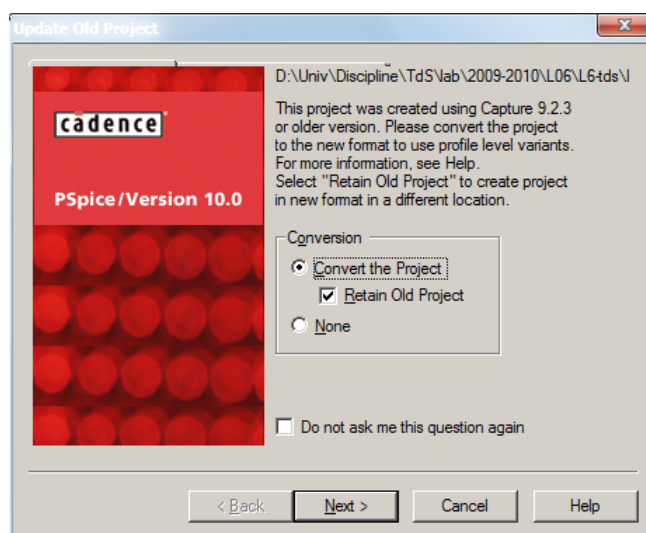


Fig. 8.1.

- În cazul în care apare mesajul din fig. 8.2, se dă clic pe *OK*. Programul nu poate regăsi setările prin care s-a definit profilul de simulare. Dar la realizarea cablajului imprimat nu mai este nevoie de simularea *SPICE* a circuitului pentru că această activitate s- desfășurat într-o etapă anterioară;

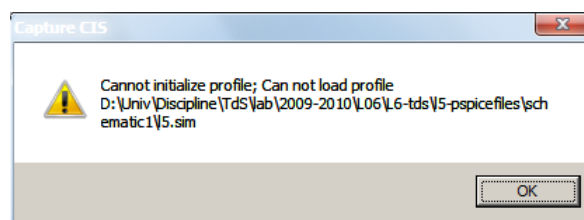


Fig. 8.2.

- Dacă nu apare circuitul desenat, se dă dublu clic, pe rând, pe **.*.dsn**, **SCHEMATIC1**, respectiv **PAGE1** și se deschide foaia de desenare *Capture*.

8.2 Aplicația 21 – pregătirea circuitului

Să se încarce proiectul existent, creat la studiul unui amplificator de semnal mic (fig. 8.3) și să se efectueze pașii necesari pentru pregătirea circuitului în vederea realizării cablajului imprimat.

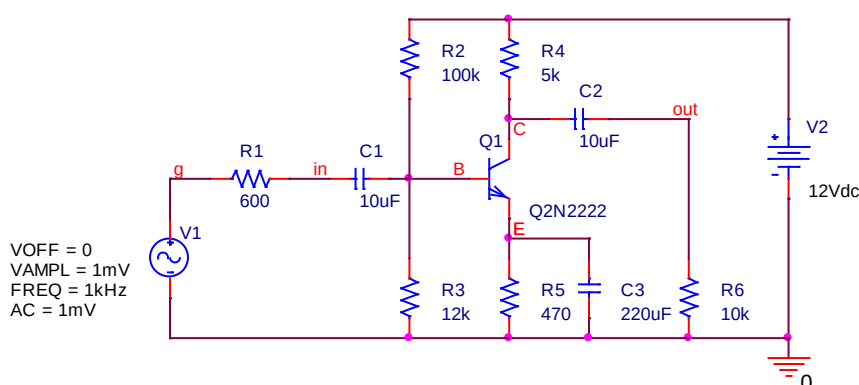


Fig. 8.3.

Circuitul din fig. 8.3 conține elemente care nu încap sau nu se pun pe cablajul imprimat:

- Generatorul de semnal sinusoidal, V1;
- Bateria de alimentare în c.c., C2 și
- Rezistența de sarcină, R6, utilizată în simulare și care modelează rezistența de intrare a etajului următor.

În al doilea rând, în simularea SPICE nu contează dacă C1, C2 și C3 sunt condensatoare electrolitice sau nu. Practic, contează și de aceea C1, C2 și C3 se înlocuiesc cu condensatoare electrolitice.

În al treilea rând, trebuie să existe o modalitate de a aduce alimentarea la montaj, semnalul care trebuie prelucrat și să se poate culege semnalul amplificat. În acest scop se utilizează un conector, cel puțin, care, în cazul circuitului din fig. 8.3, trebuie să aibă minim 4 contacte (4 pini).

Ținând seama de aceste constrângeri, rezultă schema din fig. 8.4:

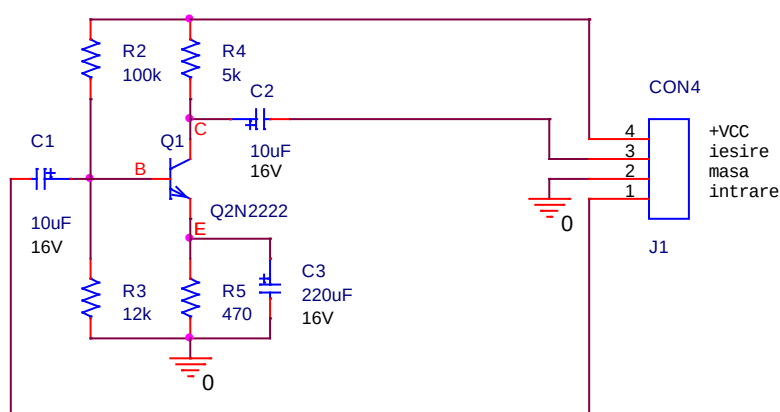


Fig. 8.4.

În etapa următoare, se verifică **alocarea de amprențe la componentele de circuit utilizate**.

Verificarea/atribuirea numelui unei amprențe se face astfel: se selectează circuitul, urmat de **Ctrl+E**. Se deschide fereastra *Property Editor* din fig. 8.5:

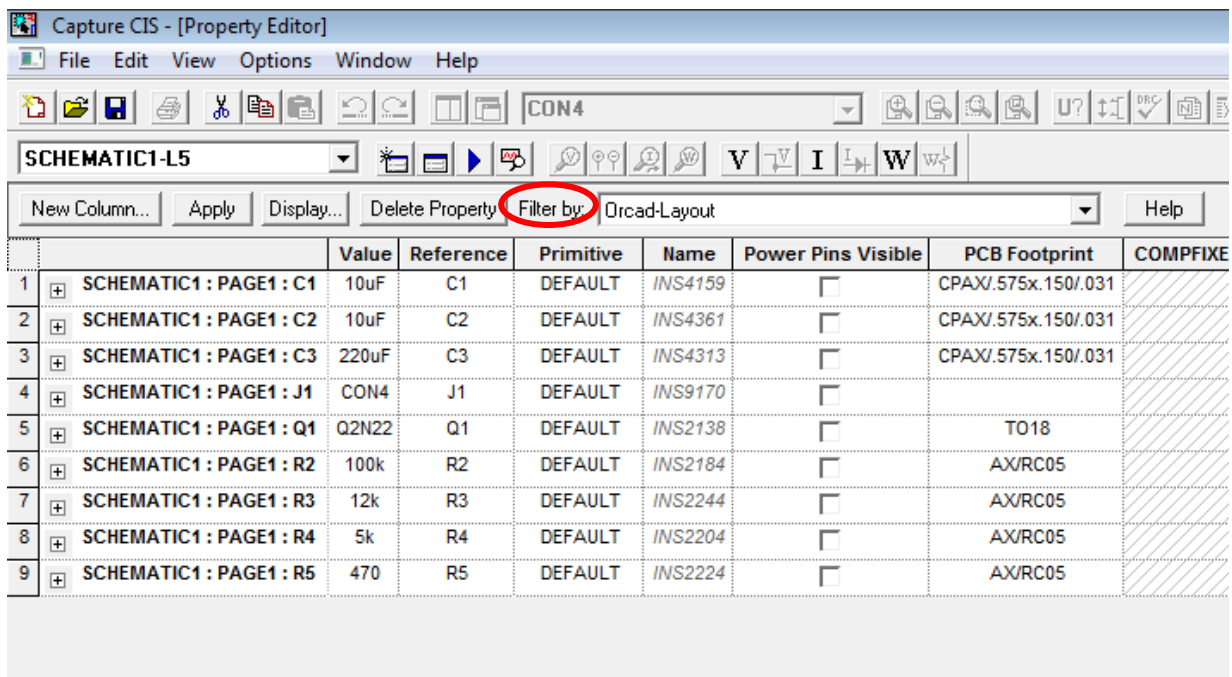


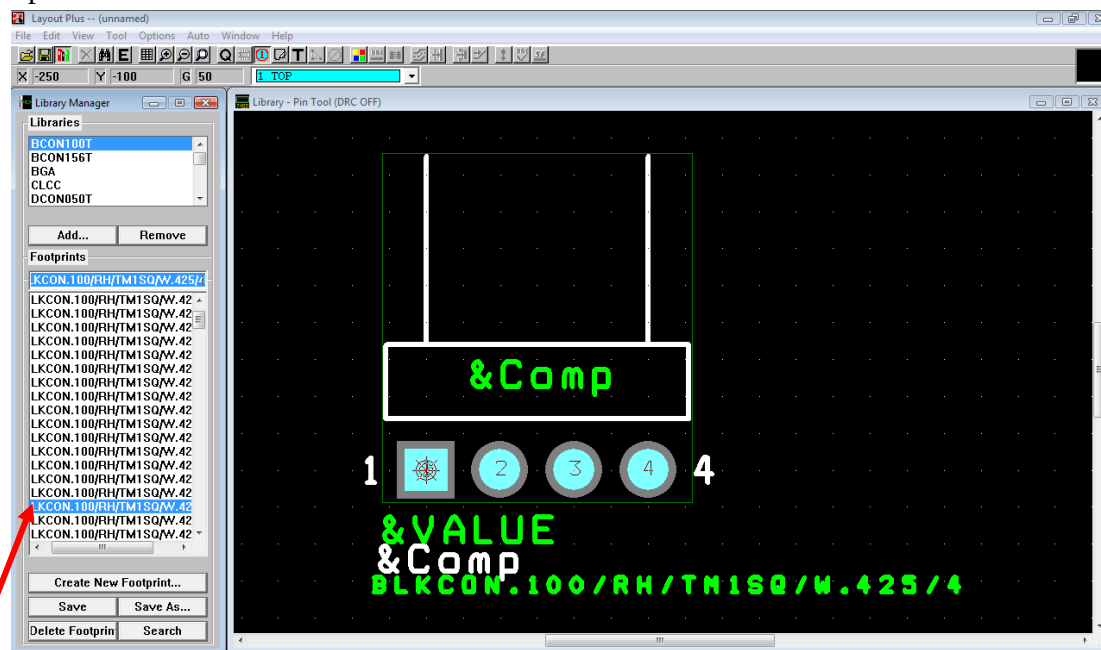
Fig. 8.5.

La opțiunea *Filter by:* se alege *Orcad-Layout*.

Conectorul notat pe schema din fig. 8.4 nu are amprentă - *PCB Footprint*.

Amprenta unei componente se adaugă în fereastra *Property Editor* astfel:

- Se deschide utilitarul Layout sau Layout Plus - **Layout** ;
- Se selectează meniul Tools > Library Manager;
- Se alege amprenta potrivită prin inspecție vizuală în fereastra din dreapta, cu fundal negru (fig. 8.6);
- Se copiază denumirea amprentei (Ctrl+C) și se adaugă (Ctrl+V) în Property Editor din Capture CIS.



Ctrl+C

Fig. 8.6.

Un pas important în realizare cablajului imprimat, în faza de pregătire a circuitului, îl constituie **verificarea respectării regulilor electrice** – DRC (Design Rules Check). Se parcurg următorii pași:

- În fereastra Capture CIS clic pe iconul  (Proiect manager) apoi clic pe nume proiect (.\\15.dsn -  \\15.dsn)
- Clic pe  - Design Rules Check;
- Clic pe Yes în fereastra de avertizare Undo Warning!;
- În fereastra Design Rules Check se selectează View Output (fig. 8.7):

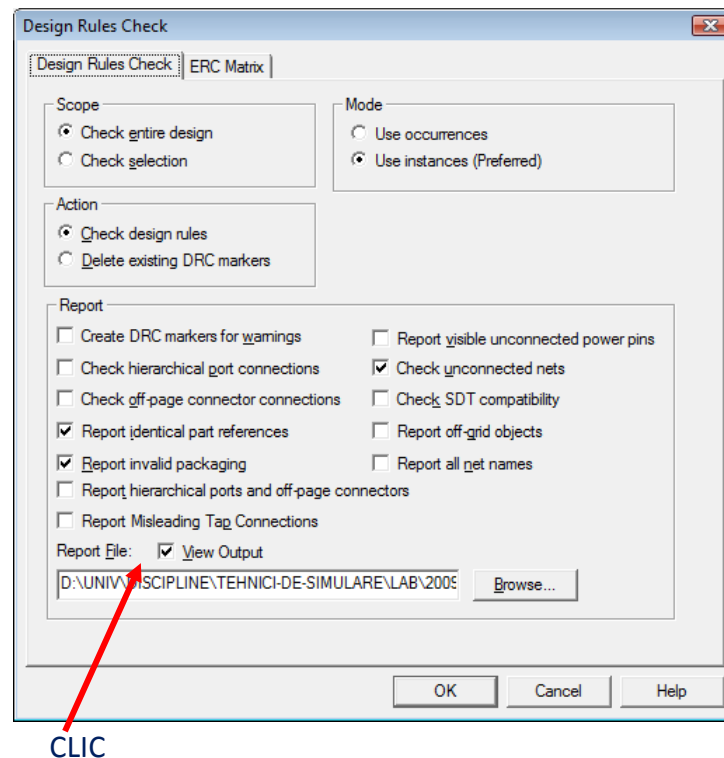


Fig. 8.7.

- Dacă nu există erori și este totul în ordine dacă se deschide o fereastră ca cea din fig. 8.8:

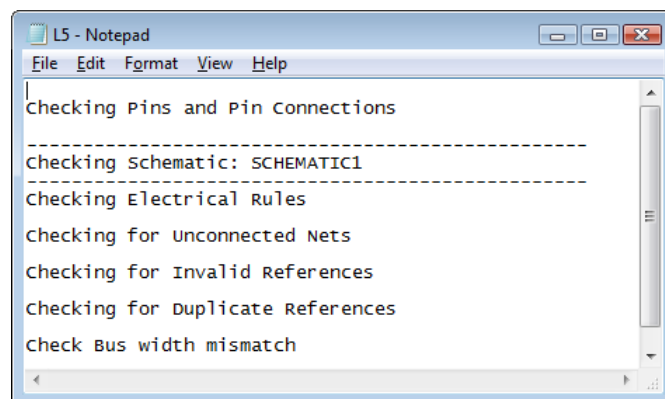


Fig. 8.8.

- Dacă schema are erori sau avertismente, apar inele verzi pe desen. Cu dublu clic pe inele se vede mesajul de eroare sau tipul erorii.

Programul permite **generarea listei de materiale** – BOM (Bill of Materials). Pentru generarea listei de materiale, se parcurg următorii pași:

- În fereastra Capture CIS se dă clic pe iconul  (Proiect manager) apoi clic pe nume proiect .\15.dsn -  **.\15.dsn**, de exemplu;
- Clic pe iconul  - Bill Of Materials;
- Pentru ca pe lista de materiale să apară și numele amprentei componentelor din netlist, se adaugă elementele evidențiate cu galben (fig. 8.9),:

Header: Item\tQuantity\tReference\tPart\t**PCB Footprint**

Combined property string: {Item}\t{Quantity}\t{Reference}\t{Value}\t**{PCB Footprint}**

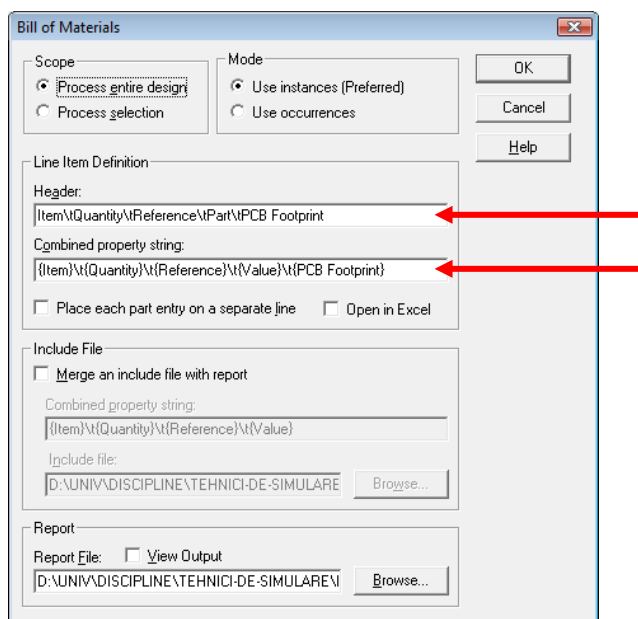


Fig. 8.9.

- Se validează cu clic pe OK.
- Rezultatul se afișează în editorul de text (fig. 8.10), dând dublu clic pe .\15.bom din fereastra

Proiect manager > Outputs:   **Outputs**
 **.\15.bom**

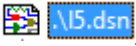
```

1:  Revised: Wednesday, November 18, 2009
2:      Revision:
3:
4:
5:
6:
7:
8:
9:
10: Bill Of Materials      November 18, 2009      13:26:32   Page1
11:
12: Item    Quantity    Reference    Part    PCB Footprint
13: -----
14:
15: 1    2    C1,C2    10uF    CPAX/.575x.150/.031
16: 2    1    C3    220uF    CPAX/.575x.150/.031
17: 3    1    J1    CON4    BLKCON.100/RH/TM1SQ/W.425/4
18: 4    1    Q1    Q2N2222    T018
19: 5    1    R2    100k    AX/RC05
20: 6    1    R3    12k    AX/RC05
21: 7    1    R4    5k    AX/RC05
22: 8    1    R5    470    AX/RC05
23:

```

Fig. 8.10.

Modul de conectare a elementelor de circuit este descris în fișerul **netlist**. Generarea fișierului netlist (cu extensia *.MNL) necesită parcurgerea următorilor pași:

- În fereastra Capture CIS se dă clic pe iconul  (Proiect manager) apoi clic pe numele proiectului (.\\L5.dsn - );
- Clic pe iconul  - *Create Netlist*;
- Clic pe butonul *Yes* în fereastra de avertizare *Undo Warning!* (dacă este cazul);
- Se deschide fereastra *Create Netlist* din fig. 8.11:

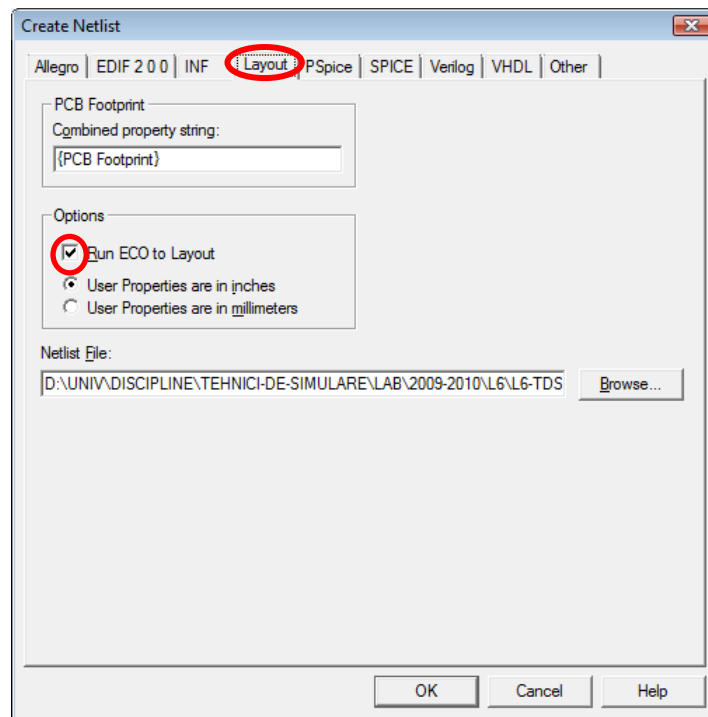


Fig. 8.11.

- În fereastra din fig. 8.11 se alege meniul *Layout*;
- Se bifează în căsuța dreptul la *Run ECO to Layout* (ECO=Engineering Change Orders);
- Se selectează *User Properties are in inches*;
- Clic pe butonul *OK* urmat de al doilea clic pe butonul *OK* din fereastra de avertizare;
- Fișierul generat (*.MNL) este plasat în *Outputs* din *Proiect manager* (fig. 8.12).

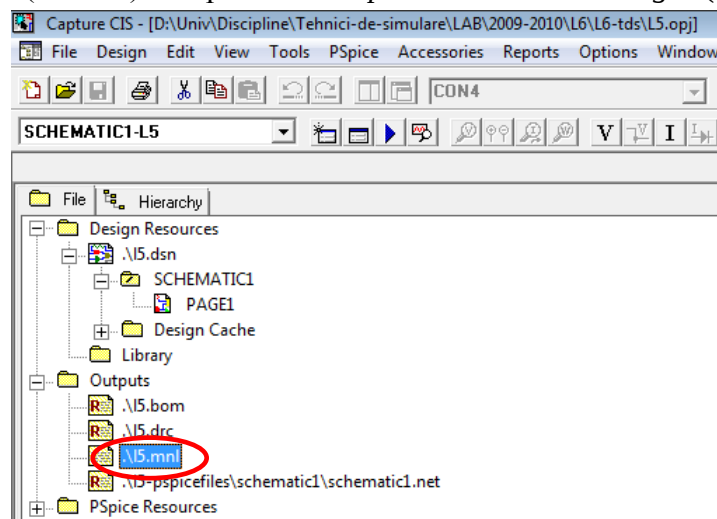


Fig. 8.12.

8.3 Aplicația 22 – rutarea automată

Pentru circuitul din fig. 8.4, să se parcurgă pașii necesari pentru realizarea cablajului imprimat prin rutare automată.

În cazul în care se utilizează programul de proiectarea a cablajului imprimat – OrCAD Layout, urmează lansarea acestuia, astfel:

- dublu clic pe iconul  Layout ;
- se dă clic pe iconul  sau din meniul *File > New* și se deschide fereastra *AutoECO* (fig. 8.13):

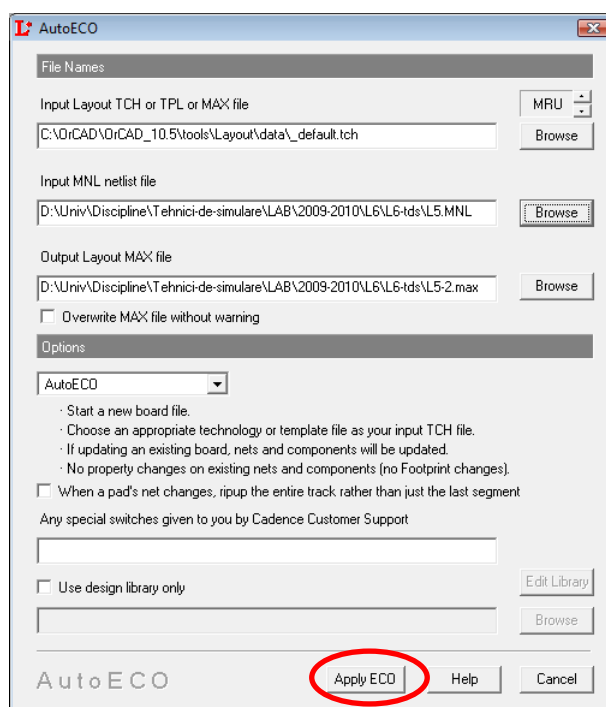


Fig. 8.13.

În fereastra din fig. 8.13:

- se alege modelul de tehnologie _default.tch,
- se deschide fișierul NETLIST (*.MNL) creat în **Aplicația 21**;
- programul dă același nume cablajului cu extensia (*.MAX) ca și cel al fișierului *.MNL;
- Clic pe Apply ECO. Layout va lansa procesul ECO, care va încărca NETLIST, verificând eventualele erori (fig. 8.14).

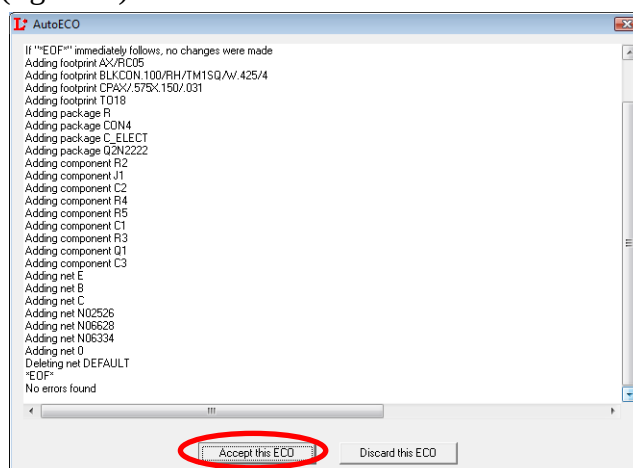


Fig. 8.14.

- Clic pe *Accept this ECO* (fig. 8.14) și se deschide fereastra din fig. 8.15, care reprezintă foaia de lucru în Layout:

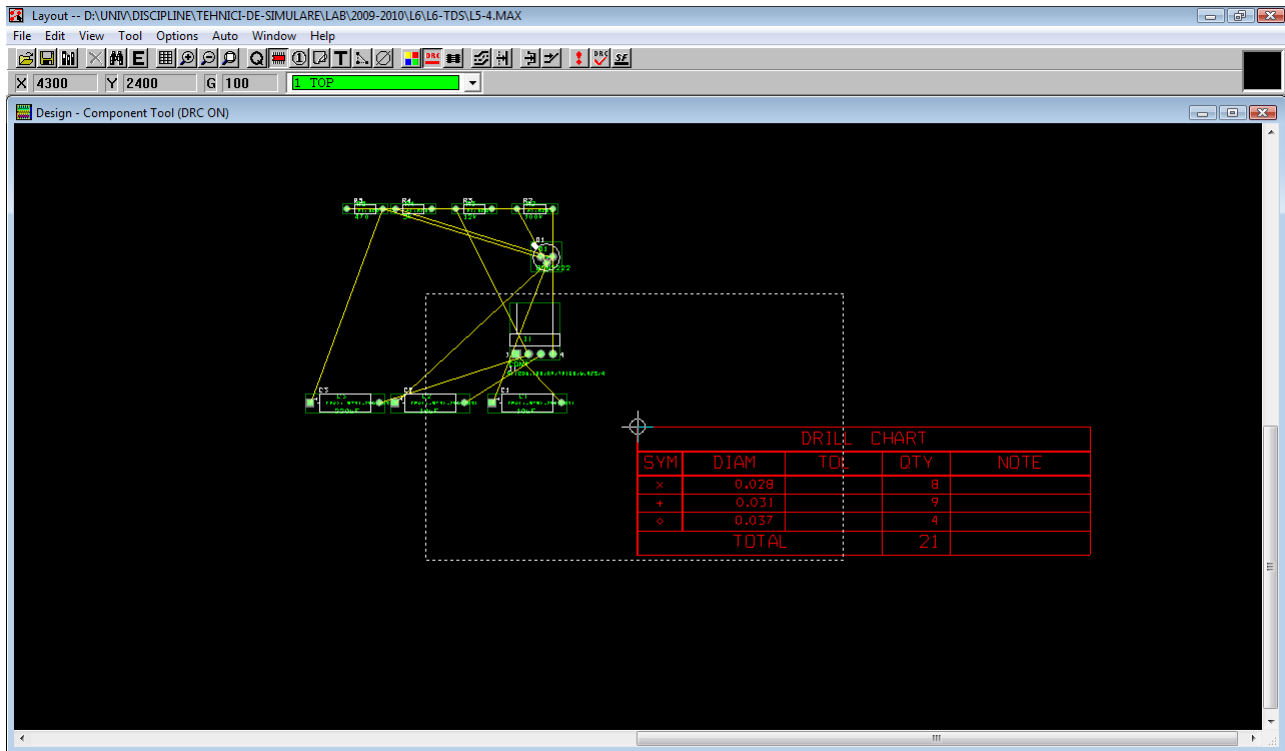


Fig. 8.15.

Urmează etapa de **pregătire a circuitului imprimat** în care se parcurg următorii pași:

- Alegerea numărului de straturi ale circuitului imprimat
- Schimbarea unității de măsură
- Modificarea lățimii traseelor
- Pregătirea circuitului pentru rutare
- Editarea poziției componentelor
- Definirea conturului cablajului imprimat

1. Alegerea numărului de straturi ale circuitului imprimat

- Se face din meniul *Tool>Layer>Select From Spreadsheet...*
- În fereastra care se deschide, în coloana *Layer Type* se face dublu clic pe *Routing* de la *TOP*, *INNER1* și *INNER2* și se bifează *Unused Routing* în fereastra *Edit Layer* (fig. 8.16);

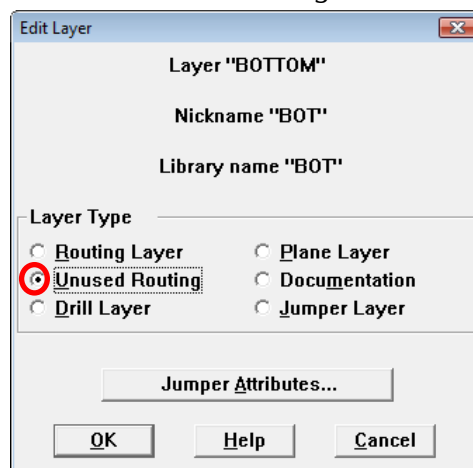


Fig. 8.16.

- Se lasă *Routing* doar pentru *BOTTOM* care reprezintă fața neplantată sau cea care conține stratul de cupru.

2. Schimbarea unității de măsură

- Se face din meniul *Options>System Settings...* sau *Ctrl+G* și în fereastra de dialog se bifează la *Millimeters (mm)* urmat de *OK*.

3. Modificarea lățimii traseelor

- *Tool>Net>Select From Spreadsheet;*
- Se selectează *Cancel* în fereastra de dialog *Net Selection Criteria;*

- în coloana

Width
Min Con Max

 se completează, de exemplu cu 1, adică 1mm, în trei ferestre: *Min Width*, *Conn Width* și *Max Width* (fig. 8.17):

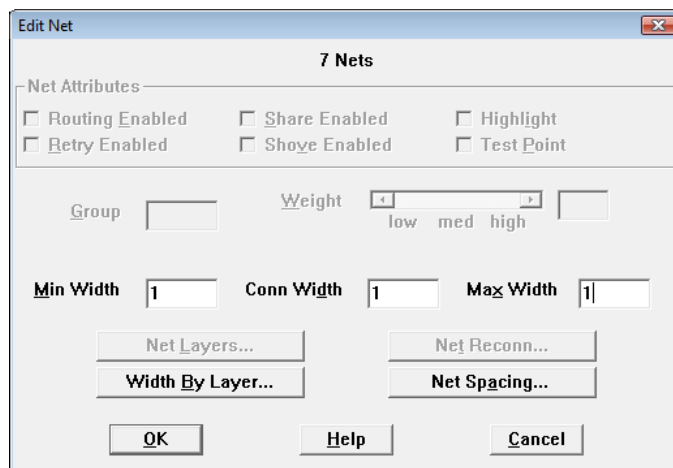


Fig. 8.17.

4. Pregătirea circuitului pentru rutare

- Dreptunghiul trasat cu linie punctată se elimină cu clic pe butonul  - *Online DRC*;
- Conexiunile dintre componente (liniile trasate cu galben) se pot elimina cu clic pe butonul  - *Reconnect Mode*.
- *Zoom In* cu tasta *I*, *Zoom Out* cu tasta *O*;
- Pentru deplasarea componentelor se dă clic pe butonul  - *Component Tool*, “click and drag” și componenta se mută unde se dorește;
- Rotirea componentei se face tastând *R*;

Observații:

La tranzistorul bipolar, aripioara de pe amprentă reprezintă emitorul (terminalul cu săgeată de pe schema din *Capture*):



5. Editarea poziției componentelor

- Componentele se rotesc și se deplasează astfel încât să respecte așezarea din schema desenată în *Capture* (fig. 8.3).
- Figura 8.18 reprezintă un exemplu al modului de aranjare a componentelor:

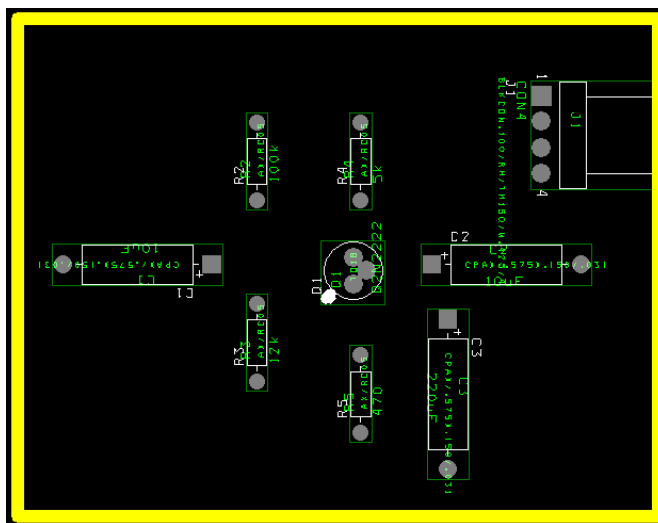


Fig. 8.18.

6. Definirea conturului cablajului imprimat

- presupune încadrarea tuturor componentelor într-o anumită suprafață, delimitată de o linie galbenă, groasă. Se realizează cu succesiunea de meniuri și submeniuri:

Tool>Obstacle>Select Tool sau cu butonul  - *Obstacle Tool*.

- Clic apoi pe butonul stâng al mouse-ului în locul unde se dorește începerea conturului și se desenează întregul contur schimbând direcția printr-un nou clic stânga.
- Când s-a terminat se dă clic dreapta urmat de *Finish* sau se tastează *Esc*.

7. Rutarea automată

Rutarea este etapa din realizarea unui circuit imprimat prin care se realizează traseele de interconexiune dintre componente, așezate corespunzător.

- Se realizează cu succesiunea de meniuri și submeniuri: *Auto>Autoroute>Board*;
- Cablajul imprimat, având lățimea implicită a traseelor, are forma din fig. 8.19.
- Se observă că există treceri printre pinii conectorului. Situația este periculoasă pentru efectuarea lipiturilor. Pot apare scurtcircuite nedorite!

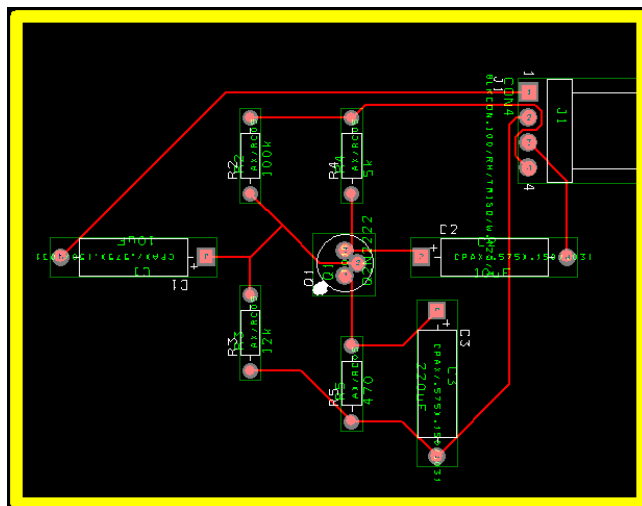


Fig. 8.19.

-

Deseori în proiectarea circuitelor imprimate pornind de la realizarea desenului circuitului electric apare situația în care nu există simbol pentru toate componentele. În aceste situații, proiectantul trebuie să creeze noi simboluri, grupate într-o bibliotecă de componente. Această bibliotecă se poate completa de la un proiect la altul și devine un „instrument” util în realizarea de noi circuite.

Utilizând OrCAD Capture, să se deseneze circuitul din fig. 8.21.

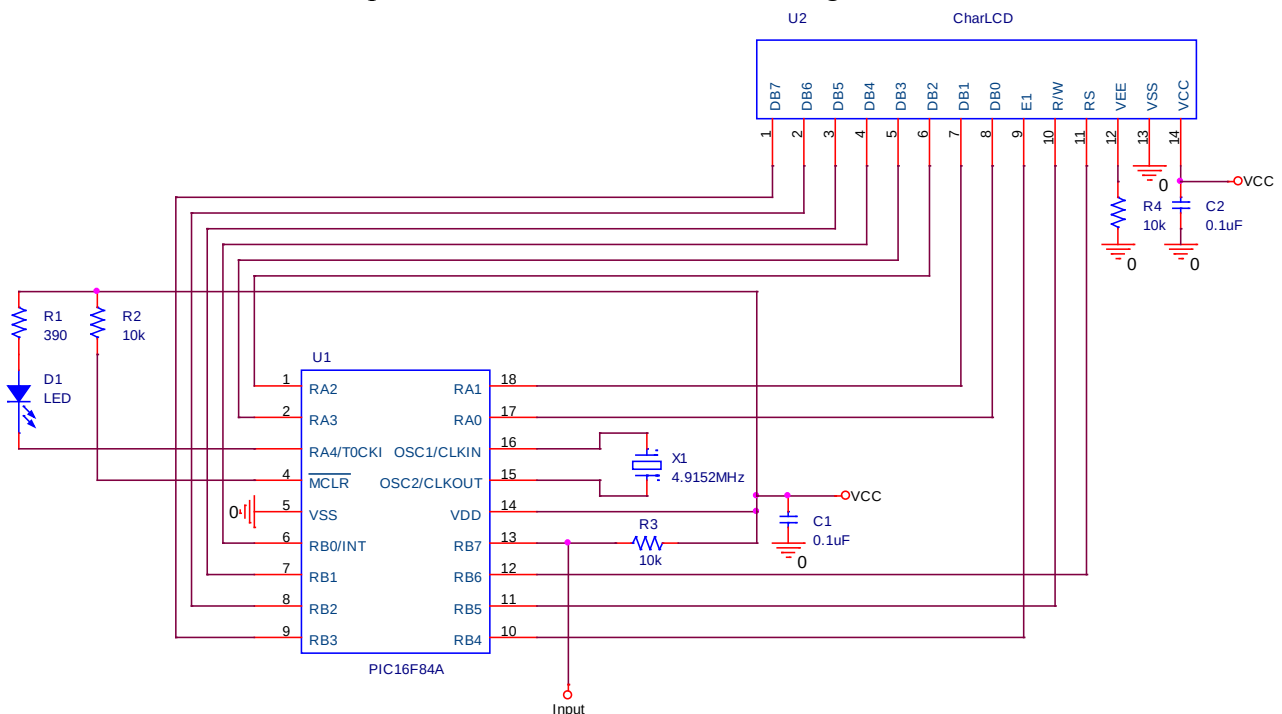


Fig. 8.21.

Circuitul din fig. 8.21 reprezintă un decodor pentru caracterele alfabetului Morse, implementat cu un microcontroller de tipul PIC16F84A. Rezultatul decodificării este afișat pe un display cu cristale lichide (CharLCD).

Bibliotecile de simboluri ale *OrCAD Capture* nu conțin simbolurile pentru microcontroller și afișajul LCD. Simbolurile se vor crea de către utilizator.

Pentru dioda electroluminescentă – LED (**L**ight **E**mitting **D**iode), D1 se va folosi biblioteca *Discrete.olb*. Se va adăuga proiectului cu **Place part --> Add Library** (exterior folder-ului *pspice*).

Pentru crearea unei noi biblioteci de simboluri, se parcurg următorii pași:

- Se deschide un proiect existent sau se începe unul nou. În acest caz se începe un proiect nou.
- Clic pe butonul  - *Project manager*;
- Se adaugă o librărie nouă: **File-->New-->Library**
- Clic pe butonul **OK** în fereastra de dialog din fig. 8.22:

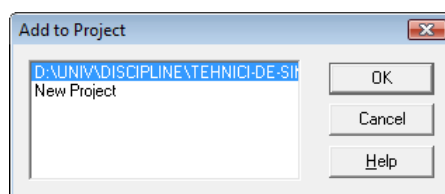


Fig. 8.22.

- Fereastra *Project manager* va căpăta aspectul din fig. 8.23. Se observă că apare subfolder-ul *.\library1.olb* în cadrul folder-ului *Library*:

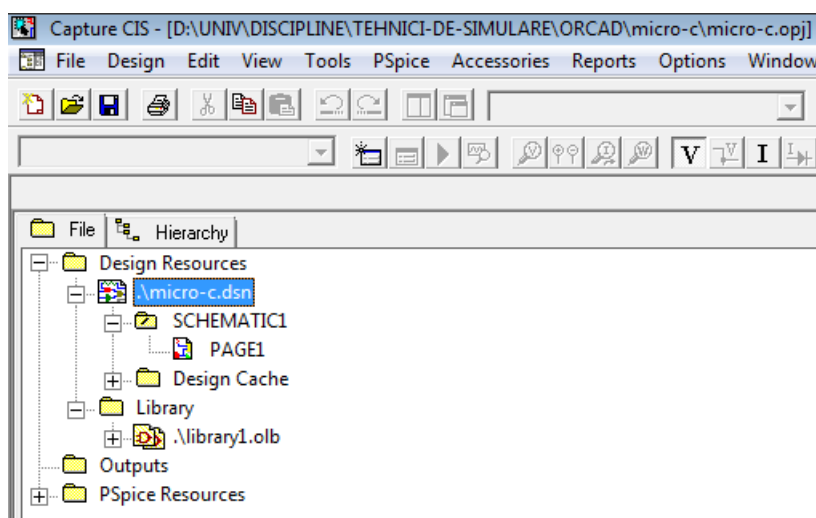


Fig. 8.23.

Biblioteca stfel creată trebuie **redenumită**:

- Clic dreapta pe numele bibliotecii (*library1.olb*), se selectează **Save As...** și se redenumeste biblioteca, de exemplu *mylib.olb*.
- Se recomandă creare unui folder pentru bibliotecile utilizatorului.
- Pentru a adăuga un simbol nou bibliotecii create, în fereastra *Project manager* se dă clic pe numele bibliotecii și se selectează **New Part**.
- Se deschide fereastra de dialog *New Part Properties* din fig. 8.24.
- Se creează simbolul pentru microcontroller-ul PIC16F84A. La **Name** se trece **PIC16F84A**.

- Se pot lăsa valorile implicite propuse de program.
- Clic pe OK și se deschide fereastra de lucru pentru crearea de simboluri din fig. 8.25:

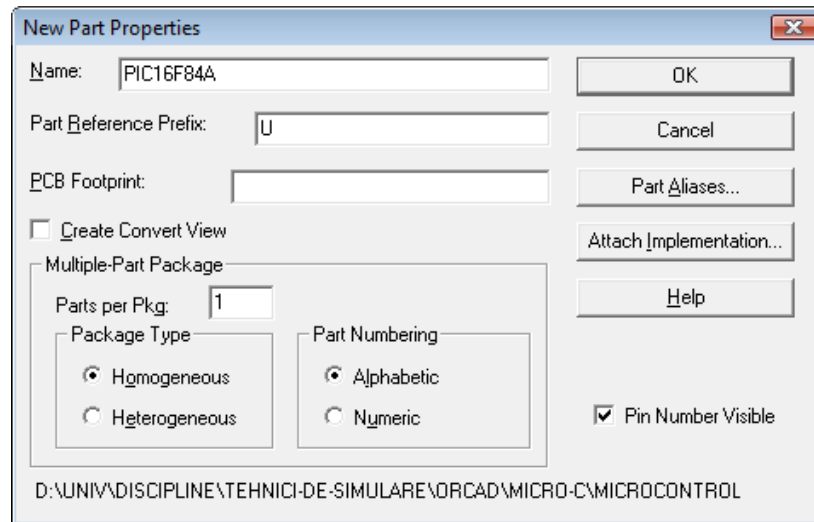


Fig. 8.24.

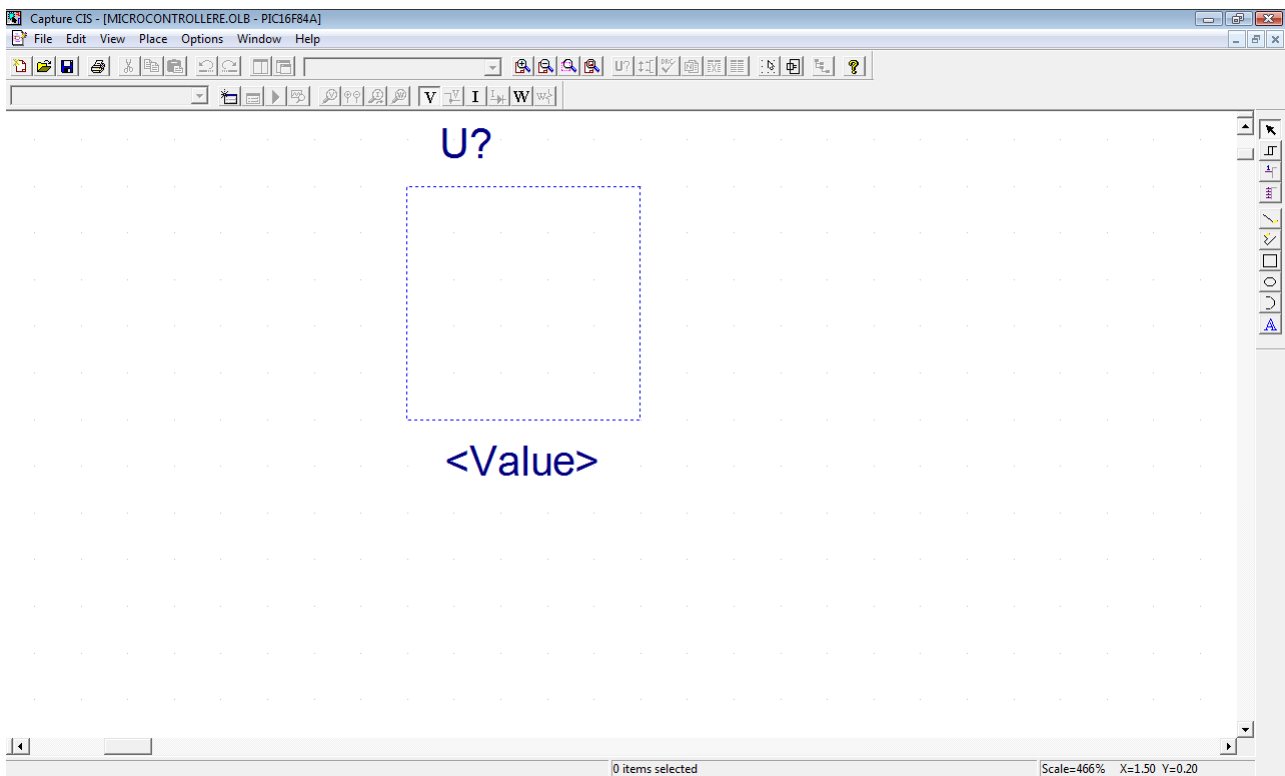


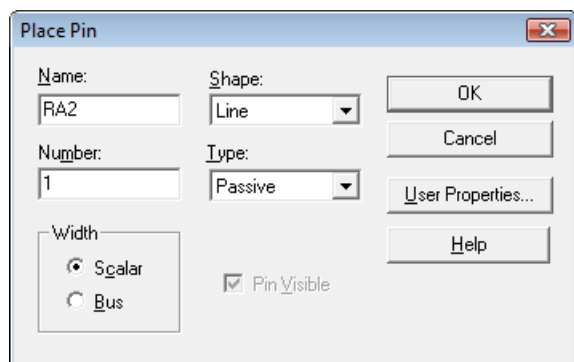
Fig. 8.25.

- Butoanele de lucru sunt în partea din dreapta ecranului de lucru.

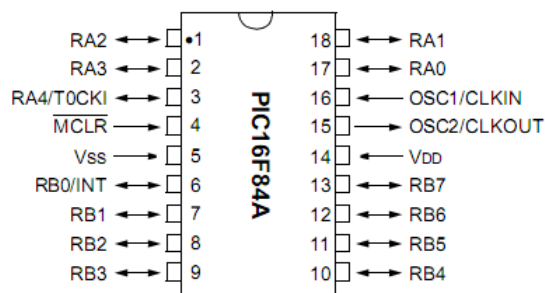
Editarea simbolului se face în fereastra de lucru din fig. 8.25:

- „Click and drag” pentru a mări suprafața delimitată cu linie punctată.
- Se folosește **Place --> Pin** sau butonul  pentru a adăuga terminale (pini) simbolului. În fereastra care se deschide (fig. 8.26, a) se completează numele și numărul pinului în conformitate cu datele de catalog (fig. 8.26, b).

- Desenul care conține semnificația pinilor microcontroller-ului se salvează anterior cu extensia *.bmp și se plasează în fereastra de lucru a noului simbol (fig. 8.26, b) din meniul: Place --> Picture.



a)



b)

Fig. 8.26.

Observație: Pinul 4 al microcontroller-ului corespunde la o variabilă logică negată. Denumirea pinului 4 se obține completând după modelul din fig. 26, c:

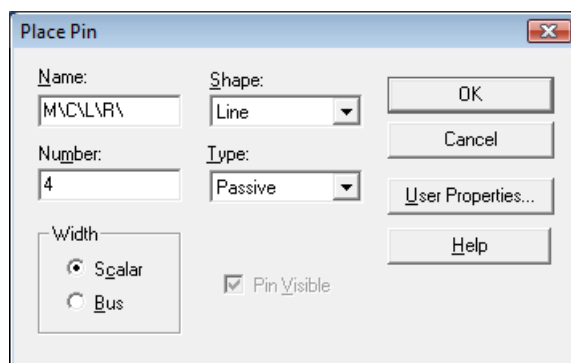


Fig. 8.26, c.

- După completarea tuturor pinilor se alege Place --> Rectangle și se marchează conturul simbolului, suprapunând dreptunghiul cu linie plină peste conturul trasat cu linie punctată. Rezultă simbolul din fig. 27.

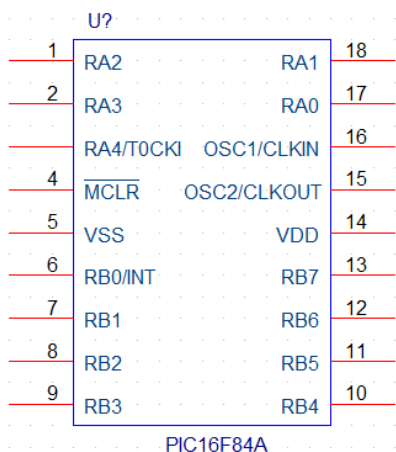


Fig. 8.27.

- Se salvează simbolul astfel creat și se închide fereastra de editare.

- Se repetă pașii pentru crearea unui simbol de afișor LCD, semnificația pinilor fiind cea din fig. 8.28.

Table 2.2., Pin assignment for > 80 character displays

Pin number	Symbol	Level	I/O	Function
1	DB7	0/1	I/O	Data bus line 7 (MSB)
2	DB6	0/1	I/O	Data bus line 6
3	DB5	0/1	I/O	Data bus line 5
4	DB4	0/1	I/O	Data bus line 4
5	DB3	0/1	I/O	Data bus line 3
6	DB2	0/1	I/O	Data bus line 2
7	DB1	0/1	I/O	Data bus line 1
8	DB0	0/1	I/O	Data bus line 0 (LSB)
9	E1	1, 1→0	I	Enable signal for row 0 and 1 (1 st controller)
10	R/W	0/1	I	0 = Write to LCD module 1 = Read from LCD module
11	RS	0/1	I	0 = Instruction input 1 = Data input
12	Vee	-	-	Contrast adjust
13	Vss	-	-	Power supply (GND)
14	Vcc	-	-	Power supply (+5V)

Fig. 8.28.

- Simbolul de display LCD creat poate avea aspectul din fig. 8.29:

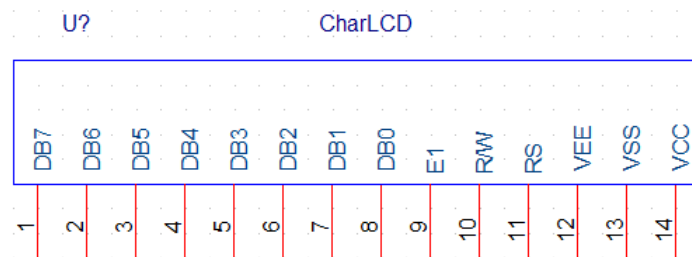


Fig. 8.29.

- Se salvează simbolul astfel creat și se închide fereastra de editare.
După crearea noilor simboluri, se desenează întreg circuitul propus pentru Aplicația 23.

O altă situație întâlnită frecvent în proiectarea cablajelor imprimate este aceea în care nu se găsesc anumite amprente de componente și trebuie create altele noi.

8.5 Aplicația 24 – crearea de amprentă nouă

Să se realizeze cablajul imprimat pentru circuitul monostabil realizat cu circuitul integrat de tipul 555 (fig. 8.30).

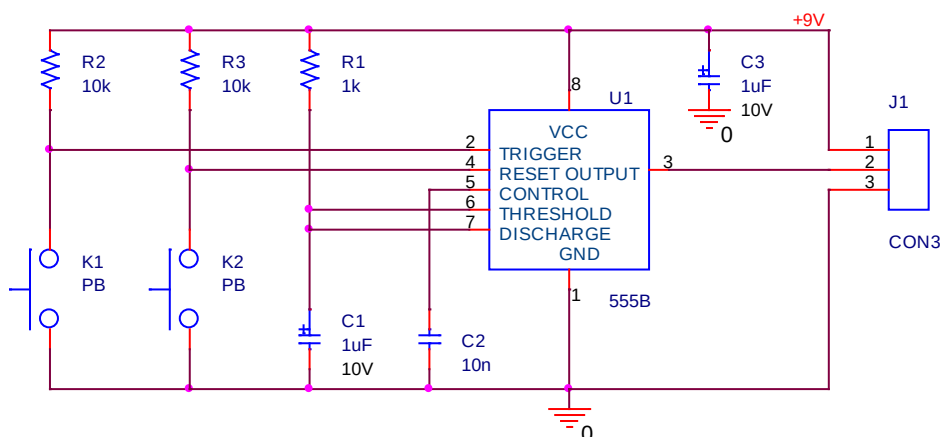


Fig. 8.30.

Se poate crea un simbol nou pentru pushbutton, parcurgând următorii pași:

- Se începe un proiect nou.
- Clic pe butonul  - *Project manager*
- Se adaugă o librărie nouă: **File --> New --> Library**
- Clic dreapta pe numele bibliotecii (*library1.olb*), se selectează **Save As...** și se redenumțe biblioteca, de exemplu **PUSHBUTTON**.
- Pentru a adăuga un simbol nou bibliotecii create, în fereastra *Project manager* se dă clic dreapta pe numele bibliotecii și se selectează **New Part**.
- Se deschide fereastra de dialog *New Part Properties*.
- La **Name** se trece **pushbutton**. La **Part Reference Prefix** se trece **K**.
- Se lasă valorile implicite propuse de program.
- Clic pe butonul **OK** și se deschide fereastra de lucru pentru crearea de simbol.
- Se folosește meniul **Place --> Pin** sau butonul  pentru a adăuga terminale (pini) simbolului. În fereastra care se deschide se completează numele cu **1** pentru primul pin și apoi cu **2** pentru cel de al doilea pin.
- Pentru o imagine a simbolului mai clară, numele pinului se face invizibil. În meniul **Options --> Part Properties...** se dă clic pe **Pin Names Visible** și în fereastra mică de jos, având numele tot **Pin Names Visible** se alege opțiunea **False**.

Observații: Înainte de editarea unui simbol creat anterior, se recomandă ca în fereastra *Project Manager* să se dea clic dreapta pe **Design Cache** și să se aleagă opțiunea **Cleanup Cache**.

Conectorul CON3 nu are nume de amprentă alocat și trebuie realizat acest lucru. Se parcurg pașii următori:

- se selectează circuitul desenat în *OrCAD Capture*, urmat de **Ctrl+E**. Se deschide fereastra **Property Editor**
- La opțiunea **Filter by** se alege **Orcad-Layout**.
- Se deschide utilitarul **Layout** sau **Layout Plus** dând clic pe iconul  **Layout** ;
- Se selectează **Tools --> Library Manager**;
- Se alege amprenta potrivită prin inspecție vizuală în fereastra din dreapta cu fundal negru;
- Se copiază denumirea amprentei (**Ctrl+C**) și se adaugă (**Ctrl+V**) în fereastra **Property Editor** din **Capture CIS**.

Pentru **definirea amprentei** pentru pushbutton se folosesc dimensiunile geometrice din foaia de catalog (fig. 8.31) pentru un buton Panasonic de tipul EVQ-PAG04M cu acționare verticală și fără conexiune de masă (Top-push, without ground terminal). Valorile sunt exprimate în milimetri:

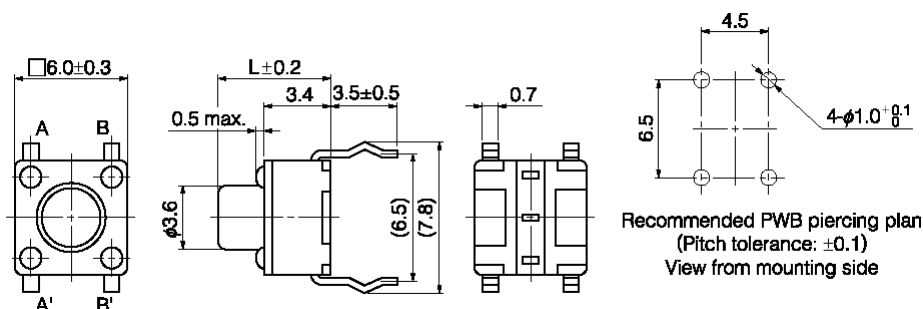


Fig. 8.31.

- Conectarea electrică a pinilor se face ca în fig. 8.32:

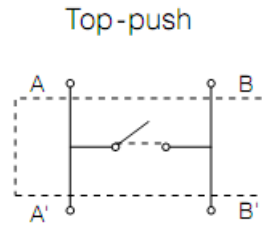


Fig. 8.32.

- Se deschide utilitarul **Layout** sau **Layout Plus** - **Layout** ;
- Se selectează **Tools --> Library Manager**;
- Se alege **Create New Footprint...** În fereastra de dialog se aleg numele **pushbutton** și unitatea de măsură – **Metric**;
- În meniul **Options --> System Settings...** se fac setările din fig. 8.33:

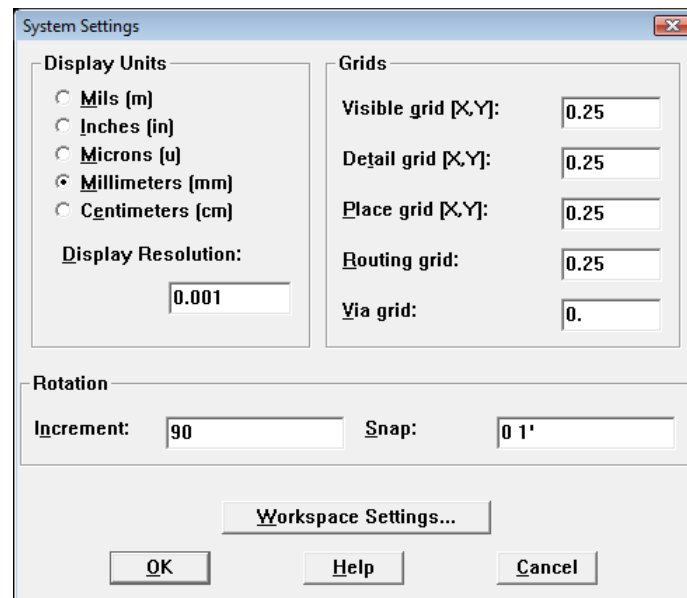


Fig. 8.33.

- În colțul stânga jos al ferestrei de editare a amprentei (footprint-ului) apar coordonatele poziției cursorului pe ecran. Pinul, notat 1, se află în punctul de coordonate (0.000,0.000).
- Se alege meniul **View --> Database Spreadsheets... --> Padstacks** și se fac setările:
 - o DRLDWG, DRILL: clic dreapta --> Properties... (sau dublu clic pe nume), clic pe butonul tip radio denumit Round și se aleg: Pad Width=1, Pad Height=1
 - o TOP, BOTTOM, INNER: clic dreapta --> Properties... (sau dublu clic pe nume), clic pe butonul tip radio denumit Round și se aleg: Pad Width=1.5, Pad Height=1.5
 - o PLANE: clic dreapta --> Properties... (sau dublu clic pe nume), clic pe butonul tip radio denumit Round și se aleg: Pad Width=2, Pad Height=2
 - o SMTOP, SMBOT: clic dreapta --> Properties... (sau dublu clic pe nume), clic pe butonul tip radio denumit Round și se aleg: Pad Width=1.625, Pad Height=1.625
- Se salvează dând clic pe **Save As**: cu numele **PUSHBUTTON**. Clic pe **Create New Library** pentru a defini calea fișierului **pushbutton.LLB**;

- Ștergerea textelor implicite de pe ecran se face din meniul **Tool --> Text --> Select From Spreadsheet**. Se selectează toate textele și se șterg (**Clic + Shift --> Delete**)
- Adăugarea de pini se face din meniul: **Tool --> Pin --> Select Tool**, urmat de **Ctrl+C** și se plasează pinul 2 (notat cu B' pe fig. 8.32), apoi din nou **Ctrl+C** și se plasează pinul 3 (notat cu B pe fig. 8.32) iar la final din nou **Ctrl+C** și se plasează pinul 4 (notat cu A pe fig. 8.32).

Observație: este bine ca pinul 1 (notat A' pe fig. 8.32) să fie plasat totdeauna în punctul de coordonate (0.000,0.000).

- Definirea suprafeței ocupate (a conturului) se face din meniul: **Tool – Obstacle – New**. Cursorul se transformă într-o cruciuliță mică. Clic în punctul de pornire și se trage cursorul până în punctul de oprire. Coordonatele pinilor se prezintă în fig. 8.34:

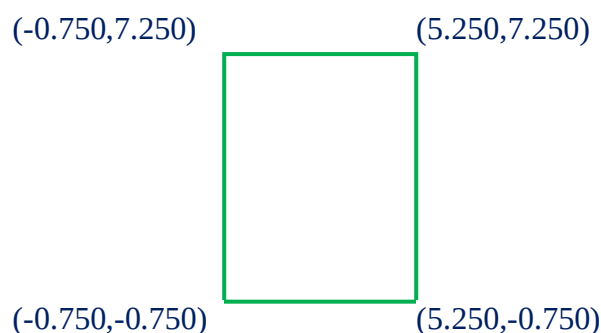


Fig. 8.34.

Observație: pentru a șterge un contur greșit se alege meniul **Edit --> Select Any...** sau scurtătura **Ctrl+S**, se marchează suprafața care cuprinde obiectul care trebuie șters, urmat de comanda **Delete**.

- Se dă clic pe numele footprint-ului și se salvează. Rezultă de forma din fig. 8.35:

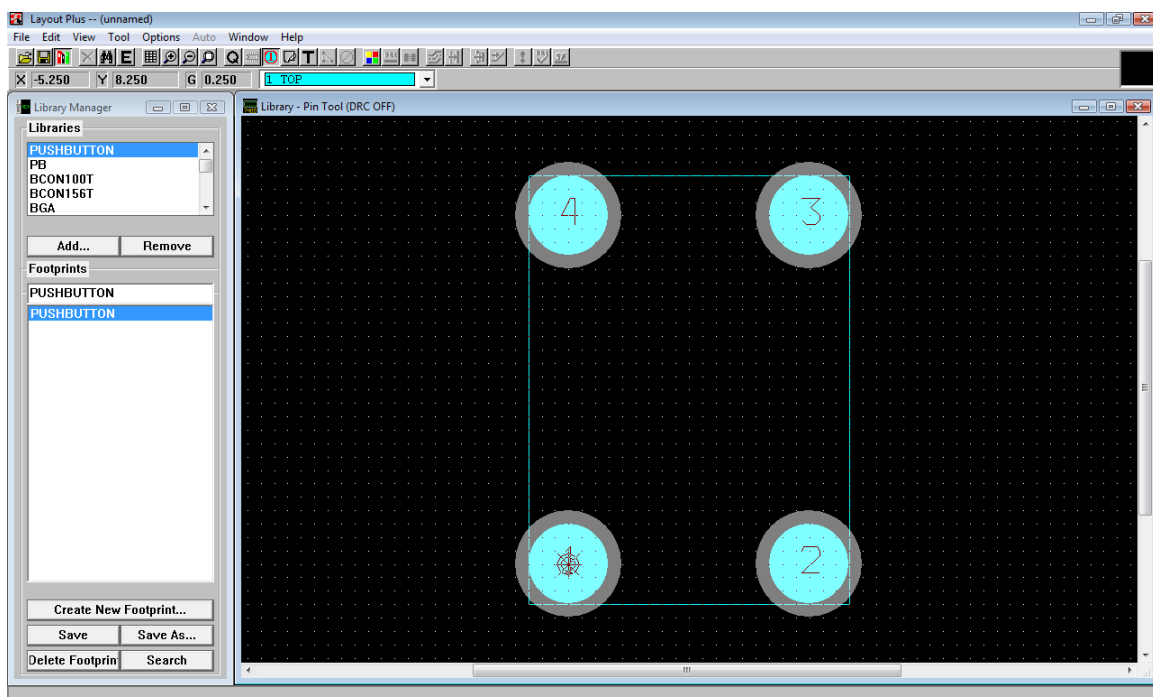


Fig. 8.35.

Atribuirea de nume ampretei pentru pushbutton se face astfel:

- Clic pe numele ampretei create;
- Se copiază denumirea ampretei (Ctrl+C) și se adaugă (Ctrl+V) în **Property Editor** din **Capture CIS**.

Realizarea cablajului imprimat presupune parcurgerea următoarelor etape:

- În fereastra **Project Manager** din **Capture** se realizează:
 - o Verificarea regulilor electrice - **DRC**
 - o Se generează lista de materiale - **BOM**
 - o Se realizează lista de conexiuni – **Create netlist**. Rezultă un fișier cu extensia ***.MNL**.
- În **Orcad Layout**:
 - o **File --> New** sau clic pe iconul 
 - o se alege modelul de tehnologie **_default.tch**,
 - o se deschide fișierul **NETLIST (*.MNL)**
 - o Clic pe **Apply ECO**.
 - o Clic pe **Accept this ECO**
 - o Se alege numărul de straturi ale circuitului imprimat din meniul **Tool --> Layer --> Select From Spreadsheet...**
 - o În coloana **Layer Type** se face dublu clic pe **Routing** de la **TOP**, **INNER1** și **INNER2** și se bifează **Unused Routing**;
 - o Se lasă **Routing** doar pentru **BOTTOM**
 - o Se alege unitatea de măsură din meniul **Options --> System Settings...** sau **Ctrl+G** și în fereastra de dialog se bifează la **Millimeters (mm)** urmat de **OK**.
 - o Se alege grosimea traseelor din meniul **Tool --> Net --> Select From Spreadsheet**;
 - o Se selectează **Cancel** în fereastra de dialog **Net Selection Criteria**;
 - o în coloana

Width		
Min	Con	Max

 se completează, de exemplu cu 0.5, adică 0,5mm, în trei ferestre: **Min Width**, **Conn Width** și **Max Width**.

O așezare posibilă a componentelor pe circuitul imprimat se prezintă în fig. 8.36:

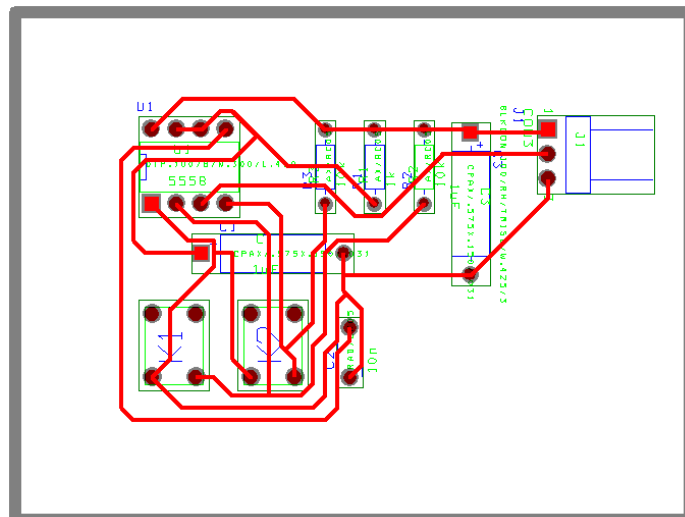


Fig. 8.36.

Bibliografie

- [1] Vladimirescu, A. – SPICE, Editura Tehnică, București, 1999;
- [2] Tudor, M. – SPICE, Editura Teora, 1996;
- [3] *** - OrCAD Capture. User's Guide
- [4] Mitzner, K – Complete PCB Design using OrCAD Capture and Layout, Elsevier Inc, 2007
- [5] *** – colecția revistei ELEKTOR, <http://www.elektor.com/>
- [6] Franco, S. – Design with Operational Amplifier and Analog Integrated Circuits, Third Edition, McGraw Hill, 2002.



“... Creșterea exponențială a complexității sistemelor electronice a făcut ca analiza și sinteza lor să fie posibilă numai prin automatizarea activității de proiectare, bazată pe utilizarea extensivă a calculatorului. Simulatorul de circuit SPICE este unul din cele mai cunoscute și utilizate instrumente software destinate proiectării circuitelor electronice și electrice. Statutul actual al programului SPICE este acela de **standard** pentru analiza circuitelor electronice și electrice, standard acceptat universal de către comunitatea inginerilor electroniști și electricieni. SPICE (și diferitele sale versiuni) este „cheia franceză” aflată astăzi la îndemâna unui număr imens de utilizatori, începând cu novicii și terminând cu veteranii care o folosesc intensiv și permanent...”

din „CUVÂNT ÎNAINTE” la cartea „SPICE”
scrisă de Andrei Vladimirescu,
director tehnic la Cadence Design Systems Inc., USA
și tradusă de Mircea Bodea și Claudiu Dan
Universitatea „Politehnica” din București