

Programul SPICE de simulare a circuitelor electronice

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

RAVARIU, CRISTIAN

Programul spice de simulare a circuitelor electronice / Cristian

Ravariu, Sabin Ionel. - București : Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, 2011

Bibliogr.

Index

ISBN 978-606-8371-03-0

I. Savin, Ionel

621

Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

Adresa: Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

Redactor: ing. Mihail CĂRUȚAȘU

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Coperta: ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,
București, 2011**

Cristian Ravariu

Sabin Ionel

**Programul SPICE
de simulare
a circuitelor electronice**



Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

București

2011

Cuprins

Capitolul 1. Prezentare program SPICE

1.1	Introducere	7
1.2	Descrierea unui circuit electronic în SPICE	9
1.3	Analiza unui circuit electronic în SPICE	11
1.3.1	Modele fizice, empirice și de fitare	11
1.3.2	Modele pentru componente electronice pasive	12
1.3.3	Analize posibile în SPICE	13
1.4	Parametri de model – extractoare de parametri	14

Capitolul 2. Modele SPICE pentru diode

2.1	Descrierea unei diode în SPICE	21
2.2	Modelarea caracteristicilor statice directe	21
2.3	Modelarea capacităților în polarizare inversă	25
2.4	Modelarea caracteristicilor statice inverse	26
2.5	Modelarea caracteristicilor în regimul de străpungere	27
2.6	Modelarea regimului de comutație	28
2.7	O aplicație SPICE	29

Capitolul 3. Modele SPICE ale Tranzistoarelor Bipolare

3.1	Descrierea unui tranzistor bipolar în SPICE	31
3.2	Modelarea regimului static	32
3.2.1	Modelul Ebers-Moll fundamental	32
3.2.2	Efectul rezistențelor serie	37
3.2.3	Efectul Early	42
3.2.4	Efectul curenților de generare-recombinare	45
3.2.5	Efectul de nivel mare de injecție	48
3.3	Modelarea regimului dinamic al tranzistorului bipolar	52
3.3.1	Modelarea capacităților de tranziție	52
3.3.2	Modelarea capacităților de difuzie	55
3.4	Modelul Ebers-Moll - Circuitul echivalent complet	57

Capitolul 4. Simularea în PSpice Schematic Capture

4.1	Editarea schemelor	59
4.1.1	Plasarea componentelor	59
4.1.2	Stabilirea atributelor	61
4.1.3	Interconectarea componentelor	65
4.1.4	Salvarea și tipărirea schemei	66

4.2 Exemple de analiză în PSpice Schematic Capture	68
4.2.1 Exemplu de analiză statică multiplă	68
4.2.2 Exemplu de analiză a regimului sinusoidal	70
4.2.3 Exemple de analiză a regimului tranzitoriu	74
Bibliografie	83

Capitolul 1. Prezentare program SPICE

1.1 Introducere

Programul cunoscut astăzi sub titlul generic de SPICE a apărut sub forma unui proiect de cercetare la sfârșitul anilor '60 la Universitatea din California, Berkeley. Pentru prima dată a apărut sub denumirea de SPICE1 în 1972, ca rezultat al cercetării unui grup de ingineri, din care a făcut parte și inginerul român Andrei Vladimirescu, sub îndrumarea prof. D. Pederson, la Departamentul de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Berkeley, USA. În 1975 apare SPICE2, care cunoaște astăzi, în diversele sale versiuni, cea mai largă utilizare din lume.

Pachetul de programe SPICE – destinat analizei prin simulare cu ajutorul calculatoarelor a funcționării circuitelor electronice, conținând modele pentru componente și dispozitive de circuit – este capabil să simuleze circuite analogice și digitale, datele de intrare determinând circuitul ce se dorește a fi simulat. Simularea permite utilizatorului să găsească mult mai repede soluția optimă în faza de proiectare. Statutul actual al programului SPICE este acela de *standard*, acceptat pe plan internațional de comunitatea inginerilor electroniști și electricieni.

Denumirea SPICE reprezintă acronimul pentru expresia Simulated Program Integrated Circuit Emphasis. Este un program dedicat simulării circuitelor electronice analogice sau digitale. Este un instrument de bază la firmele de proiectare a Circuitelor Integrate. Simulatorul SPICE adaptat la calculatoare personale (PC) poartă denumirea generică de PSPICE.

Pentru a înțelege necesitatea creării unui program de tipul SPICE-ului, putem porni de la unul dintre cele mai simple exemple.

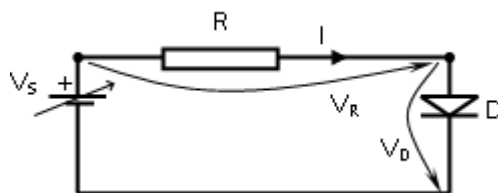


Figura.1.1. Circuit format dintr-o diodă înseriată cu o rezistență.

Circuitul ce conține o diodă D înseriată cu o rezistență $R=100\Omega$ și alimentat la o sursă de tensiune continuă, V_S , ca în figura 1.1 se rezolva analitic, prin metodele de circuite electronice neliniare, cu teorema lui Kirchhoff II: $V_S=V_D+V_R$, cuplata cu legea componentei active.

Pentru elementul liniar de circuit R , se adopta legea lui Ohm, $V_R=RI$, iar pentru elementul neliniar reprezentat din dioda D , format dintr-o joncțiune pn, se adopta o dependență curent-tensiune de tipul:

$$I = I_S \cdot \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1.1)$$

Aici se încheia contribuția inginerului electronist. De acum începea greul, deoarece pentru aflarea curentului trebuia rezolvată următoarea ecuație neliniară:

$$V_S = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right) + RI \quad (1.2)$$

De fapt *partea matematică* reprezenta dificultatea problemei. Există variante iterative prin încercări de rezolvare, sau prin metoda șirului lui Rolle, metodă de asemenea iterativă. Dar metodele iterative sunt cele mai potrivite pentru a fi implementate cu ajutorul unui program, pe calculator. Astfel, s-a impus ideea creării unui software specializat pentru rezolvarea circuitelor electronice.

Odată cu creșterea complexității circuitelor și creșterea numărului de tranzistoare pe cip, analiza circuitului nu a mai putut fi ținută în frâu doar analitic. Trebuie amintit că pentru a afla un singur Punct Static de Funcționare al unui tranzistor ce făcea parte dintr-un circuit cu 2-3 tranzistoare, nu se putea aplica nici măcar *modelul fundamental Ebers-Moll*, ci un model simplificat, prezentat în fig.1.2, care avea ca parametru de model tensiunea de deschidere a joncțiunii Bază-Emitor, $V_{BEk}=0.6V$, curentul I_C putând lua orice valoare, de fapt o valoare impusă de rețeaua de polarizare externă.

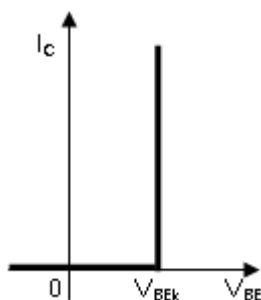


Figura.1.2. Caracteristica de transfer simplificată pentru un tranzistor bipolar.

În plus, se presupunea că toate tranzistoarele lucrează în RAN (regim activ normal). Toate aceste prezumții și simplificări nu erau îndeplinite decât pe circuite mici, simple și binecunoscute. Într-o rețea cu 50...100...1000 de tranzistoare, nu se mai știe dacă tranzistorul al 77-lea este în RAN sau în oricare din celelalte patru

regimuri de funcționare. Iată că utilizarea unui model de tip Ebers-Moll, valabil în orice regim se impunea.

Utilizarea modelului Ebers-Moll *doar* în varianta fundamentală, *doar* în regim static și *doar* pentru un circuit cu 2 tranzistoare, dă un sistem neliniar extrem de dificil de rezolvat pe cale analitică. Dacă mai exista în plus peste 1000 de tranzistoare într-un singur circuit și mai avem de studiat un regim dinamic, în care intervin capacitățile joncțiunilor ce impun calcule cu numere complexe, modelul analitic devine impracticabil. Iată cum creșterea densității de integrare pe cip a condus în mod inevitabil la crearea acestui software specializat, care să furnizeze rapid analize de circuit.

1.2. Descrierea unui circuit electronic în SPICE

În SPICE, descrierea circuitului se compune dintr-un număr de *declarații de element*. Fiecare declarație de element conține *numele* elementului de circuit, *nodurile* din circuit la care este conectat elementul de circuit respectiv și *valorile* parametrilor care determină caracteristicile electrice ale elementului de circuit.

Formatul general al unei declarații de element este:

Un_nume nod1 nod2 <nod3 ...> <MODEL_nume> <valoare1 ...>

Primul câmp conține întotdeauna numele elementului. Numele elementului trebuie să înceapă cu o literă care definește tipul elementului, de exemplu: R pentru rezistoare, D pentru diode, Q pentru tranzistoare bipolare, V pentru surse de tensiune. Cu excepția primei litere, restul numelui elementului poate să conțină atât caractere cât și numere. Câmpurile următoare *nod1*, *nod2*, *<nod3 ...>* reprezintă numerele nodurilor la care este conectat elementul. Pentru specificarea nodurilor, în SPICE2 se pot folosi numai cifre; SPICE3 permite și folosirea literelor.

În funcție de tipul lor, elementele de circuit sunt caracterizate printr-o valoare *valoare1* sau un model *MODEL_nume*, urmate de una sau mai multe valori opționale. Pentru valorile opționale care nu sunt prezente în declarație, SPICE furnizează implicit valoarea 0 sau 1, în funcție de context. Este obligatoriu ca declarația de element să se încheie fie cu o valoare, fie cu un nume de model. Unele elemente, de exemplu tranzistoarele, sunt caracterizate de un număr mare de valori. În acest caz este mult mai comod ca acestea să fie grupate într-o *declarație de model*, apelată în declarația de element prin *numele modelului*, *MODEL_nume*.

Declarația de *model* permite ca un set de parametri comuni unui număr de elemente să fie specificat numai o singură dată (de exemplu, parametri tuturor tranzistoarelor integrate pe același cip și care au aceeași geometrie). Pentru fiecare *MODEL_nume* la care se face referire, specificația de circuit trebuie să conțină o declarație *.MODEL*. Declarația *.MODEL* aparține categoriei de *declarații globale*. Formatul general al declarației *.MODEL* este:

.MODEL MODEL_nume MODEL_tip PARAM1=valoare1 PARAM2=valoare2 ...

unde *punctul* din prima coloană diferențiază declarațiile globale și de control de declarațiile de element. *MODEL_nume* specifică în mod unic un set de parametri

comuni la unul sau mai multe elemente, în timp ce *MODEL_tip* este unul din cele șapte sau unsprezece tipuri de modele existente în SPICE2, respectiv în SPICE3. Fiecare din *PARAM1*, *PARAM2*, ... trebuie să fie unul din cuvintele cheie acceptate pentru tipul de model.

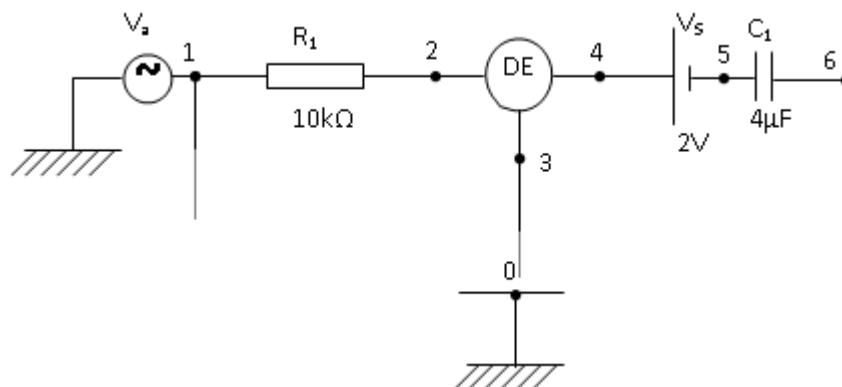


Figura.1.3. Notarea nodurilor unui circuit conținând un dispozitiv electronic DE, ce urmează a fi descris în linii de program SPICE.

Un ultim tip de declarație necesară în fișierul de intrare SPICE este *declarația de control*. Această declarație specifică tipurile de analize pe care trebuie să le realizeze programul și totodată definește stările inițiale. Toate declarațiile de control încep cu un punct în prima coloană.

Pe scurt, fișierele de intrare SPICE au următoarea structură generală:

*Declarația de comentariu / Declarația de titlu

Declarații de element

.Declarații globale

.Declarații de control

.END (declarația de sfârșit a fișierului)

Un exemplu:

- se notează nodurile din circuit, cu numere, ca în fig. 1.3.
- se specifică în liniile de program între ce noduri este conectat fiecare element de circuit. Pentru componentele pasive și surse, astfel:
 - Pentru rezistoare: *Rnume* nod1 nod2 valoare.
 - Pentru condensatoare: *Cnume* nod1 nod2 valoare.
 - Pentru bobine: *Lnume* nod1 nod2 valoare.
 - Pentru surse de curent continuu: *Vnume* nod+ nod- valoare.
 - Pentru surse de curent alternativ: *Vnume* ac nod1 nod 2 valoarea efectivă frecvența. Exemplu: Va 1 0 AC 2mV 1MHz.
- pentru dispozitive electronice active (DE) se precizează tipul dispozitivului prin prima literă cu care începe linia (D – dioda, Q – tranzistor bipolar, M – tranzistor MOS, J – tranzistor JFET), apoi numele nodurilor într-o ordine bine definită, apoi codul dispozitivului folosit.