

IMPLEMENTAREA METODEI URMĂRIII ÎNFĂȘURĂTOAREI PENTRU DETERMINAREA RĂSPUNSULUI PERIODIC AL CIRCUITELOR NELINIARE DE RADIOFRECVENȚĂ ÎN SPECTRE RF

drd. ing. Gheorghe Alexandru Gabriel

Universitatea Politehnica Bucuresti, e-mail:ghalex@lce.pub.ro

Abstract *Metoda urmaririi infasuratoarei, asa cum este implementata in SPECTRE RF, permite efectuarea eficienta a analizei in regim tranzitoriu de la "tstart" la "tsop", ambele valori fiind impuse de la inceput. Raspunsul periodic se poate determina integrand ecuatiile circuitului pana cand se satisface o anumita eroare de periodicitate. Implementarea unui astfel de procedeu implica efectuarea analizei pe un interval de timp necunoscut apriori si calculul erorii de periodicitate dupa parcurgerea fiecărei perioade a excitatiei. In aceasta lucrare se propune o astfel de implementare realizata in limbajul de programare SKILL.*

1. INTRODUCERE

Algoritmii cei mai buni in momentul de față pentru determinarea răspunsului periodic (cum ar fi metoda urmării înfășurătoarei implementată în SPECTRE), calculează răspunsul circuitului analizat între un moment de timp inițial „t start” și un moment de timp final „t stop”. Acest lucru nu este întotdeauna util, deoarece din punct de vedere teoretic se consideră ca un regim tranzitoriu se atenuază după cinci constante de timp maxime, lucru care în cazul unui circuit cu o constantă de timp mare, presupune parcurgerea unui număr foarte mare de perioade ale purtătoarei. Un alt motiv pentru care acest mod de calcul al răspunsului unui circuit nu este folositor este că valoarea timpului final al analizei „t stop” introdusă de către utilizator nu este întotdeauna corectă, răspunsul obținut nefiind cel al regimului periodic dacă „t stop” este prea mic, sau efortul de calcul devenind prea mare dacă „t stop” este mai mare decât momentul de timp la care se atinge răspunsul periodic cu o anumită eroare de periodicitate dorită. Un alt mod de oprire a simulării, cum ar fi atingerea unei erori de periodicitate impusă, este mult mai util. O astfel de metodă se propune în această lucrare.

2. SPECTRE

Pentru implementarea algoritmului s-a folosit limbajul de programare SKILL oferit de CADENCE, iar pentru simularea lui s-a ales simulatorul SPECTRE.

SPECTRE [1] este un simulator avansat de circuite care simulează circuitele analogice și digitale descrise de ecuații diferențiale. Capabilitățile de bază ale simulatorului de circuite SPECTRE sunt similare în funcționare și aplicabilitate cu cele ale SPICE-ului, dar simulatorul de circuite SPECTRE nu derivă din SPICE. Simulatoarele SPECTRE și SPICE folosesc aceiași algoritmi de bază – cum ar fi metodele implicite de integrare, metoda Newton-Raphson și algoritmi de rezolvare a sistemelor cu matrice rare – dar fiecare algoritm are o implementare nouă. Algoritmii SPECTRE sunt cei mai buni în momentul de față.

Îmbunătățirile fata de SPICE

- Capacitate îmbunătățită
- Precizie îmbunătățită
- Viteză îmbunătățită

- Convergență îmbunătățită
- Modele îmbunătățite
- Analize noi pentru calculul eficient al punctului static de funcționare, funcției de transfer, zgomotului, și distorsiunilor circuitelor RF (mixere, oscilatoare, etc).
- Posibilitatea de a crea modele noi și module de circuit folosind fișiere text pentru descrierea ecuațiilor comportamentale, cu ajutorul SPECTREHDL (SPECTRE High-Level Description Language) și Verilog – A.

Dintre facilitățile pe care le oferă Cadence vom folosi limbajul de programare SKILL și mediul OCEAN pentru a realiza implementarea metodei propuse.

Limbajul SKILL

Limbajul SKILL [2] oferit de Cadence, este un limbaj de programare de nivel înalt, interactiv, bazat pe popularul limbaj de programare pentru inteligență artificială, Lisp. Totuși, limbajul SKILL suportă o sintaxă mai convențională de tip C. Acest suport permite utilizatorilor neexperimentați să învețe rapid utilizarea sistemului, în timp ce programatorii experimentați pot folosi toate facilitățile limbajului SKILL. La cel mai simplu nivel, SKILL este la fel de ușor de folosit ca un calculator. La cel mai sofisticat nivel, SKILL este un limbaj puternic de programare ale cărui aplicații sunt nelimitate. SKILL permite modificarea ușoară și rapidă a aplicațiilor CAD existente și permite dezvoltarea de noi aplicații. Programele SKILL pot fi executate imediat în mediul Cadence, sau pot fi pastrate în fișiere text pentru a fi rulate mai târziu. SKILL este ideal pentru realizarea rapidă de prototipuri.

Mediul OCEAN

OCEAN [3] (Open Command Environment for Analysis) se bazează pe limbajul de programare SKILL. OCEAN oferă posibilitatea setării, simulării și analizei circuitelor. OCEAN poate fi rulat dintr-o consola UNIX sau din fereastra CIW (Command Interpreter Window). Se pot introduce comenzi OCEAN într-o sesiune interactivă, sau se pot crea fișiere text conținând comenzile, iar apoi se pot încărca în mediul OCEAN.

3. METODA URMĂRIII ÎNFĂȘURĂTOAREI PENTRU DETERMINAREA RĂSPUNSULUI PERIODIC

Această metoda se bazează pe metoda urmării înfășurătoarei implementată în SPECTRE, care însă calculează răspunsul circuitului analizat între un moment de timp inițial „t start” și un moment de timp final „t stop”. Deoarece momentul de timp final „t stop” este de cele mai multe ori diferit de momentul de timp la care se atinge răspunsul periodic acest lucru nu este întotdeauna util, deoarece din punct de vedere teoretic se consideră ca un regim tranzitoriu se atenuează după minim 5 constante de timp, lucru care în cazul unui circuit cu o constantă de timp mare, presupune parcurgerea unui număr foarte mare de perioade ale purtătoarei. Un alt motiv pentru care acest mod de calcul al răspunsului unui circuit nu este folositor este faptul că valoarea timpului final al analizei „t stop” introdusă de către utilizator nu este întotdeauna corectă, răspunsul obținut nefiind cel al regimului periodic dacă „t stop” este prea mic, sau efortul de calcul devenind prea mare dacă „t stop” este mai mare decât momentul de timp la care se atinge răspunsul periodic cu o anumită eroare de periodicitate dorită. Un alt mod de oprire a simulării, cum ar fi atingerea unei erori de periodicitate impusă, este mult mai util.

Dacă se definește eroarea de periodicitate ca fiind diferența între valoarea unei variabile de stare la începutul perioadei excitației și valoarea acestei variabile de stare la sfârșitul aceleiași perioade,

$$\varepsilon = |V(t_{n+1}) - V(t_n)| \quad (1)$$

ca în figura 1,

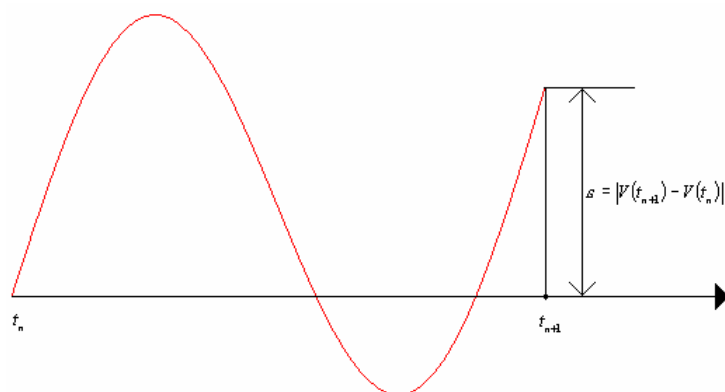


Fig. 1

atunci se poate dezvolta următorul algoritm:

Algoritmul metodei urmăririi înfășurătoarei pentru determinarea răspunsului periodic:

- 1) Se parcurge o perioadă a excitației (corespunzătoare de obicei frecvenței modulatorii) prin metoda clasică a urmăririi înfășurătoarei pornindu-se de la condiția inițială nulă;
- 2) Începând cu a doua perioadă, se preia ca valoare inițială a analizei, valoarea finală a perioadei anterioare;
- 3) Se calculează eroarea de periodicitate;
- 4) Dacă eroarea de periodicitate este mai mare decât valoarea impusă se continuă analiza cu pasul al doilea;
- 5) Algoritmul continuă până când eroarea de periodicitate este atinsă.

Urmărirea înfășurătoarei [4] este cea mai eficientă analiză pentru circuitele la care frecvența purtătoarei este cu câteva ordine de mărime mai mare decât cea a modulatorii. Urmărirea înfășurătoarei poate fi considerată ca fiind o variantă mai rapidă a analizei tranzitorii. Eficiența ei provine din „sărirea” perioadelor de simulare (Fig. 2).

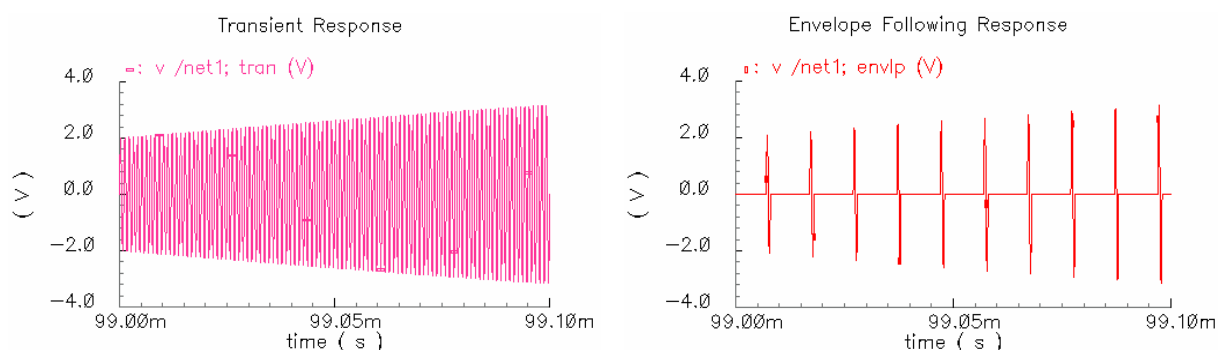


Fig. 2

Totuși, dacă algoritmul nu poate face salturi, analiza se reduce la cea tranzitorie. Nu întotdeauna poate fi mai eficientă decât analiza tranzitorie datorită recalculării salturilor.

4. EXEMPLU

Pentru a exemplifica modul de funcționare al metodei se considera un circuit simplu (Fig. 3):

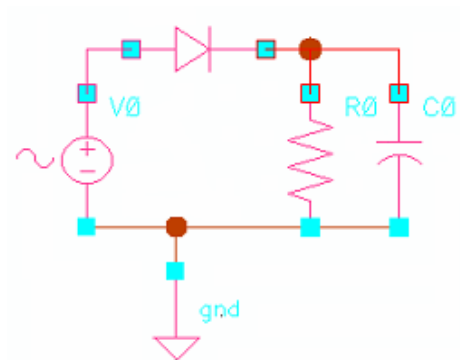


Fig. 3

parametri circuitului sunt următorii:

$$V0 = e(t) = 2 \sin(2\pi f_p t) (1 + \sin(2\pi f_m t))$$

unde $f_m = 10^3 \text{ Hz}$ $f_p = 10^6 \text{ Hz}$

iar $R0 = 1K\Omega$; $C0 = 1mF$

Caracteristica diodei fiind următoarea:

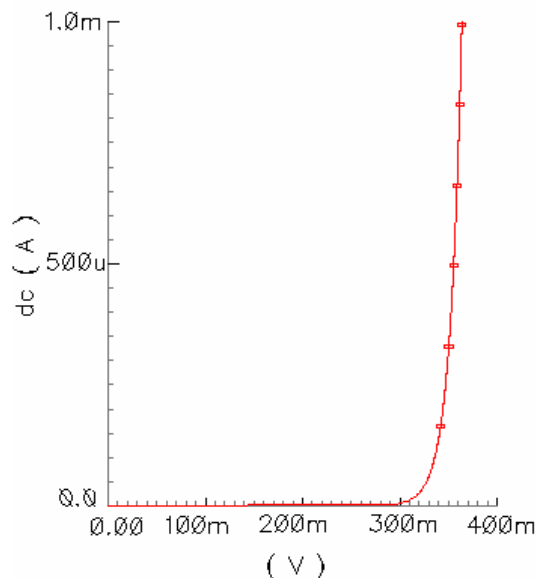


Fig. 4

Pentru simularea lui s-a ales programul SPECTRE (Cadence), iar pentru implementarea algoritmului s-a folosit limbajul de programare SKILL.

În figura 5 se prezintă secvența din programul implementat în SKILL care reflectă algoritmul metodei.

```
while( (eps > 1e-6)
  run( 'envlp )
  selectResult( "envlp_td" 0m )
  v1 = getData( "net4" )
  selectResult( "envlp_td" 1m )
  v2 = getData( "net4" )
  eps = abs( v2-v1 )
)
```

Fig. 5

5. REZULTATE

În urma simulării circuitului din Fig. 3 cu metoda urmăririi înfășurătoarei pentru determinarea regimului periodic și cu aceeași metodă implementată pentru analiza tranzitorie, se obțin rezultatele următoare:

tabel 1	envlp	tran
nr. perioade	57	67
Timp [s]	128	143

Eps = 1.00E-06

Reltol = 1.00E-06

Errpreset = conservative

Forma de undă a regimului periodic, obținută cu metoda propusă în această lucrare:

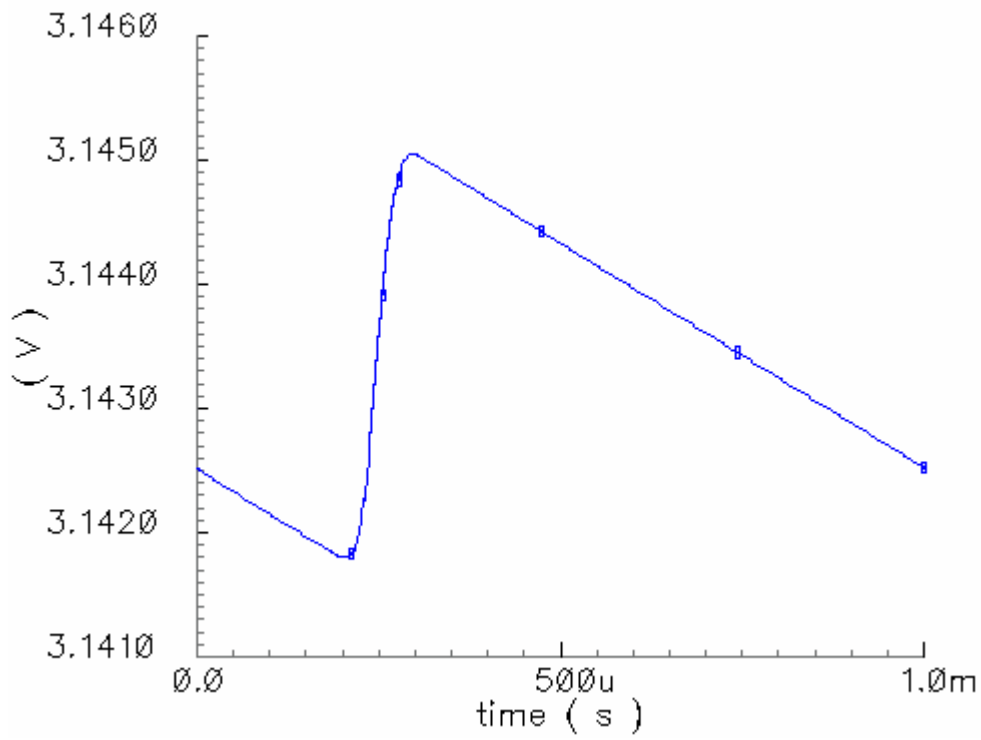


Fig. 6

Variația erorii de periodicitate a metodei urmăririi înfășurătoarei pentru determinarea regimului periodic, pe parcursul simulării:

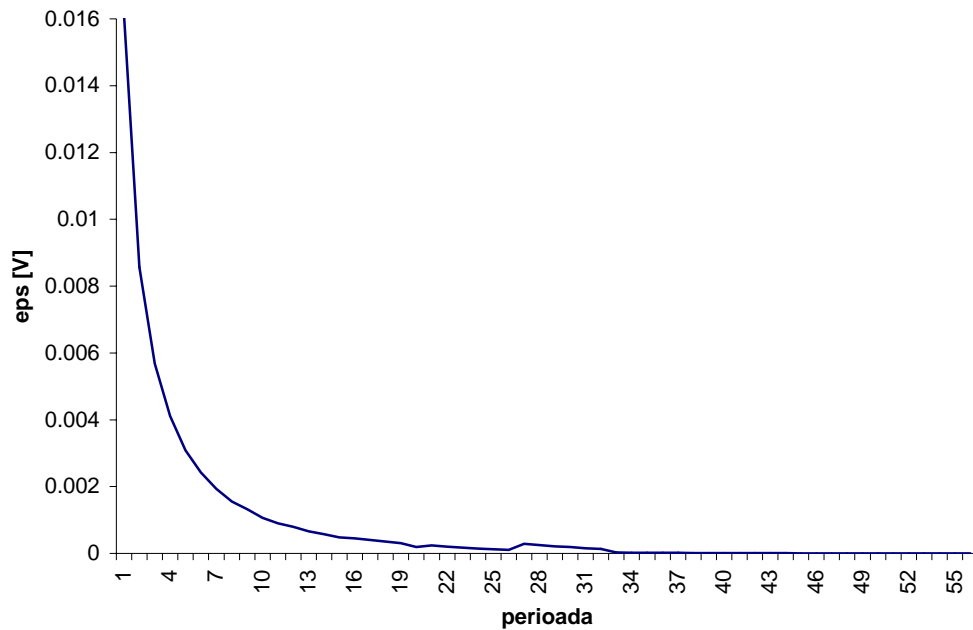


Fig. 7

Comparație între variația valorii finale a fiecărei perioade pe parcursul simulării, între metoda urmării înfășurătoarei pentru determinarea regimului periodic și cu aceeași metodă implementată pentru analiza tranzitorie:

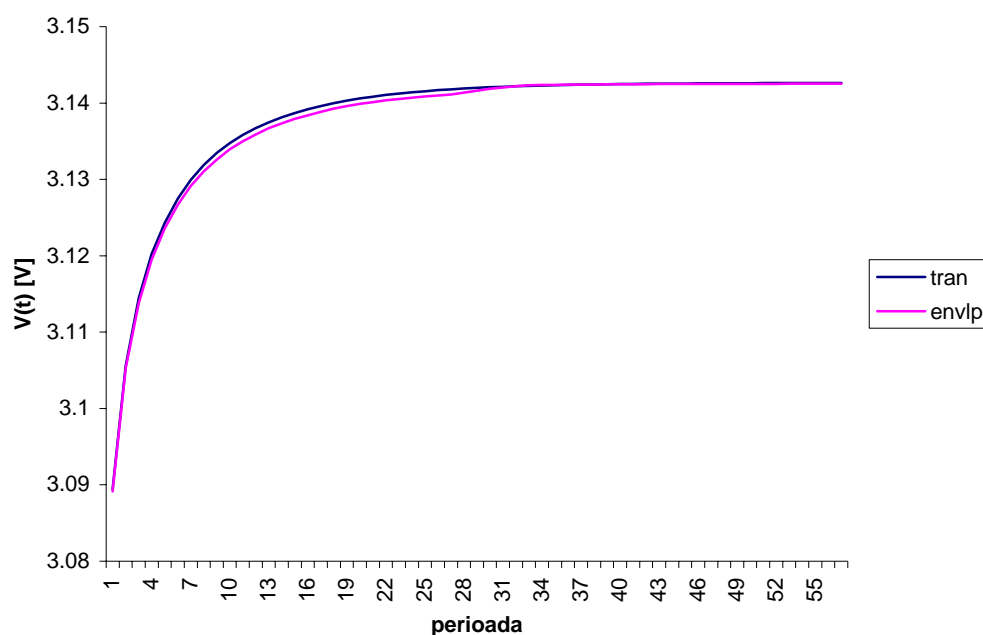


Fig. 7

6. CONCLUZII

În această lucrare s-a prezentat o implementare nouă a unei metode de determinare a regimului periodic, pornind de la o metodă existentă aparținând simulatorului de circuite SPECTRE. Aceasta abordare este mai bună decât metoda clasică prin faptul că simularea se oprește atunci când se atinge o anumită eroare de periodicitate impusă, nu când se atinge un moment de timp impus „tstop”. Această nouă abordare a metodei este mult mai potrivită, în comparație cu cea clasică, pentru simularea circuitelor de radiofrecvență atunci când dorim să determinăm răspunsul periodic. Algoritmul propus este flexibil, permițând atât modificarea parametrilor analizei (eroarea de periodicitate, reltol, etc.) dar și folosirea altei analize (s-a folosit și analiza tranzitorie sau „metoda forței brute”) pentru determinarea răspunsului periodic. O altă îmbunătățire adusă metodei este posibilitatea salvării mai multor date decât metoda clasică, cum ar fi eroarea de periodicitate la fiecare pas, permițându-se vizualizarea variației acestei erori.

Rezultatele obținute în urma rularii fișierului SKILL se puteau obține și printr-o simulare repetitivă a circuitului în Cadence, dar efortul de calcul ar fi fost mult mai mare datorită verificărilor și scrierii ecuațiilor circuitului la fiecare simulare. Acest mod de implementare a procedurilor în SKILL, arată modul în care se pot implementa și dezvolta noi metode, mai performante, putându-se face comparația cu cele existente aparținând simulatorului SPECTRE.

Bibliografie

- [1] K. Kundert – „SPECTRERF User Guide”
- [2] K. Kundert – „OCEAN Reference”
- [3] K. Kundert – „SKILL Language User Guide”
- [4] K. Kundert – „A User’s Guide to Envelope Following Analysis”