

IMPORTANTA SI RELEVANTA CONTINUTULUI STIINTIFIC

Stadiul actual

Unui circuit dinamic nelinier i se asociază un sistem de ecuații diferențiale neliniare de ordinul I și ecuații algebrice neliniare [1]. Rezolvarea acestui sistem de ecuații utilizând o metodă numerică care pleacă de la o anumită stare inițială a circuitului formează obiectul *analizei circuitelor în domeniul timpului*. Prin această analiză se poate determina răspunsul tranzitoriu sau răspunsul periodic al unui circuit nelinier [1]. Metodele numerice folosite în analiza circuitelor în domeniul timpului sunt: metoda Euler implicită, metoda trapezoidală, metodele Gear de ordinele 2 până la 6; toate aceste metode au fost dezvoltate pentru sisteme de ecuații diferențiale scrise în forma normală (forma în care derivata temporală a vectorului variabilelor de stare x este explicitată,

$\dot{x} = f(x, t)$) ceea ce implică eliminarea tuturor variabilelor din circuit care nu sunt variabile de stare independente între ele. De oarece această eliminare presupune un efort de calcul important și rezultatul ei poate fi afectat de erori, se utilizează modelele companion [2]. Aceste modele sunt circuite echivalente ale elementelor dinamice, specifice unei anumite metode numerice. De oarece, pentru o eficiență mai mare, metodele numerice utilizează un pas de timp variabil, toți parametrii modelelor companion trebuie recalculați la fiecare pas de timp. În literatura matematică, pasul de timp se alege în funcție de valoarea erorii locale de trunchiere (LTE). Acest mod de alegere a pasului de timp este adoptat și de familia SPICE a simulatoarelor în domeniul timpului (SPICE2, PSPICE, SPICE3, SPECTRE) [3]. În aceste simulatoare LTE se evaluează pentru fiecare variabilă de stare din circuit și se compară cu o eroare impusă $\varepsilon = \text{abstol} + \text{reltol} x_k$, unde *abstol* este eroarea absolută impusă, *reltol* este eroarea relativă

impusă și x_k este variabila de stare k . Pasul încercat este acceptat numai dacă $\text{LTE} \leq \varepsilon$ pentru orice x_k . Un alt algoritm cunoscut de alegere a pasului este descris în [4] și a fost implementat în simulatorul PAN [5]. Diferența față de algoritmul precedent este că în loc să se calculeze LTE pentru fiecare variabilă de stare, se calculează o eroare de tip energetic – diferența între energia acumulată de elementul dinamic și energia primită de acesta de la circuitul în care este conectat în pasul de timp ales; în continuare se procedează similar, plecând de la valorile impuse *abstol* și *reltol*. Acest algoritm da rezultate mult mai bune decât cel precedent, ajungându-se până la reducerea timpului de calcul cu un ordin de mărime [4, 6]. *În acest proiect se propune un nou algoritm de alegere a pasului de timp bazat pe o eroare energetică referitoare la întreg circuitul*, spre deosebire de algoritmul din [4] în care se calculează alte erori energetice pentru fiecare mărime de stare în parte.

Să considerăm un semnal de RF cu o bandă de frecvențe de 1 KHz-10 MHz și să presupunem că cel mai mic multiplu comun al componentelor spectrale este 10 MHz. Presupunând că sunt necesare 100 esanțioane/perioadă pentru o reprezentare corectă a acestui semnal este nevoie de $100 \times 10^4 = 10^6$ pași de timp pentru a parcurge o perioadă a excitației. Ideea de bază a metodei urmăririi înfășurătoarei (envelope following - EF) este de a sari peste niște perioade ale purtătoarei diminuând numărul de pași de timp. Există doi algoritmi cunoscuți de EF: algoritmul lui Kundert [7] implementat în SPECTRE RF și algoritmul lui Brambilla [8] implementat în PAN. Eficiența acestor algoritmi s-a dovedit în multe cazuri a fi mai mică decât a analizei tranzitorii obișnuite [7], în principal datorită următoarelor cauze:

- Pasul de timp al analizelor EF este mai mic decât cel al analizei tranzitorii (TRAN) atât pentru SPECTRE RF cât și pentru PAN, motivul principal fiind că calculul soluției în fiecare interval care corespunde unui posibil salt este considerat ca o nouă analiză TRAN cu o reducere drastică a pasului de timp la început. În plus, această reducere a pasului de timp se face chiar dacă saltul nu a fost făcut. Astfel se explică de ce o analiză EF fără nici un salt durează mult mai mult decât analiza TRAN în același interval de timp.

- Procedura de salt din PAN (mai puțin eficientă decât cea din SPECTRE RF) și algoritmul de analiză TRAN din SPECTRE RF (mai puțin eficientă decât cea din PAN) încetinesc viteza de calcul.

Efectuând calcule similare cu EF, analiza cu mai multe variabile temporale [10, 11, 12] poate fi mai rapidă numai pentru că saltul pe scara timpului lent este stabilit apriori, fără a estima eroarea cu care se face acest salt. Calculul rapid al unei estimări inițiale a soluției poate fi foarte util în unele cazuri [13]. *În acest proiect se propune un algoritm nou de EF care nu are aceste dezavantaje.*

Cea mai simplă metodă de analiză a circuitelor în domeniul frecvenței este analiza AC care poate fi utilizată numai pentru circuitele liniare. Cea mai cunoscută metodă de analiză a circuitelor neliniare care are ca necunoscută principale amplitudinile complexe ale componentelor armonice ale semnalelor este balanța armonică (harmonic balance – HB). HB presupune că circuitul este descompus într-o parte liniară și o parte neliniară, partea liniară fiind rezolvată în domeniul frecvenței iar partea neliniară fiind rezolvată în domeniul timpului. Folosind Transformarea Fourier Discretă pentru corespondența între domeniul timpului și domeniul frecvenței se minimizează o funcție de eroare utilizând iterații Newton-Raphson. Adoptarea unui spectru trunchiat pentru reprezentarea soluțiilor periodice implică soluții „netede” cu un număr limitat de armonice. Aceste proprietăți ale soluției conduc, la rândul lor, la a considera numai circuite cu neliniarități medii și slabe. Dacă numărul de componente armonice crește, conducând la erori numerice și un timp de calcul prohibitiv, acest dezavantaj poate fi compensat parțial prin utilizarea solverelor cu subspații Krylov [14]. Chiar și cu această îmbunătățire, analizele HB implementate în simulatoarele comerciale APLAC și ADS pot da rezultate nesatisfăcătoare pentru circuite simple ca demodulatoarele de amplitudine. *În acest proiect se propune o metodă nouă de analiză a circuitelor cu neliniarități rezistive.* Analiza HB a unui circuit de mărime medie da rezultate precise dacă numărul componentelor armonice nu depășește 256. Pentru semnalele modulate digital analiza HB nu poate furniza o estimare precisă a spectrului în jurul fundamentalei sau frecvenței de interferență cu canalul adiacent. Această dificultate poate fi depășită de metoda înfășurătoarei Fourier [15] care consideră semnalele reprezentate ca serii Fourier cu coeficienți variabili în timp $V_k(t)$ care modulează purtătoarele de frecvențe f_k . Metoda înfășurătoarei Fourier se bazează pe analiza HB, o analiză HB fiind efectuată la fiecare pas de timp. Frecvențele purtătoare f_k sunt definite de utilizator, fiecare dintre ele fiind considerată ca frecvența centrală a unui spectru de largime $1/\text{Time step}$; desigur aceste spectre nu trebuie să se intersecteze între ele, așa cum se și întâmplă de obicei în circuitele RF.

Atât literatura cât și experimentele numerice efectuate de echipa acestui proiect concluzionează că analizele HB și înfășurătoarea Fourier sunt cele mai eficiente metode pentru calculul răspunsului periodic într-un circuit cu neliniarități slabe sau medii care are un număr moderat de componente armonice. Pentru circuite cu neliniarități puternice trebuie utilizate metode de analiză în domeniul timpului pentru calculul răspunsului periodic, timpul de simulare fiind deseori foarte mare. Acest timp poate fi redus utilizând metode „shooting”, ca metoda shooting cu Newton-Raphson implementată ca analiză PSS din SPECTRE RF.

Bibliografie

[1] Fl. Constantinescu, M. Nătescu, *Bazele Electrotehnicii :Partea I - Teoria Circuitelor Electrice*, Curs pentru studenții Fac. de Automatică și Calculatoare, <http://ferrari.lce.pub.ro/studenti>, 2001-2008.

[2] L. O. Chua, P. M. Lin, *Computer-aided analysis of electronic circuits*, Prentice Hall, 1975.

- [3] L.W. Nagel, SPICE2: A computer program to simulate semiconductor circuits, memorandum No. ERL-M520, 9May 1975, Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [4] A. Brambilla and D. D'Amore, „Energy-Based Control of Numerical Errors in Time-Domain Simulation of Dynamic Circuits”; IEEE Transactions on Circuits And Systems – I: Fundamental Theory And Applications, Vol. 48, No.5, May 2001
- [5] PAN simulator, to be downloaded free from <http://brambilla.elet.polimi.it>
- [6] A. G. Gheorghe, F. Constantinescu, M. Nitescu, Efficiency of the Envelope Following Analyses, Proceedings of the International Symposium on Signals, Circuits, and Systems (ISSCS'07), July 2007, Iasi, Romania.
- [7] K. Kundert, “A User’s Guide to Envelope Following Analysis”, CADENCE, 2002.
- [8] A. Brambilla and P. Maffezzoni, “Envelope-Following Method to Compute Steady-State Solutions of Electrical Circuits”; IEEE Transactions On Circuits And Systems – I: Fundamental Theory And Applications, vol. 50, no. 3, march 2003.
- [9] K. Kundert, “Introduction to RF Simulation and its Application”; Journal of the Solid State Circuits, 1999, updated on January, 1, 2004, www.designers-guide.com
- [10] H. G. Brachtendorf, G. Welsch, R. Laur, and A. Bunse-Gerstner, “Numerical steady state analysis of electronic circuits driven by multi-tone signals”, Electronic Engineering (Springer), vol. 79, no. 2, pp. 103-112.
- [11] J. Roychowdhury, “Efficient methods for simulating highly nonlinear multi-rate circuits”, *Proceedings of the Design Automation Conference*, Anaheim, California U.S.A., 1997, pp.269-274
- [12] F. Constantinescu, M. Nitescu, “A multi-rate method for finding the periodic steady-state of nonlinear high-speed circuits”, *Proceedings of ECCTD'99*, p. 767-770.
- [13] F. Constantinescu, M. Nitescu, F. Enache “2D time domain analysis of nonlinear circuits using pseudo-envelope initialization”, Proceedings of the 2-nd International Conference on Circuits and Systems for Communication, Moscow, 2004
- [14] F. Constantinescu, A. Brambilla, G. Storti-Gajani, M. Nitescu, Algorithmic aspects in RF Circuit Simulation, Proceedings of the International Symposium on Circuits and Systems 2007 (ISCAS 2007), New Orleans, U.S.A., May 27-31, 2007.
- [15] D. Sharrit, “New method of analysis of communication systems”, 1996 MTT-S International Microwave Symposium.
- [16] I.Ciric, F.Hantila, “An Efficient Harmonic Method for Solving Nonlinear Time-Periodic Eddy-Current Problems”, *IEEE Transaction on Magnetics* (ISI), no.4, vol.43, 2007, pp.1185-1188.