Zbornik radova XLVI Konf za ETRAN, Banja Vrućica – Teslić, 4-7 juna 2002, tom I
Proc. XLVI ETRAN Conference, Banja Vrućica – Teslić, June 4-7, 2002, Vol. I

UNAPREĐENJE POSTUPKA ZA GENERISANJE FUNKCIJE KOLA U RAZVIJENOM SIMBOLIČKOM OBLIKU

Srđan Đorđević, Predrag Petković, *Elektronski fakultet u Nišu*

Sadržaj - *Rad opisuje originalni postupak za efikasno generisanje funkcije složenih kola u simboličkom obliku. Postupak je zasnovan na eliminaciji sabiraka za koje se unapred zna da će se tokom razvoja funkcije kola međusobno potrti. Ključni deo postupka predstavlja algoritam za razdvajanje sabiraka koji će se potirati u što ranijoj fazi generisanja funkcije kola u kanoničnom obliku.*

1. UVOD

Jedan od najznačajnijih problema u simboličkoj analizi (SA) je eksponencijalni porast broja sabiraka u razvijenom obliku simboličkog izraza sa porastom broja čvorova i elemenata analiziranog kola. Kao posledica ove činjenice sužena je primena simboličke analize na kola relativno male složenosti.

Značajan trud se ulaže u razvoj algoritama koji treba da omoguće analizu složenijih kola. Matrični metodi su se osamdesetih godina prošlog veka pokazali kao superiorni u odnosu na druge metode jer su omogućili simboličku analizu elektronskih kola veće složenosti nego do tada [1].

Metod eliminacije promenjivih, koji je veoma efikasan u numeričkoj analizi, nije našao širu primenu u SA, pre svega zbog glomaznih izraza sa velikim brojem potiranja u međurezultatima [2],[3]. Iz tog razloga matrični metodi SA za rešavanje sistema linearnih jednačina najčešće primenjuju Kramerova pravila, pri čemu se problem svodi na određivanje determinanata matrice sistema jednačina koji opisuje kolo u simboličkom obliku.

Efikasanost metoda simboličke analize procenjuje se prema zauzeću memorije kao i prema ukupnom vremenu analize elektronskog kola. Algoritam za određivanje determinante koji je ovde naveden upravo ima namenu da poboljša efikasnost SA.

2. POSTOJEĆI POSTUPCI ZA REŠAVANJE DETERMINANATA U SIMBOLIČKOM OBLIKU

Po definiciji determinanta predstavlja sumu proizvoda elemenata matrice. Svaki od sabiraka sadrži po jedan činilac iz svake od vrsta i jedan činilac iz svake od kolona matrice. Determinanta matrice ***M*** može se izraziti u sledećem obliku:

$$\det M = \sum_{j1\neq j2\neq\cdots\neq jn}^{n} (-1)^p m_{1,j1} m_{2,j2} \cdots m_{n,jn} \,, \qquad (1)$$

gde su: n red matrice, $m_{1,j1}, m_{2,j2}, \ldots, m_{n,jn}$ elementi matrice ***M***, p broj permutacija potreban da bi se $j_1, j_2, \ldots, j_n$ uredili po rastućem redosledu.

Na osnovu definicije sledi da je broj sabiraka determinante jednak faktorijelu reda matrice.

Koristeći informaciju o položaju nenultih elemenata matrice mogu se na osnovu izraza (1) generisati isključivo oni sabirci koji su različiti od nule. S obzirom da je matrica sistema jednačina za realna kola najčešće rastresita, time se značajno smanjuje broj sabiraka polinoma determinante. Ovaj algoritam razvili su Manetti i Liberatore i prvi put je primenjen u simboličkom simulatoru SAPEC [4]. Simbolički simulator SymSim [5] kao i kasnija varijanta SymSimC [6] koji su razvijeni u laboratoriji LEDA (Laboratory for Electronic Design Automation) na Elektronskom fakultetu u Nišu koriste modifikovanu verziju ovog algoritma za određivanje determinanata.

Pored ovog metoda za rešavanje determinanata u simboličkom obliku primenjuju se i algoritmi koji su zasnovani na Laplasovom razvoju. Razvijeni su postupci koji koriste rekurzivan razvoj, kao i algoritmi sa memorisanjem minora, razvojem duž više vrsta i kolona i na kraju sa izborom kolona i vrsta duž kojih se obavlja razvoj [2]. Algoritmi za određivanje determinante u simboličkom obliku koji koriste Laplasov razvoj determinante implementirani su u nizu simboličkih simulatora ISAAC [7], SYNAP [8] i drugima.

Nedostatak postupka [4] ogleda se u velikom broju sabiraka međurezultata koji se međusobno potiru, što ima za posledicu veliko zauzeće memorije kao i duže vreme procesiranja.

3. POBOLJŠANJE EFIKASNOSTI ALGORITMA ZASNOVANOG NA DEFINICIJI DETERMINANTE

Polinomi brojioca i imenioca simboličkog izraza funkcije mreže, koji su dobijeni izdvajanjem nenultih sabiraka iz izraza determinante, predstavljaju sumu proizvoda elemenata matrice. Elementi matrice sistema jednačina koja se dobija primenom metoda potencijala čvorova u opštem slučaju su sume doprinosa pojedinih parametara kola, odnosno admitansi grana i parametara kontrolišućih generatora. Determinanta ove matrice dobija se u obliku sume proizvoda suma.

Primenom modifikovanog metoda potencijala čvorova [9], odnosno njegove kompaktne varijante [10], koje se najčešće koriste za formulaciju jednačina linearnih elektronskih kola, dobija se matrica sistema jednačina koja je u velikoj meri simetrična. Simetričnost matrice postoji pre svega zbog doprinosa pasivnih elemenata kola kao i strujnih generatora kontrolisanih naponom u obliku pravougaono raspodeljenih doprinosa matrici sa istim simboličkim sadržajem.

Kao posledica simetričnosti matrice može se prilikom razvoja izraza determinante javiti veliki broj sabiraka koji sadrže činioce drugog stepena odnosno proizvod dva ista simbola. Svi ovi sabirci se uzajamno potiru, ukoliko je svaki od parametara kola označen posebnim simbolom.

Nakon generisanja izraza determinante po elementima matrice mogu se eliminisati svi sabirci koji sadrže više činilaca sa istim simboličkim sadržajem, jer se za njih pouzdano zna da će razvojem po parametrima kola dati sabirke koji se potiru sa drugim sabiricima. Preostale sabirake determinante treba grupisati u dva dela prema tome da li njihovi činioci sadrže međusobno iste simbole. Na kraju za svaki od sabiraka sa više istih simbola u različitim činiocima treba formirati novi faktorizovani izraz [11].

Polinom determinante matrice sistema jednačina, kojim je opisano kolo Δ, može se razložiti na tri grupe sabiraka:

$$\Delta = T_1(\Delta) + T_2(\Delta) + T_3(\Delta) = \overline{T_2}(\Delta) + T_3(\Delta), \tag{2}$$

gde su: $T_1(\Delta)$ deo determinante koji čine sabirci za koje pouzdano znamo da će se međusobno potrti tokom razvoja determinante, pa se mogu unapred eliminisati; $T_2(\Delta)$ deo determinante koji čine sabirci koji razvojem po parametrima kola daju sabirke koji se delimično potiru; $T_3(\Delta)$ sabirci determinante koji se ne potiru; $\overline{T_2}(\Delta)$ modifikovani polinom $T_2(\Delta)$, koji se dobija posle potiranja sabiraka.

Elementi $T_1(\Delta)$ čine sabirci u kojima se javljaju (kao činioci) elementi većeg reda od očekivanog. Ovo zapravo znači da ukoliko se u kolu jedan element sa simboličkom oznakom y pojavljuje k puta, tada se on ne može javiti kao sabirak determinante sa stepenom većim od k. Zato se unapred svi sabirci y^l ($l>k$) mogu eliminisati. Jednostavnosti radi u daljem tekstu ćemo podrazumevati da za sve simbole važi $k=1$.

Svaki sabirak u $T_2(\Delta)$ predstavlja proizvod suma simbola po parametrima kola. Iz njih treba direktno generisati novi faktorizovani izraz bez prethodnog razvoja u sumu proizvoda. Ovo predstavlja najsloženiji deo prethodnog metoda, te će mu biti posvećeno naredno poglavlje.

Kada se izdvoje sabirci koji čine $T_1(\Delta)$ i $T_2(\Delta)$ preostaju oni koji se izvesno pojavljuju u kanoničnom izrazu determinante $T_3(\Delta)$.

4. EKSTRAKCIJA IZRAZA SA ELEMENTIMA KOJI SE NE POTIRU

Nakon eliminisanja dela sabiraka determinante $T_1(\Delta)$ (2), deo preostalih sabiraka treba modifikovati u novi faktorizovani izraz. Polinom koji čine ovi sabirici označen je sa $T_2(\Delta)$. Svaki od sabiraka $T_2(\Delta)$ predstavlja algebarski izraz u obliku proizvoda suma.

Unutar sabirka grupišu se činioci prema prethodno utvrđenom redosledu indeksiranja. Proizvod odgovarajućih grupa činilaca i njihove oznake date su sa (3).

$$P = \prod_{k=1}^{m} S_k = \prod_{k=1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{n_k} y_{k,j}\right)$$

$$P_i = P_{i+1}\cdot S_{i+1} = \prod_{k=i+1}^{m} S_k = \prod_{k=i+1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{n_k} y_{k,j}\right), \tag{3}$$

za $i=1,...,m$, gde je

P- sabirak determinante Δ

m - broj činilaca sabirka determinante Δ,

$S_k = \sum_{j=1}^{n_k} y_{k,j}$ - činilac sabirka determinante, (suma doprinosa parametara) ,

n_k - broj sabiraka činioca S_k,

$y_{k,j}$ - sabirci činioca S_k, doprinosi matrici sistema.

Na osnovu sadržaja dva faktorizovana izraza P_{i+1}, S_{i+1} koji se množe treba formirati novi faktorizovani izraz P_i koji sadrži deo proizvoda ova dva izraza. Razvojem dobijenog dela proizvoda treba da se dobije polinom koji sadrži sve sabirke u kojima je najviši stepen uz svaki od simbola jednak jedinici. Pri tome je potrebno da se razvojem oba izraza koji se množe dobiju polinomi čiji je najviši stepen uz svaki od simbola jednak jedinici, odnosno potrebno je rekurzivno modifikovati sadržaj P_{i+1} i S_{i+1}.

Izdvajanje dela proizvoda dva izraza može se obaviti ukoliko se za simbol koji se nalazi istovremeno u oba činioca, oni razdvoje na deo koji sadrži ispitivani simbol i deo koji ga ne sadrži. Nakon toga može se dobiti traženi transformisani izraz proizvoda na sledeći način:

$$N = N_1 \cdot N_2$$

$$N_1 = N_1' \cdot p + N_1\big|_{p=0} \qquad N_2 = N_2' \cdot p + N_2\big|_{p=0}$$

$$N\big|_{p^2=0} = N_1 \cdot N_2\big|_{p=0} + N_2 \cdot N_1\big|_{p=0}, \tag{4}$$

gde su: N_1 i N_2 analitički izrazi u faktorizovanom obliku, p simbol sadržan istovremeno u N_1 i N_2.

Postupak modifikovanja faktorizovanog izraza jednog od sabiraka determinante može se izvesti ukoliko se formiraju liste iz kojih se obrazuje niz jednačina faktorizovanog izraza.

Svakome od sabiraka polinoma $T_2(\Delta)$ pridružuje se lista simbola. Ova lista sadrži simbole sabiraka pojedinih činilaca i podeljena je u podliste od kojih svaka odgovara jednom činiocu odgovarajućeg sabirka.

Za usvojeni redosled grupisanja činilaca, određuju se simboli sadržani u svakoj od grupa činilaca. Za činilac S_i koji se pridodaje ranije formiranoj grupi činilaca P_i , ispituje se kojih simbola ima istovremeno u S_i i P_i. Ovi simboli se pridružuju skupu zajedničkih simbola činioca S_i, koji je označen sa Q_i. U toku daljeg postupka od skupova zajedničkih simbola generiše se skup neuparenih simbola $R_{i,k}$. Sadržaj listi neuparenih simbola činioca S_k za svaki naredni korak i određuje se rekurzivno na sledeći način:

$$R_{k,k}=Q_k \qquad R_{k,i}=R_{k,i-1}\text{Đ}Q_i \tag{5}$$

za $i=k+1,...,m$ gde su:

$R_{k,i}$ - skup neuparenih simbola činioca S_k, za korak i,

Q_i - skup zajedničkih simbola činioca S_i

m - broj činilaca prozivoda suma P

Iz simboličkih izraza u obliku proizvoda suma P_i $i=1,...,m$ formiraju se faktorizovani izrazi $\overline{P_i}$. Razvojem ovih izraza dobijaju se polinomi koji sadrže isključivo sabirke čiji su svi simboli prvog stepena. Prema predloženom postupku (4) potrebno je ispitati da li postoje i koji simboli su zajednički za oba izraza P_i i S_i. Nakon toga, unutar dva izraza koji se množe, treba izdvojiti deo koji ne sadrži zajednički simbol. Faktorizovani izrazi $\overline{P_i}$, gde je $i=1,...,m$ određuju se rekurzivno polazeći od $\overline{P_1}$ do $\overline{P_m}$ primenom sledećih relacija:

$$\overline{P_i} = P_i\big|_{y_1^2=0,\, y_2^2=0,\, ...,\, y_j^2=0}$$

$$\overline{P} = \overline{P_1}\cdot\sum_{j=1}^{n^{(1)}} y_j^{(1)} + \sum_{j=1}^{\hat{n}^{(1)}}\left[\hat{y}_j^{(1)}\cdot \overline{P}\big|_{\hat{y}_j^{(1)}=0}\right]$$

$$\overline{P_i} = \overline{P}_{i+1}\cdot\sum_{j=1}^{n^{(i)}} y_j^{(i)} + \sum_{j=1}^{\hat{n}^{(i)}}\left[\hat{y}_j^{(i)}\cdot \overline{P}_{i+1}\big|_{\hat{y}_j^{(i)}=0}\right] \tag{6}$$

za $i=1,...,m$ gde su:

$\hat{y}_j^{(i)}$ - zajednički simboli činioca S_i

$y_j^{(i)}$ - simboli činioca S_i koji nisu zajednički

$\hat{n}^{(i)}$ - broj zajedničkih simbola u činiocu S_i

$n^{(i)}$ - broj simbola koji ne pripadaju skupu zajedničkih u činiocu S_i.

Iz (6) sledi da je za izraze modifikovanih proizvoda $\overline{P}_i$ u toku daljeg rekurzivnog postupka potrebno odrediti delove koji ne sadrže određene simbole. Ovi izrazi se formiraju polazeći od izraza dobijenih u toku prethodnih koraka .

Skupovi simbola koje treba izostaviti iz izraza $\overline{P}_i$ (6) dobijaju se kao kombinacije od po jednog simbola iz svakog od skupova neuparenih simbola za $R_{k,i}$ za $i=k+1,...,m$. Neki od skupova $R_{k,i}$ ne sadrže ni jedan simbol, odnosno predstavljaju prazan skup.

Izdvajanje dela izraza koji ne sadrži traženi simbol najlakše je obaviti kada se u toku rekurzivnog grupisanja faktora pridodaje činilac koji sadrži odgovarajući sabirak. Ovaj simbol se tada izostavi iz činioca u kome je on jedan od sabiraka.

Mogu se javiti dva slučaja, zavisno od toga da li činilac S_i sadrži ili ne sadrži neke od simbola koje treba izbaciti. Kada činilac S_i ne sadrži ni jedan od simbola koje treba eliminisati, ovi izrazi mogu se odrediti na osnovu sledećih relacija:

$$\begin{aligned} &\overline{P}_i\Big|_{\hat{y}_{mk}^{(k)}=0,\dots,\hat{y}_{m(i-1)}^{(i-1)}=0} \\ &\overline{P}_{i+1}\Big|_{\hat{y}_{mk}^{(k)}=0,\dots,\hat{y}_{m(i-1)}^{(i-1)}=0}\cdot\sum_{j=1}^{n^{(i)}} y_j^{(i)} + \quad , \\ &\sum_{j=1}^{\hat{n}^{(i)}}\left[\hat{y}_j^{(i)}\cdot\overline{P}_{i+1}\Big|_{\hat{y}_{mk}^{(k)}=0,\dots,\hat{y}_{mi}^{(i)}=0}\right] \end{aligned} \tag{7}$$

za: $m_p=1,...,n_{p,i}$; $p=k,...,i-1$; $i>k$

gde je: $n_{p,i}$ - broj neuparenih simbola činioca S_p u koraku i,

$\hat{y}_{mp}^{(p)}$ - zajednički simboli činioca S_p, koji pripadaju skupu neuparenih na nivou i odnosno $\hat{y}_{mp}^{(p)} \in R_{p,i}$,

pri čemu je ispunjeno $y_j^{(i)} \neq \hat{y}_{mp}^{(p)}$.

Kada je određeni simbol sadržan u oba činioca S_i i P_i onda se on jednostavno izostavi iz sume simbola koji nisu zajednički za sabirak S_i U opštem slučaju to se može izraziti sledećom relacijom:

$$\begin{aligned} &\overline{P}_i\Big|_{\hat{y}_{mk}^{(k)}=0,\dots,\hat{y}_{m(i-1)}^{(i-1)}=0} = \\ &\overline{P}_{i+1}\Big|_{\hat{y}_{mk}^{(k)}=0,\dots,\hat{y}_{m(p-1)}^{(p-1)}=0,\,\hat{y}_{m(p+1)}^{(p+1)}=0,\dots,\hat{y}_{m(i-1)}^{(i-1)}=0}\cdot\sum_{\substack{j=1\\ j\neq r}}^{n^{(i)}} y_j^{(i)} + \\ &\sum_{j=1}^{\hat{n}^{(i)}}\left[\hat{y}_j^{(i)}\cdot\overline{P}_{i+1}\Big|_{\hat{y}_{mk}^{(k)}=0,\dots,\hat{y}_{m(p-1)}^{(p-1)}=0,\,\hat{y}_{m(p+1)}^{(p+1)}=0,\dots,\hat{y}_{mi}^{(i)}=0}\right] \end{aligned} \tag{8}$$

gde je $y_r^{(i)} = \hat{y}_{mp}^{(p)}$.

Redosled kojim se grupišu činioci u velikoj meri određuje kompleksnost modifikovanog faktorisanog izraza sabirka.

Najpre je potrebno za svaki od činilaca S_i, koji predstavljaju sumu simbola $y_{i,j}$, odrediti broj simbola sabiraka koji se istovremeno sadrže u tom činiocu i u ostalim činiocima sabirka determinante. Nakon toga činiocu koji sadrži najmanji broj ovakvih simbola dodeljuje se indeks jedan.

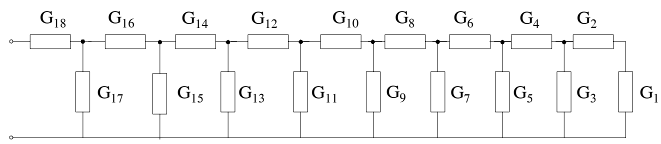
Činioci koji slede treba da sadrže neki od sabiraka koji se javljaju u prvom činiocu. Njihov redosled određen je takođe brojem simbola kojih ima u činiocima koji još nisu indeksirani. Kada više nema ni jednog činioca koji sadrži neki od simbola prvog izdvojenog činioca onda se od preostalih činilaca izdvaja onaj koji ima najmanji broj zajedničih simbola sa ostatkom izraza. Dalji postupak se nadalje rekurzivno ponavlja.

Redosled grupisanja činilaca koji je ovde usvojen ima za cilj da se obezbedi što manji broj neuparenih simbola za svaki korak postupka, odnosno svaku od grupa činilaca.

Razvoj modifikovanog faktorisanog izraza $\overline{P}$ obavlja se obrnutim redosledom počevši od izraza $\overline{P}_m$, kome odgovara najveći indeks, sve do izraza sa najmanjim indeksom, $\overline{P}_1$.

5. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Postupak za određivanje determinante u simboličkom obliku koji je izložen u ovom radu primenjen je za određivanje impedansi dvopola lestvičastih mreža. Kolo na slici 1 predstavlja lestvičastu pasivnu mrežu sa deset čvorova.



Sl.1. *Lestvičasta mreža sa deset čvorova*

Primenom Kramerovih pravila i algoritma zasnovanog na definicionom izrazu determinante (1) dobija se izraz u kome figurišu elementi matrice. Broj sabiraka u brojiocu i imeniocu izraza impedanse u funkciji od broja čvorova kola dat je u Tabeli 1. Grupisanjem sabiraka determinante brojioca i imenioca na način dat u (2), eliminišu se u polinomima obe determinante svi sabirci osim jednog.

Ukupan broj sabiraka međurezultata dobijenih razvojem faktorizovanih izraza u funkciji od parametara kola, dat je u Tabeli 2. U koloni označenoj sa Manetti upisan je broj sabiraka koji se dobijaju razvojem izraza determinanata dobijenih po postupku [4]. Naredna kolona sadrži broj sabiraka dobijenih postupkom opisanim u ovom radu. Poslednja kolona sadrži odnos ukupnog broja sabiraka iz prethodne dve tabele. Ona praktično pokazuje stepen povećanja efikasnosti. Treba napomenuti da se opisanim algoritmom omogućava da se kanoničan izraz za kolo sa slike 1 generiše direktno.

Kao što se može videti, dobija se znatno manji broj sabiraka u odnosu na broj sabiraka bez primene ovde opisanog postupka. Zauzeće memorije je manje kao i vreme potrebno da se generiše funkcija kola u kanoničnom obliku.

Tabela 1 *Broj sabiraka u faktorizovanom izrazu*

Broj čvorova		Δ	T_1 (Δ)	T_2(Δ)
4	Brojilac	3	2	1
	Imenilac	5	4	1
6	Brojilac	8	7	1
	Imenilac	13	12	1
8	Brojilac	21	20	1
	Imenilac	34	33	1
10	Brojilac	55	54	1
	Imenilac	89	88	1

Tabela 2 *Broj sabiraka međurezultata*

Broj čvorova		Manetti	kanoničan izraz	odnos
4	Brojilac	49	13	3,67
	Imenilac	28	8	
6	Brojilac	413	89	4,74
	Imenilac	269	55	
8	Brojilac	3526	610	6,14
	Imenilac	2539	377	
10	Brojilac	22063	4181	6,76
	Imenilac	23660	2584	

6. ZAKLJUČAK

Jedan do najznačajnijih problema koji treba rešiti tokom simboličke analize jeste smanjenje broja operacija potiranja u izrazima koji se javljaju u međurezultatima, kako između sabiraka tako i između činilaca. Postupak određivanja determinante koji je ovde izložen nadovezuje se na postupak zasnovan na definiciji determinante [4]. Prilikom modifikovanja faktorisanog izraza uzimaju se u obzir naknadna potiranja između sabirka u razvijenom obliku izraza.

Za navedeni primer broj sabiraka dobijen razvijanjem modifikovanog faktorisanog izraza u odnosu na izraz koji nije modifikovan smanjuje se zavisno od složenosti kola od 3,7 do približno 6,8 puta. Može se zaključiti da je postignuta značajna ušteda u zauzeću memorije, naročito za složenija kola. Pored toga ovo dovodi do značajnih ušteda u vremenu potrebnom za obradu dobijenih algebarskih izraza.

7. LITERATURA

[1] G. Gielen, P. Wambaco, W. Sansen,"Symbolic analysis methods and applications for analog circuits: A turorial overview", *Proc. of the IEEE* Vol. 82, No. 2, pp. 286-305, February 1994.

[2] G. Gielen, W. Sansen, Sy*mbolic analysis for automated design of analog integrated circuits.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 1991.

[3] S. J. Jou and C. C. Hung, "Hierarchical symbolic analysis of analog circuits," *Proceedings of the National Science Council Republic of China*, Part A, Vol.17, No.4, pp.301-313, July 1993.

[4] A. Liberatore, S. Manetti, "SAPEC-a personal computer program for the symbolic analysis of electric circuits," *proc. ISCAS*, pp. 897-900, 1988.

[5] Petkovic P., Stojilkovic S., Litovski V., "New Factorization Algorithm for symbolic circuit analysis," *IEE Electronic Letters,* Vol.31, No. 13, pp. 1026-1027, 22. Jun 1995.

[6] P. Petković, V. Živković, "Symbolic Approximation in Analog Circuit Design", *18th International Spring Seminar on Semiconductor and Hybrid Technologies*, Vol. 12, No. 1, Sozopol, Bulgaria, pp. 275-284, 1996

[7] W. Sansen, G. Gielen, and H. Walscharts, "A symbolic simulator for analog circuits," in *Proc. ISSCC.* 1989, pp. 204-205.

[8] S. Seda, M. Degrauwe, and W. Fichtrner, "A symbolic analysis tool for analog circuit design automation," in *Proc. ICCAD*, 1988, pp. 488-491.

[9] Ho, C.W., Ruehli, A.I., and Brennan, P.A., "The modified nodal approach to network analysis", *IEEE Trans. On Circuits and Systems*, Vol. CAS-22, No. 6, 1975, pp. 504-509.

[10] G. G. E. Gielen, H. C. C. Walscharts, W. M. C. Sansen, "ISAAC: A Symbolic Simulator for Analog Integrated Circuits", *IEEE Journal of Solid-state Circuits*, Vol. 24, No. 6, pp. 1587-1597, December 1989.

[11] S. Đordjević, *Novi hijerarhijski pristup simboličkoj analizi složenih elektronskih kola,* Magistarska teza, Elektronski fakultet Niš, Jun 2001.

Abstract - This paper describes an original procedure for efficient circuit function generation in symbolic form. The procedure is based on elimination those factors whose terms will be certainly canceled during circuit generation. The tricky part is a new algorithm for term separation according to their predicted roll in the final circuit function expression. The presented procedure results in considerable memory and CPU time saving.

ADVANCED PROCEDURE FOR CIRCUIT FUNCTION EXTRACTION IN EXPANDED SYMBOLIC FORM

Srđan Đorđević, Predrag Petković