

IMPLEMENTACIJA PARALELNE SIMULACIJE ELEKTRONSKIH KOLA U FREKVENCIJSKOM DOMENU

Miona Andrejević Stošović, Marko Dimitrijević, Vančo Litovski, *Faculty of Electronic Engineering Niš*,
miona.andrejevic@elfak.ni.ac.rs, marko.dimitrijevic@elfak.ni.ac.rs, vanco.litovski@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj – U ovom radu biće opisana implementacija paralelne simulacije na primeru filtra propusnika opsega sa kristalima. Simulacije će se izvršavati na paralelnom računaru koji se sastoji od 64 procesora i koji ima strukturu Beowulf klastera. Kolo će biti analizirano u frekvencijskom domenu, sa ciljem da se dobije amplitudska karakteristika izlaznog napona. Svaki od procesora obavljaće analizu za mali opseg frekvencija, tako da se prikupljanjem rezultata analize svih procesora dobije celokupna frekvencijska karakteristika.

1. UVOD

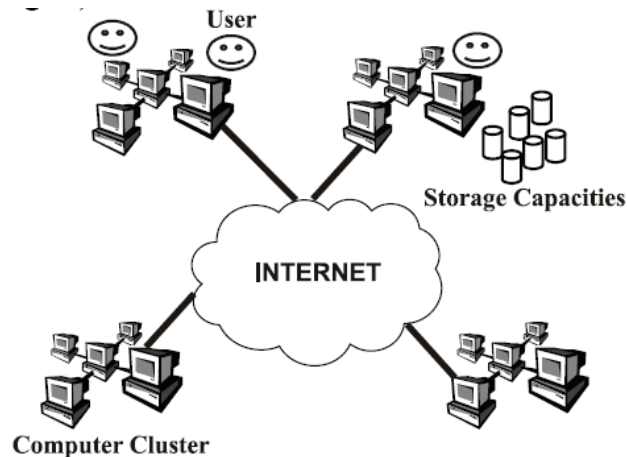
Sa veoma brzim porastom složenosti elektronskih sistema, simulacija je postala nezaobilazan korak u postupku projektovanja. Simulacija elektronskih kola se pokazala kao jedan od najvažnijih metoda za analizu i verifikaciju elektronskih kola.

Proces simulacije savremenih složenih integrisanih kola sadrži kompleksna izračunavanja koja zahtevaju veliku brzinu obrade podataka, veliku operativnu memoriju, kao i velike kapacitete za smeštanje podataka. Ovi zahtevi se odnose na činjenicu da je potrebno rešiti veliki broj diferencijalnih jednačina za različite pobude, pa zbog toga simulacije traju veoma dugo. Jedan način da se vreme simulacije skрати je paralelizacija algoritma simulacije i korišćenje paralelnih računara za izvršenje simulacija, s tim što se paralelizacija obavlja u procesu formulacije jednačina [1], [2], [3], [4]. U takvom pristupu, izračunavanja koja su neophodna u toku procesa simulacije, mogu se raspodeliti različitim procesorima, pa se, zatim, obavljaju istovremeno na svim tim procesorima. Takođe, moguće je da se kolo подели tako da se različita potkola analiziraju na različitim procesorima, čime se vreme obrade skraćuje proporcionalno broju procesora [5], [6].

U ovom radu biće pokazano izvršavanje simulacija na paralelnom računaru, ali sa idejom da se isto kolo simulira istovremeno na više procesora, ali za različite vrednosti frekvencije ili različite frekvencijske opsege. Na kraju analize se prikupljanjem svih rezultata dobije celokupna karakteristika kola, a uštedi se na vremenu simulacije, i to, kako će biti pokazano, vreme je kraće skoro onoliko puta koliko ima procesora.

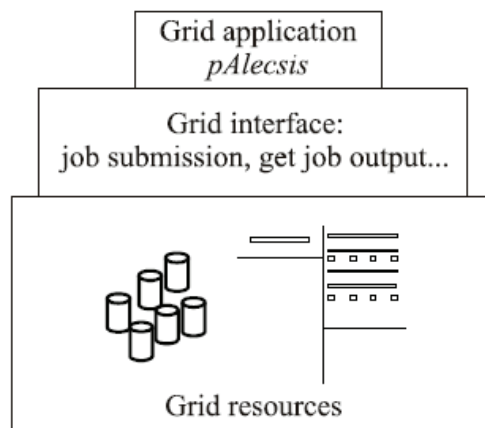
2. SIMULACIJA ELEKTRONSKIH KOLA NA GRID-U

Razvoj jeftinih personalnih računara i gigabitskih LAN mreža koje se koriste za međusobno povezivanje računara nude mogućnost implementacije distribuiranih multiprocesorskih sistema kao što su kompjuterski klasteri [7]. Zatim, porast Internet i WAN veza velikog kapaciteta i brzine, doveo je do razvoja računarskog Grid-a (Sl. 1). Grid je veoma heterogeni i geografski distribuirani računarski sistem koji se sastoji od međusobno povezanih računarskih resursa koje korisnici mogu da koriste za izvršavanje zahtevnih zadataka.



Slika 1. Struktura grida

Sl. 2 prikazuje strukturu aplikacije na Gridu. Da bi se omogućilo izvršavanje paralelnih simulacija na Gridu, potrebno je razviti odgovarajući interfejs za simulator. Taj interfejs treba da obezbedi prihvatanje simulacionih zadataka, simulacione modele, da obezbedi izvršavanje simulacije na udaljenom kompjuterskom klasteru, kao i da primi nazad rezultate simulacije.



Slika 2. Osnovna struktura aplikacije na Grid-u

U ovom radu, simulacije se izvršavaju na paralelnom računaru koji ima strukturu Beowulf klastera. Struktura tog klastera je prikazana u Tabeli 1. On se sastoji od 64 procesora koji su međusobno povezani lokalnom mrežom, i imaju ukupnu memoriju od 1.4TB.

Tabela 1. *Struktura kompjuterskog klastera na kome se izvršavaju simulacije*

Komponenta	Specifikacija
8 × 2 quad-core Intel Xeon E5420	2.5GHz, 4GB RAM, 250GB HDD
1.4TB RAID5	NAS (Network attached storage)
LAN	dual 1Gbit Ethernet

3. ANALIZA U FREKVENCIJSKOM DOMENU

Analizu u frekvencijskom domenu karakteriše nekoliko tipičnih osobina, pa ćemo ih u daljem tekstu razmotriti [8].

Najpre, za analizu u frekvencijskom domenu je tipično da kapacitivnosti i induktivnosti postaju čisto imaginarne. U tom smislu možemo da prepoznamo da će otporni elementi i kontrolisani generatori uticati na realni deo, a reaktivni elementi će uticati na imaginarni deo matrice admitansi po modifikovanoj metodi čvorova. Za obe ove matrice (realna i imaginarna) može da se očekuje da su znatno rastresitije od matrica koje bi nastale za čisto otporna i čisto reaktivna kola. U vezi sa tim postavlja se pitanje, da li treba generisati jedinstvenu matricu sa kompleksnim članovima ili generisati dve matrice sa realnim članovima. U drugom slučaju otvara se mogućnost upotrebe aritmetike sa dvostrukim brojem cifara.

Ako se koristi kompleksna aritmetika ne bi se mnogo toga menjalo u odnosu na već poznate metode formulacije i rešavanja jednačina. Potrebno je deklarirati kompleksne promenljive i iskoristiti rastresitost slobodnog vektora.

Kada se koristi realna aritmetika, sistem jednačina čiji su elementi kompleksni može da se transformiše u novi čiji su elementi realni na sledeći način. Neka je:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \mathbf{A}_r + j\mathbf{A}_j \\ \mathbf{x} &= \mathbf{x}_r + j\mathbf{x}_j \\ \mathbf{z} &= \mathbf{z}_r + j\mathbf{z}_j \end{aligned} \quad (1)$$

Gde je \mathbf{A} matrica sistema generisana po modifikovanoj metodi čvorova, \mathbf{x} vektor nepoznatih napona i struja i \mathbf{z} vektor strujnih i naponskih pobuda.

Onda

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{z} \quad (2)$$

može da se transformiše u:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_r & -\mathbf{A}_j \\ \mathbf{A}_j & \mathbf{A}_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_r \\ \mathbf{x}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_r \\ \mathbf{z}_j \end{bmatrix} \quad (3a)$$

ili, promenom redosleda u \mathbf{x} ,

$$\begin{bmatrix} -\mathbf{A}_j & \mathbf{A}_r \\ \mathbf{A}_r & \mathbf{A}_j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_j \\ \mathbf{x}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_r \\ \mathbf{z}_j \end{bmatrix} \quad (3b)$$

Sada u \mathbf{x} postoji $2n$ nepoznatih. Ipak, (3) predstavlja sistem jednačina sa rastresitom matricom i slobodnim vektorom, i, ako se to iskoristi, može se očekivati da će rešenje da se dobije brže. Karakteristično je to da kada god nema otpornog elementa koji bi bio priključen za dati čvor, u \mathbf{A}_r nastaje nulti dijagonalni element, pa u (3a) nastaju dva nulta dijagonalna

elementa. Takav čvor ne može da se numeriše kao prvi, pa je potrebna zamena vrsta da bi se izbegao nulti pivot. Kada se koristi (3b) nastaje dualna situacija. Naime, kada god za dati čvor nije priključen nijedan reaktivni element, nastaje nula na dijagonali što je neprijatno sa stanovišta prilagođavanja strategije pivotiranja. Kada se efikasno koristi rastresitost, broj dugih operacija potreban za faktorizaciju i za direktnu i povratnu smenu postaje približno jednak. Zato treba razmišljati o iskorišćavanju rastresitosti slobodnog vektora. Naime, u analizi u frekvencijskom domenu, obično se može očekivati da se samo jedan element u slobodnom vektoru razlikuje od nule. Uzrok tome je pretpostavka da u kolu postoji samo jedan naizmenični pobudni generator. Pogodnom numeracijom može se praktično preskočiti direktna smena u potpunosti.

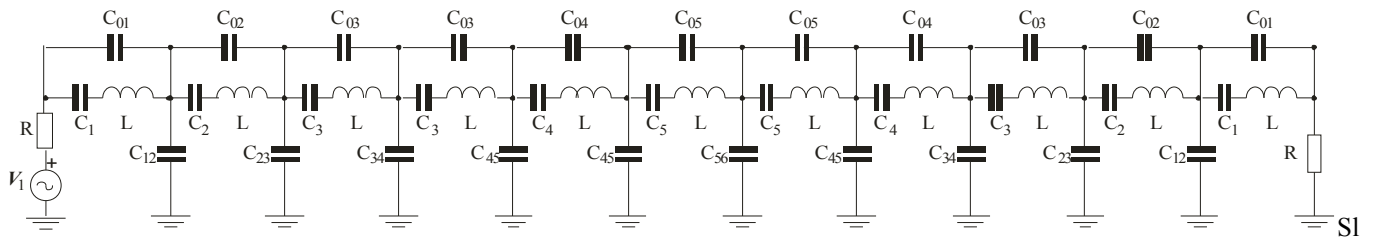
Drugi aspekt koji se odnosi na frekvencijsku analizu je potreba da se obavlja ponovljena analiza odnosno ponovno rešavanje jednačina kola, pri čemu je slobodni vektor sačuvan ali se elementi matrice kola razlikuju zbog promene frekvencije. Naime, obično se generiše zavisnost napona i struja kola kao funkcija frekvencije tako što se menja vrednost frekvencije na jednom frekvencijskom opsegu sa datim korakom. Ako se koristi realna aritmetika za analizu kola, tj. ako je sistem koji se više puta rešava iskazan sa (3), može da se uštedi na vremenu u fazi formulacije jednačina time što se \mathbf{A}_r , koje je obično frekvencijski nezavisno, memoriše posebno. U takvom slučaju, proces formulacije jednačina za svaku novu vrednost frekvencije će početi parcijalno popunjenom matricom na sledeći način:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}_r & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_r \end{bmatrix}$$

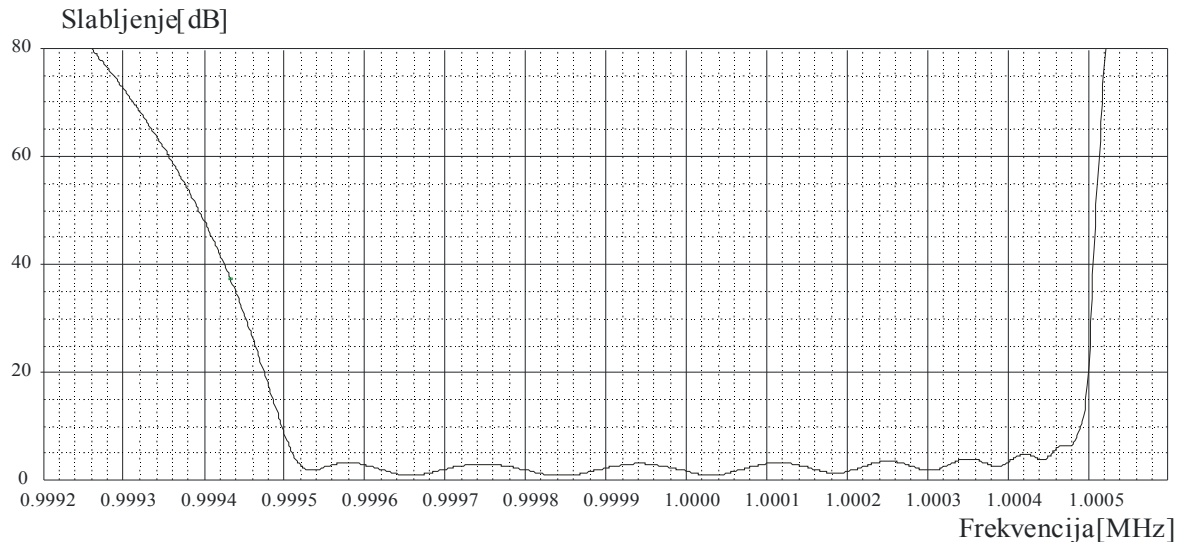
Primenom ove ideje, ako broj odvodnosti i kontrolisanih grana nije zanemariv, mogu se dobiti znatne uštede u fazi formulacije jednačina.

Najzad, prilikom frekvencijske analize kola koja istovremeno sadrže kondenzatore i kalemове, nastaju neki specifični problemi. U cilju izbegavanja nultog pivota na poziciji (1,1), može da se obavi zamena redova. Međutim, jedini problem sa ovim izborom odnosi se na situaciju koja nastaje kada se frekvencija ω menja i kada postane bliska vrednosti $\omega_0 = (LC)^{-1/2}$. Usled oduzimanja, vrednost pivota se smanjuje (a može se desiti da bude veoma blizu nuli), što znatno redukuje tačnost rešenja. Da bi se izbegao ovaj problem, može se prihvatiti pravilo da se, prilikom numeracije čvorova, ne numeriše kao prvi onaj čvor koji je unutar rednog rezonantnog kola. Zapravo, treba onemogućiti da element matrice, koji je nastao kao posledica prisustva redne rezonantne grane, postane pivot.

Uticao potiranja u rednoj rezonantnoj grani može se najlakše izbeći ako se izbegne oduzimanje. To se može postići ako se unutrašnji čvor redne rezonantne grane numeriše nulom, odnosno ako se ovaj čvor uzemlji. Ako bi se ova ideja primenila na kolo sa više rednih rezonantnih grana, bilo bi potrebno da se napravi onoliko kopija kola koliko ima rednih rezonantnih grana. Svaka kopija bi imala različitu poziciju čvora mase. Frekvencijski opseg u kome bi bila analizirana svaka kopija bio bi ograničen okolinom rezonantne frekvencije redne grane koja se obrađuje. Ne treba zaboraviti da kod složenih filtera kola, kao što su kristalni filteri, zbog velike selektivnosti, problem potiranja može da bude od vrlo velikog uticaja i zato je primena ove ideje veoma značajna u simulaciji koja se koristi u primeru u ovom radu.



Slika 3. Šema kola oscilatora koje se koristi kao primer



Slika 4. Frekvencijska karakteristika slabljenja kola sa Slike 3

4. PARALELNA SIMULACIJA NA PRIMERU FILTRA PROPUSNIKA OPSEGA

Da bismo ilustrovali pomenuti koncept, izabrali smo kolo filtra propusnika opsega koje će biti analizirano u frekvencijskom domenu [9]. U kolu je deset kristala, i projektovano je tako da mu je centralna frekvencija 1MHz, a propusni opseg je 1kHz.

Kolo je prikazano na Sl. 3, a njegovi elementi su:

$R=5.878k\Omega$,

$L=1H$,

$C_1=0.025342612pF$,

$C_2=0.025358482pF$,

$C_3=0.025358513pF$,

$C_4=0.025357569pF$,

$C_5=0.025357089pF$,

$C_{01}=10.189pF$,

$C_{02}=8.140pF$,

$C_{03}=8.137pF$,

$C_{04}=8.235pF$,

$C_{05}=8.286pF$,

$C_{12}=15.5pF$,

$C_{23}=14.816pF$,

$C_{34}=15.463pF$,

$C_{45}=15.898pF$,

$C_{56}=16.035pF$.

Frekvencijska karakteristika slabljenja kola prikazana je na Sl. 4. Da bi se dobila takva karakteristika kola potrebno je uraditi frekvencijsku analizu u mnogo tačaka, tj. na mnogo različitih frekvencija u okviru uzanog propusnog opsega.

Zbog toga je u ovom radu predložen koncept koji se zasniva na korišćenju više procesora koji istovremeno izvršavaju simulacije. Naime, ideja je sledeća: frekvencijsku osu treba podeliti na N delova, tako da svaki od N procesora izvršava simulaciju samo u delu frekvencijskog opsega koji je njemu dodeljen. Naravno, simulacije se izvršavaju paralelno, tj. istovremeno, a kao rezultat se dobija kraće vreme izvršavanja simulacije celog kola. Da bi se ovo uradilo, potrebno je najpre odrediti frekvencijski opseg od interesa, a zatim proceniti koliko procesora je potrebno koristiti. U našem slučaju je frekvencijski opseg od interesa samo 2KHz, pa nema smisla koristiti mnogo veliki broj procesora. Mi smo radili analize sa 4 i sa 8 procesora. Kada se upoređi vreme simulacije kola u celom frekvencijskom opsegu koja se obavlja na jednom procesoru, i vreme simulacije kola koja se obavlja na četiri procesora, dobija se da simulacija na 4 procesora traje 3,69 puta kraće. Isti taj postupak se ponavlja za 8 procesora, i tada se dobija 6,6 puta kraće vreme.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je opisana implementacija paralelne simulacije na primeru filtra propusnika opsega sa deset kristala. Simulacije su izvršavane na paralelnom računaru koji se sastoji od 64 procesora i koji ima strukturu Beowulf klastera. Kolo je analizirano u frekvencijskom domenu, dobijena je frekvencijska karakteristika slabljenja kola. Frekvencijski opseg od interesa je podeljen na 4, odnosno 8 podopsega, tako da je analiza svakog od podopsega dodeljena jednom procesoru klastera. Prikupljanjem rezultata analize svih procesora dobijena je celokupna frekvencijska karakteristika kola, a postignuto je dosta kraće ukupno vreme simulacije.

LITERATURA

- [1] B. Anđelković, V. Litovski, "Parallel Transistor Level Simulation based on Parallel Equation Formulation implemented on a Beowulf Cluster", *Simulation News Europe*, vol. 17/3-4, pp. 55-58, December 2007.
- [2] B. Anđelković, M. Dimitrijević, M. Andrejević Stošović, V. Litovski, "Parallelizing Electronic Circuit Simulation on Multicore Computer Cluster", *Proceedings of the Small Systems Simulation Symposium 2010*, Niš, pp. 71-74, February 2010.
- [3] B. Anđelković, V. Litovski, P. Petković, "Implementation and Performance Analysis of Parallel Circuit Simulator on Beowulf Cluster", *Zbornik radova LI konferencije ETRAN*, Herceg Novi, Proc. on CD, EL1.6, June 2007.
- [4] B. Anđelković, M. Dimitrijević, V. Litovski, "Using Grid Computing in Parallel Electronic Circuit Simulation", *Proc. of the Sixteenth International Scientific and Applied Science Conference - Electronics EL'2007*, Sozopol, Bulgaria, Book 4, pp. 109-114, September 2007.
- [5] M. Zwolinski, "Multi-Threaded Circuit Simulation using OpenMP", *LASCAS 2010: IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems*, Brasil, 24-26 February 2010.
- [6] P. Ruey-Kuen, W. Tien-Hsiung, L. Kuan-Ching, "On Performance Enhancement of Circuit Simulation Using Multithreaded Techniques", *International Conference on Computational Science and Engineering*, cse, vol. 1, pp.158-165, August 2009.
- [7] T. Sterling, *Beowulf Cluster Computing with Linux*, MIT Press, 2001.
- [8] V. Litovski, *Projektovanje elektronskih kola: simulacija, optimizacija, testiranje, fizičko projektovanje*, Nova Jugoslavija, Vranje, 2000.
- [9] DeVerl S. Humpherys, *The analysis, design, and synthesis of electrical filters*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1970.

Abstract – In this paper parallel simulation implantation is described using an example of band-pass filter with crystals. Simulations are performed on the parallel computer consisting of 64 processors, structured in Beowulf cluster. The circuit is analyzed in frequency domain, in order to obtain output voltage characteristic. Each processor performs analysis for the small frequency band, so when results of all analyses are gathered, we obtain the filter frequency characteristic.

IMPLEMENTATION OF ELECTRONIC CIRCUITS PARALLEL SIMULATION IN FREQUENCY DOMAIN

Miona Andrejević Stošović, Marko Dimitrijević,
Vančo Litovski