

AKIM MODLU KARE – KÖK ORTAMLI DEVRE TASARIMINA EŞGÜDÜMLÜ BENZETİM YAKLAŞIMI

Hamdi Ercan¹

Mustafa Alçı²

¹Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

¹e-posta: hamdiercan@erciyes.edu.tr

²e-posta: malci@erciyes.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, akım modlu kare-kök ortamı devre tasarımına eşgüdümlü benzetim tabanlı optimizasyon (eniyeleme) yaklaşımı sunulmuştur. Analog devre benzetimlerinde etkin bir şekilde kullanılan PSpice programı, Matlab programı ile eşgüdümlü olarak koşturulmuş ve devre parametreleri arzu edilen tasarım kriteri olan giriş akımlarının kare-kökü olacak şekilde optimize etmek için kullanılmıştır. İstenilen eğriye yakınsamak için performans fonksiyonunun arzu edilen hata oranından düşük olup olmadığı kontrol edilerek transistör boyutları optimize edilmiştir. Optimize edilen devre çıkışının ideal eğriye yakınsandığı benzetim sonuçları doğrultusunda ortaya konmuştur.

1. Giriş

Bilgisayar destekli devre tasarımı çok uzun zamandan beri kendisini kanıtlamış bir süreçtir. Sayısal ve analog olmak üzere birçok farklı tipte devrenin analiz ve benzetimlerinde bilgisayar destekli programlar kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı analog devre tasarımında klasik bir yaklaşım haline gelen PSpice programıdır. Bununla birlikte devre optimizasyonu konusunda, modern optimizasyon metodları PSpice programının kendine has özelliklerinden dolayı kolaylıkla tasarıma adapte edilememektedir [1,2]. Eşgüdümlü benzetim (cosimulation) birçok çalışmada [3-5] PSpice kullanılarak gerçekleştirilen tasarım süreçlerinde karşılaşılan bu problemin aşılmasında bir çözüm olarak önerilmiştir.

Analog devre tasarımında devre parametresine bağlı performans fonksiyonu sayısal devre tasarımına oranla oldukça fazladır. Bu yüzden analog devre performansı çok geniş alana yayılmış tasarım parametrelerine oldukça duyarlı hale gelmektedir [6]. Benzer dezavantajları nedeniyle analog devre optimizasyonu tecrübeye dayalı optimizasyonlara (knowledge based opt.) dayanmaktadır. Bilgisayar yazılımlarının gelişmesine bağlı olarak devre optimizasyon çalışmaları son dönemde bilgisayar destekli yazılımlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar destekli optimizasyonlar ise, analitik denklem tabanlı (analytic equation based) [7,8] ve benzetim tabanlı (simulation based) [9,10] olarak gruplandırılabilirler. Sayısal veri akışı üzerine çalışan benzetim programları (Matlab vb.) daha çok analitik denklem tabanlı optimizasyonları

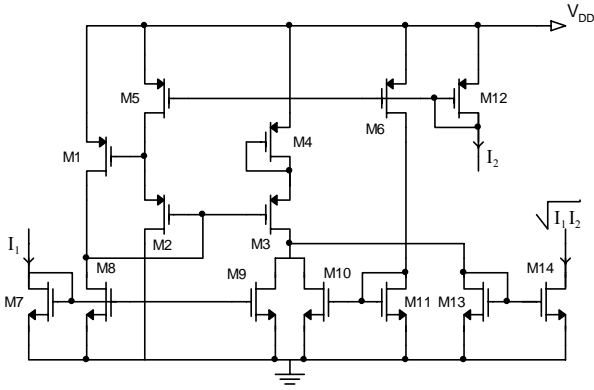
gerçekleştirirken, gerçek zamanlı analog modelleme yeteneğine sahip programlar (PSpice vb.) ise benzetim tabanlı optimizasyonları gerçekleştirebilmektedir. Bununla birlikte PSpice benzetim programı devre optimizasyonu söz konusu olduğunda optimum devre parametrelerine yakınsayabilmek ve optimizasyon aracı sağlayabilmek için PSpice çekirdeğini süren üçüncü parti yazılımlara ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanı sıra üçüncü parti yazılımların kod dizimleri açık kaynaklı olmadığı gibi daha önceden tanımlanmış optimizasyon araçlarını kullanmaya da imkan tanımamaktadır.

Translineer devrelerle ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde genellikle araştırmaların bipolar işlemin getirdiği veya zayıf evrimde çalışan MOSFET'lerin karakteristiğinden ileri gelen üstel davranış üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [11,12]. Kare-kök ortamda tasarlanan devreler; akım modlu çalışmalarından, düşük besleme voltajı gereksinimlerinden ve uygun boyutlu olmalarından dolayı bu devrelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. CMOS işleminin I-V arasındaki kare-kök özelliği kullanılarak, kare-kök bölgede çalışan devre yapıları oluşturulmuştur [13,14]. Kare-kök ortam devre tasarımının bir problemi ise, çok sayıda devre parametresine bağlı performans fonksiyonuna sahip olmasıdır. Böyle bir problem kare-kök ortam tümdevre tasarımında karmaşık optimizasyon gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Genellikle kare-kök devre tasarım prosedürü, gerçek devre model yeteneklerine sahip olan PSpice benzeri analog devre benzetim programları ile gerçekleştirilmektedir. Bununla beraber, bu tür benzetim programları sayısal benzetim programlarına oranla etkin optimizasyon araçlarını içermemektedir. Doğruluk ve tekrarlanabilirliğin az olması ve zaman tüketimi gibi dezavantajlara sahip olmasına rağmen tecrübeye dayalı optimizasyonları gerçekleştirmek bu probleme bir çözüm olarak sunulabilir. Daha önceki bir çalışmada akım modlu kare-kök devresini optimize etmek için klasik devre üzerinde devre yapısında modifikasyona gitmek önerilmiştir [14]. Bir başka çözüm ise, bir analog benzetim programını sayısal işaret akışı gerçekleştiren bir benzetim programıyla beraber eşgüdümlü tabanlı optimizasyon amaçlı kullanmaktır [15]. Bu çalışmada, analog veri akışı gerçekleştiren bir benzetim programı olan PSpice programını kontrol etmek için, sayısal veri akışı gerçekleştiren bir program olan Matlab tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, birinci bölümde genel olarak bilgisayar destekli devre tasarımına değinilerek eşgüdümlü benzetim yaklaşımından söz edilmiştir. Ayrıca kare-kök ortamda tasarlanan devrelerin özelliklerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, akım modlu kare-kök devresi tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde ise eşgüdümlü benzetim yaklaşımının işlem basamakları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde benzetim sonuçları verilmiştir. Sonuç kısmında ise önerilen yaklaşımın avantajları benzetim sonuçlarına bağlı olarak sunulmuştur.

2. Akım Modlu Kare – Kök Devresi

Geometrik-ortalama hücresi adıyla da bilinen kare-kök devresinin MOSFET'in karesellik kuralına uygun olarak gerçekleştirilmiş olan devre yapısı Şekil 1'de görülmektedir [14].

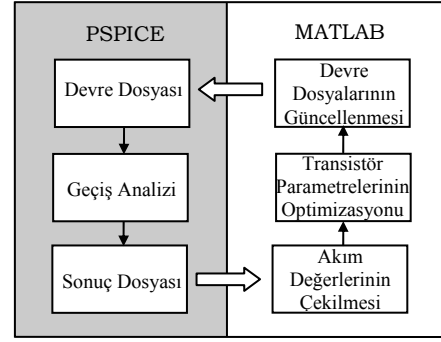


Şekil 1: Kare – kök alma devresi

Devrenin tüm giriş ve çıkışları akım formundadır. Şekilde verilen devrenin çıkışı, giriş akımları olan I_1 ve I_2 akımlarının çarpımının kare-köküne yakınsamaktadır. Transistör boyutları küçüldükçe kare-kök fonksiyonunda idealden sapmalar meydana gelecektir [16]. Arzu edilen çıkış akımını elde etmek için bu parametreler optimizasyon amaçlı kullanılabilir.

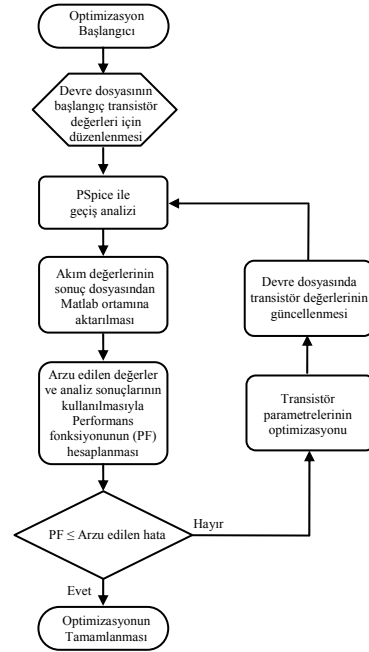
3. Eşgüdümlü – Benzetim Yaklaşımı

Eşgüdümlü benzetim yaklaşımları birden fazla benzetim programının eşzamanlı olarak, herbirinin kabiliyetleri doğrultusunda içiçe kullanılmasından oluşmaktadır. Şekil 2'de analog veri akışı kabiliyetine sahip PSpice programı ile sayısal veri akışı gerçekleştiren Matlab programının kullanıldığı eşgüdümlü blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 2: Eşgüdümlü benzetim yaklaşımının blok şeması

Matlab programı eşgüdümlü benzetimleri için PSpice programını kod dizini içerisinde kontrol etmektedir. PSpice programı tarafından yapılan geçiş analizi ile oluşturulan devre dosyalarını (Circuit Netlist) düzenlemektedir. Geçiş analizinin ardından devre çıkışını gösteren akım değerleri PSpice çıkış dosyasından (out file) okunmakta ve Matlab programına aktarılmaktadır. Matlab programı, aktarılan bu akım değerlerinin ideal eğriye olan hatasına göre devre dosyasını (cir file) güncellemektedir. Matlab ile PSpice programları arasındaki bu geçiş iki farklı veri akışı ortamını aynı tasarım süreci içerisinde kullanmayı mümkün kılmaktadır.



Şekil 3: Eşgüdümlü benzetim yaklaşımının akış diyagramı

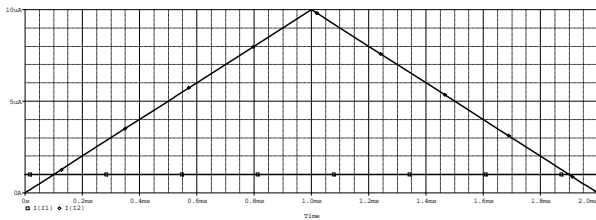
PSpice programındaki analog ve Matlab programındaki sayısal veri akışları her iki akışında avantajlarını

kendisinde taşımaktadır. Analog veri akışı gerçek zamanlı devre modeli içermesi nedeniyle devre benzetimi konusunda kesin sonuçlar üretirken, sayısal veri akışı ise sonuçların analizinde ve devre optimizasyonunda rol almaktadır. Eşgüdümlü benzetim yaklaşımının akış diyagramı Şekil 3’de gösterilmektedir.

Şekil 3’de görüldüğü gibi, öncelikle optimize edilmesi planlanan devre parametreleri olan transistör boyutları W ve L ilk değerlerine atanmaktadır. W ve L parametrelerinin optimizasyon sınırları sırasıyla $1\mu\text{m}$ ’den $10\mu\text{m}$ değerine ve $0.1\mu\text{m}$ ’den $1\mu\text{m}$ değerine değiştirilmek üzere belirlenmiştir. Atanan her bir değer için PSpice ortamında geçiş analizi gerçekleştirilmektedir. Geçiş analizi sonucu elde edilen çıkış dosyası Matlab ortamına aktarılmaktadır. Burada Şekil 1’de gösterilen I_1 ve I_2 akımlarının çarpımlarının kare-kökünün ideal kare-kök fonksiyonuna yakınsamadaki hata oranı olarak belirtilen ortalama karesel hata (mean square error) değeri belirlenmektedir. Bu değer performans fonksiyonu olarak ele alınmaktadır. İstenilen eğriye yakınsamak için performans fonksiyonunun arzu edilen hata oranından düşük olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu optimizasyon döngüsü istenilen değere ulaşılan kadar tekrarlanmaktadır. Böylece arzu edilen eğriye bağlı olarak transistör boyutları tespit edilmiş olur.

4. Benzetim Sonuçları

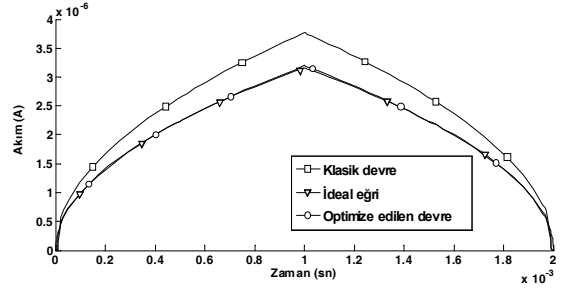
Akım modlu kare-kök devresi, PSpice programının Matlab ile birlikte koşurulduğu eşgüdümlü benzetim yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Devrenin benzetimlerinde TSMC $0.35\mu\text{m}$. LEVEL 3 transistör parametreleri kullanılmıştır. Besleme gerilimi $5V$ olarak seçilmiştir. Devrenin giriş akımları olan I_1 ve I_2 akımları Şekil 4’te verildiği gibi sırasıyla sabit $1\mu\text{A}$ ve maksimum değeri $10\mu\text{A}$ olan 2ms . periyodlu üçgen dalga şeklinde alınmıştır.



Şekil 4: Devrenin giriş akımları

Analizlerde transistör boyutları olan W ve L parametreleri sırasıyla $1\mu\text{m}$ ’den $10\mu\text{m}$ değerine ve $0.1\mu\text{m}$ ’den $1\mu\text{m}$ değerine değiştirilmek üzere devre optimize edilmiştir. Eşgüdümlü benzetimler için

zamana bağlı olarak akım değişimleri Şekil 5’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5: Klasik devre, optimize edilen devre ve ideal kare-kök fonksiyonu

Analiz sonuçları incelendiğinde, devre yapısında hiçbir değişiklik yapılmadan, performans fonksiyonuna göre transistör boyutlarının optimizasyonu ile ortalama karesel hata 1.19×10^{-14} olacak şekilde ideal eğriye yakınsanmıştır. Klasik kare-kök devresinde kullanılan transistör boyutları (W , L) [14] ve optimizasyon sonucu elde edilen transistör boyutları (W_{opt} , L_{opt}) Tablo 1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 1: Transistör boyutları (μm)

	W	W _{opt}	L	L _{opt}		W	W _{opt}	L	L _{opt}
M1	3	3	.7	.6	M8	6	6	.7	.7
M2	3	3	.7	.7	M9	3	3	.7	.8
M3	6	6	.7	.7	M10	3	3	.7	.7
M4	6	6	.7	.7	M11	6	6	.7	.7
M5	6	6	.7	.7	M12	6	6	.7	.7
M6	6	6	.7	.7	M13	6	6	.7	.7
M7	6	6	.7	.7	M14	6	6	.7	.7

Tablodan görüldüğü gibi, klasik devrede kullanılan transistör boyutları ile optimizasyon sonucunda elde edilen transistör boyutları kıyaslandığında, W değerlerinde bir farklılık olmamasına rağmen, M1 ve M9 transistörlerinin L değerlerinde $0.1\mu\text{m}$ lik bir değişim gözlenmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmada akım modlu kare-kök ortam devresi ile ideal kare-kök eğrisini elde edebilmek amacıyla eşgüdümlü benzetim optimizasyon metodu kullanılmıştır. Benzetim sonuçları incelendiğinde, klasik devre yapısında herhangi bir değişiklik yapılmadan, arzu edilen hata 1.19×10^{-14} olacak şekilde transistörlerin boyutlarının optimizasyonu ile ideal eğrinin yaklaşık olarak elde edilebildiği gözlenmiştir. Bununla birlikte eşgüdümlü benzetim yaklaşımı, devre karmaşık iken önemli sayılabilecek bir parametre olan

daha düşük hesaplama zamanını ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak eşgüdümlü benzetim tabanlı optimizasyon metodunun, akım modlu kare-kök devrelerinde kullanılabilirdiği gibi diğer bazı elektronik devre uygulamalarında da elverişli bir metod olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. Kaynakça

- [1] Puhon, J. and Tuma, T., "Optimisation of Analog Circuits with SPICE 3F4", V: Proceedings of the 1997 ECCTD, Budapest, Hungary, str. 2/177-180, 30th August - 3rd September, 1997: ECCTD '97.
- [2] Basrou, S., Matou, K., Ammar, Y., Marzencki, M., Zenati, A., Thermal, "Multi-domain and Mixed-Signal Simulation of System-on-Chip Embedding MEMS" Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro - Electronics and Micro-Systems, 7th International Conference on Page(s): 1 – 6, 24-26 April 2006.
- [3] Hussein, A., Nounou, A., Saada, N., Atef, D., Khalil, D., "SPICE Modeling of Free-Space Optical Systems", IEEE Behavioral Modeling and Simulation Workshop P.85 – 90 Sept. 2006.
- [4] Gerrits, J., Hutter, A., Ayadi, J., Farserotu, J., "A Wideband Equivalent SPICE Circuit for a Monopole Antenna and its Usefulness for UWB Applications", 33rd European Microwave Conference, Vol. 2, P.703 – 705, 2003.
- [5] Rigbers, K., Schroder, S., Durbaum, T., Wendt, M., De Doncker, R.W., "Integrated Method for Optimization of Power Electronic Circuits", IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, Vol.6 P.4473 – 4478, 20-25 June 2004.
- [6] Mandal, P. and Visvanathan, V., "CMOS Op-Amp Sizing Using a Geometric Programming Formulation", IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 20, No. 1, P. 22-38, 2001.
- [7] Hershenson, M., Boyd, S., Lee, T., "GPCAD: A Tool for CMOS Op-Amp Synthesis", in Proc. IEEE/ACM Int. Conf. Computer-Aided Design (ICCAD), p. 296-303., 1998.
- [8] Van der Plas, G., et al. "AMGIE-A Synthesis Environment for CMOS Analog Integrated Circuits", IEEE Trans. on CAD, Vol. 20. No. 9, p.1037-1058, 2001.
- [9] Phelps, R. et al. "ANACONDA: Simulation-Based Synthesis of Analog Circuits via Stochastic Pattern Search," IEEE Trans. on CAD. Vol. 19 No.6, pp. 703-717, 2000.
- [10] Alpaydin, G., et al. "An Evolutionary Approach to Automatic Synthesis of High-Performance Analog Integrated Circuits", IEEE Trans. On Evolutionary Computation..Vol. 7, No. 3, pp. 250- 252, 2003.
- [11] Payne, A. and Toumazou, C., "Linear transfer function synthesis using non-linear IC components" Proceedings ISCAS'96 Atlanta, USA, I, pp. 53-56, 1996.
- [12] Mulder, J., Van der Woerd, A., Serdjin, W. And Van Roermund, A., "A Current Mode companding x-domain integrator", Electronics Letters 32, pp.198-199, 1996.
- [13] Eskiyeerli, M., Payne, A., Square Root Domain Filter Design and Performance" Analog IC and Signal Processing 22, pp.231-243, 2000.
- [14] Menekay, S., Tarcan, R. C., Kuntman, H., "Doğruluğu artırılmış Kare-Kök Devresi ile Kurulmuş Düşük Gerilime Uygun İkinci Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç Tasarımı", ELECO'06 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 2006.
- [15] Alçı, M., Ercan, H., "Logaritmik Ortam Osilatör Tasarımına Eşgüdümlü-Benzetim Yaklaşımı" 12. Elektrik – Elektronik – Bilgisayar – Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı, Eskişehir, 2007 (kabul edildi).
- [16] Menekay, S., Tarcan, R. C., Kuntman, H., "Doğruluğu Artırılmış Akım Modlu Kare-Kök Devresi", SIU'06: IEEE 14. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Belek, 2006.