

Logaritmik Ortam Osilatör Tasarımına Eşgüdümlü-Benzetim Yaklaşımı

Mustafa Alçı¹

Hamdi Ercan²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri
¹e-posta: malci@erciyes.edu.tr ²e-posta: hamdiercan@erciyes.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada logaritmik ortam osilatör tasarımı için eşgüdümlü benzetim optimizasyonu (eniyileme) yaklaşımı, toplam harmonik bozulma oranını azaltmak için önerilmiştir. Analog devre benzetimlerinde etkin bir şekilde kullanılan PSpice programı Matlab programı ile eşgüdümlü olarak koşturulmuş ve devre parametreleri arzu edilen toplam harmonik bozulma oranını elde etmek için optimize edilmiştir. Eşgüdümlü benzetim optimizasyonu sonuçları tecrübeye dayalı optimizasyonla gerçekleştirilen devre sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

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 guruplandırılabilirler. 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.

Daha önceki bir çalışmada [11] elektronik ayarlanabilir AB sınıfı fark alan tip logaritmik ortam osilatörü tasarlanmış ve devrenin benzetimleri PSpice programında yapılmıştır.

Tasarlanan osilatör devresi AB sınıfı logaritmik ortam devrelerinin tüm üstünlüklerine sahip olmaktadır [12,13]. Tecrübeye dayalı optimizasyon teknikleri ile devre parametreleri belirlenmiştir. Bununla birlikte devre optimizasyonu esnasında PSpice programının sınırlamalarıyla karşılaşılmıştır. Bu çalışmada optimizasyon sürecinin kısaltılması ve daha hassas ve daha doğru sonuçların elde edilmesi amacıyla Matlab ve PSpice programları eşgüdümlü benzetimler için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, birinci bölümde genel olarak bilgisayar destekli devre tasarımına değinilerek eşgüdümlü benzetim yaklaşımından söz edilmiştir. Benzetim tabanlı ve analitik denklem tabanlı optimizasyonların birlikte kullanılmasıyla daha hassas ve daha doğru sonuçların elde edilebileceği vurgulanmıştır. İkinci bölümde, tasarlanmış olan logaritmik ortam osilatöründen bahsedilmiştir. 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. Logaritmik Ortam Osilatör Tasarımı

Tasarlanan devrenin transfer fonksiyonu;

$$H(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + \omega_o^2} \quad (1)$$

şeklinde [14]. Burada ω_o osilasyon frekansını göstermektedir. Transfer fonksiyonunun durum uzayı denklemleri ifadesi ise;

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\omega_o x_1 + \omega_o x_2 \\ \dot{x}_2 &= -2\omega_o x_1 + \omega_o x_2 + \omega_o u \\ y &= x_1 \end{aligned} \quad (2)$$

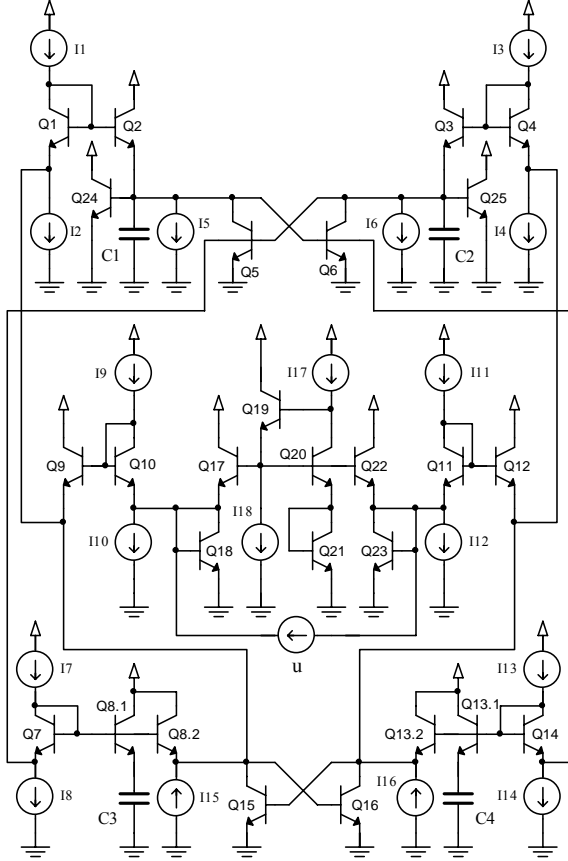
şeklinde [14]. Burada u giriş, y çıkış, x_1 ve x_2 durum değişkenleridir.

AB sınıfı fark alan tip yapıya uygun olarak durum değişkenleri, giriş işareti ve çıkış işareti L ve R kısmına ayrılır. Aktarım fonksiyonu ile eşleme yapıldıktan sonra bazı cebirsel işlemler ile Denklem 3'de görülen devre denklemleri elde edilir [11,15].

$$\begin{aligned} C\dot{v}_{1L} &= -I_f + I_s e^{\frac{v_{2L} + V_f - v_{1L}}{V_t}} - I_s e^{\frac{v_{1R}}{V_t}} \\ C\dot{v}_{2L} &= +I_f + 2I_s e^{\frac{v_{1R} + V_f - v_{2L}}{V_t}} + I_s e^{\frac{v_{1L} + V_f - v_{2L}}{V_t}} - I_s e^{\frac{v_{2R}}{V_t}} \\ y_L &= I_s e^{\frac{v_{1L}}{V_t}} \end{aligned} \quad (3)$$

Burada I_f sabit akım kaynağı, V_t ısı gerilimidir. Denklem 3'de görülen birinci ve ikinci devre denklemlerinin sol tarafı bir ucu topraklanmış kondansatörün akımı, sağ tarafındaki

terimler transistörlerin akımları, sabit terimler ise akım kaynağı olarak düşünülürse devre Şekil 1'deki gibi olmaktadır. Sonucu denklem ise L tarafı için çıkış akımını vermektedir. L ve R tarafları için çıkış akımlarının farkının alınması ile ana devrenin çıkış işareti elde edilmektedir.

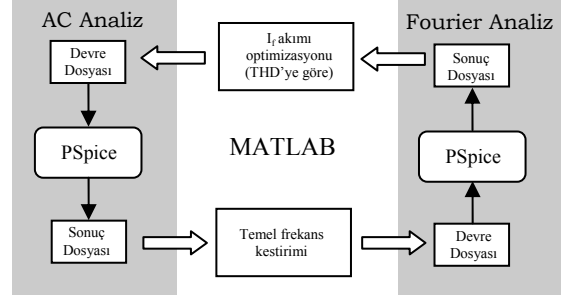


Şekil 1: Logaritmik ortam osilatör devresi [11]

Osilasyon işleminin başlayabilmesi için devreye başlangıçta uyarma akımı uygulanmaktadır. Fark alan yapı gereği giriş işareti L ve R tarafı için iki kısma ayrılması gerekmektedir. Bu işlem akım ayırıcı devre ile gerçekleştirilmektedir [13]. Şekilde Q17 – Q23 akım ayırıcı devrenin transistörlerini, Q24 ve Q25 L ve R tarafı için çıkışın elde edildiği transistörleri göstermektedir. 500 KHz çalışma frekansı için C1, C2, C3 ve C4 kapasiteleri 123.1 pF ve I_f akımı 10 μ A değerindedir [11].

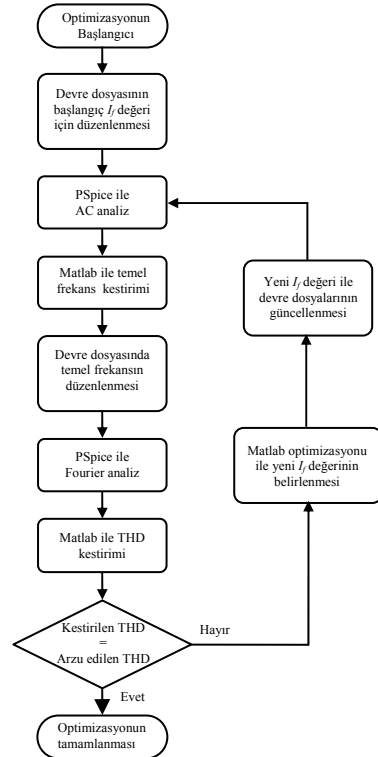
3. Eşgüdümlü – Benzetim Yaklaşımı

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



Şekil 2: Eşgüdümlü benzetim yaklaşımının blok şeması

Matlab programı eşgüdümlü benzetimleri için PSpice programını kod dizini içerisinde kontrol etmektedir. AC ve Fourier olmak üzere iki farklı PSpice analizinden elde ettiği sonuç verileri ile herbir analiz için oluşturulan devre dosyalarını (Circuit Netlist) düzenlemektedir. Toplam harmonik bozulma (THD) hesaplamalarının PSpice programı vasıtasıyla yapılması için fourier analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Fourier analizi için gerekli olan temel frekans bilgisi yine PSpice programı ile gerçekleştirilen AC analiz sonucunda elde edilmektedir. Matlab ile PSpice programları arasındaki bu geçiş iki farklı veri akışı ortamını aynı tasarım süreci içerisinde kullanmayı mümkün kılmaktadır. PSpice programındaki analog ve Matlab programındaki sayısal veri akışları her iki akışta 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.

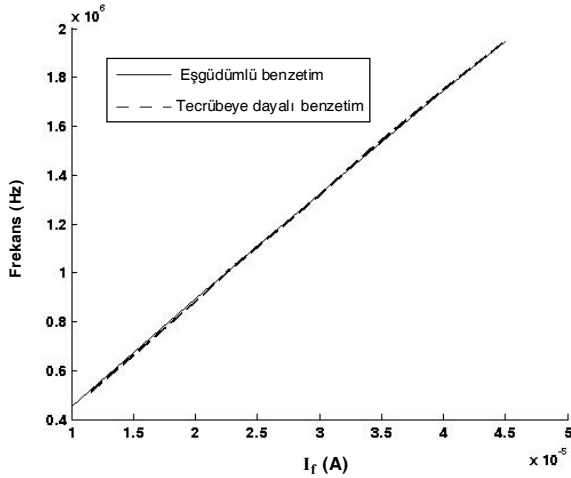


Şekil 3: Eşgüdümlü benzetim yaklaşımının akış diyagramı

Şekil 3’de görüldüğü gibi, öncelikle girilen bir başlangıç I_f akım değeri için PSpice programı ile AC analiz yapılır. AC analiz sonucu oluşan sonuç dosyası (out file) Matlab programı tarafından okunmakta ve elde edilen işaretin frekansı kestirilmektedir. Kestirilen bu frekans, PSpice programında gerçekleştirilecek fourier analizi için hazırlanan devre dosyasındaki (cir file) gerekli olan yere yazılır ve daha sonra fourier analiz PSpice’da koşturulur. Fourier analiz sonucunda elde edilen çıkış dosyası Matlab programı tarafından okunarak THD kestirimi yapılır. Arzu edilen THD ve kestirilen THD karşılaştırılması sonucu Matlab ortamında I_f devre parametresi için optimizasyon gerçekleştirilir. Elde edilen yeni I_f değeri algoritmanın tekrarı için devre dosyası içerisine Matlab tarafından yazılır ve AC analiz yapılır. Bu optimizasyon döngüsü istenilen THD değerine ulaşılan kadar tekrarlanmaktadır. Böylece arzu edilen THD’ye bağlı olarak I_f akımının değeri tespit edilmiş olur.

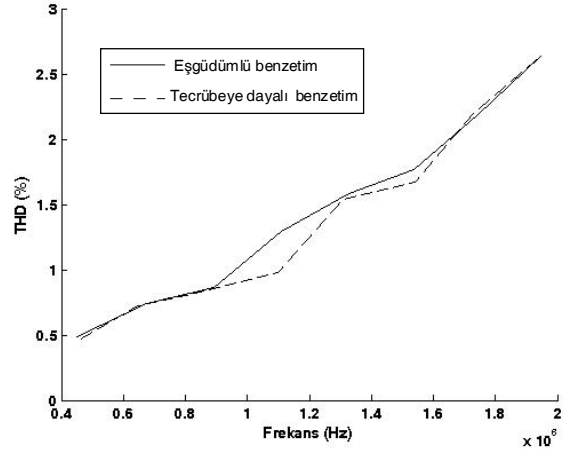
4. Benzetim Sonuçları

Tasarlanan AB sınıfı fark alan tip logaritmik ortam osilatör devresi sadece PSpice programının kullanıldığı tecrübeye dayalı benzetim yöntemi ve PSpice programının Matlab ile birlikte koşturulduğu eşgüdümlü benzetim yöntemi kullanılarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Her iki analiz metodunda da CBIC-R transistor tipi kullanılmıştır. Devreye $1\mu A$ ’lik başlangıç uyarma akımı uygulanmış ve $10\mu A$ ’lik I_f kutuplama akımı kullanılmıştır. Analizlerde THD değeri %0.5 olacak şekilde devre optimize edilmiştir.



Şekil 4: I_f kutuplama akımı ile osilasyon frekansının değişimi

I_f kutuplama akımına bağlı olarak devrenin osilasyon frekansının değişimi, eşgüdümlü ve tecrübeye dayalı benzetimler için Şekil 4’te gösterilmiştir. Her iki benzetim metodu için de I_f akımına bağlı olarak birebir aynı frekans değişimleri gözlenmiş olup benzetim sonuçları birbirini doğrulamaktadır.



Şekil 5: Osilasyon frekansına bağlı olarak THD (%) değerleri

Eşgüdümlü ve tecrübeye dayalı benzetimler için osilasyon frekansına bağlı olarak THD değişimleri Şekil 5’de gösterildiği gibidir. Analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında osilasyon frekansının 0.8 MHz ile 1.6 MHz arasındaki değerlerde THD değişimlerinin farklı değerler çıktığı gözlenmiştir. Bunun dışındaki aralıkta sonuçların birbirleriyle örtüştüğü ve birbirini doğruladığı gösterilmiştir. Farklı çıkan değerler için daha detaylı incelemede tecrübeye dayalı analiz metodunda I_f akımına karşı osilasyon frekansını kestiriminin tekrarlanabilirliği ve elde edilen sonuçların güvenilirliğinin düşük olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte eşgüdümlü benzetim analizi ile yapılan çalışmada I_f akımına bağlı olarak osilasyon frekansının her bir yenilemede tekrar elde edilebildiği; Buna bağlı olarak bu analizin tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik açısından daha sağlıklı bir metot olduğu ortaya çıkarılmıştır.

5. Sonuç

Bu çalışmada AB sınıfı fark alan tip logaritmik ortam osilatörünün THD oranını azaltmak için eşgüdümlü benzetim optimizasyon metodu kullanılmıştır. Benzetim sonuçları, tecrübeye dayalı optimizasyon metoduyla gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçların birbirini desteklediği gözlenmiştir. Bununla birlikte eşgüdümlü benzetim yaklaşımı, devre karmaşık iken önemli sayılabilecek bir parametre olan daha düşük hesaplama zamanını ortaya çıkarmıştır. Tekrarlanabilirlik ve doğruluk açısından tecrübeye dayalı optimizasyon metoduna göre daha avantajlı olduğu benzetim sonuçları doğrultusunda ortaya konmuştur. Sonuç olarak eşgüdümlü benzetim tabanlı optimizasyon metodunun, logaritmik ortam osilatör devrelerinde kullanılabildiği gibi diğer bazı elektronik devre uygulamalarında da elverişli bir metot olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. Teşekkür

Bu çalışma FBT-06-69 nolu Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir. Verilen bu destekten dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

7. Kaynakça

- [1] Puhán, 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] Basrouf, 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] Ercan H., Arslanalp R, Alçı M., Tola A. T., "Elektronik Ayarlanabilir AB Sınıfı Fark Alan Tip Logaritmik Ortam Osilatörü", IEEE 14. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'06), Antalya, 2006.
- [12] Punzerbeger, M. And Enz, C., "Log-Domain Filters For Low-Voltage Low-Power Applications", Proc. Int. Workshop Low Power RF Integrated Circ., Vol. 1, pp.41-44, 1998.
- [13] Frey, D. R. and Tola, A. T., "A State-Space Formulation For Externally Linear Class AB Dynamical Circuits", IEEE Transaction On Circuits And Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 46, pp. 306-314, 1999.
- [14] Thanachayanont, A., Pookkaiyudom, S. and Toumazou, C., "State Space Synthesis of Log Domain Oscillators", Electronics Letters, Vol.31, no.21, pp. 1797-1799,1995.
- [15] Frey, D. R., "Log-Domain Filtering: an Approach to Current-Mode Filtering", IEE Proceedings, Vol. 140, No.6, pp. 406-416, December 1993.