

# GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİNİ KULLANARAK YARI İLETKEN DİYODA AİT PARAMETRE ÇIKARIMI

Ferda BOZKURT<sup>1</sup>

Gürsel DÜZENLİ<sup>2</sup>

Mehmet Recep BOZKURT<sup>3</sup>

Nejat YUMUŞAK<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi  
Sakarya Üniversitesi, Esentepe, Sakarya

<sup>4</sup> Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi  
Sakarya Üniversitesi, Esentepe, Sakarya

<sup>1</sup>e-posta: fbozkurt@sakarya.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: duzenli@sakarya.edu.tr

<sup>3</sup>e-posta: mrecep@bozkurt.web.tr

<sup>4</sup>e-posta: nyumusak@sakarya.edu.tr

Anahtar sözcükler: Genetik Algoritmalar, Modelleme, SPICE, Diyot Denklemi, Parametre Çıkarımı

## ABSTRACT

This paper proposes that Genetic Algorithms are viable candidates as tools for parameter optimization of the SPICE diode equation. A brief description of Genetic Algorithms is discussed, general diode equation in contrast of the SPICE diode equations are examined and a software implementation is introduced with comparative results of PSICE, HP4155B parameter analyzer, genetic algorithm software and actual measurements. These results showed that the  $I_s$  value of the diode equation that was found by GA software gave the closest value to the real measurements.

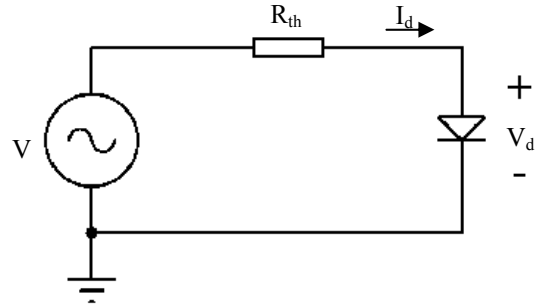
## 1. GİRİŞ

Diyotların akım değerinin hesaplanmasında kullanılan genel diyot denkleminin, simülasyon programları için kullanılabilir olmadığı bilinmektedir. Bundan dolayı diyot denkleminin yerine yaklaşık ifadeler kullanılmaktadır. Bu ifadelerde  $I_s$  değerinin ölçümü ile elde edilen değer yerine simülasyonlarda çok daha iyi sonuç veren yeni bir  $I_s$  değerinin olduğu çalışmamızda görülmüştür. Böylece ölçüm sonuçları ile PSPICE da kullanılan yeni  $I_s$  değeri ile elde edilen simülasyon sonuçlarının tam bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmada en uygun  $I_s$  değerinin Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak bulunması hedeflenmiştir.

## 2. GENEL DİYOT DENKLEMİ

Rasgele seçilmiş bağımsız kaynaklar, lineer bağımlı kaynaklar, dirençler ve bir diyot ile kurulmuş bir devreyi ele aldığımızda bu devrenin diyot uçlarının

Thevenin teoremi ile Şekil.1'deki gibi sadeleştirilmesi mümkündür. Sadeleştirilmiş bir devre, seri bağlanmış bağımsız gerilim kaynağı ( $V_{th}$ ), bir direnç ( $R_{th}$ ) ve bir diyottan oluşur.



Şekil.1 Sadeleştirilmiş Devre

Bir  $R_{th}$  direnciyle seri bağlanmış ideal bir diyodun  $I_d$  akımı, uygulanan  $V$  gerilimi ile  $I_d$ 'nin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki genel diyot denklemiyle gösterilebilir.

$$I_d = I_s \left[ e^{\left( \frac{V - I_d R_{th}}{V_t} \right)} - 1 \right] \quad (1)$$

bu denkleme göre  $I_s$ , saturasyon akımı ve  $V_t$  ise ısıya bağlı olarak değişen termal gerilimdir. Bu genel form fizik ve mühendislik bilimlerinde, foto detektörler, güneş enerji sistemleri, diyotların devre elemanı

olarak kullanıldığı durumlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Fakat Şekil.1 deki devrenin çözümünde denklem (1) kullanıldığında tam bir analitik çözüm olmadığı bilinmektedir. Bundan dolayı çok uzun zamandır sadece diyodun yaklaşık bir model ifadesi kullanılarak analitik çözüm yapılmaktaydı [1-6]. Veya bunun yerine nümerik çözümler kullanılmaktaydı [7].

Ayrıca denklem(1) ifadesini doğrudan SPICE programına koymak çok fazla hesaplama zaman kaybına neden olmaktadır. Bunun başlıca nedeni denklem(1) de görüldüğü gibi  $I_d$ 'nin sadece V nin bir fonksiyonu olmamasıdır. Bundan dolayı denklem(1) yerine kabul edilebilir doğruluğa sahip yaklaşık bir ifade kullanılmaktadır. PSPICE programında kullanılan yaklaşık diyot denklemi denklem(2) de görülmektedir.

### 3. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik Algoritmalar, performans kriteri ve bir popülasyon (çözüm kümesi) kullanarak global optimum değerini arayan paralel optimizasyon algoritmalarıdır. Genetik Algoritmalar karmaşık ve düzensiz çözüm kümelerinde kullanıldıklarında başarılı sonuçlar verirler. Farklı çeşitteki optimizasyon problemlerine uygulandıklarında başarılı sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, Genetik Algoritmalar çok boyutlu ve lineer olmayan optimizasyon problemlerinde de başarılı sonuçlar vermiştir. Tamsayı programlama, dinamik programlama, branch-and bound metodları gibi bileşik optimizasyon tabanlı diğer algoritmalar çokta fazla olmayan değişkenler için bile çalışma zamanı ve kullandıkları kaynaklar bakımından pahalıdır ve sadece sınırlı sayıdaki alternatiflerle başa çıkabilirler.

Algoritma, **popülasyon** denilen ve kromozomlarla temsil edilen bir **çözüm kümesiyle** başlar. Bir popülasyondaki çözümler alınarak yeni popülasyonlar oluşturulur. Bu yeni popülasyonların oluşturulmasında

yeni popülasyonların eskilerine nazaran daha iyi olacağı düşünülür. Yeni sonuçlar (offsprings, yavru döller) içinden uygunluk derecelerine göre seçilir. Ne kadar uygun olurlarsa o kadar iyi döller verme olasılığı vardır.

Bu olay bir şart sağlanıncaya, mesela popülasyon belli bir sayıya gelene kadar yada en iyi çözüm belli bir yere gelene kadar devam eder. [8]

### 4. GENETİK ALGORİTMALARIN YARI İLETKEN DİYODA AİT PARAMETRE ÇIKARIMINDA KULLANILMASI

Çözüm için ilk olarak rasgele bir çözüm kümesi oluşturulur. Uygunluk değeri (Fitness) bulunması için her bir çözüm seti diyot denkleminde yerine koyulur ve eşitliğin her iki tarafı arasındaki farkın mutlak değeri alınır. Bu aşamadan sonra bulunan sayılar uygunluk değerleridir (fitness value). Uygunluk değerinin yüksek olması en iyi kromozom olma ihtimalini arttırır. Ancak bu uygulamada en düşük uygunluk değeri, bu uygulamada uygunluk değeri olarak hata değeri alındığından, en iyi çözümdür.

Ebeveynlerin seçilmesi: Uygunluk değerlerine göre %33 oranında ebeveynler popülasyon içerisinde seçilmiştir. Ebeveyn listesinden iki birey alınarak rasgele belirlenmiş geçiş noktaları seçilmiş ve genlerin yerleri değiştirilerek yeni bireyler oluşturulmuştur. Bu uygulama her jenerasyonda tekrarlanmıştır. Mutasyon aşamasında Gaussian Distribution kullanılarak rasgele seçilmiş değerler eldeki değerlere eklenmiştir.

Ebeveynlerin tercih edilen uygunluk değerine sahip kromozomlara sahip olabilmeleri için öncelikle her kromozomun seçilme olasılığının hesaplanması gerekir. Bu iş için kullanılacak bir çözüm yolu, birden fazla uygunluk değerinin tersini almak ve buradan da yüzdelerin hesaplanmasıdır. Veya rasgele sayılar alarak da bu işi yapmak mümkündür.

$$u = (V + R.I_s) / V_{th} + \ln(R.I_s / V_{th})$$

$$i_1(u) = \begin{cases} \exp(u)[1 - \exp(u)], & u \leq u_0 \\ u + a \exp\left(\frac{u_0 - u}{b}\right) - \ln\left[\frac{u_0 - u}{2} + \sqrt{\left(\frac{u_0 - u}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2}\right], & u > u_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$u_0 = -2,303$$

$$a = 2,221$$

$$b = 6,804$$

$$c = 1,685$$

## 5. UYGULAMA VE DENEY

Bu çalışmada HP4155B parametre analizörü ile Fairchild'a ait 1N4001 diyoduna ait gerçek akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde 0V-0.8V aralığında 1mV luk adımlarla değer alınmıştır. Bu ölçümler için piyasadan alınan on adet Fairchild 1N4001 diyodu ile, üreticiden alınan beş adet test diyodu kullanılmıştır. Genetik algoritma ile yazılan program yardımıyla bu gerçek değerlerden 0.4V ile 0.8V aralığındaki 400 değer kullanılarak yeni bir  $I_S$  değeri hesaplanmıştır.  $I_S$  değerinin hesaplanması sırasında yapılan ölçümlerde ölçüm sonuçlarının birbirine yakın çıkması sebebiyle sadece bir diyoda ait ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Ayrıca PSPICE programı kullanılarak iki farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlardan ilkinde PSPICE programına ait Fairchild'in 1N4001 modeli, diğer simülasyonda ise bu çalışma sonucu Genetik Algoritma ile bulunan yeni  $I_S$  değeri kullanılarak değiştirilerek Fairchild'in 1N4001 modeli kullanılmıştır. Simülasyonları ölçümler ile doğru şekilde kıyaslayabilmek için simülasyonlarda da 0V-0.8V aralığında 1mV luk adımlar ile değer alınmıştır. Bu simülasyonlar neticesinde görülmüştür ki, bu çalışmada oluşturulan genetik algoritma yazılımı ile bulunan yeni  $I_S$  değerinin kullanıldığı model, gerçek ölçüm sonuçlarına daha yakın değerler vermektedir.

Yapılan yazılım uygulamasında diyot denklemi için verilen tüm  $(I_d, V_d)$  çiftleri için en az hatayı verecek  $I_S$  değeri bulunmak istenmektedir. Bu durumda, her bir kromozom olası bir  $I_S$  değerini temsil eder. Popülasyon ise rasgele seçilmiş kromozom setleridir. Genome olarak binary sayılar yerine real sayılar kullanılmıştır.

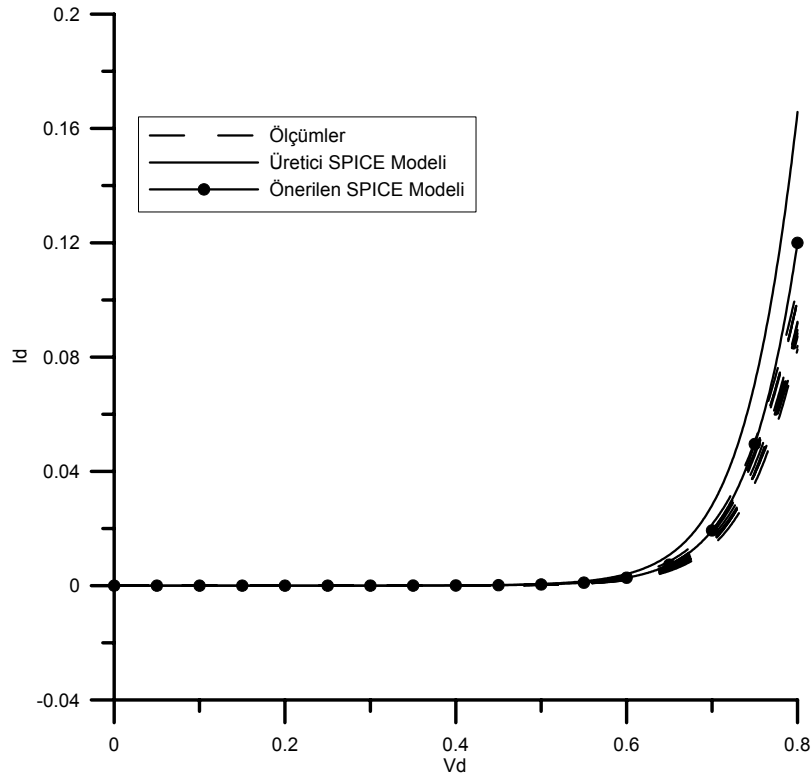
Elde edilen üç tip data (ölçüm, standart simülasyon ve genetik algoritma yazılımıyla hesaplanan  $I_S$  ile simülasyon) sonuçları değerlendirildiğinde, bu çalışmada hesaplanan  $I_S$  değeri kullanılarak yapılan simülasyon, ölçüm sonuçlarına daha yakın sonuç vermektedir. Bu üç tip datanın eğrileri grafik üzerinde şekil 2'deki gibi gösterilebilir.

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde ölçüm sonuçları ve simülasyonlar arasında aşağıdaki şekilde RMS hatalar olduğu gözlemlenmiştir.

Fairchild modeli ile yapılan simülasyonlarla ölçüm sonuçları arasındaki RMS hata: %0.63

Önerilen model ile yapılan simülasyonlarla ölçüm sonuçları arasındaki RMS hata: %0.06

Buradan da görülmektedir ki, önerilen model, ölçüm sonuçları ile yakınlık açısından üreticinin verdiği modelden daha doğru sonuç vermektedir.



Şekil.2 Sonuçların Karşılaştırılması

Hesaplamalar için kullanılan programın ekran görüntüsü Şekil.3 te verilmiştir. Bu program ekranında görünen bazı bölümlerin açıklamaları şu şekildedir:

**En Kötü Kromozom:** Bir popülasyondaki uygunluk değeri en küçük olan elemandır. En kötü kromozomlar diğer oluşturulacak kromozomlara yer açmak için popülasyondan silinirler. Uygunluk, genom ve made by başlıklarıyla en kötü kromozomun uygunluk değerinin ne olduğu, hangi genoma ait olduğu ve hangi evrede olduğu gözlemlenebilmektedir.

**En İyi Kromozom:** Bir popülasyondaki ortalama uygunluk değerinin daha fazla artmaması halinde, bu değer en iyi kromozom olduğuna karar verilir ve bu üretilen en iyi kromozom, arama indeksi içerisine şifresi çözümlenerek gönderilir. En iyi kromozomun uygunluk değeri, hangi genoma ait olduğu ve bu kromozomun hangi aşamadan sonra oluşturduğu programın kullanıcı arabiriminden takip edilebilmektedir. Ekran görüntüsünün en alt kısmında bulunan işleyiş grafiği sayesinde programın ilerlemesi gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir.



Şekil.3 Genetik Algoritma Uygulamasının Ekran Görüntüsü

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İletime geçme gerilimine kadar hem ölçüm sonuçları, hem de her iki simülasyon sonucu hemen hemen aynı değerleri vermektedir. İletime geçme geriliminde grafik üzerinde küçük ölçekte ayrılmalar başladığı görülebilir. Bu ayrılmalarda üreticinin SPICE modeli ile yapılan simülasyon ölçüm sonuçlarından uzaklaşmaktadır. Oysa önerilen yeni  $I_S$  değeri ile yapılan simülasyonun sonucu ölçüm değerleri ile uyumlu şekilde değerler vermiştir. Önerilen yeni  $I_S$  ile yapılan simülasyon sonucu her noktada üreticinin verdiği modelin simülasyon sonuçlarından daha doğru sonuçlar vermektedir. Buna karşın büküm noktasından sonra bu sonuçların da ölçüm sonuçlarından ayrılmaya başladığı gözlemlenebilir.

Unutulmamalıdır ki sadece bir parametre değişimi ile bu denli büyük bir değişim ve yaklaşım elde edilmiştir. Eğer çalışma sadece  $I_S$  değeri için yeni bir değer önermekle bırakılmayıp, diğer bazı parametreler için de benzer çalışmalar yapılırsa, simülasyon sonuçlarının her bölgede gerçek ölçüm sonuçlarına yaklaşması beklenebilir. Ayrıca önerilen yeni  $I_S$  değeri hesaplanırken hata payı çok düşük olduğundan hesaplama zamanını kısaltmak amacıyla sadece bir diyoda ait ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Ölçüm yapılan tüm diotların ölçüm sonuçları kullanılarak bir  $I_S$  değeri hesaplandığında, bu  $I_S$  ile yapılacak simülasyonun hata payının çok daha küçük olması beklenir. Ancak bu şekilde yapılacak hesaplama işlem zamanını önemli ölçüde artıracaktır. Bu konuda daha sonra çalışacak araştırmacılar burada elde edilen sonuçları değerlendirerek çalışmayı daha ileri götürebilir, birden fazla parametre ile daha net sonuçlar elde edebilirler.

## KAYNAKLAR

- [1] T.A. Fjeldly, B. Moon, M. Shur, "Approximate analytical solution of generalized diode equation," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 38, pp. 1976-1977, Aug. 1991.
- [2] M.T. Abuelma'Atti, "Improved approximate analytical solution for generalised diode equation," *Electronics Letters*, vol. 28, pp. 594-595, March 1992.
- [3] A. Ortiz-Conde, F.J. García Sánchez, "Approximate analytical expression for equation of ideal diode with series and shunt resistances," *Electronics Letters*, vol. 28, pp. 1964-1965, Oct. 1992.
- [4] J. Le Bihan, "Simple accurate analytical approximation for normalised diode characteristic," *1999 Symposium on High Performance Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications*, pp. 206-209, Nov. 1999.

- [5] J. Le Bihan, "Accurate approximate function for normalised diode characteristic," *8th IEEE International Symposium on High Performance Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications* , pp. 248-252, Nov. 2000.
- [6] T.C. Banwell, "Bipolar transistor circuit analysis using the Lambert W-function," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications* , vol. 47, pp. 1621-1633, Nov. 2000.
- [7] J.M. Pimbley, "Iterative solutions of the generalized diode equation," *IEEE Transactions on Electron Devices* , vol. 39, pp. 1268-1269, May 1992.
- [8] Pohlheim, H.: GEATbx: Genetic and Evolutionary Algorithm Toolbox for use with Matlab. <http://www.geatbx.com/>, 1995-2002
- [9] Muthuswamy, Bharathwaj "Diodes: Experiment Guide" Berkeley University, Spring 2004
- [10] Pavel Kostka and Zbynek Skvor: Scalable Parallel Optimisation Using Fast Messy Genetic Algorithm. In: Asia Pacific Microwave Conference proceedings, IEICE Kyoto 2002, pp. 309-312.