

Mathematical Modelling of the Bipolar Transistor using Artificial Neural Networks

Burhan Baraklı¹, Suayb Yener², Evren Arslan²

¹ Sakarya Üni. Fen Bil.Ens.. Esentepe Kampusu 54187 Sakarya

² Sakarya Üni. Müh. Fak. Elektrik Elektronik Müh. Esentepe Kampusu 54187 Sakarya

Abstract: Requirements for circuit simulation are increasing according to the development of system integration with many different functions. To assist the development, the most important modeling issue is to guarantee sufficient simulation accuracy and applicability for any advanced technology. For achieving this task it is inevitable to maintain a physically correct modeling of the real technology processes which govern the function of these BJT's, even in the circuit simulation model. Here the approaches to realize the outlined requirements are summarized.
Key words: BJT transistor, Yapay Sinir Agi, BJT Transistor Matematiksel Model.

Yapay Sinir Aglari ile Bipolar Transistorun Matematiksel Modelinin Olusturulmasi

Özet: Yapay Sinir Aglari (YSA), giris verilerinin yetersiz oldugu, mevcut verilerden hareketle bilinmeyen iliskilerin ortaya çikarilmasi ve algoritmasi veya kurallari tam olarak bilinmeyen durumlar için gelistirilmis bir bilgi isleme sistemidir. Bu çalismada, YSA mimarisi kullanilarak, bipolar transistorlara ait gerçek karakteristikler üzerinden belirlenen az sayıda veriyle transistora iliskin matematiksel model olusturulmustur. BJT transistorlara ait geçis karakteristigi verileri giris vektörü olarak aga sunulmus ve YSA'nin egitim islemi bu karakteristikler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Egitiminin ardından degisik transistorlara ait test girisleriyle YSA'nin öğrenme basarimi denenmis, degisik transistorlara ait modellerinin matematiksel olarak yüksek dogrulukta olusturuldugu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: BJT transistor, Yapay Sinir Agi, BJT Transistor Matematiksel Model.

1 Giriş

Yapay sinir aglari (YSA), insan beyнинin çalisma ilkelerinden ilham alinarak gelistirilmis, Yagirlikli baglantilar denilen tek yönlü iletisim kanallari vasitasi ile birbirleriyle haberlesen, her biri kendi hafizasina sahip birçok islem elemanindan (nöronlardan) olusan paralel ve dagitik bilgi isleme yapilaridir. YSA'lar gerçek dünyaya ait iliskileri taniyabilir, siniflandirma, kestirim ve islev uydurma gibi görevleri yerine getirebilirler.^{i,ii}

YSA'lar, agirliklendirilmis sekilde birbirlerine baglanmis birçok islem elemanlarından (nöronlar) olusan matematiksel sistemlerdir. Bir islem elemani, aslinda sik sik transfer fonksiyonu olarak anilan bir denklemdir. Bu islem elemani, diger nöronlardan sinyalleri alır; bunlari birlestirir, dönüştürür ve sayisal bir sonuç ortaya çikartir. Genelde, islem elemanlari kabaca gerçek nöronlara karsilik gelirler ve bir ag içinde birbirlerine baglanirlar; bu yapı da sinir aglarini olusturmaktadır.

YSA'lar gerçek hayatta karsilasilan problemlerde oldukça genis bir uygulama alanı kazanmışlardır. Uygulama alanlari için bir sinir yoktur fakat öngörü, modelleme ve siniflandirma gibi bazi alanlarda agirlikli olarak kullanılmaktadır. Bugün, YSA'lar bir çok ciddi problem

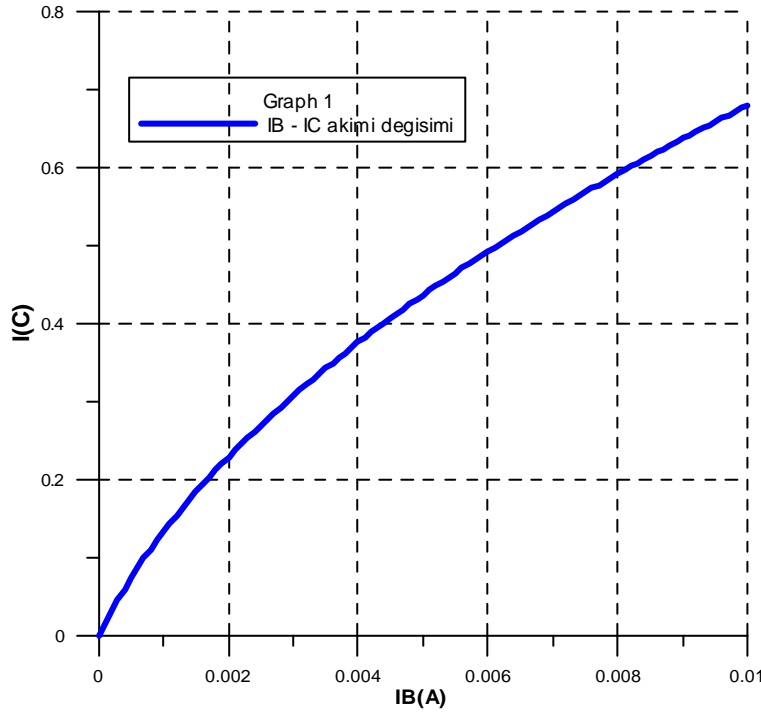
üzerinde uygulanmaktadır ve bu problemlerin sayısı giderek artmaktadır. Verideki trend veya yapıyı (pattern) en iyi tanımlayan yöntem olmaları dolayısıyla, tahmin (prediction) ve öngörü işlemleri için çok uygundurlar.ⁱⁱⁱ

YSA'ların en önemli özelliklerinden birisi gerçek hayattaki olası doğrusal olmayan yapıları da dikkate alabilmesidir. Doğrusal olmayan yapıları dikkate alabilme özelliği bu çalışmanın içeriği açısından da ayrıca önem taşımaktadır.^{iv}

YSA'lar yoğun bağlantılı ve komplike işlem yapıları nedeniyle çalışabilecekleri özel ortamlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden, YSA'lar, bu amaca yönelik olarak hazırlanmış özel yazılımlar ile bilgisayarlarda çalıştırılmaktadırlar.

2 Transistor Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Çalışma boyunca transistorun geçiş karakteristiginin çıkarılmasına yönelik ölçüm ve hesaplamalar BJT transistorleri üzerinden yapılmıştır.



Sekil-1 BJT Transistor Geçiş Öz Eğrisi

Tablo-1 BJT Transistor Geçiş Öz eğrisi Veri Örneği

Baz Akımı	Collector Akımı	4,00E-03	5,17E-01	*	*
0,00E+00	0,00E+00	4,10E-03	5,26E-01	6,60E-03	7,37E-01
1,00E-04	2,00E-02	4,20E-03	5,35E-01	6,70E-03	7,44E-01
2,00E-04	3,91E-02	4,30E-03	5,45E-01	6,80E-03	7,52E-01
3,00E-04	5,76E-02	4,40E-03	5,54E-01	6,90E-03	7,59E-01
4,00E-04	7,54E-02	4,50E-03	5,63E-01	*	*
*	*	4,60E-03	5,72E-01	*	*
*	*	*	*	9,70E-03	9,54E-01

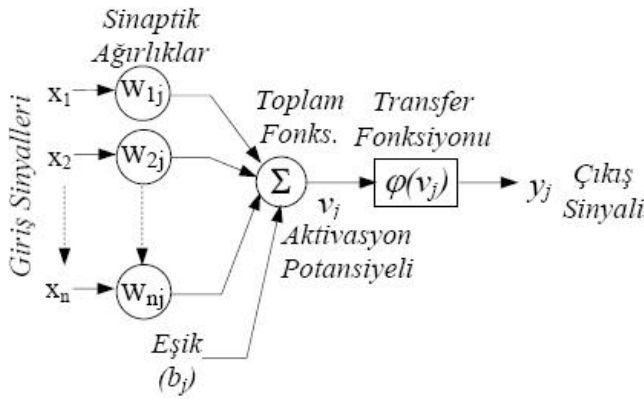
3 Yapay Sinir Aglari Mimarisiyle Olusturulan Transistor Modeli

Yapay Sinir Agi

Yapay sinir aglari (YSA), insan beynindeki nöronların meydana getirdiği ve öğrenme işlemini gerçekleştiren paralel ağ yapısını taklit ederek, bu sisteme benzeyen zeki programlar tasarlamayı hedefleyen bir yöntemdir. YSA yöntemi, modelleme, simülasyon, öğrenme, tanımlama ve tahmin yapma gibi bir çok uygulama alanında başarı ile kullanılmaktadır.

Bir nöron (sinir hücresi), *dendrit* ve *akson* ismi verilen iki ana kısımdan oluşur. Dendrit, bir nöron ile diğerinin bağlantısını gerçekleştiren kısımdır ve farklı nöronların dendritlerini birbirlerine bağlayan bölgelere *sinaps* denir.

Sekil 4'te yapay bir nöron yapısı verilmektedir (Haykin, 1999).



Sekil-2 Sinir Agi

Yapay nöron, diğer nöronlardan gelen iletileri (ağırlıklar ile giriş sinyallerinin çarpımı) toplar, bir eşik değeri ile karşılaştırarak aktivasyon potansiyelini hesaplar ve bu potansiyeli transfer fonksiyonundan geçirerek çıkış sinyali üretir. Bunun fonksiyonel ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

$$y_k = F(v_j) = F\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij} - b_j\right) \quad (1)$$

burada, x_i giriş sinyalini, w_{ij} sinaptik ağırlığı, b_j kutuplama değerini (eşik değerinin negatif saretlisi), v_j aktivasyon potansiyelini, y_k çıkış sinyalini, n önceki katmandaki (giriş sinyali gönderen) nöron sayısını ve k ise işlem yapılan nöronun kaçınıcı nöron olduğunu belirtmektedir.

Önerilen YSA modeli

Modellerde ağ tipi olarak, ileri beslemeli geri yayımlı çok-katmanlı perseptron, öğrenme algoritması için ise, genelleştirilmiş delta öğrenme kuralı seçilmiştir. YSA ile ilgili eğitime ve deneme işlemleri MATLAB paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ağ bağlantıları, *tam bağlı* olarak belirlenmiştir ve enerji fonksiyonu olarak, *hataların karelerinin ortalaması (MSE)*

fonksiyonu kullanılmıstır. Bu fonksiyonun ifadesi asagıdaki gibidir:

$$MSE = \frac{1}{mN} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^m (y_j^k - t_j^k)^2 \quad (2)$$

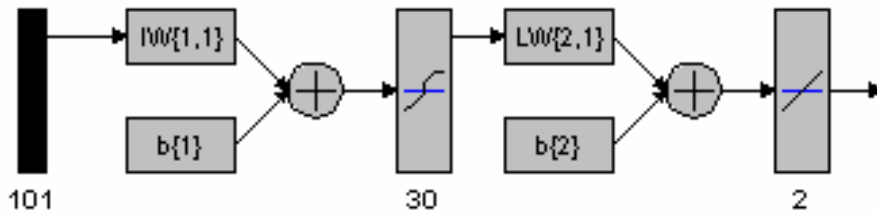
burada, m, çıkıs katmanındaki nöron sayısını; N, eğitim örnekleri sayısını temsil etmektedir. Bu alısmada, transfer fonksiyonu olarak “*tanjant sigmoid*” fonksiyonu seçilmiştir. Modellerde, tanjant sigmoid fonksiyonu tercih edildiği için, eğitim ve deneme veri kümeleri [0,1] aralığına normalize edilmistir. Normalizasyon yapılmasının sebebi, bu transfer fonksiyonunun [0,1000mA] aralığındaki giris verileri için ayırt edilebilir çıktılar üretebilmesidir. Bu aralığın disındaki girisler için, esit çıktılar (0 veya 1) elde edilmektedir ve işlem yapılan nöronun yakınsaması imkansız hale gelmektedir (Demuth ve Beale, 2000; Flood ve Kartam, 1998; Pearl, 1988). Normalizasyon işlemi, asagıdaki esitlik ile gerekleştirelmistir:

$$X_{yeni} = \frac{X - x_{min}}{x_{maks} - x_{min}} \quad (3)$$

burada, X_{yeni} normalize edilmiş değeri, X ilk değeri, x_{maks} maksimum değeri, x_{min} minimum değeri ifade etmektedir.

Yapay Sinir Ađinin Eğitilmesi

20 adet farklı transistor üzerinden alınan geçis öz eğrilerinden, 101 girisli 2 ıkıslı bir eğitim verisi kullanılmıstır. Bu 101 giris transistorun kollektor akımı ve 2 çıkıs ise transistorun eğri uydurma ile ilgili olacak belirlenen iki noktadır.



Sekil-3 Giris çıkıs ve Ara Katmanlar.

Eğitim algoritması olarak denenilen traindg, traindgm, trainscg lerden en iyi sonucu veren trainscg kullanılmıstır. Bu fonksiyonda iterasyon sayısı fazladır ve iyi bir sonuca ulasmak için 30 ara katman kullanılmıstır.

4 Eğri Uydurma

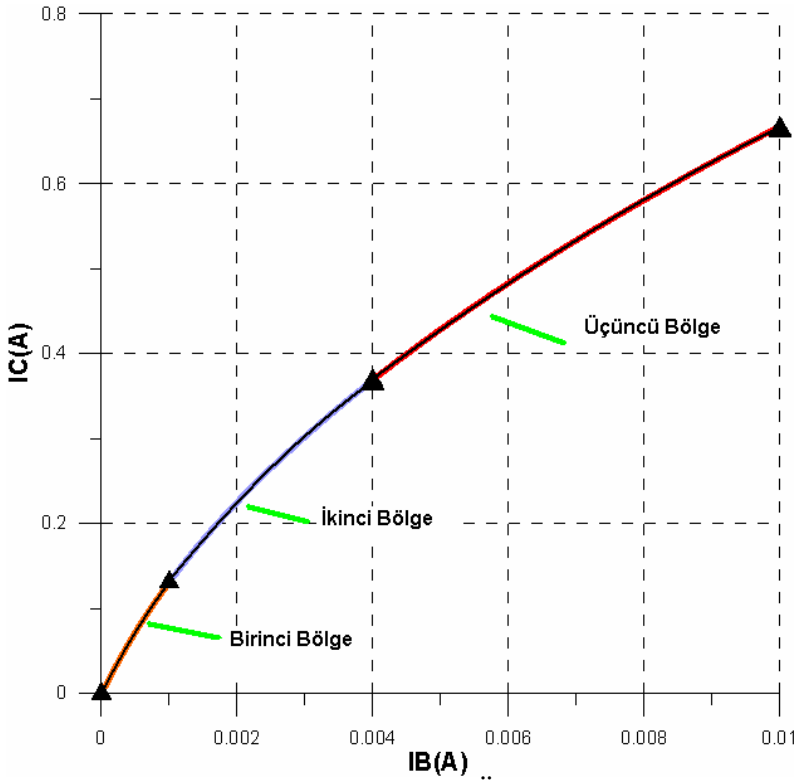
İki noktayla ayrılan üç farklı eğri bölgesine ait matematiksel tanımlı eğri uydurulması (curve fitting) ile istediğimiz modelin çok yüksek doğrulukta oluşturulabildiği görülmüştür. Bu matematiksel tanımlar sırasıyla 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge olmak üzere;^v

$$I_C = -0.00018272 + 157.533 * I_B - 26590.903 * I_B^2$$

$$I_C = 0.02700283269 + 112.433895 * I_B - 6810.408 * I_B^2$$

$$I_C = 0.105167224 + 73.10649434 * I_B - 1698.427921 * I_B^2$$

denklemlerini sağlar.



Sekil-4 BJT Transistor Geçiş ÖZ Eğrisi

5 Sonuç

Sonuç olarak, yapay sinir ağları, algoritmaları tam olarak çıkarılamayan problemler için, çözüm sağlayan yeni ve güvenli bir bilgi işleme sistemi olabilmektedir. Yapılan çalışma bu durum için uygun bir örnek durumundadır.

Yariiletken elemanların modellenmesinde YSA mimarisinin kullanılması ve başarılı sonuçlar elde edilmesi, bu tür yapı ve elemanların modellenmesinde kullanılacak benzetim programlarının tasarlanmasında yeni olanaklar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR:

ⁱ ELMAS, Ç., Yapay Sinir Ağları, SeçkinYayınevi, Ankara, 2003

ⁱⁱ ERDEM, O.A., UZUN E., Yapay Sinir Ağları ile Türkçe Times New Roman, Arial ve Elyazisi Karakterleri Tanıma, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 1, 2005

ⁱⁱⁱ YURTOĞLU, H., Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi, Subat 2005

^{iv} BOX, G.E.P., JENKINS, G. (1970), "Distribution of Residual Autocorrelations in Autoregressive Integrated Moving Average Models", Journal of American Statistics Association, 65, 1509-1526.

^v YENER S., DÜZENLİ G., "PSPICE'a Ait BJT Modelinin Gelistirilmesine Yönelik Yeni Bir Yöntem", ELECO'2004: Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bildiri Kitabı (Elektronik-Bilgisayar), 8-12 Aralık 2004, Bursa.