

Yapay Sinir Ağları ile Eş Düzlemli Silindirik Dalga Kılavuzlarının Quasi-Statik Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Celal Yıldız, Şeref Sağıroğlu*, Mustafa Türkmen, Oytun Saraçoğlu**

Erciyes Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
Melikgazi, Kayseri

yildizc@erciyes.edu.tr, turkmen@erciyes.edu.tr,

*Erciyes Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Melikgazi, Kayseri
ss@erciyes.edu.tr

**Erciyes Üniversitesi
Kayseri MYO Endüstriyel Elektronik Bölümü
Melikgazi, Kayseri
saraco@erciyes.edu.tr

Özet: MMIC teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan iletim hatlarının birçok çeşidinden biri olan eş düzlemli silindirik dalga kılavuzlarının (EDSDK) quasi-statik analizleri konform dönüşüm tekniği (KDT) kullanılarak yapılabilmektedir. Ancak KDT ile yapılan analizlerde yapının karakteristik parametrelerini veren kapalı formdaki ifadelerin, belirli yaklaşımlarla çözülebilen eliptik integraller içermesi bu yöntemin dezavantajıdır. Bu nedenle doğru bir tasarım için hata oranı oldukça düşük olan modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, EDSK'ların karakteristik empedansı ve efektif dielektrik sabiti iki farklı Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli ile hesaplanmıştır. YSA yapısı olarak çok katlı perseptronlar kullanılmış olup, bu yapı Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması ile eğitilmiştir.

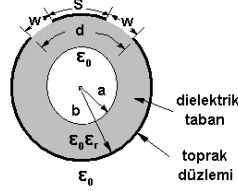
1. Giriş

Düzlemsel iletim hatlarının yanı sıra, silindirik iletim hatlarının da bir çok araştırmacı tarafından tasarlanması ve aynı zamanda bu yapıların pratikte yaygın bir şekilde kullanılması, silindirik iletim hatları üzerine yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Silindirik tabanlı eş düzlemli dalga kılavuzlarının, antenler, sensörler ve kablosuz haberleşmede yaygın şekilde kullanımı bu tür yapılara olan ilgiyi artırmıştır ve son zamanlarda bir çok araştırmacı tarafından analizleri gerçekleştirilmiştir [1-4]. Ancak yapılan bu analizlerde; frekans bağımlı tam dalga analizleri veya konform dönüşüm tekniği (KDT) gibi quasi-statik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak her iki yaklaşımla yapılan analizlerinde bazı dezavantajları mevcuttur. Frekans bağımlı çözümlerde yapıların karakteristik parametrelerinin hesaplanmasında işlem süresinin uzun olması ve güçlü bir teorik bilgi birikimi gereksinimi, KDT ile yapılan analizlerde ise yapının karakteristik parametrelerini veren kapalı formdaki ifadelerin belirli yaklaşımlarla çözülebilen eliptik integraller içermesi dezavantajlar olarak karşımıza çıkmaktadır. YSA'ların probleme özel basit yapıları, öğrenme ve genelleme yapabilme kabiliyetleri, paralel işlem yapabilmelerinden dolayı hızlı hesaplama yapabilmeleri, lineer olmayan farklı problemlere kolay çözümler sunabilmelerinden dolayı birçok mühendislik probleminin çözümünün yanı sıra, birçok mikrodalga ve elektromagnetik problemlerin çözümünde de yeni bir alternatif olarak son yıllarda yaygın şekilde kullanılmaktadır [5-8]. Bu çalışmada, YSA'ların bu cazip özelliklerinden faydalanılarak, silindirik tek bir dielektrik tabanın dış yüzeyine bir merkez iletken ve bu merkez iletkene eşit uzaklıklarda iki toprak düzlemin yerleştirilmesiyle oluşturulan EDSK'nın hem efektif dielektrik sabiti, hem de karakteristik empedansı YSA'lar ile ayrı ayrı modellenmiş ve bu modellerden elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olan KDT sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu YSA modelleri önceden bilinen giriş ve çıkış değerlerinin uygulanmasıyla eğitilir, sonra tasarlanmak istenilen dalga kılavuzunun geometrik boyutlarının ve kullanılacak olan dielektrik malzemenin bağlı dielektrik sabiti bu modellere giriş olarak uygulanıp tasarlanacak olan hattın karakteristik parametreleri elde edilebilir.

2. EDSK'ların Quasi-Statik Analizlerinin KDT İle Gerçekleştirilmesi

EDSK'lar toprak düzleminin yerleşimine bağlı olarak iç ve dış EDSK olmak üzere iki farklı yapıda tasarlanabilirler. Quasi-TEM yaklaşımı ile analizi yapılacak olan dış EDSK'ın geometrik yapısı Şekil 1.'de

görülmektedir. Burada S merkez iletkenin genişliğini, w yarı genişliklerini, d merkez iletken ile yarı genişlikleri toplamını, a iç yarı çapı, b dış yarı çapı ve ϵ_r ise taban malzemesinin bağıl dielektrik sabitini göstermektedir. Quasi-TEM yaklaşımında, bu tür dalga kılavuzlarının karakteristik parametreleri olan efektif dielektrik sabitleri ve karakteristik empedansları dalga kılavuzlarının birim uzunluk başına kapasitesine bağlı olarak hesaplanabilir.



Şekil 1. Dış silindirik eş düzlemlı dalga kılavuzu

Bu amaçla belirtilen yapının bir takım düzlem dönüşümleri ile paralel levhali kondansatör haline dönüştürülmesi sonucunda birim uzunluk başına toplam kapasite değeri, kısmi kapasitelerin toplamı olarak $C=C_a+C_s$ ile belirlenebilir [2]. Burada C_a kapasitesi ve bu ifadedeki k_1 ve k_1' terimleri;

$$C_a = 4 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{K(k_1)}{K(k_1')}, \quad k_1 = \frac{S}{S+2w} \cdot \sqrt{\frac{1-(S+2w)^2/4\pi^2b^2}{1-S^2/4\pi^2b^2}} \quad \text{ve} \quad k_1' = \sqrt{1-k_1^2} \quad (1.a.,b.,c.)$$

olarak verilirken, C_s kapasitesi ve bu ifadedeki k_2 ile k_2' terimleri ise;

$$C_s = 2 \cdot \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \cdot \frac{K(k_2)}{K(k_2')}, \quad k_2 = \sqrt{1-k_1'^2} \quad (2.a.,b.)$$

$$k_2 = \frac{\sinh(AS)}{\sinh(A(S+2w))} \cdot \sqrt{\frac{1-\sinh^2(S+2w)/\sinh^2(2A\pi b)}{1-\sinh^2(AS)/\sinh^2(2A\pi b)}}, \quad A = \frac{\pi}{4b \ln(b/a)} \quad (3.a.,b.)$$

olarak verilir. Buradan da efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedans Z_0 aşağıdaki eşitliklerle verilir.

$$\epsilon_{eff} = \frac{C}{C_a} = 1 + \frac{C_s}{C_a} \quad \text{ve} \quad Z_0 = \frac{120\pi \cdot \epsilon_0}{C_a \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \frac{K(k_1')}{K(k_1)} \quad (4.a.,b.)$$

Burada $K(k_1)$, $K(k_1')$, $K(k_2)$ ve $K(k_2')$ birinci tür tam eliptik integralleri göstermektedir. İç EDSDK ya ilişkin karakteristik parametrelerinin bulunması için, yukarıdaki ifadelerde a iç yarıçap ile b dış yarıçap terimlerinin yer değiştirmesi yeterli olacaktır.

3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağlarının birçok farklı yapısı mevcuttur [9]. Çok katlı perseptronlar (ÇKP), birçok alanda uygulanmış olan bir YSA yapısıdır [10]. Genel olarak bir ÇKP-YSA yapısında giriş katındaki nöronlar tampon gibi davranırlar ve x_i giriş sinyalini ara kattaki nöronlara dağıtırlar. Ara kattaki her bir nöron j 'nin çıkışı, kendine gelen bütün giriş sinyalleri x_i 'leri takip eden bağlantı ağırlıkları w_{ji} ile çarpımlarının toplanması ile elde edilir. Elde edilen bu toplam, bir fonksiyondan geçirilerek çıkış elde edilir. Burada kullanılacak fonksiyon basit bir eşik fonksiyonu, bir sigmoid veya hiperbolik tanjant fonksiyonu olabilir. Diğer katlardaki nöronların çıkışları da aynı şekilde hesaplanır. Bu çalışmada, ÇKP'lere giriş olarak yapıların geometrik boyutları ve bağıl dielektrik sabitleri, çıkış olarak ta efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans değerleri uygulanmıştır. ÇKP'leri eğitmek için bir çok öğrenme algoritması kullanılabilir [9]. Bu çalışmada Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması (LMA) kullanılmıştır [10]. Temel olarak LMA, maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir hesaplama metodu olup Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşmuştur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. E(w) nin bir amaç hata fonksiyonu olduğu düşünülürse m tane hata terimi için $e_i^2(w)$ aşağıda verilmiştir.

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (5.)$$

Bu eşitlikte $e_i(w) \equiv (y_i^{(i)} - y_i)$ dir. LMA'da hedef, parametre vektörü w 'nın, $E(w)$ 'nin minimum iken bulunmasıdır. LMA'nın kullanılmasıyla yeni ağırlık vektörü w_{k+1} bir önceki ağırlık vektörü w_k 'dan hesaplanır. Ağırlıklar

$$w_{k+1} = w_k - (J_k^T f(w_k))(J_k^T J_k + \lambda I)^{-1} \quad (6.)$$

ile güncelleştirilir. Bu eşitlikte, J f 'nin w_k ağırlığında Jakobiyeni, λ Marquardt parametresi ve I ise birim matristir. Sonuçların elde edilmesi öğretim işlemine ağırlık dizisi w 'ya bir başlangıç değerinin atanması ile başlar ve hataların kareleri toplamı e_i^2 'nin hesaplanmasıyla devam eder. İşlemler bütün veri seti için istenilen hata değerine ulaşıncaya kadar tekrar tekrar uygulanır.

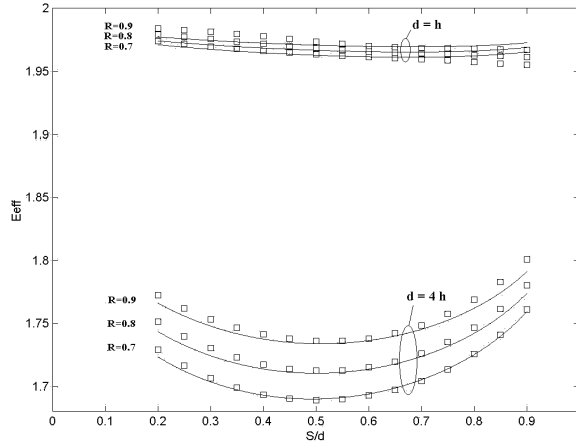
4. YSA'nın Eş Düzlemlili Silindirik Dalga Kılavuzlarına Uygulanması

YSA'nın bu probleme uygulanmasındaki asıl amaç daha önceki metotlara nazaran daha basit ve daha yüksek performanslı bir model oluşturmaktır. YSA ile oluşturulan modelin eğitimi sırasında kullanılacak olan veri setinin tamamen deneysel verilerden oluşması halinde hem quasi-statik analizin hem de YSA modelinin hangi hata oranlarıyla sonuca ulaştığı ortaya konulabilir. Ancak böyle bir deneysel veri setinin oluşturulması ekonomik olmayacağı için literatürde yaygın olarak kabul görmekte olan KDT ile oluşturulan bir veri seti bu çalışmada eğitim amaçlı olarak kullanılmıştır. Oluşturulan modelde giriş katı, bir arakat ve bir çıkış katından oluşan ÇKP-YSA yapısı kullanılmıştır. EDSK'nın hem efektif dielektrik sabiti, hem de karakteristik empedansı YSA ile ayrı ayrı modellenmiş ve her bir model 5 giriş ve 1 çıkıştan oluşmuştur. YSA modeline, tasarımda kullanılacak olan malzemenin bağıl dielektrik sabiti ϵ_r ve yapının geometrik boyutları giriş olarak uygulanmıştır. Geometrik boyutlar; dielektrik tabanın kalınlığı h , eğrilik yarıçapı $R=a/b$, yarı genişlikleri ve merkez iletkenin genişliği toplamı d , ve merkez iletken genişliği S 'in d 'ye oranını veren S/d terimleridir. YSA'nın eğitim aralığı belirlenirken ϵ_r için 2.1'den 2 artım değeri ile 11.1'e kadar olan değerler, S/d için 0.15 ila 0.95 aralığında 0.1 artım aralığı ile, R eğrilik yarıçapı için yine 0.1 artım aralığı ile 0.75 ila 0.95 arası değerler, d için 0.75h artım aralığı ile 0.75h'tan 5.25h'a kadar, h içinse 1mm ile 10mm arasında 1mm'lik artım aralığındaki değerler kullanılmıştır. Test işleminde ise, karşılaştırma yapılabilmesi için tamamen Su ve Wong'un kullanmış olduğu geometrik boyutlar tercih edilmiştir [2]. YSA ile oluşturulan her bir modelde 10 nöron ara katmanda olmak üzere toplam 16 nörondan oluşan bir yapı meydana getirilmiştir. Modelin eğitimi için 15120 adet veriden oluşan bir eğitim seti seçilerek, Daha geniş bir spektrum da analiz yapılmaya çalışılmıştır. Test sırasında ise 1278 adet veriden oluşan bir test seti kullanılmıştır.

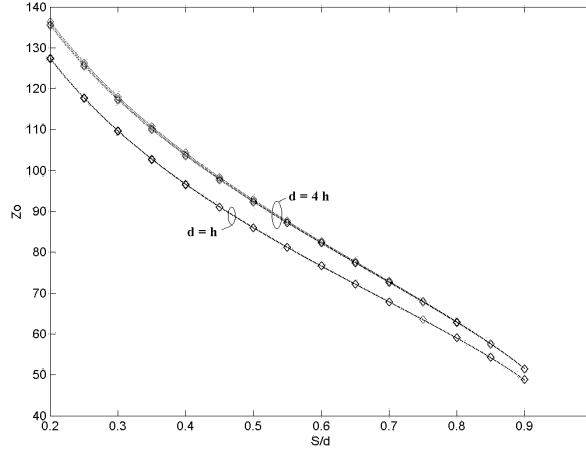
5. Sonuçlar

MMIC teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan iletim hatlarının birçok çeşidinden biri olan EDSK'ların karakteristik parametrelerinin hesaplanması için literatürde farklı metotlar mevcuttur. Bu metotlardan, frekans bağımlı tüm dalga analizleri veya KDT quasi-statik yaklaşımı sıkça kullanılmaktadır. Ancak frekans bağımlı çözümlerle yapılan analizlerde yapıların karakteristik parametrelerinin hesaplanmasında işlem süresinin uzun olması ve güçlü bir teorik bilgi birikimi gereksinimi, KDT ile yapılan analizlerde ise yapının karakteristik parametrelerini veren kapalı formdaki ifadelerin belirli yaklaşımlarla çözülebilen eliptik integraller içermesi gibi dezavantajlar mevcuttur. Bu nedenle hata oranı oldukça düşük olan yeni modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, YSA ile EDSK'ların quasi-statik analizleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Quasi-statik çözüm için literatürde mevcut metotlardan KDT'yi kullanarak yapılan analiz sonuçları ile YSA modellerinden elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların yorumlanması hataların kareleri ortalaması ile yapılmıştır ve eğitim sonucundaki değeri 4.569×10^{-5} , test sonucundaki değeri ise 1.987×10^{-5} olarak tespit edilmiştir. Efektif dielektrik sabiti için uygulanan yöntem Z_0 karakteristik empedansı içinde uygulanarak eğitim ve test hataları sırası ile 9.93×10^{-6} ve 6.86×10^{-6} olarak elde edilmiştir. Efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans için YSA modeli ile elde edilen sonuçların KDT ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığı grafikler sırası ile Şekil 2. ve Şekil 3.'te verilmiştir. Bu sonuçlardan, YSA'ların klasik yaklaşımlara göre alternatif yeni bir yaklaşım olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} , \square YSA, -.- KDT



Şekil 3. Karakteristik empedans Z_0 , \diamond YSA, -.- KDT

Kaynaklar

- [1]. Su H. C. ve Wong K. L. "Full-wave Analysis of the effective relative permittivity of a coplanar waveguide printed inside a cylindrical substrate", Microwave and Opt. Tech. Let. Vol.12, No.4, sf. 94-97, 1996.
- [2]. Su H. C. ve Wong K. L. "Quasi-static Solutions of Cylindrical Coplanar Waveguides", Microwave and Opt. Tech. Let. Vol.14, No.6, sf. 347-351, 1997.
- [3]. Dib N., Weller T., Scardelletti M. ve Imparato M., "Analysis of cylindrical transmission lines with the finite difference time domain method", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 47, sf. 509-512, 1997.
- [4]. Dib N. ve Al-Zoubi A., "Quasi-static Analysis of Asymmetric Cylindrical Coplanar Waveguides with Finite-Extent Ground", Int. J. Electronics, Vol.87, No.2, sf. 185-198, 2000.
- [5]. Watson D.M., ve Gupta K.C., "Design and optimization of CPW circuits using EM-ANN Models for CPW components", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT-45, sf. 2515-2523, 1997.
- [6]. Wang F., Devabhaktuni V.K. ve Zhang Q.J., "A hierarchical neural network approach to the development of a library of neural models for microwave design", IEEE Trans. M. T. Tech., vol.MTT-46, sf. 2391-2403, 1998.
- [7]. Sağiroğlu Ş., Güney K., ve Erler M., "Resonant frequency calculation for circular microstrip antennas using artificial neural networks", Int.J.RF.Microw.C.E., vol.8, sf. 270-277, 1998.
- [8]. Günel T., "Combination of artificial neural network model with genetic algorithm for the synthesis of microstrip radial stub", AEÜ. Int.Jour. Elec. Com., vol.54, sf. 241-243, 2000.
- [9]. S. Haykin, "Neural Networks: A comprehensive Foundation", New York, USA, Macmillan College Publishing Comp., ISBN 0-0235-2761-7, 1994.
- [10]. D. T. Pham ve Ş Sagiroglu, "Three methods of training multi-layer perceptrons to model a robot sensor", Int. J. of Robotica, Vol.13, sf. 531-538, 1995.