

İki Katmanlı Dielektrik Tabana Sahip Alt ve Üst Korunmalı Eş Düzlemli Dalga Kılavuzlarının Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Mustafa Türkmen, Sabri Kaya, Celal Yıldız
Erciyes Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
Melikgazi, Kayseri

turkmen@erciyes.edu.tr, skaya@ieee.org, yildizc@erciyes.edu.tr

Özet: İki katmanlı dielektrik tabana sahip alt ve üst korunmalı eş düzlemli dalga kılavuzları (AÜKEDDK) Mikrodalga Entegre Devreleri (MED) teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan iletim hatlarının farklı geometrik yapıda ki bir konfigürasyonudur. İki dielektrik tabanın kullanılmasındaki amaç temel frekans bölgesinin kontrol edilmesi ve kaçak alanların önlenilmesidir. Bu çalışmada, iki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'ların karakteristik parametreleri tek bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli ile hesaplanmıştır. YSA yapısı dört farklı öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmiş ve algoritma performansları değerlendirilmiştir. YSA modelinden elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut olan diğer yöntemlerle karşılaştırılmış ve çok iyi bir uyum içerisinde oldukları görülmüştür. Bu model, uygun giriş parametrelerinin seçilmesiyle altı farklı EDDK'nın analizleri için kullanılabilir.

1. Giriş

Eş Düzlemli Dalga Kılavuzları (EDDK), geçmişte radar ve haberleşme sistemlerinde kullanılan manyetik devre elemanlarının ve daha sonra geliştirilen şerit ve mikro şerit iletim hatların yerini almıştır [1]. Gelişen teknolojiyle birlikte farklı geometrik boyutlarda da üretimi gerçekleştirilmiş olan bu iletim hatlarının kullanımı yaygınlaşarak devam etmektedir. Pratikte çok katmanlı dielektrik tabanların kullanımı yaygındır ve entegre devrelerde, iletim elemanları dielektrik katmanlar arasına yada bir veya daha fazla katmandan oluşan dielektrik tabanın üzerine yerleştirilmektedirler. Uygun dielektrik tabanların kullanılmasıyla temel frekans bölgesinin kontrol edilmesi ve kaçak alanların önlenilmesi çok katmanlı yapıların avantajıdır. Ayrıca paket halinde üretilmekte olan MED'lerin içinde metal duvarlar alt ve üst kısımlarda kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu tip elemanlarla olan bağlantı kolaylıkları nedeniyle alt ve üst korunmalı elemanların kullanımları MED'ler için bir avantaj teşkil etmektedir [2]. İletim hatlarının analizinde kullanılan yöntemlerin temel amacı, yapının karakteristik parametreleri olan, karakteristik empedansı ve efektif dielektrik sabitlerinin belirlenmesidir. Bu yöntemler frekans bağımlı tam dalga analizleri [3] ve Konform Dönüşüm Tekniği (KDT) gibi quasi-statik yaklaşımlar kullanılmaktadır [4]. Ancak, her iki yaklaşımla yapılan analizlerin de bazı dezavantajları mevcuttur. Bu nedenle hata oranı düşük olan modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapay Sinir Ağları (YSA) probleme özel basit yapıları, öğrenme, genelleme ve paralel işlem yapabilme kabiliyetlerinden ve lineer olmayan farklı problemlere kolay çözümler sunabilmelerinden dolayı birçok mühendislik probleminin yanı sıra, mikrodalga ve elektromanyetik problemlerin çözümünde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [5]. Bu çalışmada, iki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'ların karakteristik empedansları ve efektif dielektrik sabitleri tek bir YSA modeli ile hesaplanmıştır. YSA yapısı dört farklı öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmiş ve algoritma performansları değerlendirilmiştir. YSA modelinden elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut olan Spektral Domen Analizi (SDA) [3] ve KDT [4] sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve çok iyi bir uyum içerisinde oldukları görülmüştür. Sunulan YSA modeli iki katmanlı dielektrik taban sahip AÜKEDDK'ların analizleri yanı sıra giriş parametrelerinin uygun bir şekilde seçilmesiyle beş farklı geometrik yapıdaki EDDK'nın analizleri için de kullanılabilir.

2. İki Katmanlı Dielektrik Tabana Sahip AÜKEDDK'ların Quasi-Statik Analizleri

Şekil 1'de kesit görünümü verilmiş olan iki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'larda ϵ_{r2} ve ϵ_{r1} sırasıyla birinci ve ikinci katmanların bağıl dielektrik sabitini, g yarık genişliğini, S merkez iletken genişliğini, d yarıklar ve merkez iletken genişlikleri toplamını ve t metal şerit kalınlığını göstermektedir. Bu iletim hatlarının quasi-statik analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için yapı Gevorgian ve ark.'nın [4]'te tarif ettiği gibi bir takım düzlem dönüşümleri ile paralel plakalı kondansatör haline dönüştürülerek, kısmi kapasite değerleri belirlenir. Bu kapasite değerlerinin kullanılmasıyla da yapının efektif dielektrik sabiti (ϵ_{eff}) ve karakteristik empedansı (Z_0);

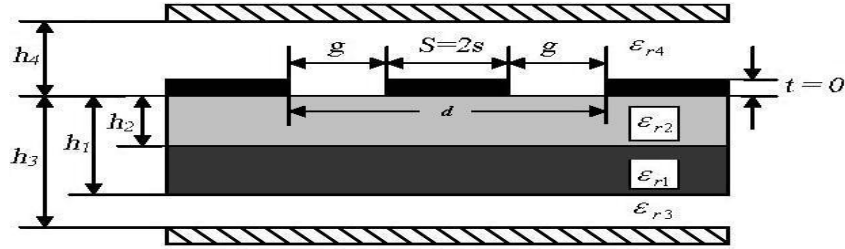
$$\epsilon_{eff} = 1 + q_1 (\epsilon_{r1} - 1) + q_2 (\epsilon_{r2} - 1) \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{60 \cdot \pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \left[\frac{K(k_3)}{K(k_3')} + \frac{K(k_4)}{K(k_4')} \right]^{-1} \quad (2)$$

şeklinde elde edilir [4]. Buradaki q_1 ve q_2 kısmi doldurma faktörleridir ve bunlar;

$$q_i = \frac{K(k_i)}{K(k_i')} \cdot \left[\frac{K(k_3)}{K(k_3')} + \frac{K(k_4)}{K(k_4')} \right]^{-1}, \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

ile verilmektedir. Bu ifadelerdeki her bir $K(k_i)$ ve $K(k_i')$ terimi ise birinci dereceden tam eliptik integralleri gösterirken, k_i ve k_i' terimleri ise bu eliptik integrallerin modüllerini göstermekte olup, yapının geometrik boyutlarına bağlı tanım ifadeleri [4]'te verilmiştir.



Şekil 1. İki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'nın kesit görünümü

3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağlarının bir çok farklı yapısı mevcuttur [5]. Çok katlı perseptronlar (ÇKP), bir çok alana uygulanmış olan bir YSA yapısıdır. 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, y_j 'nin toplam bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. 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'ye giriş olarak yapıların geometrik boyutları ve bağlı dielektrik sabitleri, çıkış olarak ta efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans değerleri uygulanmıştır.

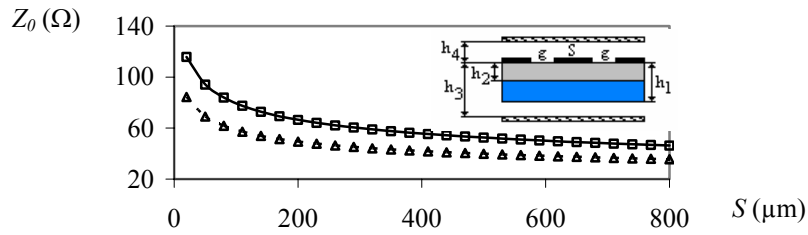
4. YSA'nın İki Katmanlı Dielektrik Tabana Sahip AÜKEDDK'lara Uygulanması

İki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'ların karakteristik parametrelerinin YSA ile belirlenmesi için oluşturulan model sekiz giriş ve iki çıkıştan oluşmaktadır. YSA modeline tasarımda kullanılacak olan taban malzemelerinin bağlı dielektrik sabitleri ϵ_{r1} , ϵ_{r2} ve yapının geometrik boyutları ile ilgili parametreler olan h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , S ve d giriş olarak uygulanırken, yapının efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} ve karakteristik empedansı Z_0 çıkış olarak uygulanmıştır. Bu modelde uygun geometrik boyutların giriş olarak uygulanması ile farklı EDDK yapılarının analizleri de gerçekleştirilebilmektedir. Bu yapılar; iki katmanlı dielektrik tabana sahip iletken destekli üst korumalı EDDK, alt korumalı EDDK, geleneksel EDDK, AÜKEDDK ve dielektrik taban destekli EDDK'lardır. İki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'lar için sunulan YSA modelinin eğitimi için, [4]'te verilen ifadeler kullanılarak elde edilen 3669 adet veriden oluşan bir eğitim seti, test işlemi için ise, [3] ve [4]'ten elde edilen 2600 adet veriden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Eğitim setindeki giriş parametreleri $1 \leq \epsilon_{r1} \leq 10$, $2.25 \leq \epsilon_{r2} \leq 20$, $50 \mu\text{m} \leq h_1 \leq 635 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m} \leq h_2 \leq 500 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m} \leq h_3 \leq 1000 \mu\text{m}$, $200 \mu\text{m} \leq h_4 \leq 15000 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m} \leq S \leq 400 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m} \leq g \leq 800 \mu\text{m}$ ve $0.05 \leq S/d \leq 0.95$ arasında değişen değerler için belirlenmiştir. Ayrıca eğitim setinde alt ve üst korumalı EDDK'ların bazı özel konfigürasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla h_1 , h_3 ve/veya h_4 uzunlukları sonsuz olarak ta alınmıştır. Kullanılan YSA modeli $8 \times 16 \times 2$ şeklinde düzenlenmiş bir ÇKP YSA yapısıdır. Transfer fonksiyonu olarak da giriş ve ara katman da tanjant sigmoid ve çıkış katmanında ise lineer eşik fonksiyonu tercih edilmiştir. YSA'yı eğitime işlemine belirlenen bir iterasyon sayısına veya belirlenen bir hata kriterine ulaşıldığında son verilmiştir. YSA modelinin eğitimi Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian düzenleme (BD), Conjugate Gradient with Fletcher (CGF) ve Quasi-Newton (QN) algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de bu öğrenme algoritmalarının eğitim ve test işlemleri için RMS (hataların kareleri ortalamasının karekökü) sonuçları karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Şekil 2'de LM algoritması ile eğitimi gerçekleştirilmiş olan YSA modelinden iki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'lar için elde

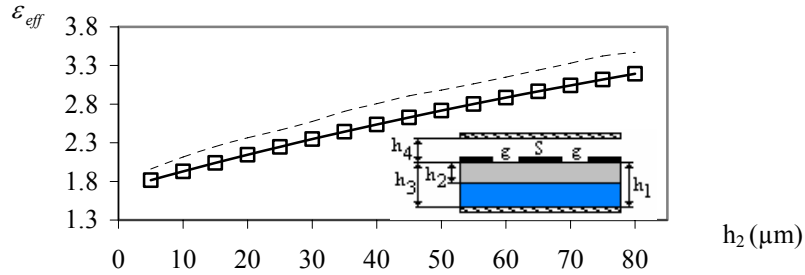
edilen sonuçlar, quasi-statik bir yaklaşım olan KDT [4] sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu grafikte, $\epsilon_{r1}=3.78$, $h_2=200\mu\text{m}$, $h_1=635\mu\text{m}$, $h_3=1000\mu\text{m}$, $h_4=1000\mu\text{m}$, $g=200\mu\text{m}$ ve $\epsilon_{r2}=10$ ve 20 olarak alınmıştır. Şekil 3'te ise sunulan modelin kullanılması ile analizleri gerçekleştirilebilecek alternatif bir yapı olarak alt korumalı dielektrik malzemenin hemen altına yerleştirilmiş olan iletken destekli üst korumalı çok katlı EDDK'ya ait sonuçlarının KDT [4] ve SDA [3] sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir. Bu grafikte taban malzemelerinin bağlı dielektrik sabitleri $\epsilon_{r1}=2.33$, $\epsilon_{r2}=10.5$, $h_3=h_1=635\mu\text{m}$, $h_4=15\text{mm}$, $S=254\mu\text{m}$ ve $g=254\mu\text{m}$ alınarak, h_2 'nin değişen değerleri için karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 1. Sunulan YSA modelinde algoritma performansları

Öğrenme Algoritmaları	Eğitim Hataları		Test Hataları	
	ϵ_{eff}	$Z_0 (\Omega)$	ϵ_{eff}	$Z_0 (\Omega)$
LM	0.001847	0.041892	0,019910	0.089003
BD	0.008810	0.184102	0.011467	0.209872
QN	0.083291	1.508106	0.083839	1.501707
CGF	0.168103	3.298566	0.174131	3.127034



Şekil 2. Sunulan YSA modelinden en genel yapı için elde edilen sonuçların KDT sonuçları ile karşılaştırılması (— $\epsilon_{r2}=10$ için KDT, \square $\epsilon_{r2}=10$ için YSA, --- $\epsilon_{r2}=20$ için KDT, Δ $\epsilon_{r2}=20$ için YSA)



Şekil 3. Sunulan YSA modelinden iki katmanlı dielektrik tabana sahip iletken destekli üst korumalı EDDK'ya ait sonuçlarının KDT [4] ve SDA [3] ile karşılaştırılması (--- SDA, — KDT, \square YSA)

5. Sonuç

Grafiklerden de açıkça görülebileceği gibi YSA modelinden elde edilen sonuçlar literatürde mevcut SDA [3] ve KDT [4] sonuçları ile iyi bir uyum içerisindedir. Sonuç itibarı ile, YSA'ların bilinen cazip özellikleri kullanılarak iki katmanlı dielektrik tabana sahip AÜKEDDK'ların quasi-statik analizleri başarıyla gerçekleştirilmiştir ve farklı geometrik boyutlarda altı farklı EDDK yapısı için geçerli olan, hata oranı oldukça düşük bir model sunulmuştur.

Kaynaklar

- [1]. Wen C. P., "Coplanar Waveguide: A Surface Transmission Line Suitable for Nonreciprocal Gyromagnetic Device Applications", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 17(12), s.1087-1090, 1969.
- [2]. Ghione, G. ve Naldi, C. U., "Coplanar Waveguides for MMIC Applications: Effect of Upper Shielding, Conductor Backing, Finite-Extent Ground Planes, and Line-to-Line Coupling", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-35(3), s.260-267, 1987.
- [3]. Liu Y. ve Itoh T., "Leakage Phenomena in Multilayered Conductor-Backed Coplanar Waveguides", IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 3(11), s.426-427, 1993.
- [4]. Gevorgian, S., Linnér, L. ve Kollberg J. P., "CAD Models for Shielded Multilayered CPWs", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 43(4), s.326-335, 1995.
- [5]. Yıldız C., Sağiroglu S., Saracoglu O. ve Turkmen M., "Neural Models for an Asymmetric Coplanar Stripline with an Infinitely Wide Strip", International Journal of Electronics, 90(8), s.509-516, 2003.