

Sonsuz Uzunluktaki Dielektrik Tabana Sahip Geleneksel Eş Düzlemli Dalga Kılavuzlarının Quasi-Statik Analizlerinin Yapay Sinir Ağları ile Gerçekleştirilmesi

Mustafa Türkmen¹

Celal Yıldız²

Şeref Sağıroğlu³

^{1,2}Erciyes Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 Melikgazi, Kayseri

³Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 38039 Melikgazi, Kayseri

¹e-posta: turkmen@erciyes.edu.tr

²e-posta: yildizc@erciyes.edu.tr,

³e-posta: ss@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği, Eş Düzlemli Dalga Kılavuzları, Karakteristik Empedans, Efektif Dielektrik Sabiti, Yapay Sinir Ağları

ÖZET

MMIC teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan iletim hatlarının temelini teşkil eden eş düzlemli dalga kılavuzlarının (EDDK) analizlerinde frekans bağımlı tam dalga analizleri veya konform dönüşüm tekniği (KDT) gibi quasi-statik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak her iki yaklaşımla yapılan analizlerinde bazı dezavantajları mevcuttur. Bu nedenle hata oranı düşük olan modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, sonsuz uzunluktaki dielektrik tabana sahip EDDK'larının karakteristik empedansı ve efektif dielektrik sabiti tek bir yapay sinir ağı (YSA) modeli ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların literatürdeki mevcut sonuçlarla son derece uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. YSA yapısı beş farklı öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmiş ve algoritma performansları kendi aralarında değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ

MMIC teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan iletim hatlarının temelini teşkil eden sonsuz uzunluktaki dielektrik tabana sahip eş düzlemli dalga kılavuzlarının (EDDK) analizleri ilk olarak 1969 yılında Wen [1] tarafından konform dönüşüm tekniği (KDT) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yapı geçmişte radar ve haberleşme sistemlerinde kullanılan ve birlikte kullanılmaları mümkün olmayan manyetik devre elemanlarının ve daha sonra geliştirilen şerit ve mikro şerit iletim hatlarının yerini almıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte farklı geometrik boyutlarda da üretimi gerçekleştirilmiş olan bu iletim hatlarının kullanımı yaygınlaşarak devam etmektedir. Daha önce tasarlanmış olan iletim hatlarında merkez iletken ile toprak düzleminin, dielektrik tabanın alt ve üst kısımlarında bulunması birçok aktif mikrodalga devre elemanları için gerekli olan paralel bağlantıyı zorlaştıran bir faktördür. Ayrıca bu iletim hatlarının karakteristik empedansları doğrudan dielektrik tabanın kalınlığına bağlı olarak değişmektedir ve bu düşük frekanslarda işlem yapmayı engeller. Şekil 1'de kesit görünümü verilen sonsuz uzunluktaki

dielektrik tabana sahip geleneksel bir EDDK, kalınlığı fiziksel boyutlarına göre sonsuz kabul edilebilecek ve dielektrik sabiti ϵ_r olan bir dielektrik tabanın üzerine bir merkez iletken ve bu iletkenin her iki yanında yer alan toprak düzlemlerinden oluşmaktadır. Merkez iletken ve toprak düzlemlerinin aynı düzlem üzerinde bulunması, harici şönt elemanlar gibi aktif devre elemanları ile bağlantıyı kolaylaştırmaktadır. Bu yapıda dielektrik taban kalınlığının sonsuz seçilmesindeki amaç, işlem kolaylığı sağlamak ve elde edilen karakteristik parametre değerlerinin dielektrik tabanın kalınlığından bağımsız olduğunu göstermektir. Bu iletim hatlarının karakteristik parametrelerinin hesaplanması hatların kullanım alanlarının ve üretim amaçlarının belirlenmesi bakımından oldukça önemlidir. Bu amaçla, birçok araştırmacı tarafından tasarlanan iletim hatlarına temel teşkil eden bu tür yapıların analizleri konform dönüşüm tekniği (KDT) gibi quasi-statik yaklaşımla [1-4] veya frekans bağımlı tam dalga analizleri [5,6] ile yapılmaktadır. Ancak her iki yaklaşımla yapılan analizlerinde bazı dezavantajları mevcuttur. KDT ile yapılan analizlerde, yapının karakteristik parametrelerini veren kapalı formdaki ifadelerin elde edilebilmesi için yapı bir takım düzlem dönüşümleri ile paralel plakalı kondansatöre dönüştürülür. Ancak kapalı formdaki bu ifadeler belirli yaklaşımlarla çözülebilen eliptik integraller içerirler. Dolayısıyla elde edilen ifadelerin doğruluklarının belirli bir hata oranına sahip olması ve düzlem dönüşümleri için uzmanlık bilgisi gerektirmesi KDT'nin dezavantajlarındandır. Frekans bağımlı çözümlerde ise, yapıların karakteristik parametrelerinin hesaplanmasında işlem süresinin uzun olması, güçlü bir teorik bilgi birikimi gerektirmesi ve pahalı paket programlara ihtiyaç duyulması gibi dezavantajlar vardır.

Yapay Sinir Ağları (YSA), probleme özel basit yapıları, öğrenme, genelleme ve paralel işlem yapabilme özelliklerinden doğan hızlı hesaplama kabiliyetlerinden ve lineer olmayan farklı problemlere kolay çözümler sunabilmelerinden dolayı birçok mühendislik probleminin çözümünün

yanı sıra, mikrodalga ve elektromanyetik problemlerin çözümünde de yeni bir alternatif olarak son yıllarda yaygın şekilde kullanılmaktadır [7-9]. Bu çalışmada sonsuz uzunluktaki dielektrik tabana sahip geleneksel EDDK'nın quasi-statik analizini gerçekleştirilebilen bir yapay sinir ağı modeli ortaya konmuştur. Sunulan bu model çok girişli ve çok çıkışlı bir yapıya sahip YSA modeli olup, iletim hatlarının fiziksel boyutlarının ve kullanılan malzemenin dielektrik sabitinin giriş olarak uygulandığında çıkış olarak yapının efektif dielektrik sabitini (ϵ_{eff}) ve karakteristik empedansını (Z_0) veren bir modeldir.

2. KDT İLE EDDK'LARIN QUASI-STATİK ANALİZLERİ

Karakteristik parametreleri belirlenecek olan sonsuz dielektrik tabanlı geleneksel EDDK'nın geometrik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilde yarık genişlikleri w , merkez iletken genişliği $S=2a$, yarıklar ve merkez iletken genişlikleri toplamı $2b$, metal şerit kalınlığı ise t ile gösterilmektedir. Quasi-TEM yaklaşımında, EDDK'nın karakteristik parametrelerinin hesaplanması sırasında öncelikle dalga kılavuzlarının birim uzunluk başına kapasite değeri belirlenmelidir. EDDK'nın birim uzunluk başına kapasite değeri, kısmi kapasitelerin toplamı olarak $C_{EDDK}=C_I+C_{hava}$ ile belirlenebilir. Burada C_I dielektrik malzemenin, C_{hava} ise dielektrik malzeme olarak hava kullanılması durumundaki birim uzunluk başına kapasite değerlerini göstermektedir. Bu değerler belirlenirken metal şeritlerin kalınlıkları ihmal edilir. Kısmi kapasitelerin hesaplanması sırasında yapı bir dizi düzlem dönüşümü ile paralel levhalı kondansatör haline dönüştürülerek C_I ve C_{hava} kapasiteleri;

$$C_I = 2 \cdot \epsilon_0 \cdot (\epsilon_r - 1) \frac{K(k_1)}{K(k'_1)} \quad (1)$$

$$C_{hava} = 4 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{K(k_0)}{K(k'_0)} \quad (2)$$

ile belirlenir [1,4]. Bu ifadelerdeki $K(k_0)$, $K(k'_0)$, $K(k_1)$ ve $K(k'_1)$ birinci tür tam eliptik integraller olup k_0 , k'_0 , k_1 ve k'_1 modülleri

$$k_0 = k_1 = \frac{S}{S + 2w} \quad (3)$$

$$k'_0 = k'_1 = \sqrt{1 - k_0^2} \quad (4)$$

ile verilir. Böylece EDDK'nın birim uzunluk başına toplam kapasite değeri;

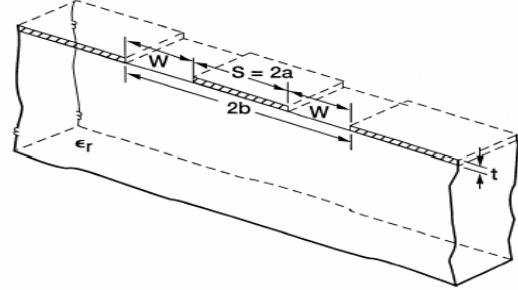
$$C_{EDDK} = 2 \cdot \epsilon_0 (\epsilon_r + 1) \cdot \frac{K(k_0)}{K(k'_0)} \quad (5)$$

olarak tespit edilir. Bu tür yapıların efektif dielektrik sabitini (ϵ_{eff}) ve karakteristik empedansını (Z_0) hesaplanmak için literatürde mevcut olan ifadelerin kullanılması ile

$$\epsilon_{eff} = \frac{C_{EDDK}}{C_{hava}} = 1 + \frac{(\epsilon_r - 1) \cdot K(k_1) \cdot K(k'_0)}{2 \cdot K(k'_1) \cdot K(k_0)} \quad (6)$$

$$Z_0 = \frac{1}{c C_{hava} \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{30\pi}{\sqrt{(\epsilon_r + 1)/2}} \cdot \frac{K(k'_0)}{K(k_0)} \quad (7)$$

elde edilir. Bu ifadelerdeki c boşluktaki ışık hızını göstermektedir.



Şekil 1. Sonsuz uzunluktaki dielektrik tabana sahip eş düzlemli dalga kılavuzlarının kesit görünümü

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağlarının birçok farklı yapısı mevcuttur. Çok katlı perseptronlar (ÇKP), birçok alanda uygulanmış olan bir YSA yapısıdır [7]. Genel olarak bir ÇKP-YSA yapısında giriş katındaki nöronlar tampon gibi davranırlar ve x_i giriş sinyali ara kattaki nöronlara dağıtırlar. Ara kattaki her bir nöronun j 'nin çıkışı, denklem 8'den de görülebileceği gibi 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 tanjant hiperbolik fonksiyonu olabilir.

$$y_j = f\left(\sum w_{ji} x_i\right) \quad (8)$$

Diğer katlardaki nöronların çıkışları da aynı şekilde hesaplanır. Her bir nöronun çıkışı benzer şekilde hesaplanır ve modelin eğitimi bir öğrenme algoritması kullanarak ağırlıkların ayarlanması ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada öğrenme algoritmaları ağırlıkları arzu edilen çıkış değerleri ile model çıkışları arasındaki farkların kareleri toplamını minimize edecek şekilde ayarlanmaktadır.

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (y_{dj} - y_j)^2 \quad (9)$$

Burada y_{dj} arzu edilen çıkışı, y_j ise nöronun ürettiği çıkışı göstermektedir. Eğitim verilen bir adım sayısına veya bir performans kriterinin minimum değerine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Bu çalışmada YSA modellerinin eğitimi için kullanılan algoritmalar kısaca tanımlanmıştır.

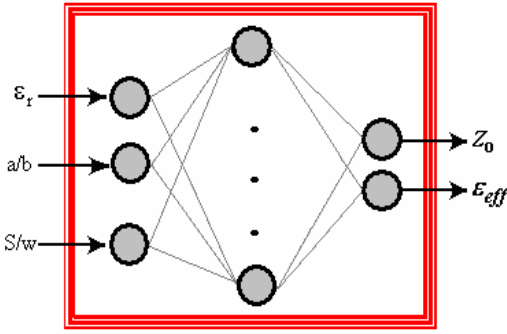
Quasi-Newton (QN): Newton metodunu baz alan bu algoritma ikinci türevlerin hesaplanmasını gerektirmeyen bir yapıya sahiptir. Burada uygun bir Hessian matrisi her adımda tekrar düzenlenir. Bu düzenleme türevlerin hesaplanması ile gerçekleştirilir. Her bir adımda minimumu arama yönü hesaplanan türevlere bağlı olarak seçilmektedir [7].

Esnek Yayılım (resilient propagation-RP): Bu algoritma genel olarak diğer algoritmalara göre daha hızlı bir yakınsama sağlayan bir yapıya sahiptir. RP'nin rolü kısmi türevlerin ağırlıkların güncellenmesi üzerindeki olumsuz etkisini yok etmektir [7].

Geriyayılım (BP): ÇKP-YSA yapılarına yaygın bir şekilde uygulanan bir öğrenme algoritması olup türev azaltma metodudur. Yerel minimum problemi vardır. Bu problem biaslama ile aşılmaktadır. Ağırlıkların ve biasların ayarlanması türev azaltmaya bağlı olarak yapılmaktadır [7].

Levenberg-Marquardt (LM): Bu yaklaşım maksimum komşuluk fikrine dayalı olarak hataların karelerini azaltmayı temel alan bir algoritmadır. LM Gauss-Newton tekniği ve steepest-descent metodunun en iyi özelliklerinden meydana gelen, ve olumsuz etkileri ortadan kaldıran bir algoritmadır [7].

Bayesian düzenleme (BD): Bu algoritma LM tabanlı bir algoritma olup, ağırlıklar ve biasların lineer bir kombinasyonu minimize edilir. Ardından doğru kombinasyonu yakalayıp iyi genelleme yapabilen bir ağ yapısını oluşturur. Ancak bu algoritmanın eğitim süresi ve hafıza gereksinimi LM'ye göre daha fazladır [7].



Şekil 2. Sunulan YSA modeli

4. YSA MODELİ İLE ANALİZLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada, ÇKP'lere giriş olarak yapının geometrik boyutları olan S/w ve a/b oranları ile kullanılan dielektrik malzemenin bağıl dielektrik sabiti ϵ_r , çıkış olarak ta efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans değerleri uygulanmıştır. Sunulan bu model giriş katı, bir arakat ve bir çıkış katından oluşan ÇKP-YSA yapısıdır. Şekil 2'de verilmekte olan model, 3 nöron giriş katında, 6 nöron ara katmanda ve 2 nöronda çıkış katında olmak üzere toplam 11 nörondan oluşmaktadır. Modelin eğitimi için 225 adet veriden oluşan bir eğitim seti, test içinse 54 adet veriden oluşan bir test veri seti kullanılmıştır. YSA ile oluşturulan modelin eğitimi sırasında kullanılacak olan veri setinin tamamen deneysel verilerden oluşması halinde hem quasi-statik analiz hem de YSA modelinin hangi hata oranlarıyla sonuca ulaştığı ortaya konulabilir. Ancak böyle bir deneysel

veri setinin oluşturulması ekonomik olmayacağından literatürde yaygın olarak kabul görmekte olan KDT ile oluşturulan bir veri seti bu çalışmada eğitim amaçlı olarak kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak giriş ve ara katmanda tanjant sigmoid çıkış katmanında ise lineer eşik fonksiyonu kullanılarak oluşturulan modellerin eğitimi ise karşılaştırma yapılabilmesi açısından beş farklı eğitim algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Farklı öğrenme algoritmalarıyla eğitilmiş YSA modellerinin eğitim ve test hataları

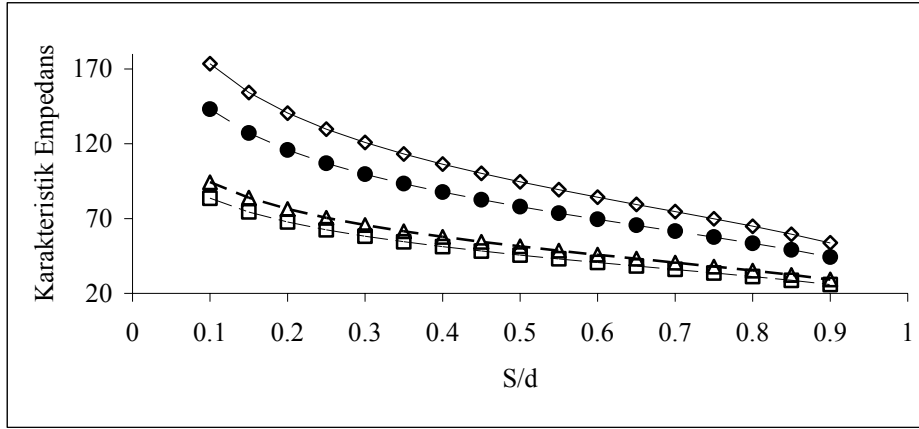
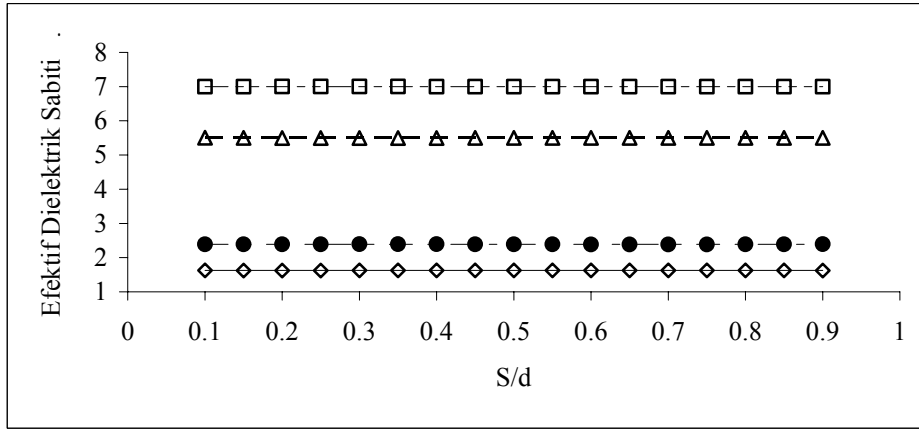
Öğrenme Algoritmaları	Eğitim hataları		Test hataları	
	ϵ_{eff}	$Z_0(\Omega)$	ϵ_{eff}	$Z_0(\Omega)$
LM	$1.20 \cdot 10^{-6}$	$1.54 \cdot 10^{-6}$	0.0057	0.0063
BD	$1.19 \cdot 10^{-5}$	$9.29 \cdot 10^{-6}$	0.0175	0.0147
QN	0.0132	0.0088	0.3188	0.2547
BP	1.4038	1.8280	0.8705	4.0326
RP	0.2884	1.6285	4.9044	4.1904

Modelin eğitimi için kullanılan algoritmaların performansları Tablo 1'de değerlendirilmiştir. Kullanılan algoritmalar arasında en küçük rms (root mean square) hataya sahip olan Levenberg-Marquardt eğitim algoritması eğitim işlemi sonucunda karakteristik empedans (Z_0) için $1.54 \cdot 10^{-6} \Omega$, efektif dielektrik sabiti (ϵ_{eff}) içinse $1.20 \cdot 10^{-6}$ test işlemi sonucunda ise Z_0 için 0.0063 Ω , ϵ_{eff} için 0.0057 gibi bir hata oranına sahip değerler üretmiştir. Tablo 1'den de görüleceği gibi bu algoritmalar arasında en kötü performansı RP algoritması sergilemiştir.

En iyi performansa sahip LM algoritması ile eğitilen YSA modelinden elde edilen karakteristik empedans ve efektif dielektrik sabitine ait sonuçlar ile literatürde mevcut olan KDT [1,4] sonuçları farklı dört dielektrik taban malzemesi için sırası ile Şekil 3. a ve b'de gösterilmiştir. Karakteristik empedansa ve efektif dielektrik sabitine ait YSA ve KDT sonuçlarının dört farklı dielektrik taban malzemesi içinde çok iyi bir uyum içerisinde olmaları sunulan YSA modelinin geçerliliğini ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, YSA'ların probleme özel basit yapıları, öğrenme ve genelleme yapabilme kabiliyetleri, matematiksel olarak modellenmesi zor ve karmaşık problemlere kolay çözümler sunabilmeleri ve uygulanan konu ile ilgili çok fazlaca teorik bilgi gerektirmemesi gibi cazip özellikleri kullanılarak sonsuz dielektrik tabanlı geleneksel EDDK'ların quasi-statik analizleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sunulan YSA modelinden elde edilen sonuçların literatürde bu tür yapıların analizinde yaygın bir şekilde kullanılan KDT ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaları halinde ortaya çıkan uyumluluk YSA'ların bu tür problemlerin çözümünde yeni bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

a) Karakteristik empedans Z_0 (Ω)b) Etkif dielektrik sabiti ϵ_{eff}

— $\epsilon_r=2.25$ için KDT - - - $\epsilon_r=3.78$ KDT - - - $\epsilon_r=10$ KDT - - - - $\epsilon_r=13$ için KDT
 ◇ $\epsilon_r=2.25$ için YSA ● $\epsilon_r=3.78$ YSA Δ $\epsilon_r=10$ YSA □ $\epsilon_r=13$ için YSA

Şekil 3. $\epsilon_r=2.25, 3.78, 10$ ve 13 için KDT ile YSA modeli çıkışlarının karşılaştırılması

KAYNAKLAR

- [1] Wen C. P., Coplanar waveguide: A surface transmission line suitable for nonreciprocal gyromagnetic device applications, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol.MTT-17, pp.1087-1090, Dec. 1969.
- [2] Ghione G. and Naldi C., Analytical formulas for coplanar lines in hybrid and monolithic MICs, ELECTRON. LETT. Vol.20, Iss.4, pp.179-181, 1984.
- [3] Bedair S. S. and Wolff I., Fast, accurate and simple approximate analysis formulas for calculating the parameters of supported coplanar waveguides for (M)MIC's, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol.40, Iss.1, pp.41-48, 1992.
- [4] Simons R. N., Coplanar waveguide circuits, components and systems, JOHN WILEY AND SONS. INC. ISBNs: 0-47-16121-7
- [5] Cheng K. K. M and Robertson I. D., Numerically efficient spectral domain approach to the quasi-TEM analysis of supported coplanar waveguide structures, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY TECH., Vol.42, Iss.10, pp.1958-1965, 1994.
- [6] Schroeder W. and Wolff I., Full-wave analysis of the influence of conductor shape and structure details on losses in coplanar waveguide, Microwave Symposium Digest,, IEEE MTT-S International, Vol.3, pp.1273-1276, 1995.
- [7] Turkmen M., Yıldız C. and Sagioglu S., Neural Models for Characteristics of Top Shielded Multilayered Coplanar Waveguides, XII. INTERNATIONAL TAINN Symposium, July 2003.
- [8] Sagioglu S. and Yildiz C., A multilayered perceptron Neural Network for a Micro-Coplanar Strip Line, INT. JOURNAL OF ELECTROMAGNETICS, Vol.22, No.7, pp.553-563, 2002.
- [9] Yildiz C., Gultekin S., Guney K. and Sagioglu S., Neural Models for The Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Circular Microstrip Antennas and the Characteristic Parameters of Asymmetric Coplanar Waveguides Backed with Conductor, AEÜ INT. J. OF ELECT. AND COM., Vol.56, No.6, pp.306-406, 2002.