

TEKTAŞ MİKRODALGA TÜMLEŞİK DEVRE TEKNOLOJİSİNDE KULLANILAN TRANSMİSYON HATLARI İÇİN KARAKTERİSTİK EMPEDANSLARIN YAPAY SİNİR AĞ MODELLERİ

Tayfun GÜNEL¹

İsa Özgür BAYRAKTAR²

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul

¹e-posta: tguel@ehb.itu.edu.tr

²e-posta: ozgurbay@yahoo.com

Anahtar sözcükler: Yapay Sinir Ağları, Modelleme, Mikroşerit Hat, Eşdüzlemli Dalga Kılavuzu

ABSTRACT

In this work, Artificial Neural Network (ANN) models of the characteristic impedances of some transmission lines for monolithic microwave integrated circuits (MMICs) are presented. A backpropagation algorithm is used for the training of ANNs. Test results obtained from the ANNs are compared with the results obtained from the formulas.

1. GİRİŞ

Günümüzde MMICs teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan transmisyon hatlarının karakteristik empedanslarının hesabı için literatürde çok sayıda bağıntı mevcuttur. Fakat bu bağıntılar, bağıntılardaki parametrelerin değişim aralığına göre belirli bir hata payı için geçerlidir. Bu nedenle doğru bir tasarım ve gerçekleştirme için olabildiğince gerçeğe yakın bir modelleme yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA), bilinmeyen durumlar için öğrenme yöntemlerini kullanarak çözüm üretebilmektedir. Son zamanlarda literatürde YSA'nın mikrodalga ve elektromagnetik konularında oldukça geniş kullanım alanları ortaya çıkmıştır [1-6]. Öğrenme yeteneğinden dolayı YSA, genelleme yapabilme (daha önceki eğitim çiftlerinde bulunmayan bir girişin uygulanması halinde kabul edilebilir bir hata payı ile çıkış değerini vermesi) yeteneği mevcuttur. Bu bildiride MMIC teknolojisinde yaygın olarak kullanılan bazı transmisyon hatlarının karakteristik empedanslarının YSA modelleri oluşturulmuştur.

2. MODELLEME

Modellemede amaç, önceden bilinen değerlerden bir kestirim yapılarak her durum için gerçeğe yakın değerler elde edebilmektir. YSA, kendisine verilen örneklerle eğitildiğinden ve lineer olmayan yapısı nedeniyle modelleme için çok uygundur. Ayrıca eğitime sonrasında istenilen sonucu hızlı, kolay ve kabul edilebilir hata payı ile verebilmektedir [7].

2.1. Mikroşerit Hat

Şekil-1'de görülen Mikroşerit hattın karakteristik empedansı $Z_0(\Omega)$ değeri

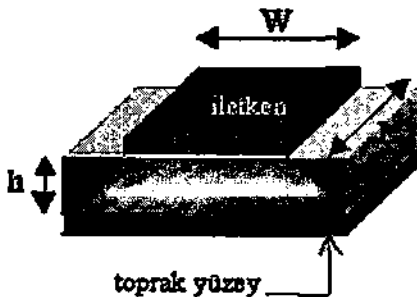
$W/h \leq 3$ için,

$$Z_0 = \frac{R_0}{\pi \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[\ln \left(\frac{4h}{W} + \sqrt{\frac{16h^2}{W^2} + 2} \right) - \frac{(\epsilon_r - 1)}{(\epsilon_r + 1)} \cdot \left(0.2258 + \frac{0.1208}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (1)$$

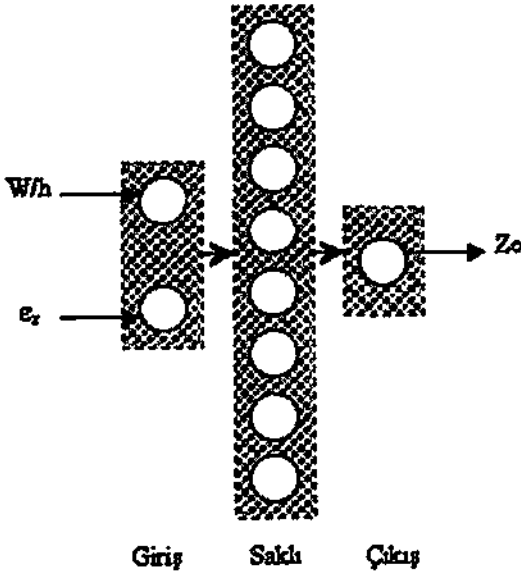
$W/h > 3$ için,

$$Z_0 = \frac{R_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{W}{2h} + 0.4413 + \frac{0.0823(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r} + \frac{(\epsilon_r + 1)}{\epsilon_r} \left(0.231 + 0.1592 \cdot \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right) \right] \quad (2)$$

bağıntılarından hesaplanmaktadır [8]. Yukarıdaki bağıntılarda $R_0 = 120 \Omega$ 'dir. Formüllerden görüldüğü gibi karakteristik empedans, mikroşerit hattın genişlik-yükseklik oranı değeri ile dielektrik sabiti değerine bağlıdır. Modelleme için YSA yapısı tek saklı katmanlı algılayıcı olarak seçilmiştir. YSA'nın girişlerinden birisi mikroşerit hattın genişlik-yükseklik oranı, diğer girişi ise kullanılan malzemenin dielektrik sabiti olarak alınmıştır. Saklı katmanındaki eleman sayısı ise 8 olarak seçilmiştir. YSA'nın çıkışı ise hattın karakteristik empedans değeri olacağından çıkış katmanında sadece 1 eleman olacaktır. Buna göre Şekil-2'de görüldüğü gibi YSA'da üç katmanda toplam 11 nöron bulunmaktadır.



Şekil-1. Mikroşerit hat yapısı



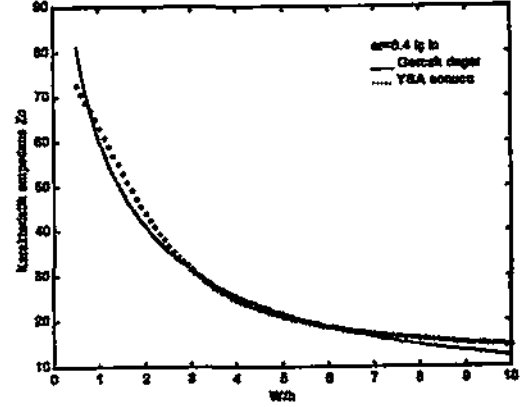
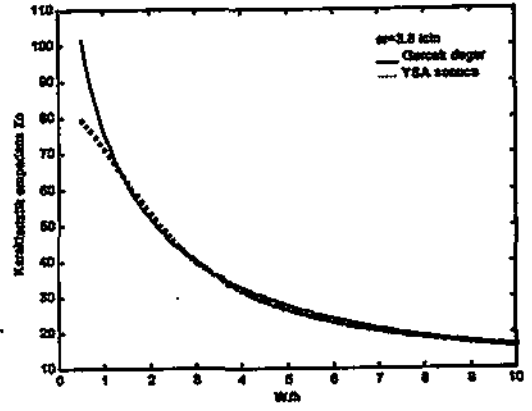
Şekil-2. Mikroşerit ve ters mikroşerit hatların karakteristik empedansları için YSA yapısı

Saklı ve çıkış katmanlarındaki nöronların transfer fonksiyonu olan sigmoid fonksiyonu, aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

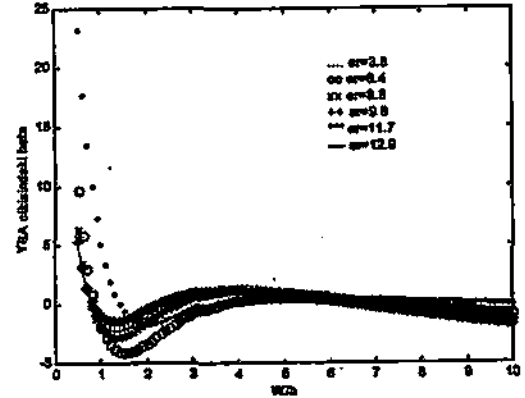
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-0.5x}} \quad (3)$$

Eğitime algoritması olarak da hatanın geriye yayılımı (back-propagation) algoritması seçilmiştir[7]. Eğitime parametrelerinden öğrenme oranı "0,05", momentum terimi "0,75" seçilmiştir. YSA'nın eğitime aralığı, bağıl dielektrik sabiti ϵ_r için iki standart değer (3.8 (Quartz), 6.4 (BeO)) ile W/h için 0,5-10 aralığında 0,1 artım değerleriyle oluşturulmuştur. Şekil-3'de $\epsilon_r = 3,8$ ve 6,4 için gerçek empedans değerleriyle YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

İyi bir modellemedeki amaç, oluşabilecek her durum için YSA'nın gerçeğe yakın çıkış vermesidir. Bunun için YSA'nın eğitime aralığı büyütülmeli ve eğitime parametreleri de buna uygun değerlerde seçilmelidir. Buna göre ϵ_r 'nin 3.8 (Quartz), 6.4 (BeO), 8.8 (AlN), 9.8 (Alumina), 11.7 (Sapphire), 12.9 (GaAs) olan toplam altı standart değeri ile W/h oranının 0,5-10 aralığında 0,1 artım değerleri ve "0,005" öğrenme oranı için minimum karesel hata kriteri kullanılarak eğitilen YSA test edildiğinde çıkışındaki hata değerleri Şekil-4'deki gibi oluşmaktadır. Şekil-4'de görüldüğü gibi küçük W/h değerleri dışında hata sıfıra yakın çıkmıştır.



Şekil-3. Mikroşerit hat modelinde YSA çıkışı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması



Şekil-4. Genişletilmiş giriş örgüsüyle eğitilen YSA çıkışındaki hata değeri



Şekil-5. Ters mikroşerit hat yapısı

2.2. Ters Mikroşerit Hat

Şekil-5'de ise ters mikroşerit hat yapısı görülmektedir. Ters mikroşerit hattın karakteristik empedansı Z_0 (Ω) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır [9,10].

$$Z_0(u) = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \ln \left[\frac{f(u)}{u} + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{u} \right)^2} \right] \quad (4)$$

$$\sqrt{\epsilon_{eff}} = 1 + \frac{d}{h} \cdot [c_1 - c_2 \cdot \ln(u)] \cdot (\sqrt{\epsilon_r} - 1) \quad (4a)$$

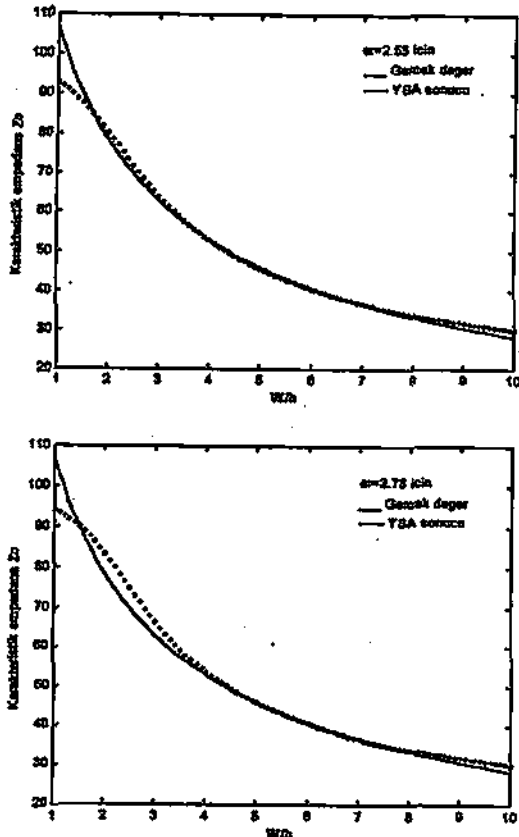
$$u = W/h \quad (4b)$$

$$f(u) = 6 + (2\pi - 6) \cdot \exp \left[- (30.666 / u)^{0.7528} \right] \quad (4c)$$

$$c_1 = [0.5713 - 0.1515 \cdot \ln(d/h)]^2 \quad (4d)$$

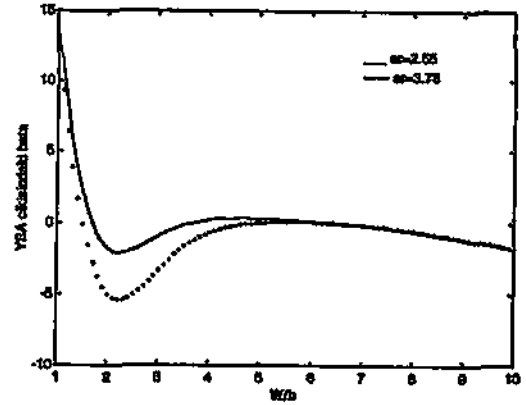
$$c_2 = [0.3092 - 0.1047 \cdot \ln(d/h)]^2 \quad (4e)$$

Ters mikroşerit hattın karakteristik empedansı Şekil-2'deki YSA yapısı ile modellenmiştir. Eğitim algoritması olarak hatanın geriye yayını (back-



Şekil-6. Ters mikroşerit hat modelinde YSA çıkışı ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

propagation) algoritması seçilmiştir. Eğitim parametrelerinden öğrenme oranı "0,05", momentum terimi "0,75" alınmıştır. Ters mikroşerit hat için $d = 5 \cdot 10^{-4}$ m, $h = 10^{-3}$ m seçilmiştir. YSA'nın eğitim aralığı ϵ_r için iki standart değer (2,55 ve 3,78) ile $u = W/h$ için 1-10 aralığında 0,1 artım değerleriyle oluşturulmuştur. Eğitim sonucunda YSA'nın istenilen sonucu verip vermediğinin test edilmesi gerekmektedir. Şekil-6'da $\epsilon_r = 2,55$ ve 3,78 için gerçek empedans değerleriyle YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. YSA çıkışındaki hata değerleri Şekil-7'de verilmiştir.



Şekil-7. Ters mikroşerit hat modelinde YSA çıkışındaki hata değeri

2.3. Eşdüzlemli Dalga Kılavuzu

Şekil-8'de eş düzlemli dalga kılavuzu yapısı görülmektedir. Eşdüzlemli dalga kılavuzunun karakteristik empedansı Z_0 (Ω) aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmaktadır [11,12,13].

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{K(k')}{K(k)} \quad (5)$$

$$\epsilon_{re} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \frac{K(k') \cdot K(k_1)}{K(k) \cdot K(k'_1)} \quad (5a)$$

$$k = \frac{a}{b} \quad (5b)$$

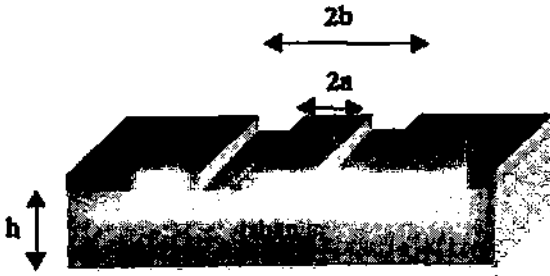
$$k' = (1 - k^2)^{1/2} \quad (5c)$$

$$k_1 = \sinh(k \cdot \pi / 2 (h/b)) / \sinh(\pi / 2 (h/b)) \quad (5d)$$

$$k'_1 = (1 - k_1^2)^{1/2} \quad (5e)$$

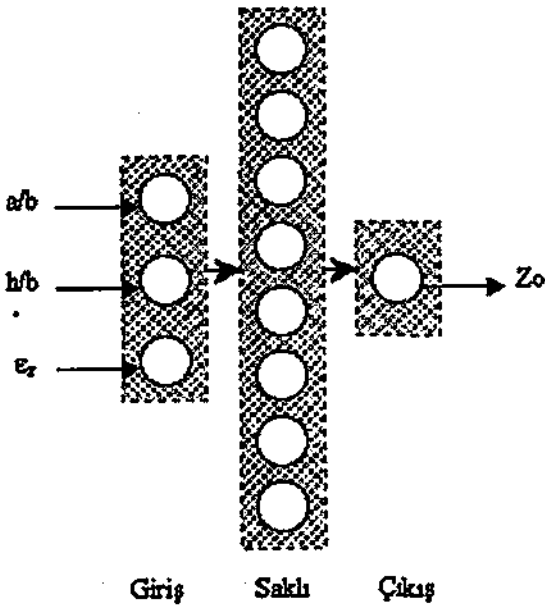
$$\frac{K(k)}{K(k')} = \frac{1}{\pi} \ln \left(2 \frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}} \right) \quad 0.5 \leq k^2 \leq 1 \quad (5f)$$

$$= -\frac{\pi}{\ln \left(2 \frac{1 + \sqrt{k'}}{1 - \sqrt{k'}} \right)} \quad 0 \leq k^2 \leq 0.5 \quad (5g)$$

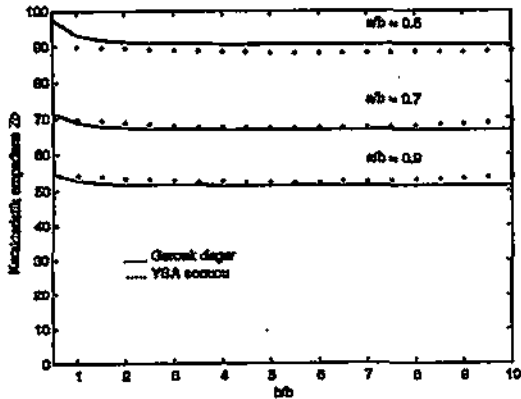


Şekil-8. Eşdüzlemli dalga kılavuzu

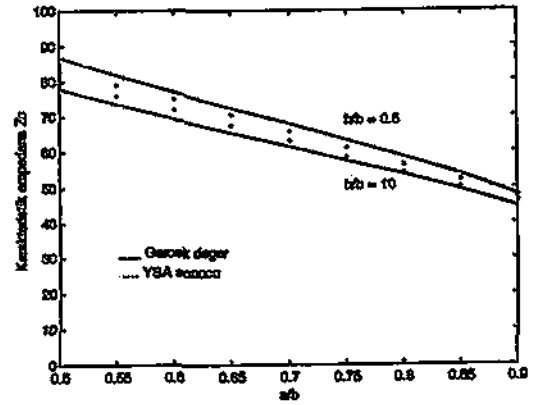
Eşdüzlemli dalga kılavuzunun karakteristik empedansı, Şekil-9'daki YSA yapısı kullanılarak modellenmiştir. Saklı ve çıkış katmanlarındaki nöronların transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu (3) seçilmiştir. Eğitim algoritması olarak



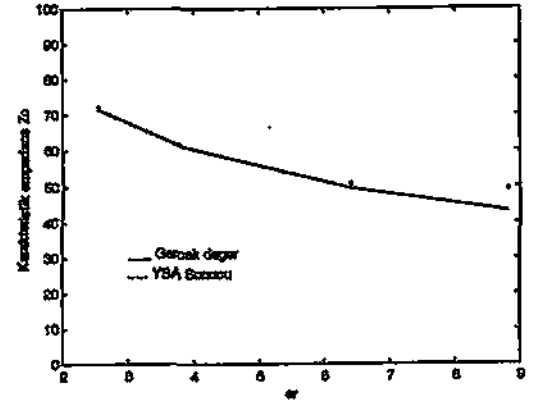
Şekil-9. Eş düzlemli dalga kılavuzunun karakteristik empedansı için YSA yapısı



Şekil-10. Karakteristik empedansın h/b oranı ile değişimi



Şekil-11. Karakteristik empedansın a/b oranı ile değişimi



Şekil-12. Karakteristik empedansın ϵ_r değeri ile değişimi

hatanın geriye yayılımı (back-propagation) algoritması seçilmiştir. Eğitim parametrelerinden öğrenme oranı "0,05", momentum terimi "0,75" alınmıştır.

Seçilen eğitim aralığı ϵ_r 'nin iki standart 2,55 ve 3,78 değerleri ile, a/b oranı için 0,5-0,9 aralığında 0,05 artım değerleri ile, h/b oranı için ise 0,5-10 aralığında 0,5 artım değerleri ile oluşturulmuştur. Bağlı dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2,55$, a/b oranı 0,5, 0,7 ve 0,9 değerleri için karakteristik empedansın h/b ile değişimi Şekil 10'da verilmiştir. $\epsilon_r = 2,55$, h/b değeri 0,5 ve 10 için karakteristik empedansın a/b ile değişimi Şekil-11'de verilmiştir. h/b=5, a/b=0,7 için karakteristik empedansın ϵ_r değeri ile değişimi ise Şekil-12'de verilmiştir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, mikroserit, ters mikroserit hat ve eşdüzlemli dalga kılavuzu yapılarının karakteristik empedanslarının yapay sinir ağıları kullanılarak modelleri tasarlanmıştır. YSA, literatürdeki bağımlılar yardımıyla hesaplanan karakteristik empedans değerleri kullanılarak hatanın geriye yayılımı algoritmasıyla eğitilmiş ve girişindeki farklı değerler

için çıkışında hesaplanan karakteristik empedans değerleri, bağıntılardan elde edilen ve gerçek değerler olarak kabul edilen karakteristik empedans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hatların karakteristik empedansları için YSA modellerinden elde edilen sonuçların istenilen doğrulukta olduğu görülmüştür. Ancak literatürde, hatların karakteristik empedanslarına ilişkin bağıntılardan elde edilen sonuçların doğruluğu bağıntılarda yer alan, hatlara ilişkin bazı yapısal parametrelerin değerlerinin değişim aralığına bağlıdır. Bu nedenle YSA ile modellemenin doğruluğunun artırılması, YSA modelinin oluşturulması için kullanılan değerlerin geniş bir değişim aralığı içerisinde yeterli sayıda ve doğrulukta ölçümler yardımıyla elde edilmesini gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Creech, G.L.; Paul, B.J.; Lesniak, C.D.; Jenkins, T.J.; Calcetera, M.C., Artificial Neural Networks for Fast and Accurate EM-CAD of Microwave Circuits, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol.45, pp. 794-802, 1997.
- [2] Watson, D.M., Gupta, K.C., Design And Optimization Of CPW Circuits Using EM-ANN Models for CPW Components, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol.45, pp.2515-2523, 1997.
- [3] Wang, F.; Devabhaktuni, V.K.; Zhang, Q.J., A Hierarchical Neural Network Approach to the Development of a Library of Neural Models for Microwave Design, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol.46, pp.2391-2403, 1998.
- [4] Sağiroğlu, S., Güneş, K., Erler, M., Resonant Frequency Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Artificial Neural Networks, INT. J. RF. MICROW. C.E., Vol.8, pp.270-277, 1998.
- [5] Güneş, F., Torpi, H., Gürgen, F., Neural Network Modeling of Active Devices for Use in MMIC Design, ARTIF. INTELL. ENG., Vol.13, pp.385-392, 1999.
- [6] Günel, T., Combination of Artificial Neural Network Model with Genetic Algorithm for the Synthesis of Microstrip Radial Stub, AEÜ. INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRON. COMMUN., Vol.54, pp.241-243, 2000.
- [7] Haykin, S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation, IEEE Computer Society Press/IEEE Press, 1994.
- [8] Edwards, T.C., Foundations for Microstrip Circuit Design, John Wiley & Sons, 1981.
- [9] Pramanick, P., Bhartia, P., Computer-Aided Design Models for Millimeter Wave Finlines and Suspended Substrate Lines, IEEE TRANS. MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol. 33, pp.1429-1435, 1985.
- [10] Rosloniec, S., Algorithms for Computer-Aided Design of Linear Microwave Circuits, Artech House, 1990.
- [11] Ghione, G., Naldi, C., Analytical Formulas for Coplanar Lines in Hybrid And Monolithic MICs., ELECTRONICS LETTERS, Vol.20, pp.179-181, 1984.
- [12] Veyres, C. and Fouad-Hanna., Extension of the Application of Conformal Mapping Techniques to Coplanar Lines with Finite Dimensions, INT. J. ELECTRONICS, Vol.48, pp.47-56, 1980.
- [13] Gupta, K.C., Garg, R., Bahl, I. and Bhartia, P., Microstrip Lines And Slotlines. Artech House. 2nd Ed., 1996.