

Sonlu Genişlikte Toprak Düzlemine Sahip Eş Düzlemli Dalga Kılavuzu İçin Yeni Sentez Modelleri

New Synthesis Models for the Coplanar Waveguide with a Finite Width Ground Plane

Hakan Kişioğlu¹, Celal Yıldız²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bozok Üniversitesi
hakan.kisioglu@bozok.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
yildizc@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip eş düzlemli dalga kılavuzları için önerilen yeni sentez modelleri genetik programlama ile elde edilmiştir. Genetik programlama mühendislik problemleri için güçlü bir evrimsel algoritma tekniğidir. Genetik programlama, diğer yapay zeka tekniklerine göre değişkenler arasındaki ilişkilerden faydalanarak problemin matematiksel bir modelini ortaya koyabilme gibi çok önemli bir avantaja sahiptir. Önerilen sentez modellerinin geçerliliğini göstermek için elde edilen sonuçlar literatürdeki quasi-statik analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların iyi bir uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Sentez modellerinin belirlenmesinde farklı elektriksel parametrelere ve farklı geometrik boyutlara sahip dalga kılavuzlarına ait 9712 adet veri seti kullanılmıştır. Önerilen sentez modellerinin ortalama yüzde hatası 1.48% olarak belirlenmiştir.

Abstract

In this study, new synthesis models for the coplanar waveguide with a finite width ground plane were obtained by genetic programming. Genetic programming is a powerful evolutionary algorithm technique for engineering problems. Genetic programming has a very important advantage with respect to the other artificial neural techniques such as determining a mathematical model by using the relationships between the variables. To show the validity of proposed synthesis models for the coplanar waveguide with a finite width ground plane, obtained results are compared with the results of quasi-static analysis results and very good agreements between them were observed. To determine the synthesis models developed by genetic programming, 9712 data sets belong to coplanar waveguides having different electrical parameters and different geometrical dimensions are used. The average percentage error of the synthesis models was determined to be 1.48%.

1. Giriş

Eş Düzlemli Dalga Kılavuzları (EDDK) monolitik mikrodalga entegre devre teknolojisinde yaygın olarak kullanılan mikrodalga iletim hatlarının birçok çeşidinden biridir. EDDK'ları şerit ve mikroşerit hatlara göre üretim kolaylığı, merkez iletken ve toprak düzlemine ait iletkenlerin aynı düzlem üzerinde olması nedeni ile seri ve paralel bağlantı kolaylığı gibi avantajlara sahiptir [1-4].

Sonsuz genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'nın quasi-statik analizi ilk defa 1969 yılında Wen [5] tarafından konform dönüşüm tekniği (KDT) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların quasi-statik analizleri ise Heinrich [6], Fuste ve ark. [7] tarafından literatüre sunulmuştur. Heinrich dağılmış elemanlar yaklaşımı kullanarak EDDK'lar için yaklaşık kapalı formda ifadeler türetirken, Fuste ve ark. ise 2012 yılında sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların quasi-statik analizlerini KDT kullanarak gerçekleştirmiştir.

Pratikte arzu edilen karakteristik empedansa sahip iletim hattı tasarlamak için iletim hattının geometrik boyutlarını doğrudan hesaplayan kapalı formda formüller içeren sentez modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde sonsuz genişlikte toprak düzlemine sahip simetrik EDDK'lar için sentez modelleri eğri uydurma teknikleri kullanılarak Yıldız ve Türkmen [8], Deng. ve ark. [9] tarafından sunulmuş olmasına rağmen bizim bilgilerimize göre sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'lar için sentez modelleri mevcut değildir.

Bu çalışmada sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların istenilen karakteristik empedansa sahip olması için EDDK'ların geometrik boyutlarını belirleyen yeni sentez modelleri sunulacaktır. Bu sentez modellerinin belirlenmesinde mühendislik problemlerinin çözümünde etkili bir evrimsel algoritma tekniği olan Genetik Programlama (GP) kullanılmıştır.

2. Genetik Programlama

John Koza [10] 1992 yılında Genetik Algoritmayı (GA) kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirmiş olup bu yönteme GP adını vermiştir. GP ile GA arasında bazı benzerlikler olmasına rağmen aralarındaki temel farklılığın yönettikleri yapının gösterimi ve bu gösterimin taşıdığı anlamda ortaya çıktığı görülmektedir. GA'da çözüm gerçek veya ikili sayılardan oluşan bir dizi şeklindedir. GP'de ise genellikle ağaç yapıları ile temsil edilen bilgisayar programları şeklindedir. GA'da sayı dizileri sabitken, GP'de ağaçların sayısı veya uzunluğu oluşum veya koşma sırasında değişebilir [11, 12]. GP'de üç temel aşama ile bir matematiksel model elde edilebilir. Bu aşamalar, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler ile yeni bir popülasyon elde edilmesi ve sonlandırma kriteridir.

GP'de çaprazlama ve mutasyon operatörleri ağaç yapısına uygun olarak yapılandırılır. Çaprazlamada ilk olarak iki ağaç aday olarak seçilmelidir. İki ağaç aday için rasgele bir düğüm belirlenir. Belirlenen düğümden sonraki alt ağaçlar karşılıklı seçilen noktalardan yer değiştirilir. Mutasyon işleminde ise rasgele bir düğüm seçilerek gerçekleştirilir. Rasgele olarak seçilen düğümün altındaki alt ağaç yapısı silinir. Yerine rasgele olarak yeni bir yapı büyütülür [13].

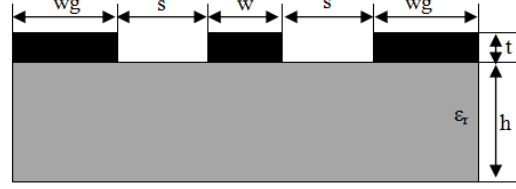
GP'de rastgele olarak bireylerin (bilgisayar programları) popülasyonu oluşturulur. Geniş bir çözüm uzayı içerisinde oluşturulan başlangıç popülasyonu yüksek çeşitlilik gösterir. Bir popülasyon bireyi bir ağaç yapısında olup fonksiyonlar ve terminaller bulundurulur. Fonksiyon kümesi, matematiksel fonksiyonlar (sin, cos, tan), aritmetik operatörler (+, -, /, ×), ve mantıksal operatörler içerebilir. Terminal kümesi ise kullanıcı tarafından belirlenen fonksiyon parametrelerinden (değişkenler, sayısal ve mantıksal sabitler) meydana gelir. Fonksiyon ve terminallerin rastgele olarak seçilmesiyle beraber bir kök noktası ve uzanan dal şeklinde olan ağaca benzeyen bir şekilde model oluştururlar [13].

GP'nin çalışma adımları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [13];

1. Uygun terminal ve fonksiyonların rastgele bileşimiyle meydana gelen bilgisayar programı bireylerinin başlangıç popülasyonunu oluştur.
 2. İteratif olarak, sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar aşağıda bulunan alt adımları gerçekleştir. Bu alt adımlar;
 - a) Popülasyonda bulunan her bir program çalıştırılır ve problemin uygunluk ölçümünü kullanarak uygunluk değeri hesaplanır.
 - b) Popülasyondan bir ya da iki birey programı, uygunluk değerine bağlı olarak genetik operasyon uygulamak için seçilir.
 - c) Popülasyona yeni birey ya da bireyler oluşturmak için genetik operasyonlar belirli bir olasılık değerlerinde uygulanır.
 3. Sonlandırma kriteri sağlandığı zaman, çalışma sırasında popülasyonda elde edilen en iyi ve basit program toplamı çalışma sonucu olarak atanmaktadır.
- GP ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için Ref. [10, 13]'e bakılabilir.

3. Sentez Modelleri

Bu çalışmada, sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların sentez modelleri GP kullanılarak elde edilmiştir. Sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların kesit görünümü Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1: Sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların kesit görünümü.

Bu şekilde, w merkez iletken genişliğini, s 'ler yarıklık genişliklerini, wg 'ler toprak düzlem genişliklerini, t iletken kalınlığını, h dielektrik taban malzemesinin kalınlığını ve ϵ_r ise bağıl dielektrik sabitini göstermektedir. Bu çalışmada $t = 0 \mu m$ olarak alınarak iletken kalınlığı ihmal edilmiştir. Ayrıca iletken tabakanın bakır olduğu varsayılmıştır.

Bu çalışmada, literatürde ilk kez sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların arzu edilen karakteristik empedansa sahip olması için gerekli olan geometrik boyutları doğrudan hesaplayan iki tane sentez modeli geliştirilmiştir. Sentez modellerinin oluşturulmasında kullanılan data setleri Fuste ve ark. [7] tarafından 2012 yılında literatüre sunulan KDT'ye dayalı bu yapıların quasi-statik analizlerine yönelik çalışmasından türetilmiştir. EDDK'ların quasi-statik analizlerine yönelik çalışmada iletken kalınlığı ihmal edilerek ($t = 0 \mu m$), 9712 adet veri seti türetilmiştir.

Bu data setinde veri aralıkları $0.1 \leq s/h \leq 0.7$, $0.1 \leq w/h \leq 0.7$, $2 \leq \epsilon_r \leq 34.7$, $wg \geq s$ ve $wg \geq w$ olmak üzere $0.1 \leq wg/h \leq 13$ ve $100 \mu m \leq h \leq 1300 \mu m$, $\eta_0 = 120\pi \Omega$ alınmıştır. Bunlara karşılık gelen karakteristik empedans değerleri $21 \Omega \leq Z_0 \leq 209 \Omega$.

Bu çalışmada sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'lar için sunulan birinci sentez modeli; dielektrik taban malzemesi (ϵ_r , h) seçildikten sonra istenilen karakteristik empedansı (Z_0) elde etmek için belirli (w) şerit genişliğine ve (wg) toprak düzlem genişliğine karşılık, gerekli olan (s) yarıklık genişliğini hesaplamaktadır. İkinci sentez modeli ise; dielektrik taban malzemesi (ϵ_r , h) seçildikten sonra istenilen karakteristik empedansı (Z_0) elde etmek için belirli (s) yarıklık genişliğine ve (wg) toprak düzlem genişliğine karşılık, gerekli olan (w) şerit genişliğini hesaplamaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların şerit ve yarıklık genişliklerinin hesaplanması için hata oranları düşük iki yeni sentez modelleri türetilmiştir.

Sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'lar için yarıklık genişliği ve şerit genişliğini doğrudan hesaplayan sentez modelleri aşağıda verilmiştir.

$$s = h \cdot \left[k_1 \cdot \tan^{-1} \left(\left(\frac{wg}{h} \right)^{k_2} \right) + \tan^{-1} \left(k_3 \cdot \left(\frac{w}{h} \right) \cdot zn^3 + k_4 \cdot \left(\frac{w}{h} \right) \cdot \epsilon_r^2 \cdot zn^{k_5} \right) \right] \quad (1)$$

$$w = h \cdot \left[\frac{k_1 \cdot \left(\frac{s}{h} \right)}{k_2 \cdot zn^2 + \epsilon_r \cdot zn^2 + k_3} + \frac{k_4 \cdot \tanh^{-1} \left(\frac{k_5 \cdot \left(\frac{s}{h} \right)^2}{k_6 \cdot zn^2 + \epsilon_r \cdot zn^2 + k_7} \right)}{\epsilon_r \cdot \left(\frac{wg}{h} \right) \cdot zn^2} + k_8 \cdot \tanh \left(\frac{s}{h} \right) \right] \quad (2)$$

Burada;

$$zn = \frac{Z_0}{\eta_0} \quad (3)$$

olarak verilmiştir.

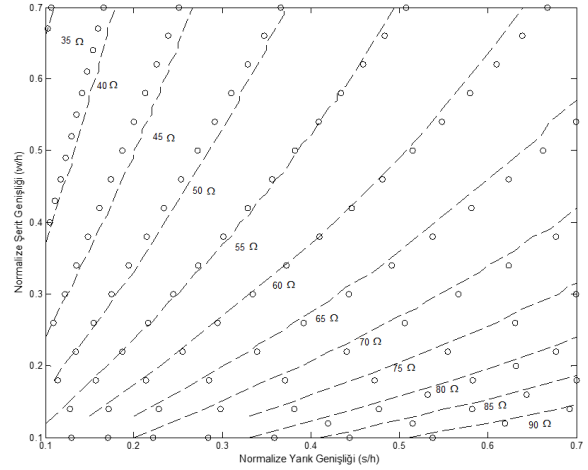
Burada sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'lar için sunulan birinci ve ikinci sentez modelleri GP kullanılarak elde edilmiştir. GP'nin popülasyon büyüklüğü 100, mutasyon oranı 0.1, çaprazlama oranı 0.85 ve çoğalma oranı 0.05 olarak alınmıştır. Sentez modellerine ait katsayıların sayısal değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Sentez modellerine ait katsayılar

Katsayılar	Birinci sentez model (s)	İkinci sentez model (w)
k_1	0.0291	0.3784
k_2	4	1.1485
k_3	14.2968	-0.0590
k_4	12.5161	0.9015
k_5	4.1495	0.0198
k_6	-	1.1485
k_7	-	-0.0590
k_8	-	-0.4128

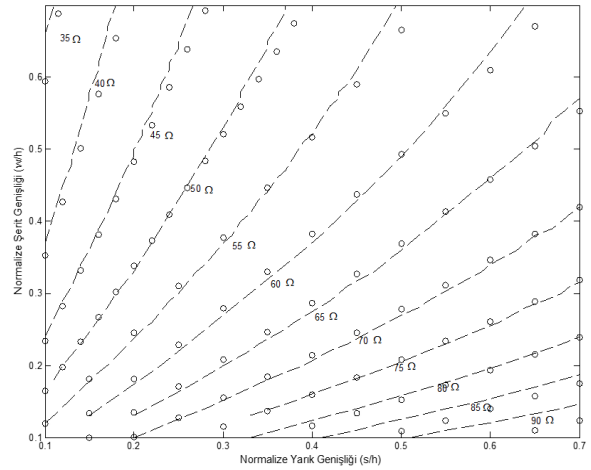
4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Birinci sentez modelinden (s yarık genişliği) elde edilen sonuçlar ile hesaplanan karakteristik empedans değerleri ile quasi-statik [7] analiz sonuçlarından elde edilen sonuçlar Şekil 2'de karşılaştırılmıştır. İkinci sentez modelinden (w şerit genişliği) elde edilen sonuçlar ile hesaplanan karakteristik empedans değerleri ile quasi-statik [7] analiz sonuçlarından elde edilenler ise Şekil 3'te karşılaştırılmıştır. Birinci ve ikinci sentez modellerinden elde edilen sonuçlar ile quasi-statik [7] analiz sonuçları karşılaştırıldığında aralarında çok iyi bir uyum olduğu bu şekillerden açıkça görülmektedir.



--- Quasi-statik analiz [7] ○ ○ ○ Sentez model

Şekil 2: Birinci sentez modelinden elde edilen sonuçların quasi-statik analiz sonuçları ile karşılaştırılması ($\epsilon_r = 12.9$, $h = 100 \mu m$, $t = 0 \mu m$ ve $wg = 100 \mu m$).



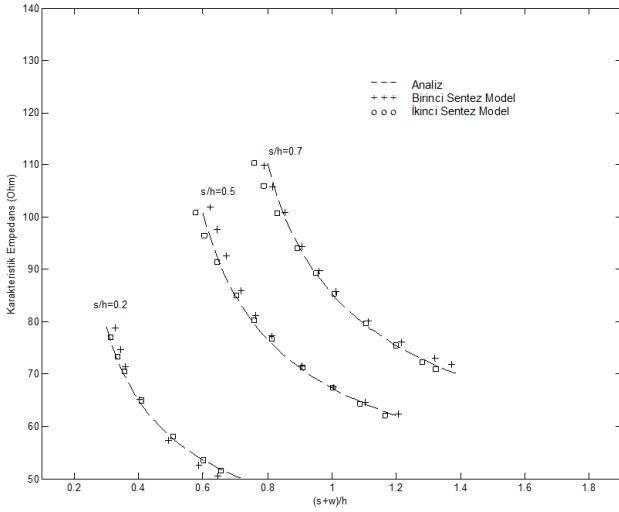
--- Quasi-statik analiz [7] ○ ○ ○ Sentez model

Şekil 3: İkinci sentez modelinden elde edilen sonuçların quasi-statik analiz sonuçları ile karşılaştırılması ($\epsilon_r = 12.9$, $h = 100 \mu m$, $t = 0 \mu m$ ve $wg = 100 \mu m$).

Her ne kadar burada verilen grafikler sadece dielektrik sabitinin $\epsilon_r = 12.9$, taban malzemesinin kalınlığı $h = 100 \mu m$ ve toprak düzleminin genişliği $wg = 100 \mu m$ değerleri için verilmiş ise de, benzer sonuçlar ϵ_r 'nin, h 'nın ve wg 'nin diğer değerleri içinde elde edilebilir. Tekrar olmaması bakımından bunlara ait grafikler verilmemiştir. Farklı elektriksel parametrelere ve farklı geometrik boyutlara sahip sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'lar ait 9712 adet numune için önerilen sentez modellerinin ortalama yüzde hatası 1.48% olarak belirlenmiştir.

Sentez modellerin geçerliliğini ortaya koymak için sentez modellerinden elde edilen sonuçları kullanarak hesaplanan karakteristik empedans değerleri ile quasi-statik analiz [7] sonuçları birbirinden farklı s / h değerleri için Şekil 4'te

karşılaştırılmıştır. Şekilden de açıkça görüleceği üzere yine sentez modellerinden elde edilen sonuçlar ile quasi-statik analiz sonuçlarının uyum içerisinde olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4: Sentez modellerin sonuçları kullanılarak elde edilen karakteristik empedans değerlerinin quasi-statik analiz [7] sonuçları ile karşılaştırılması ($\epsilon_r = 9.9$, $h = 100 \mu\text{m}$, $t = 0 \mu\text{m}$ ve $wg = 100 \mu\text{m}$).

5. Sonuç

Bu çalışmada, sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların arzu edilen karakteristik empedansa sahip olması için gerekli olan yarı ve şerit genişliklerini doğrudan hesaplayan kapalı formda formüller içeren oldukça basit, doğru ve yeni sentez modelleri sunulmuştur. GP kullanılarak geliştirilen bu yeni sentez modellerinin doğruluğunu ve geçerliliğini ortaya koymak için quasi-statik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda sunulan sentez modellerinin sonlu genişlikte toprak düzlemine sahip EDDK'ların tasarımı için kullanılabileceği görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada sunulmuş olan yeni sentez modellerinin oldukça basit, doğru ve kullanışlı olması birçok mikrodalga mühendisliği uygulamaları için tercih edilebilir.

6. Kaynaklar

- [1] Browne, J., "Broadband Amps Sport Coplanar Waveguide", *Microwaves RF*, vol. 26 (2) 131-134, 1987.
- [2] Browne, J., "Coplanar Waveguide Supports Integrated Multiplier Systems", *Microwaves RF*, vol. 28(3), 137-138, 1989.
- [3] Browne, J., "Coplanar Circuits Arm Limiting Amp with 100-dB Gain", *Microwaves RF*, vol. 29(4), 213-220, 1990.
- [4] Browne, J., "Broadband Amp Drops Through Noise Floor", *Microwaves RF*, vol. 31(2), 141-144, 1992.
- [5] Wen, C. P., "Coplanar Waveguide: A Surface Strip Transmission Line Suitable for Nonreciprocal Gyro Magnetic Device Applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 17 (12), 1087-1090, 1969.
- [6] Heinrich, W., "Quasi-TEM Description of MMIC Coplanar Lines Including Conductor-loss Effects", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 41, 1004-1007, 1993.
- [7] Ibarra Fuste J. A., Santos Blanco M. C., ve Rodriguez Rodriguez E., "Compact Closed-Form Expressions for The Propagation

Parameters of a Finite Ground Width Coplanar Transmission Waveguide with Thick Electrodes", *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 6, Iss. 3, 269-275, 2012.

- [8] Yildiz, C. ve Turkmen, M., "Synthesis Formulas for Conductor-backed Coplanar Waveguide", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, (4), 1115-1117, 2008.
- [9] Deng, T. Q., Leong, M. S. ve Kooi, P. S., "Accurate and Simple Closed-form Formulas for Coplanar Waveguide Synthesis", *Electron. Lett.*, vol. 31, (23), 2017-2019, 1995.
- [10] Koza, J. R., Genetic programming: On the programming of computers by means of natural selection, MIT Press, Cambridge, 1992.
- [11] Takac, A., Cellular genetic programming algorithm applied to classification task, institute of informatics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics Comenius University, Bratislava, Slovakia, 2002.
- [12] Wong, M. L. ve Leung, K. S., Data mining using grammar based genetic programming and applications, Kluwer Academic Publishers, London, 1999.
- [13] Koza, J. R., Genetic programming III: Darwinian invention and problem solving, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1999.