# Eliptik ve Silindirik Kesitli Kuplajlı Şerit İletim Hattın Analizi<sup>7</sup>

Mehmet DUYAR\*, Volkan AKAN\*\*, Erdem YAZGAN\*\*, Mehmet BAYRAK\*\*\* \* Niğde Sanayi ve Ticaret İl Müdürlüğü, Niğde <u>mehmetduyar27@hotmail.com</u>, \*\*Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü Beytepe, Ankara <u>volkan@ee.hacettepe.edu.tr</u>, <u>yazgan@hacettepe.edu.tr</u> \*\*\*Selçuk Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya <u>mbayrak@selcuk.edu.tr</u>

Özet: Bu çalışmada, eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hattın tasarımı yapılarak, yarı-durağan TEM elektriksel karakteristikleri Konformal Dönüşüm Tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. Konformal Dönüşüm Tekniği kullanılarak elde edilen kapalı-form analitik formüller, BDT (Bilgisayar destekli tasarım) uyumlu olduğu için hızlı, sade ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Elde edilen analitik formüller, mikrodalga frekanslarında doğruluk derecesi yüksek olarak geçerliliğini korumaktadır. Eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hattın tek ve çift mod durumunda birim uzunluk başına düşen hat kapasitesi, etkin dielektrik sabiti, faz hızı, karakteristik empedansı ve kuplaj katsayısı hesaplanarak, her iki yapının fiziksel boyutlarının elektriksel karakteristik davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, belirli geometrik şartlarda eliptik kesitli yapı ile silindirik kesitli yapının karşılaştırılması da yapılmıştır.

## 1. Giriş

Son zamanlarda, bazı araştırmacılar tarafından serit, mikroşerit ve eşdüzlemli iletim hatlarının eliptik ve silindirik konfigürasyonlu analizleri üzerine bir çok çalışmalar yapılmıştır [1-5,7]. Yapılan bu çalışmalarda tasarımları ve analizleri gerçekleştirilen eliptik ve silindirik kesitli yapılar hava taşıtı, füze, radar, uydu, gezgin haberleşme ve benzeri sistemler ile özellikle baskı antenlerin beslemesi, anten uyumlandırmaları, MMIC (monolithic microwave integrated circuit) devre elemanlarının oluşturulması gibi değişik amaçlarla günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılmaktadır [2]. Literatürde, silindirik kesitli kuplajlı serit iletim hattı değişik analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Medina ve Horno [3] tarafından yapılan bir çalışmada, genelleştirilmiş şerit ve mikroşerit yapılar eliptik kesitli bir konfigürasyonda tasarlamış ve tasarımı yapılan bu yapıların analizleri için ilk adımda (eliptik yapının düzlemsel yapıya dönüşümü) KDT (Konformal Dönüşüm Tekniği) kullanılmış ve bir sonraki adımda ise Spektral domende varyasyonel teknik kullanılmıştır. Deshpande ve Reddy [4] tarafından yapılan bir başka calışmada ise, silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hattının analizi Spektral domen tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Kiang ve arkadaşları [5], silindirik kesitli kuplajlı şerit yapıyı değişik konfigürasyonlarda tasarlamış olup, analizini ise Galerkin yöntemiyle birleştirilmiş mod-benzeşim tekniğini kullanarak yapmışlardır. Literatürde, eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının tam olarak KDT ile yapılmış bir analizine rastlanmamıştır. Bu çalışmada, eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının analizi, yarı-durağan TEM yaklaşımı içinde KDT kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemin temel kullanım amacı, yüksek doğruluk ve kesinlik içeren sonuçlara çok hızlı bir şekilde (uygulama sırasında) ulaşılmasını sağlayabilmesidir. Bilindiği gibi, yarı-durağan yaklaşım, çalışma frekansı oldukça küçük olduğunda geçerlidir. Literatürde, vüksek doğruluk değerlerine sahip tam dalga analiz yöntemleri ve denevsel veri sonucları, frekansa göre az değişim gösteren varı-durağan TEM yaklaşımı içinde KDT kullanılarak yapılan analizlerin, mikrodalga frekanslarda rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir [6].

## 2. Analiz

Eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının kesit görünümleri Şekil.1 ile verilmiştir. Her iki yapının da fiziksel geometrik boyutları şekil üzerinde verilmiştir. Şekil.1 ile verilen eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının analizinde şerit iletkenler sonsuz ince ve mükemmel iletken olarak kabul edilmiştir. Dalga yayılımının TEM modunda olduğu varsayılmış olup, analizi kolaylaştırmak için dielektrik ortamlar homojen ve kayıpsız olarak düşünülmüştür. Yarı-durağan TEM yaklaşımı içinde her iki yapının da elektriksel karakteristik parametreleri, yapıların birim uzunluk başına düşen hat kapasitelerinin hesaplanmasıyla elde edilebilir. Bu nedenle, eliptik ve silindirik yapıların birim uzunluk başına düşen hat kapasiteleri, tek ve çift mod durumu için hesaplanarak, yapının etkin dielektrik sabiti, faz hızı, karakteristik empedansı ve kuplaj katsayısı bulunabilir.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Bu çalışma **TÜBİTAK** (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından **105 E 022** no'lu araştırma projesi kapsamında desteklenmektedir.



Şekil.1: Eliptik ve Silindirik Kuplajlı Şerit Hattın Kesit Görünümleri, (a) Eliptik Kesitli, (b) Silindirik Kesitli

### 2.1. Tek Mod Durumu İçin Analiz

Tek mod durumunda analiz, Şekil.1'deki yapıların şerit iletkenlerinin tam ortasına bir elektrik duvarın dikey olarak yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Şekil.1a ile verilen eliptik kesitli yapı, Zeng ve Wang [7] tarafından sunulan dönüşüm fonksiyonları kullanılarak, ilk adımda Şekil.1b ile verilen silindirik kesitli bir yapıya, bir sonraki adımda ise düzlemsel kesitli kuplajlı şerit iletim hattına dönüşür. Düzlemsel kesitli yapının analizi ise, Cheng ve Robertson [8] ile Ghione ve Naldi [6] tarafından sunulan KDT kullanılarak yapılabilir. [6] ve [8]'de sunulan analizler kullanılarak, eliptik ve silindirik kesitli yapıların birim uzunluk başına düşen hat kapasitesi;

$$C_{tek} = \varepsilon_0 \varepsilon_{r1} \frac{K(k_1)}{K(k_1')} + \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} \frac{K(k_2)}{K(k_2')} \qquad \qquad k_i = \sqrt{\frac{t_{bi}^2 - t_{ai}^2}{t_{bi}^2 (1 - t_{ai}^2)}}, \qquad \qquad k_i' = \sqrt{1 - k_i^2}, \tag{1}$$

şeklinde elde edilir. Denklem (1) bağıntısında geçen  $t_{ai}$  ve  $t_{bi}$  ifadeleri;

$$\mathbf{t}_{ci} = \left[\frac{\exp(\pi\pi/H_i) - 2}{\exp(\pi\pi/H_i) + 2}\right]^2, \qquad 1 < \frac{\pi}{H_i} < \infty, \qquad \mathbf{t}_{ci} = \sqrt{1 - \left[\frac{\exp(H_i) - 2}{\exp(H_i) + 2}\right]^4}, \qquad 0 < \frac{\pi}{H_i} < 1, \tag{2a}$$

$$F(\arcsin(t_{ai} / t_{ci}), t_{ci}) = \frac{\Psi}{\pi} K(t_{ci}), \quad F(\arcsin(t_{bi} / t_{ci}), t_{ci}) = \frac{\theta}{\pi} K(t_{ci}), \quad \frac{K(t_{ci})}{K(t_{ci}')} = \frac{\pi}{H_{i}}$$
(2b)

bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir. Burada, i=1,2 olmak üzere eliptik ve silindirik kesitli yapılar için sırasıyla alt ve üst dielektrik ortamları ifade etmektedir. Denklem (2) bağıntısında geçen  $H_i$  ifadesi, eliptik ve silindirik kesitli yapıların geometrik boyutlarına bağlı olarak;

$$r_{1} = \sqrt{\frac{a_{1} + b_{1}}{a_{1} - b_{1}}}, \quad r_{2} = \sqrt{\frac{a_{2} + b_{2}}{a_{2} - b_{2}}}, \quad r_{3} = \sqrt{\frac{a_{3} + b_{3}}{a_{3} - b_{3}}}, \quad H_{1} = \ln\left(\frac{r_{2}}{r_{1}}\right), \quad H_{2} = \ln\left(\frac{r_{3}}{r_{2}}\right) (3)$$

şeklinde ifade edilir. Eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının etkin dielektrik sabiti, faz hızı ve karakteristik empedansı Denklem (1) bağıntısı kullanılarak aşağıdaki bağıntılar şeklinde elde edilir:

$$\varepsilon_{\rm eff(tek)} = \frac{C_{\rm tek}(\varepsilon_{\rm ri})}{C_{\rm tek}(1)}, \qquad v_{\rm faz(tek)} = \frac{c(3x10^8)}{\sqrt{\varepsilon_{\rm eff(tek)}}}, \qquad Z_{0(tek)} = \frac{1}{v_{\rm faz(tek)}C_{\rm tek}}$$
(4)

### 2.2. Çift Mod Durumu İçin Analiz

Çift mod durumunda analiz, Şekil.1 ile verilen yapılardaki şerit iletkenlerin tam ortasına bir magnetik duvarın dikey olarak yerleştirilmesiyle yapılır. Çift durumunda Şekil.1a ile verilen eliptik kesitli yapının birim uzunluk başına düşen hat kapasitesi, tek mod durumundaki benzer yaklaşımlar ve işlemler yapılarak;

$$C_{\text{ciff}} = \varepsilon_0 \varepsilon_{r1} \frac{K(k_3)}{K(k_3)} + \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} \frac{K(k_4)}{K(k_4)} \quad k_3 = \sqrt{\frac{t_{b1}^2 - t_{a1}^2}{1 - t_{a1}^2}}, \quad k_3 = \sqrt{1 - k_3^2}, \quad k_4 = \sqrt{\frac{t_{b2}^2 - t_{a2}^2}{1 - t_{a2}^2}}, \quad k_4 = \sqrt{\frac{t_{b2}^2 - t_{a2}^2}{1 - t_{a2}^2}}, \quad k_4 = \sqrt{\frac{t_{b2}^2 - t_{a2}^2}{1 - t_{a2}^2}}, \quad k_4 = \sqrt{\frac{t_{b2}^2 - t_{a2}^2}{1 - t_{a2}^2}}, \quad k_4 = \sqrt{\frac{t_{b2}^2 - t_{a2}^2}{1 - t_{a2}^2}}, \quad k_5 = \sqrt{1 - k_5^2}$$

şeklinde elde edilir. Denklem (5) bağıntısında geçen  $t_{a1}$ ,  $t_{a2}$ ,  $t_{b1}$  ve  $t_{b2}$  ifadeleri, Denklem (2)-(3) bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir. Sonuç olarak, Şekil 1 ile verilen yapıların çift mod etkin dielektrik sabiti, faz hızı, karakteristik empedansı ve her iki yapı için kuplaj katsayısı aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir:

$$\varepsilon_{eff(\varsigma ift)} = \frac{C_{\varsigma ift}(\varepsilon_{ri})}{C_{\varsigma ift}(1)}, \qquad v_{faz(\varsigma ift)} = \frac{c(3x10^8)}{\sqrt{\varepsilon_{eff(\varsigma ift)}}}, \qquad Z_{0(\varsigma ift)} = \frac{1}{v_{faz(\varsigma ift)}C_{\varsigma ift}}, \qquad K = \frac{Z_{0(\varsigma ift)} - Z_{0(\iota k)}}{Z_{0(\varsigma ift)} + Z_{0(\iota k)}}$$
(6)

#### 3. Nümerik Tartışmalar

Eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının tek ve çift mod elektriksel karakteristik değişimleri Şekil 2 ile verilmiştir. Şekil 2 ile verilen grafiklerde,  $\theta/\pi$  oranı ve eliptik yapı için eksantrisite katsayısı e'nin farklı değerleri ile  $\psi/\theta$ 'nın bir fonksiyonu olarak, eliptik ve silindirik kesitli yapıların karakteristik empedansı ve kuplaj katsayısı değişimleri incelenmiştir. Şekil 2 ile verilen grafiklerden de görüldüğü gibi, her iki yapının fiziksel boyutlarının ayarlanmasıyla, yapıların elektriksel karakteristiklerinin geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Ayrıca, eliptik yapı için eksantrisite katsayısı e'nin sıfıra yaklaşması durumunda, eliptik kesitli yapının nümerik sonuçları ile silindirik kesitli yapının nümerik sonuçlarının üst üste çakıştığı görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hatlarının analizi, yarı-durağan TEM yaklaşımı içinde KDT kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen analitik bağıntılar kullanılarak eliptik ve silindirik kesitli yapıların elektriksel karakteristikleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen analitik formüller, hızlı ve doğru sonuçlar verdiği ve BDT uyumlu olduğu için, mikrodalga devre tasarımlarında rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil.2: Eliptik ve silindirik kesitli kuplajlı şerit iletim hattın karakteristik empedans ve kuplaj katsayısı değişimi, (a) Tek mod karakteristik empedans, (b) Çift mod karakteristik empedans, (c) Kuplaj katsayısı

#### 5. Kaynaklar

- Karpuz, C., and Görür, A., "Quasistatic solutions of elliptical coplanar waveguides", Microwave and Optical Technology Letters, 20(6), pp. 385-389, 1999.
- [2] Duyar, M., Akan V., Yazgan, E., and Bayrak, M., "Analyses of elliptical coplanar coupled waveguides and coplanar coupled waveguides with finite ground width", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 54(4), pp.1388-1395, 2006.
- [3] Medina, F. and Horno, M., "Spectral and variational analysis of generalized cylindrical and elliptical strip and microstrip lines", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 38(9), pp.1287-1293, 1990.
- [4] Deshpande, M.D. and Reddy, C.J., "Spectral-Domain Analysis of single and coupled cylindrical striplines", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 35(7), pp.672-675, 1987.
- [5] Kiang, J-F., Lee, C-R., and Chen, C.H., "Characteristics of striplines with inhomogeneous cylindrical substrate", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 51(5), pp.1496–1505, 2003.
- [6] Ghione, G., and Naldi, C.U., "Coplanar waveguide for MMIC applications: effect upper shielding, conductor backing, finite extent-ground planes, and line-to-line coupling", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 35(3), pp.260-267, 1987.
- [7] Zeng, L-R., and Wang, Y., "Accurete solutions of elliptical and cylindrical striplines and microstrip lines", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 34(2), pp.259-265, 1986.
- [8] Cheng, K.K.M. and Robertson, I.D., "Quasi-TEM study of microshield lines with practical cavity sidewall profiles", IEEE Trans Microwave Theory Tech., 43(12), pp. 2689-2694, 1995.