

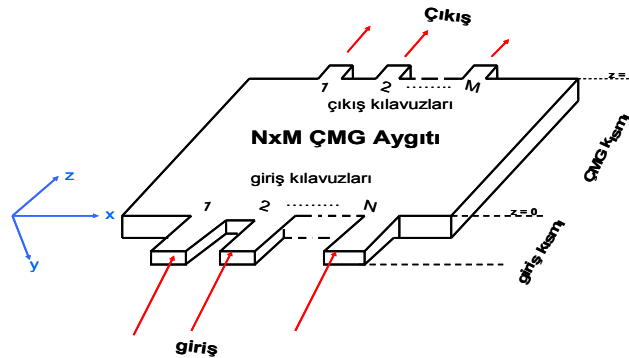
Pasif Mikrodalga ve Optik Araçların Çoklu Modların Girişimi Tekniği Kullanılarak Analiz ve Tasarımları

Ahmet Sertaç Sunay, Tuncay Birand*
Başkent Üniversitesi
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Etimesgut, Ankara
Tel : 0312 2341010 – 1460 Fax : 0312 2341051
assunay@baskent.edu.tr

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balgat, Ankara
Tel : 0312 2102323 Fax : 0312 2101261
tbirand@metu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada çok modlu 'dikdörtgen metalik' ve 'dielektrik kat' dalga kılavuzları ve araçlarının analizi için Çoklu Modların Girişimi (ÇMG) yaklaşımı kullanıldı ve ÇMG tekniğinin uygulanmasının deneysel olarak araştırılması amacıyla X-bantta çalışan bir metalik dalga kılavuzu hazırlandı. Deneysel çalışmanın simülasyonlar ile karşılaştırılması sonucunda, ÇMG metodunun milimetrik dalga ve mikro dalga aygıtlarının analiz ve tasarımlarını kolaylaştıracak güçlü bir matematiksel metot olduğu bulundu. Deneysel yapının kurulumu ve ilgili deneysel çalışma rapor edildi.

Giriş: Çoklu Modların Girişimi tekniği (ÇMG) Optik Çoklayıcılar, Güç Ayırıcıları, Mach-Zehnder Anahtarları gibi optik araçların analiz ve tasarımlarında sıkça kullanılan güçlü bir araçtır. ÇMG metodu, bir dalga kılavuzunun girişindeki profilin kılavuz boyunca ilerlerken belirli mesafelerde tek ya da çoklu görüntüler olarak kendini tekrar oluşturduğunu söyleyen Kendini Tekrar Etme Prensibine (Self-Imaging) dayanmaktadır. Bu metot ilk olarak Talbot tarafından 150 yıl önce açıklanmıştır [1]. Marcuse sınıflandırılmış indeks dalga kılavuzlarının da belirli yayılım mesafelerinde periyodik görüntüler ürettiğini gösterdi [2]. Bryngdahl ve Ulrich, düzenli indeks kat dalga kılavuzlarında ÇMG tekniğini uyguladılar [3][4]. Soldano, ÇMG metodundan birleştirilmiş optik araçların tasarımında yararlandı [5]. Çok modlu dalga kılavuzlarında kendini tekrar etme prensibinin açıklanabilmesi için Kılavuz-Mod Yayılım Analizi (KYA) kullanılabilir. KYA yaklaşımının temel prensibi, giriş alanının yayılan bütün mod alanlarına ayrılması, bütün modların bağımsız olarak yayılımlarının incelenmesi ve bu mod alanlarının kılavuz içerisinde belirli mesafelerde tekrar toplanarak çıkış alanının oluşturulması ilkesine dayanır. Bir $N \times M$ ÇMG aygıtı şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. $N \times M$ ÇMG aracının şematik diyagramı.

Yapının fiziksel modeli üç boyutludur. ÇMG çoğaltıcıların üç boyutlu analizleri Vazques tarafından açıklanmıştır [6]. Spektral İndis Yöntemi veya Etkin Dielektrik Sabitler Yöntemi kullanılarak yapı iki boyutlu olarak analiz edilebilir [7][8]. ÇMG metodu temelli, birleştirilmiş optik araçların tasarımları Soldano tarafından açıklanmıştır [9]. Metalik dalga kılavuzları ve dielektrik kat dalga kılavuzları, iletişim sistemlerinde sıkça kullanılan araçlardır. Dielektrik ve metalik kat dalga kılavuzlarının dalga yayılımlarının analizinde ÇMG yönteminin kullanımı incelenmiştir. Her iki dalga kılavuzunun milimetrik dalga ve mikrodalga frekanslarında analizleri için ilgili matematiksel formüller geliştirilmiş ve simülasyonları yapılmıştır.

Dikdörtgen Dalga Kılavuzlarının ÇMG Metodu Kullanılarak Analizi: Dikdörtgen dalga kılavuzları pratikte birçok iletişim sisteminde kullanılmaktadır. Bu kısımda bazı dikdörtgen pasif dalga kılavuzu araçlarının analiz ve tasarımlarında ÇMG yönteminin kullanımı incelenmiştir. Eğer istenirse çıkış kısımları horn antenlerden oluşturulabilir. Böylece bir anten dizisi ağı tasarlanmış olur. Dikdörtgen dalga kılavuzlarının geleneksel analizleri Colin ve Balanis'te bulunabilir [10][11]. $z = L$ uzaklığındaki alan profili ÇMG metoduna göre yayılan bütün mod alan dağılımlarının süperpozisyonu ile bulunur.

$$\Psi(x, y, L) = e^{j\beta_0 L} \sum_{m=1}^M \sum_{n=0}^N c_{mn} \Psi_{mn}(x, y) e^{j(\beta_0 - \beta_{mn})L} \quad (1)$$

Burada “m” ve “n” mod numaralarını ifade eder. Alan katsayıları c_{mn} , alan-dikey ilişkileri temel alınarak integraller ile hesaplanır. $\Psi_{mn}^2(x, y)$, mn'inci modun yanal alan dağılımlarını göstermektedir. En düşük seviyeli iki modun vuru uzunluğu olarak L_π tanımlarsak

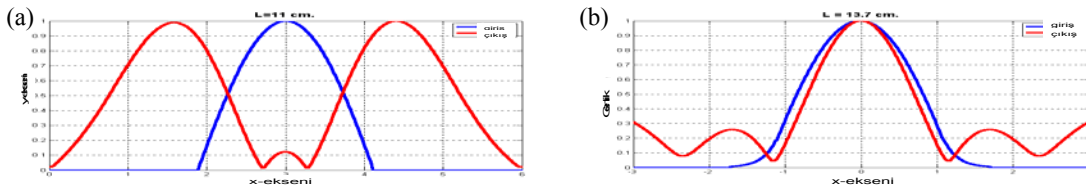
$$L_\pi = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (2)$$

Vuru uzunluğunun katlarında giriş dalga formunun tekli veya çoklu kopyalarını görmeyi bekleriz. Şekil 1'deki gibi bir ÇMG yapının simülasyonları için giriş dikdörtgen dalga kılavuzunun boyutları 2.2×1.016 cm. olarak alındı. ÇMG kısmının genişliği 6 cm. ve çalışma frekansı 12 GHz (X-bant) olarak seçildi. ÇMG yapısının vuru uzunluğu 31.7 cm. olarak hesaplandı. y-ekseninin uzunluğunun ÇMG kısmının uzunluğu ile karşılaştırıldığında çok küçük olduğu dolayısıyla y-ekseni boyunca bir değişim olmadığı kabul edilmiştir. Şekil 2a'da $L \approx \frac{3}{8} L_\pi$ yayılım mesafesinde giriş dalga formunun direkt ve ayna görüntüsü bir arada görülmektedir. Bu iki-katlı kopyalama sistemi 1×2 çoğaltıcıların tasarımında kullanılabilir.

Mikrodalga ve Milimetrikdalga Dielektrik Dalgakılavuzu Sistemlerinin Analizi: İlgili yapıların analizlerinin sadeleştirilmesi için temel yöntemler Knox ve Toullos tarafından ortaya konulmuştur (etkin dielektrik sabiti metodu) [12]. Formülasyon Solbach tarafından geliştirildi [13]. $z = L$ yayılım uzaklığında alan ifadesi ÇMG yöntemi kullanılarak

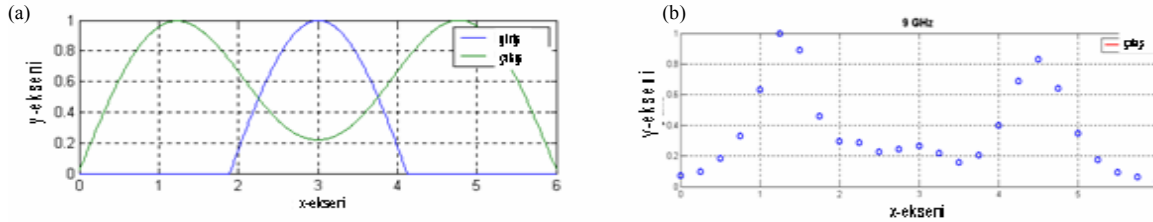
$$V_L(z) = e^{jk_1 L} \sum_{m=1}^M c_m v_m(x) e^{-jL(k_1 - k_m)} \quad (3)$$

olarak bulundu. Burada $v_m(x)$ dalga kılavuzuna uygulanan sinyali ifade eder. c_m ise alan yayılım katsayısıdır. x ve y eksenlerinde yanal yayılım sabitleri k_x ve k_y olarak verilmiştir. Giriş dielektrik dalga kılavuzunun boyutları $2a = 2.2$ cm. ve $b = 1.079$ 'dir. Çalışma frekansı olarak $f_0 = 12$ GHz (X-bant) olarak seçildi. ÇMG kısmının genişliği 6 cm.'dir. Yapının vuru uzunluğu $L_\pi = 9.3787$ cm. olarak hesaplandı. Giriş kısmının genişliği çok dar olduğu ve bu yüzden y-ekseninde değişim olmadığı kabul edildi. Yayılım modları E_{ym1} modlarıdır. Şekil 2b'de $L \approx \frac{3}{2} L_\pi$ yayılım mesafesi için giriş-çıkış grafiği verilmiştir. Giriş dalga formunun kopyası gözlenmiştir. Bu sonuç 1×1 ÇMG çoklayıcılarının tasarımında kullanılabilir.



Şekil 2. Çeşitli. yayılım mesafelerinde giriş-çıkış grafikleri.

Deneysel Çalışma: ÇMG tekniğinin uygulanmasının deneysel olarak araştırılması için X-bantta çalışan bir metalik dalga kılavuzu tasarlandı ve kurulumu gerçekleştirildi. Çok modlu çalışmayı gözlemlemek amacıyla H-düzleminde bir basamaklı süreksizlik (stepwise discontinuity) seçilmiştir. Yapının giriş kısmı X-bantta çalışan, boyutları 2.25 cm. (genişlik) X 1.016 cm. (yükseklik) olan bir geleneksel metalik dikdörtgen dalga kılavuzudur. Takip eden kısım ise çok modlu yayılıma izin vermesi amacıyla genişliği giriş kısmından büyük olan bir H-düzlemin dalga kılavuzudur. Küçük bir E-alan probu çok modlu kısmın açıklığındaki alan genlik ölçümlerinde kullanılmıştır. Yapının uzunluğu çoklu kopyalamaya izin vermesi amacıyla 34.5 cm. olarak seçilmiştir. Ölçümler farklı frekanslarda ($f = 9, 10, 11, 12, 14$ GHz) yapılmıştır. Oluşturulan ÇMG dalga kılavuzu yapısına, bu frekanslarda profiller gönderilerek dalga kılavuzunun belirli mesafelerinde dalganın ilerleyişi ölçüldü. Simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçlar bir arada gösterildi. Şekil 3’de 9 GHz çalışma frekansında simülasyon sonuçları ve deneysel çalışma sonuçları bir arada verilmiştir.



Şekil 3. 9 GHz frekansında açıklık düzlemi üzerinde $|E_y|$ ’ye karşı mesafe grafikleri. (a) giriş-çıkış dalga formlarının simülasyon grafiği (b) deneysel çalışma ile elde edilen çıkış grafiği.

Sonuç: “Kendini tekrar etme prensibi” ve ÇMG mekanizması açıklandı. ÇMG yaklaşımı çokmodlu ‘dikdörtgen metalik’ ve ‘dielektrik kat’ dalga kılavuzları araçlarının analizinde kullanıldı ve ilgili formülasyon geliştirildi. İki kısımdan oluşan bir dalga kılavuzu kurularak ÇMG metodunun deneysel çalışması yapıldı. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarının genel olarak uyduğu gözlemlendi. Deneysel araştırma sonuçları ÇMG metodunun, optik sistem araçlarında olduğu gibi pasif mikrodalga ve milimetrik dalga araçlarının analiz ve tasarımında da kullanılabileceğini kanıtladı.

Referanslar:

- [1] H.F. Talbot, “Facts relating to optical science No. IV.” *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 9, s. 401-407, December 1836. Third Series.
- [2] D.. Marcuse, *Light Transmission Optics*. New York: Van Nostrand Reinhold. 1972.
- [3] O. Bryngdahl, “Image formation using self-imaging techniques,” *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 63, no. 4, s. 416-419, 1973.
- [4] R. Ulrich, “Image Formation by phase coincidences in optical waveguides.” *Optics Communications*, vol. 13, no. 3, s. 259-264, 1975.
- [5] L. B. Soldano, “Multimode Interference Couplers Design and Application”, Delft University of Technology Phd Thesis, 1994. Hollanda.
- [6] C. Yazquez, F. J. Mustieles and F. Hernandez-Gil, “Three-Dimensional Method for Simulation of Multimode Interference Couplers,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, no. 11, s. 2296-2299.
- [7] W. C. Ng, M. S. Stern, “Analysis of Multiple-Rib Waveguide Structures by the Discrete-Spectral-Index Method,” *IEE Proc. on Optoelectron.* Vol. 145, no. 6, s. 365-371, 1998.
- [8] P. N. Robson and P. C. Kendall, eds., “Rib waveguide theory by the spectral index method.” *Optoelectronic Series*, John Wiley & Sons Inc. 1990.
- [9] Lucas B. Soldano and Erik C. M. Pennings, “Optical Multi-Mode Interference Devices Based on Self-Imaging: Principles and Applications.” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, no. 4, s 615-627, 1995.
- [10] R. E. Collin. “Foundations for Microwave Engineering.” McGraw-Hill, Inc., 1966.
- [11] Constantine A. Balanis. “Advanced Engineering Electromagnetics.” John Wiley and Sons, Inc., 1989.
- [12] R. M. Knox and P.P. Toullos, “Integrated circuits for the millimeter through optical frequency range,” in *Proc. MRI Symp. On Submillimeter Waves* (J. Fox, ed.), (New York, USA), s. 497-516, Polytechnic Press, 1970.
- [13] Klaus Solbach, “The Calculation and the Measurement of the Coupling Properties of Dielectric Image Lines of Rectangular Cross Section,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and techniques*, vol. MTT-27, no. 1, s.54-58, 1979.