

Çift Katlı Çıkıntılı Optik Dalga Kılavuzlarında Dalga Yayılımının İncelenmesi

Hayriye Altural, Ö. Galip Saraçoğlu
Erciyes Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Melikgazi, Kayseri
hayriye.altural@gmail.com, saracog@erciyes.edu.tr

Özet: Tek katlı çıkıntılı optik dalga kılavuzu yapısına ilave bir çıkıntı daha ekleyerek, yapının çift katlı olması sağlanmış ve bilinen tek katlı yapılara yaklaşımlar yapılarak yayılım özellikleri incelenmiştir. Yaklaşımlar yapılırken, çift katlı kılavuz içerisinde yayılan temel modun yayılım sabitindeki değişimler adım adım hesaplanmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Kılavuz içerisinde yayılan temel modun analizinde, etkin indis yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir teknik kullanılmıştır. Ayrıca, ilave çıkıntının temel modun yayılım karakteristiklerine etkisini incelemek için, yeni yapının geometrik boyutlarına bağlı bir normalize frekans ifadesi tanımlanmış ve yapı dışındaki çıkıntı yüksekliği değiştirilerek, temel modun yayılım sabiti açısından sergilediği davranış incelenmiştir. Sabit kılavuz genişliğine sahip çok katlı çıkıntılı dalga kılavuzu kullanılarak, çıkıntı yüksekliğinin değiştirilmesiyle, kılavuzun yayılım karakteristiklerinin değiştirilebileceği gösterilmiştir.

1. Giriş

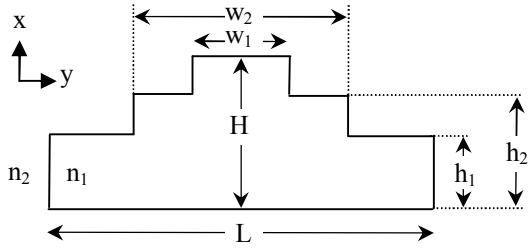
Optik haberleşme sistemlerinin hızlı ve başarılı gelişimi, farklı geometrik yapılardaki optik dalga kılavuzlarının modellenmesine ve analizine olan ilginin daha da artmasına neden olmuştur [1]. Yarıiletken malzemelerle tümleştirilebilir olmaları sebebiyle, tümeleşik optik (TO) teknolojisinde önemli pasif elemanlardan olan çıkıntılı optik dalga kılavuzları (ÇODK'lar), pasif ve aktif aygıtların tasarımında pratik olarak kullanılmaktadırlar [2]. İmalat kolaylığından, yan-düşey indis profillerinin kontrolünün basitliğinden ve optik alanı yanal olarak sınırlandırma yeteneklerinden dolayı bu elemanlar, özellikle son zamanlarda TO uygulamalarda daha fazla kullanılır hale gelmiştir [3, 4].

ÇODK probleminin tam analitik çözümü, kırılma indisi değişimlerinin karmaşık geometrisinden dolayı mümkün değildir [1]. Ayrıca, elektromanyetik alanın vektörel doğasından, kılavuzlayıcı bölgenin geometrik biçiminden ve ara kesitin sonsuz enine boyutundan kaynaklanan analitik çözüm zorluğu [3], başka çözüm yollarına kaymaya ve beraberinde de birçok yarı-analitik (etkin indis ve ağırlıklı indis) ve sayısal (demet yayılım, sonlu fark, mod uygunlama ve sonlu eleman) yöntemin [1-11] ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yarı-analitik yöntemler, basit ve etkili yöntemler olmalarına karşın, bütün pratik durumlar için yeterince doğru olmayabilirler. Sayısal yöntemler ise, doğru ve çok yönlüdür, fakat genellikle karmaşıktırlar ve yoğun bilgisayar hesaplamaları gerektirirler [3]. Güvenilir ve yeterli doğruluğa sahip olan yöntemler, dalga kılavuzu yapılarının analizinde daha çok tercih edilen yöntemlerdir.

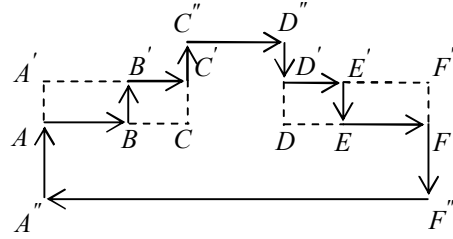
Bu bildiride, öncelikle, alışılmış ÇODK yapısına ilave bir çıkıntı daha ekleyerek yapının çift katlı olması sağlanmış ve bu yeni yapıdan hareketle, bilinen tek katlı yapılara yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir. Yaklaşımlar yapılırken, çift katlı kılavuz içerisinde yayılan temel modun yayılım sabitindeki değişimler hesaplanmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Kılavuz içerisinde yayılan temel modun analizinde, etkin indis yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir teknik kullanılmıştır. Daha sonra, ilave çıkıntının temel modun yayılım karakteristiklerine etkisini incelemek için, çift katlı çıkıntılı dalga kılavuzunun geometrik boyutlarına bağlı bir normalize frekans ifadesi tanımlanmış ve son olarak, yapı dışındaki çıkıntı yüksekliği değiştirilerek, temel modun yayılım sabiti açısından sergilediği davranış incelenmiştir.

2. Çift Katlı ÇODK'ların Modal Analizi

Alışılmış ÇODK yapısına bir çıkıntı daha eklenerek elde edilen yapının ara kesiti Şekil 1'de gösterilmiştir. n_1 ve n_2 , sırasıyla, öz (core) ve yelek (cladding) kırılma indisleridir. Özün kırılma indisi, yeleğin kırılma indisinden biraz büyük seçilerek tam iç yansıma ve zayıfça kılavuzlama şartları sağlanmıştır. Ara kesitin enine boyutu sonlu kabul edilmiş ve analizler buna göre yapılmıştır.



Şekil 1. Çift katlı ÇODK yapısının ara kesiti.



Şekil 2. Tek katlı yapılara geçiş adımları.

Yapılan analizlerde, çıkıntı genişliğinin (w_1), yapı içerisindeki çıkıntı yüksekliğine (H) oranı kesit geometrisi olarak tanımlanmıştır. Şekil 1'deki çift katlı dalga kılavuzu yapısı, Şekil 2'de $ABB'C'C'D'D'E'EFF'A''A$ basit kapalı yolu boyunca tekrar elde edilir. h_1 yüksekliğinin h_2 yüksekliğine yaklaştırılması neticesinde, $A'C'C'D'D'F'F'A''A'$ kapalı yolu ile temsil edilen ve h_2 yüksekliğinin h_1 yüksekliğine yaklaştırılması neticesinde de, $ACC'D'DFF''A''A$ kapalı yolu ile temsil edilen aynı w_1/H kesit geometrisine sahip fakat yapı dışındaki çıkıntı yüksekliği birbirinden farklı iki geometrik düzenleme elde edilmiştir (Şekil 2).

Kılavuz içerisinde yayılan temel modun analizinde, yarı-analitik yöntemlerden biri olan etkin indis yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir teknik kullanılmıştır. Bu teknik, Şekil 1'de verilen iki boyutlu bir yapıyı, x ve y yönlerinde uzanan birbirinden bağımsız altı dilim dalga kılavuzuna (DDK'ya) ayırarak, tek boyutlu bir yapıya dönüştürür. Üçü x yönünde, üçü de y yönünde uzanan altı adet DDK'ya ait özdeğerleri bulmak için Denk. (1) ile verilen ifade kullanılır:

$$\frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi(y)}{\partial y^2} + [k^2 n_x^2(x) - \beta_x^2] \psi(x) + [k^2 n_y^2(y) - \beta_y^2] \psi(y) = 0. \quad (1)$$

Burada ψ , skaler alan niceliklerini; k , serbest uzay dalga sayısını; n_x ve n_y , sırasıyla, x ve y yönlerindeki kırılma indislerini; β_x ve β_y , de, sırasıyla, x ve y yönlerinde uzanan DDK'ların yayılım sabitlerini temsil eder. x yönünde uzanan DDK'larda $\psi(x) = 0$ alınırken, y yönünde uzanan DDK'larda $\psi(y) = 0$ alınır ve elde edilen skaler dalga denklemlerinden altı farklı dilim için altı farklı yayılım sabiti değeri bulunur. Bulunan bu değerler Denk. (2)'de yerine yazılarak, Şekil 2'deki yapının β yayılım sabiti elde edilir (n , DDK sayısını temsil etmektedir ve burada ele alınan yapı için $n = 6$ 'dır):

$$\beta^2 = \sum_{m=1}^n \beta_m^2. \quad (2)$$

Bir dalga kılavuzunun dispersiyon özelliklerini gösterirken β yayılım sabiti yerine, genellikle, hesaplamaları özel bir dalga kılavuzundan bağımsız kılan ve Denk. (3) ile verilen normalize yayılım sabiti ifadesi kullanılır.

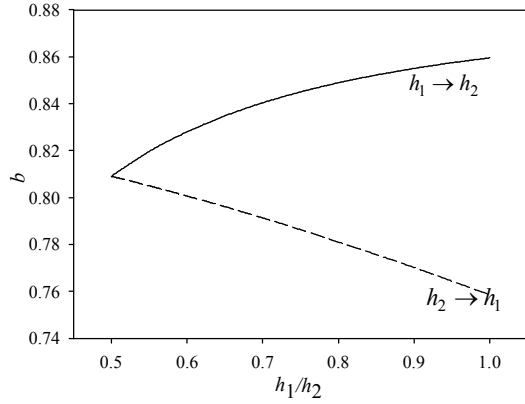
$$b = \frac{(\beta/k)^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$

Şekil 1'deki yapının tek katlı yapılara yaklaştırılması durumlarında, temel modun yayılım sabitindeki değişimler hesaplanmış ve grafiksel olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, $h_1 \rightarrow h_2$ durumunda b değeri artarken $h_2 \rightarrow h_1$ durumunda b değeri azalmaktadır.

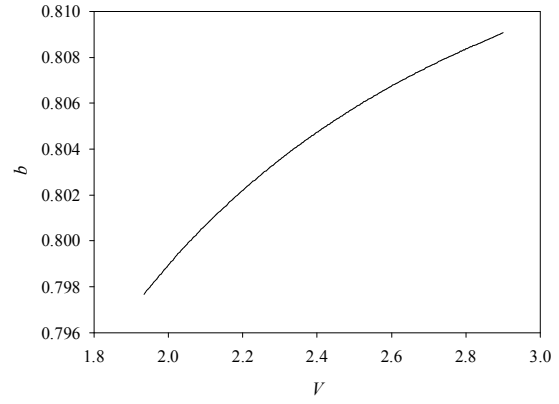
3. İlave Çıkıntının Temel Moda Etkisinin İncelenmesi

Tek katlı ÇODK yapısına ilave bir çıkıntının daha eklenmesiyle elde edilen yapının çift katlı yapıda, ilave çıkıntının temel modun yayılım karakteristiklerine etkisini incelemek için, çift katlı ÇODK'nın geometrik boyutlarına bağlı bir normalize frekans ifadesi tanımlanmıştır:

$$V = k \frac{w_1}{L} H \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (4)$$



Şekil 3. Tek katlı yapıya yaklaşımlarda temel modun normalize yayılım sabitindeki değişim.



Şekil 4. Çift katlı ÇODK'da kılavuzlanan temel moda ait V - b eğrisi.

H yüksekliği h_2 yüksekliğine yaklaştırıldığında, ilave çıkıntı ortadan kalkmakta ve dalga kılavuzu, sonlu yanal genişliğe sahip tek katlı ÇODK'ya dönüşmektedir. Yapı dışındaki çıkıntı yüksekliği değiştirilerek, temel modun yayılım sabiti açısından sergilediği davranış incelenmiş ve bu durum, Şekil 4'te gösterilmiştir.

4. Sonuçlar

Tek katlı ÇODK yapısına ilave bir çıkıntı daha ekleyerek elde edilen çift katlı yapıdan hareketle, bilinen tek katlı yapıya yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir. Yaklaşımlar yapılırken, çift katlı kılavuz içerisinde yayılan temel modun yayılım sabitindeki değişimler hesaplanmıştır. Modal analizlerde, etkin indis yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir teknik kullanılmıştır. $h_1 \rightarrow h_2$ durumunda b değeri artarken $h_2 \rightarrow h_1$ durumunda b değeri azalmaktadır. Ayrıca, ilave çıkıntının temel modun yayılım karakteristiklerine etkisini incelemek için, çift katlı ÇODK'nın geometrik boyutlarına bağlı bir normalize frekans ifadesi tanımlanmış ve yapı dışındaki çıkıntı yüksekliği değiştirilerek, temel modun yayılım sabiti açısından sergilediği davranış incelenmiştir.

Sunulan yeni yapının analizleri, sabit kılavuz genişliğine sahip çok katlı bir ÇODK kullanılarak, çıkıntı yüksekliğinin değiştirilmesiyle, kılavuzun yayılım karakteristiklerinin değiştirilebileceğini göstermiştir.

5. Kaynaklar

- [1]. Benson T. M., Kendall P. C., Matin M. A. ve Stern M. S., "Highly accurate vector correction for optical waveguide propagation constants", IEE Proceedings-J, 140(2), s.93-97, 1993.
- [2]. Pogossian S. P., Vescan L. ve Vonsović A., "The single-mode condition for semiconductor rib waveguides with large cross section", Journal of Lightwave Technology, 16(10), s.1851-1853, 1998.
- [3]. Huang W. ve Haus H. A., "A simple variational approach to optical rib waveguides", Journal of Lightwave Technology, 9(1), s.56-61, 1991.
- [4]. Borges B. -H. V., Romero M. A. ve Cesar A. C., "Leakage loss analysis in rib type waveguides by the effective index method", SBMO/IEEE MTT-S IMOC'99 Proceedings, s.129-133, 1999.
- [5]. Ferguson A. D., Kuver A., Heaton J. M., Zhou Y., Snowden C. M. ve Iezekiel S., "Low-loss, single-mode GaAs / AlGaAs waveguides with large core thickness", IEE Proceedings-Optoelectronics, 153(2), s.51-56, 2006.
- [6]. Apithy H., Bouslimani Y. ve Hamam H., "Simulation methods in optical propagation", Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 30(1), s.39-48, 2005.
- [7]. Supa'at A. S. M., Mohammad A. B., Kassim N. M. ve Omar S., "Analysis of mode fields in optical waveguides", Proceedings of IEEE TENCON'02, s.829-832, 2002.
- [8]. Soref R. A., Schmidtchen J. ve Petermann K., "Large single-mode rib waveguides in GeSi-Si and Si-on-SiO₂", IEEE Journal of Quantum Electronics, 27(8), s.1971-1974, 1991.
- [9]. Kendall P. C., McIlroy P. W. A. ve Stern M. S., "Spectral index method for rib waveguide analysis", Electronics Letters, 25(2), s.107-108, 1989.
- [10]. Yevick D. ve Hermanson B., "New formulations of the matrix beam propagation method: Application to rib waveguides", IEEE Journal of Quantum Electronics, 25(2), s.221-229, 1989.
- [11]. Rahman B. M. A. ve Davies J. B., "Finite-element analysis of optical and microwave waveguide problems", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-32(1), s.20-28, 1984.