

PERİYODİK OLARAK DİELEKTRİK YÜKLÜ DİKDÖRTGEN DALGA KILAVUZLARININ İLETİM ÖZELLİKLERİ

Serkan Şimşek⁽¹⁾, Ercan Topuz⁽²⁾
İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Maslak, İstanbul
ssimsek@ehb.itu.edu.tr, topuz@ehb.itu.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, periyodik ve sonlu periyodik yapıların analizleri, sayısal doğruluğu koruyan ve aynı zamanda yüksek dereceli mod interaksyonundan kaynaklanan sayısal kararsızlık problemini ortadan kaldıran Genelleştirilmiş S Matrisleri ile Modal Açılım Tekniği kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada homojen olmayan kesiti dielektrikle yüklü dikdörtgen dalga kılavuzlarında Genelleştirilmiş S Matrisleri kullanılarak, periyodik yapının özdeğer denklemi çözülmüş, dispersiyon diyagramları, iletim/durdurma bandları elde edilmiştir. Periyodik yapıyı oluşturan birim hücrenin sonlu sayıda tekrarlanması durumunda oluşan sonlu periyodik yapının iletim özelliklerinin, göz önüne alınan hücre sayısına bağlı olarak periyodik yapıdan ne ölçüde farklılaşacağı yani periyodik yapının sonlandırma etkileri irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Periyodik/Sonlu Periyodik Yapılar, Genelleştirilmiş S Matrisi, Dikdörtgen Dalga Kılavuzu

I. GİRİŞ

Periyodik yapıların, geriye dalgalı osilatörler, yürüyen dalga tüpleri, basamak tipi dalga kılavuzu antenleri, faz kaydırıcıları gibi çeşitli mikrodalga devrelerinde uygulama alanı bulunmaktadır [1-2]. Aynı zamanda fotonik kristaller ile ilgili çalışmalarda da periyodik yapıların analizleri önem taşımaktadır [3]. Bu sistemlerin tasarımında ortak olan problem periyodik yapıların iletim özelliklerinin belirlenmesidir [4]. Literatürde silindirik dielektriklerle periyodik, sonlu periyodik yüklü dikdörtgen dalga kılavuzlarının analizi [5]'te dikdörtgen prizması biçiminde dielektrik yüklü yapıların analizi ise FDTD yöntemi ile [6]'da incelenmiştir. [6]'da yapılan çalışma üst modların tüm interaksyonunu içermemektedir. Oysa ki, dalga kılavuzlarında birbirine yakın ardışık süreksizlikler bulunması durumunda yüksek dereceli, kesim ötesi modların etkileri önem taşır ve bu nedenle ardışık bloklar birbirlerinden bağımsız olarak modellenemezler. Diğer taraftan bu tip yapıların analizinde literatürde genellikle kullanılan iletim hattı matrisleri, kesim ötesi modlara ilişkin katkıların çok farklı mertebelerde olabilmesi nedeniyle sayısal kararsızlıklara neden olmaktadır [7-8]. Bu nedenle bu çalışmada, periyodik birim hücrenin ve sonlu periyodik yapıların analizleri, sayısal doğruluğu koruyan ve aynı zamanda yüksek dereceli mod interaksyonundan kaynaklanan sayısal kararsızlık problemini ortadan kaldıran Genelleştirilmiş S Matrisleri ile Modal Açılım Tekniği kullanılarak yapılmıştır.

II. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada ele alınan periyodik yapının problem geometrisi Şekil 1a'da verilmiştir. Yapı p periyotlu olup, d uzunlukta ϵ_{ri} $i=1,2,3$ dielektrikle, kesitte parçalı olarak ($0 \leq x \leq t_1$, $t_1 \leq x \leq t_2$, $t_2 \leq x \leq a$) yüklüdür. Yapının periyodik olması nedeniyle birim hücrenin analizi yeterlidir. Komşu hücreler ile bağlantı Floquet koşulu gereği $F(z+p) = e^{-j\beta p} F(z)$ olarak tanımlanır [1]. Burada, p yapının periyodu, β propagasyon sabiti, F ise skaler bir elektromagnetik alan bileşenidir. Bu durumda özdeğer denklemi, $\lambda \triangleq e^{-j\beta p}$, a_n, b_n birim hücrenin giriş çıkış büyüklükleri olmak üzere

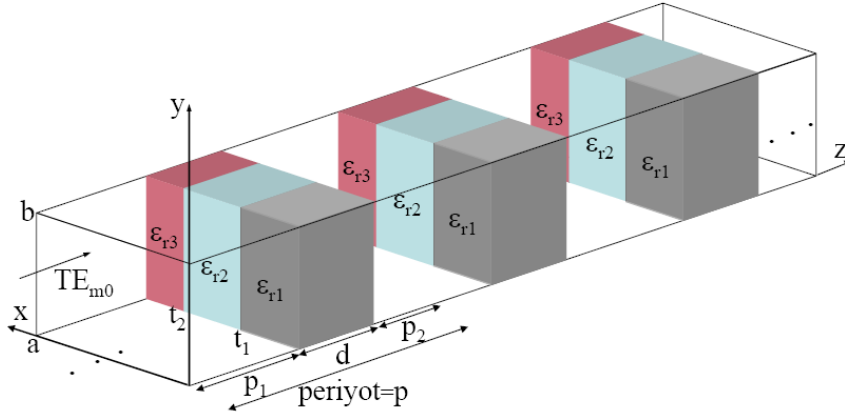
$$\begin{bmatrix} I & -S_{11}^P \\ 0 & -S_{21}^P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_n \\ a_n \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} -S_{12}^P & 0 \\ -S_{22}^P & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_n \\ a_n \end{bmatrix} = 0 \quad (1)$$

elde edilir. Özdeğer denklemindeki I , $N \times N$ boyutlu birim matris, S_{11}^P , S_{12}^P , S_{21}^P , S_{22}^P periyodik hücrenin Genelleştirilmiş S matrisinin (S^P), $N \times N$ boyutlu alt matrisleridir.

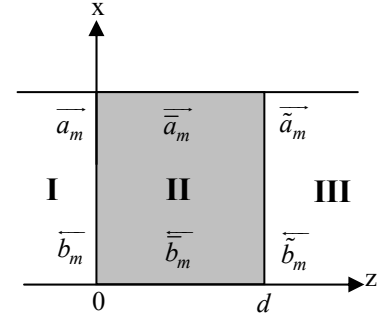
III. GENELLEŞTİRİLMİŞ BLOK S MATRİSİNİN ELDE EDİLMESİ

Şekil 1b'de dalga kılavuzunun soldan TE_{m0} modları ile uyarıldığı varsayılmaktadır. I ve III bölgeleri hava ile dolu, II bölgesi ise kesitte parçalı dielektrik yüklüdür. I bölgesine gelen TE_{m0} modları I-II sınır yüzeyine ulaştıklarında süreksizlik nedeniyle yüksek dereceli TE_{m0} tipi modların oluşmasına neden olacaktır [9]. Bu durumda I bölgesinde, boş borunun öz fonksiyonları ile tanımlanabilen gelen ve yansıyan TE_{m0} modları, II bölgesinde ise kesitte parçalı dielektrik yüklü borunun öz fonksiyonları ile tanımlanabilen giden ve yansıyan TE_{m0} modları, III bölgesi ise giden

ve yansıyan TE_{m0} modları oluşacaktır. II bölgesinin öz fonksiyonları, I bölgesinin öz fonksiyonlarından farklı olduğu için çözümlerde \overline{TE} gösterilimi kullanılmaktadır.



Şekil 1a. Periyodik olarak dielektrik yüklü dikdörtgen dalga kılavuzu



Şekil 1b. Parçalı dielektrik yüklü dikdörtgen dalga kılavuzu

I, II ve III bölgelerindeki E_y ve H_x alanları bu bölgeler içindeki modal bileşenler cinsinden bir açılımla ifade edilebilir,

I.Bölgede

$$E_y^I = \sum_{m=1}^P a_m \sqrt{Z_m} f_m e^{-\alpha_m z} + \sum_{m=1}^P b_m \sqrt{Z_m} f_m e^{\alpha_m z}, \quad H_x^I = \sum_{m=1}^P a_m \sqrt{Y_m} f_m e^{-\alpha_m z} - \sum_{m=1}^P b_m \sqrt{Y_m} f_m e^{\alpha_m z} \quad (2)$$

II.Bölgede:

$$E_y^{II} = \sum_{m=1}^P \bar{a}_m \sqrt{\bar{Z}_m} \bar{f}_m e^{-\bar{\alpha}_m z} + \sum_{m=1}^P \bar{b}_m \sqrt{\bar{Z}_m} \bar{f}_m e^{\bar{\alpha}_m z}, \quad H_x^{II} = \sum_{m=1}^P \bar{a}_m \sqrt{\bar{Y}_m} \bar{f}_m e^{-\bar{\alpha}_m z} - \sum_{m=1}^P \bar{b}_m \sqrt{\bar{Y}_m} \bar{f}_m e^{\bar{\alpha}_m z} \quad (3)$$

III.Bölgede

$$E_y^{III} = \sum_{m=1}^P \sqrt{Z_m} f_m (\tilde{a}_m e^{-\alpha_m(z-d)} + \tilde{b}_m e^{\alpha_m(z-d)}), \quad H_x^{III} = \sum_{m=1}^P \sqrt{Y_m} f_m (\tilde{a}_m e^{-\alpha_m(z-d)} - \tilde{b}_m e^{\alpha_m(z-d)}) \quad (4)$$

Burada f_m, \bar{f}_m TE_{m0} modlarında I ve II bölgelerinde x değişimini belirleyen ortanormal fonksiyonları, $a_m, \bar{a}_m, \tilde{a}_m, b_m, \bar{b}_m,$ ve \tilde{b}_m modal açılım katsayılarını, m ilgilenilen mod, P modal açılımda kullanılan mod sayısı, α, Z ve Y boş borunun zayıflama sabitini, dalga empedansını, dalga admitansını, $\bar{\alpha}, \bar{Z}, \bar{Y}$ ise parçalı dielektrik yüklü borunun zayıflama sabitini, dalga empedansını, dalga admitansını göstermektedir. Problem sonuçta aşağıdaki matrisel denklem takımına indirgenir.

$$[U] = [Q][C] - [M][D], \quad [\tilde{U}] = [Q][D] - [M][C] \quad (5)$$

Burada $[U]_{N \times 1}, [Q]_{N \times N}$ ve $[M]_{N \times N}$ boyutlu, $[C]$ ve $[D]$ ise $E_y(z=0) \cong \sum_{t=1}^N C_t \bar{f}_t, E_y(z=d) \cong \sum_{t=1}^N D_t \bar{f}_t$ ile tanımlanabilen açılım katsayılarına ilişkin $N \times 1$ boyutlu matrislerdir. Bu matrislerin elemanları

$$U_{\gamma} = 2Y_1 \langle f_1, \bar{f}_{\gamma} \rangle, \quad Q_{\gamma,t} = \left[\sum_{m=1}^P Y_m \langle f_m, \bar{f}_{\gamma} \rangle \langle f_m, \bar{f}_t \rangle \right] + \bar{Y}_t \coth \bar{\alpha}_t d \delta_{\gamma,t}, \quad M_{\gamma,t} = \frac{\bar{Y}_t \delta_{\gamma,t}}{\sinh \bar{\alpha}_t d} \quad (6)$$

ifadeleri ile tanımlanır. Bu durumda b_m ve \tilde{a}_m için

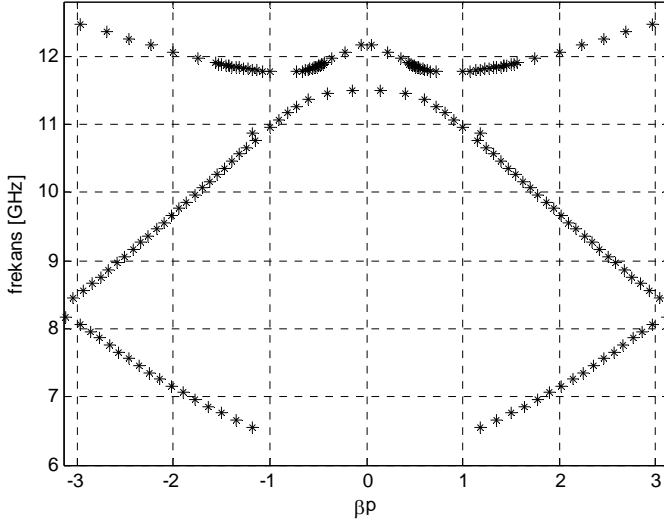
$$b_m = \sqrt{Y_m} \sum_{t=1}^N C_t \langle f_m, \bar{f}_t \rangle - a_m, \quad \tilde{a}_m = \sqrt{Y_m} \sum_{t=1}^N D_t \langle f_m, \bar{f}_t \rangle - \tilde{b}_m \quad (7)$$

ifadeleri elde edilir. a_m, b_m, \tilde{a}_m ve \tilde{b}_m katsayılarının bulunması $z=0^-$ ve $z=d^+$ düzlemleriyle sınırlı N kapılının Blok S matrisi elemanlarının belirlenmesi için yeterlidir. Periyodik hücrenin Genelleştirilmiş S Matrisi (S^P),

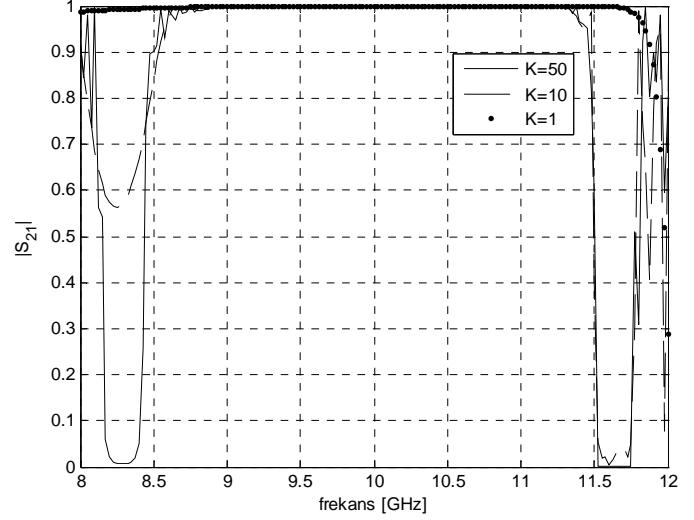
Genelleştirilmiş Blok S Matrisini (S^B) içine alan referans düzlemlerinin sola ve sağa doğru p_1 ve p_2 kadar ötelenmesi ile elde edilir.

IV. SAYISAL SONUÇLAR

WR-90 X Bandı dalga kılavuzu ($a=2.286cm$ $b=1.016cm$) için $t_1=a/8$, $t_2=a/4$, $d=2cm$, $p_1=a/8$, $p_2=a/8$, $\varepsilon_{r1}=1$, $\varepsilon_{r2}=2.56$, $\varepsilon_{r3}=1$ ve 10 modluk modal açılım kullanıldığında elde edilen dispersiyon diyagramı Şekil 2a'da verilmiştir.



Şekil 2a. Periyodik yapının dispersiyon grafiği



Şekil 2b. Sonlu periyodik yapı için $|S_{21}|$

Şekil 2a'dan periyodik yapının iletim/durdurma bandları görülmektedir. Periyodik birim hücrenin sonlu sayıda tekrarlanması durumunda ($K=50$, $K=10$, $K=1$, K : kaskat bağlı periyodik birim hücre sayısı) oluşan sonlu periyodik yapının iletim özelliklerinin, göz önüne alınan hücre sayısına bağlı olarak periyodik yapıdan ne ölçüde farklılaşacağı 10 modluk modal açılım sonucu elde edilen Şekil 2b'den anlaşılmaktadır.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, kaskat bağlı yapılarda ortaya çıkan sayısal kararsızlık problemini ortadan kaldıran Genelleştirilmiş S Matrisleri kullanılarak, periyodik yapının özdeğer denklemi çözülmüş, yapının dispersiyon diyagramları, iletim/durdurma bandları elde edilmiştir. Aynı zamanda sonlu periyodik yapıların, ardışık hücre sayısına bağlı olarak periyodik yapıdan ne ölçüde farklılaşacağı incelenmiştir. Ortaya konan model, modal açılımda yeterli sayıda mod alınması koşulu ile, ardışık süreksizlikler arasındaki mesafeden bağımsız olarak bu tip periyodik ve sonlandırılmış yapıların tam çözümünü vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Collin R. E., Field Theory of Guided Waves, IEEE Press, New York, 1991.
- [2]. Clarricoats P. J. B., Olver D., "Corrugated Horns for Microwave Antennas, Peregrinus", London, 1984.
- [3]. Joannopoulos J. D., Meade R. D., ve Winn J. N., Photonic Crystals, Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1995.
- [4]. Amari S., Vahldieck R., Bornemann J., Leuchtman P., "Spectrum of corrugated and periodically loaded waveguides from classical matrix eigenvalues", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 48(3), sf. 453-460, 2000
- [5]. Lech R., Mazur J., "Propagation in rectangular waveguides periodically loaded with cylindrical posts", IEEE Microwave and Wireless Comp. Letters, 14(4), sf. 177-179, 2004.
- [6]. Ong C. Y., Okoniewski M., "A simple recursive formula for calculating the S-parameters of finite periodic structures", IEEE Microwave and Wireless Comp. Letters, 12(7), sf.264-266, 2002.
- [7]. Patzelt H., Arndt F., "Double-plane steps in rectangular waveguides and their application for transformers, irises, and filters", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 30(5), sf. 771-775, 1982.
- [8]. Chu T. S., Itoh.T., "Generalized scattering matrix method for analysis of cascaded and offset microstrip step discontinuities", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 34(2), sf. 280-284, 1986.
- [9]. Harrington, R.F., Time Harmonic Electromagnetic Waves, McGraw-Hill Book Company, New York, 1961.