

Bakışsız Levhada Menderes Biçimli Polarizör

Kemal DELİHACIOĞLU ve Savaş UÇKUN
Gaziantep Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
27310, Gaziantep
kemal@gantep.edu.tr, savas@gantep.edu.tr

Özet: Bu çalışmada bakışsız (chiral) levha üzerine yerleştirilen Menderes Biçimli (MB) (Meander-line) şeritlerden yansıyan ve geçen güç katsayıları, bakışsız levhaya eğik açıyla gelen TM düzlemsel dalgaları için incelenmiştir. MB şeritler, bakışsız levha üzerine, düzleme, periyodik olarak yerleştirilmiştir. Bakışsız levhaya gelen düzlemsel dalga MB şeritler üzerinde akım indükler. İndüklenen akım bilinmeyen akım katsayıları cinsinden matris denklemi şeklinde yazılır. Bilinmeyen akım katsayıları temel fonksiyonlar cinsinden yazılıp moment method kullanılarak bulunur. Yansıyan ve geçen güç katsayıları gelen dalgaya göre normalize edilmiş olup, elektrik ve manyetik alan denklemlerinden, sınır şartlarının sağlanmasından sonra Poynting vektör kullanılarak bulunur.

1. GİRİŞ

Elektromanyetik mikrodalga ve milimetredalga alanlarındaki potansiyel uygulamalarından dolayı son on yıllarda bakışsız (chiral) ortam üzerindeki çalışmalar yoğunluk kazanmıştır[1]. Bakışsızlık (chirality) geometrik bir fikir olup bakışsız nesne ile aynadaki görüntüsü arasında bir simetri yoktur[2]. Bakışsız levha üzerine gelen doğrusal polarizasyonlu dalga bakışsız levha içinde farklı faz hızlarında sol ve sağ el dairesel polarizasyonlu iki dalgaya ayrılır. Bakışsız levhanın arkasında bu iki dalga birleşerek, polarizasyon düzlemi gelen dalganın polarizasyon düzlemine göre dönmüş doğrusal polarizasyonlu bir dalga oluşturur. Dalganın dönme miktarı bakışsız ortamda ne kadar hareket ettiğine ve dalga sayıları arasındaki farka bağlıdır[3], [4].

MB polarizörün ilk tasarımı deneme yanılma yoluyla 1966 yılında Stanford Araştırma Enstitüsünde gerçekleştirilmiştir. MB polarizörlerin teorik analizi ve deneysel sonuçların tartışmaları [5]'te yer almaktadır. Sonsuz uzunlukta bir levha üzerine x ve y yönünde periyodik dizi teşkil edecek şekilde yerleştirilmiş MB ince iletkenlerden oluşan bir polarizör yardımı ile lineer polarizasyonlu bir dalga geniş bantlı dairesel polarize bir dalgaya çevrilebilir. Bu nedenle polarizör üzerine dik gelen düzlemsel dalganın elektrik vektörü birbirine dik iki bileşen gibi düşünülebilir. Bu bileşenlerden MB polarizör iletken eksenine paralel gelen bileşeni indaktif olarak geri kalır, dik bileşen ise kapasitif olarak ileri gider. Polarizör parametreleri uygun seçilerek çıkışta bu iki dik bileşenlerin büyüklüklerinin birbirine eşit olması ve aralarında 90° lik faz farkı sağlanabildiği takdirde dairesel biçimde polarize olmuş bir dalga elde edilir[6], [7]. Elektromanyetik dalgalarla bakışsız yapıların etkileşimi birçok bilim adamı tarafından çalışılmıştır. Bakışsız levha üzerinde MB şeritler ile ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bakışsız levhanın rotasyon ve MB şeritlerin polarizasyon özellikleri bizi bu konuda çalışmaya motive etmiştir. Bu merakla bakışsız levha üzerine yerleştirilen MB polarizörlerden yansıyan ve geçen güç katsayıları hem TM hem de TE düzlemsel dalgaları için teorik olarak çalışılmıştır. Ancak sonuçlar sadece TM düzlemsel dalga için verilmiştir.

2. TEORİ

Yön bağımsız (isotropic), homojen, kayıpsız ve bakışsız ortamda genel yapı denklemleri ($e^{j\omega t}$ gizli tutulmuştur) [2],

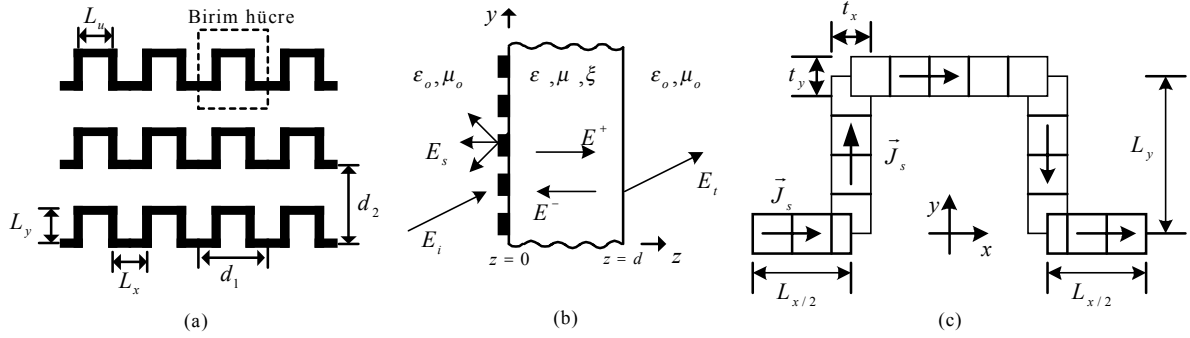
$$\vec{D} = \epsilon_c \vec{E} - j\xi \vec{B} \quad (1)$$

$$\vec{H} = -j\xi \vec{E} + \frac{1}{\mu_c} \vec{B} \quad (2)$$

şeklinde olup, burada ϵ_c , μ_c ve ξ sırasıyla, bakışsız ortamın elektriksel geçirgenliği, manyetik geçirgenliği ve bakışsızlık admittansıdır. (1) ve (2) nolu eşitlikler Maxwell denklemleri ile birlikte çözüldüğünde Helmholtz denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} - 2\omega\mu_c\xi\nabla \times \vec{E} - \omega^2\mu_c\varepsilon_c\vec{E} = 0 \quad (3)$$

Bu denklem kullanılarak bakışsız ortamdaki sol ve sağ dairesel polarizasyonlu dalgalar için karakteristik dalga sayıları, sol el dairesel polarizasyonlu dalgalar için $k_L = -\omega\mu_c\xi + \omega\sqrt{\mu_c\varepsilon_c + \mu_c^2\xi^2}$ ve sağ el polarizasyonlu dalgalar için ise, $k_R = \omega\mu_c\xi + \omega\sqrt{\mu_c\varepsilon_c + \mu_c^2\xi^2}$ olarak bulunur. Dolayısıyla bakışsız ortamda hem sol hemde sağ el dairesel polarizasyonlu dalgalar farklı faz hızlarıyla yayılım yapmaktadırlar.



Şekil 1 (a) MB polazörün önden görünüşü, (b) MB polarizörün yandan görünüşü (c) birim hücre

Bu çalışmada Şekil 1b'de görüldüğü gibi $z=0$ 'dan $z=d$ 'ye uzanan d kalınlığındaki bakışsız levha üzerine yerleştirilen MB şeritlerden yansıyan ve geçen güç katsayıları TM düzlemsel dalga için incelenmiştir. TM düzlemsel dalga bakışsız levhaya hava ortamından eğik açıyla gelmektedir. Bu durumda gelen ve yansıyan elektrik alan denkleminin toplamı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\vec{E}_i = E_o^{TM}\vec{\Psi}_1 e^{-j\gamma z} + \sum_{m=1}^2 j^{m-1} E_r^{(m)}\vec{\Psi}_m e^{j\gamma z} \quad (4)$$

burada, E_o^{TM} ve $E_r^{(m)}$ sırasıyla, gelen ve yansıyan dalgaların büyüklüğünü, $m=1$ TM kipini ve $m=2$ de TE kipini göstermektedir. $\vec{\Psi}_m$ skalar dalga denkleminin (Helmholtz) periyodik yapılar için çözümü olup detaylı denklemler [8]'de görülebilir. MB şeritlerden saçılan elektrik alan denklemini,

$$\vec{E}_s = \sum_{m=1}^2 \sum_p \sum_q j^{m-1} E_{rpq}^{(m)} e^{j\gamma_{pq} z} \vec{\Psi}_{mpq} \quad (5)$$

burada, $E_{rpq}^{(m)}$ saçılan dalgaların büyüklüğünü göstermektedir. Bakışsız ortamda, $+z$ ve $-z$ yönünde giden dalgalar için elektrik alan denklemleri sol ve sağ el dairesel polarizasyonlu düzlemsel dalgaların toplamı şekline yazılabilir[8]. Bakışsız levhanın dışında geçen (transmitted) elektrik alan denklemini,

$$\vec{E}_t = \sum_{m=1}^2 j^{m-1} (E_t^{(m)}\vec{\Psi}_m e^{-j\gamma(z-d)} + \sum_p \sum_q E_{tpq}^{(m)} e^{-j\gamma_{pq}(z-d)}\vec{\Psi}_{mpq}) \quad (6)$$

burada, $E_t^{(m)}$ ve $E_{tpq}^{(m)}$ sırasıyla, geçen (MB şeritler yokken) ve saçılan (MB şeritler varken) dalgaların büyüklüğünü göstermektedir. Yansıyan ve geçen dalgalar Snell yansıma ve kırılma kanunlarına uyar. Yüzeğe teğet olan elektrik ve manyetik alanlar $z=0$ ve $z=d$ 'de sınır şartlarını sağlar. Bakışsız levhaya gelen düzlemsel dalga MB şeritler üzerinde akım indükler. İndüklenen akım, tek bir birim hücre (Şekil 1a) düşünüldüğünde birinci dereceden Fredholm integral denkleminde bilinmeyen akım yoğunluğu cinsinden yazılır. Bilinmeyen akım katsayıları temel fonksiyonlar cinsinden yazılıp Moment method [9] kullanılarak elde edilen

matrisin tersinin alınmasıyla bulunur. Bu durumda yansıyan ve geçen elektrik alan denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \vec{E}_r = & E_r^{(1)}\vec{\Psi}_1 + \frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{n=1}^N \alpha_n \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} (r_1 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{1pq} > + r_2 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{2pq} >) \vec{\Psi}_{1pq} \{ \\ & + j \left[E_r^{(2)}\vec{\Psi}_2 + \frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{n=1}^N \alpha_n \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} (r_3 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{1pq} > + r_4 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{2pq} >) \vec{\Psi}_{2pq} \right] \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \vec{E}_t = & E_t^{(1)}\vec{\Psi}_1 + \frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{n=1}^N \alpha_n \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} (t_1 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{1pq} > + t_2 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{2pq} >) \vec{\Psi}_{1pq} \{ \\ & + j \left[E_t^{(2)}\vec{\Psi}_2 + \frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{n=1}^N \alpha_n \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} (t_3 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{1pq} > + t_4 < \vec{f}_n, \vec{\Psi}_{2pq} >) \vec{\Psi}_{2pq} \right] \} \end{aligned} \quad (8)$$

burada, α_n bilinmeyen akım katsayılarını, A ise birim hücre alanını göstermektedir[8]. Yansıyan ve geçen güç katsayıları elektrik alan denklemlerinden Poynting vektör kullanılarak bulunabilir.

3. NÜMERİK SONUÇLAR

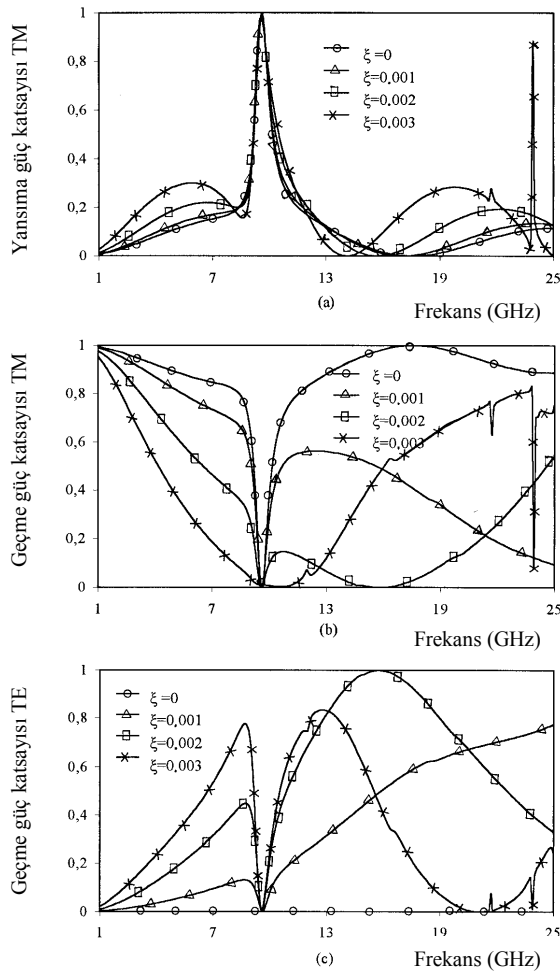
Bu bölümde TM düzlemsel dalga için yansıma ve geçme güç katsayılarının ortamın bakışimsızlık admitansının farklı değerleri için frekansa ve gelme açısına göre grafikleri çizilmiştir. Yansıma ve geçme güç katsayıları gelen dalğanın gücüne göre normalize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar enerjinin korunumu kanunu ile uyumludur. Yani ortak (co-) ve çapraz (cross-) kutupsal yansıma ve geçme güç katsayılarının toplamı bire eşittir. Bu da sonuçları kontrol imkanı sağlar. Bakışimsızlık admitansı, bakışimsızlık derecesini belirtmekte olup değeri $|\xi| \leq \sqrt{\epsilon_c/\mu_c}$ aralığında sınırlı tutulmuştur[4]. Dalga boyuna göre ince iletkenlerden oluşan sonsuz uzunluktaki MB şeritler bakışimsız levha üzerine x ve y yönünde periyodik dizi teşkil edecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 1a'da görüleceği gibi MB şeritlerin; birim hücre boyutları $d_1=5$ mm, $d_2=10$ mm, yatay uzunluklar, $L_u=L_x=2.5$ mm, dikey uzunluk $L_y=5$ mm, ve kalınlığı $t_x=t_y=0.25$ mm alınmıştır.

Şekil 2a, 2b ve 2c sırasıyla, yansıma güç katsayısı TM, geçme güç katsayısı TM ve geçme güç katsayısı TE'nin bakışimsızlık admitansının farklı değerleri için frekansa göre çizilmiş grafiklerini göstermektedir. Çapraz(cross-) kutupsal yansıma güç katsayısı TE, karşılıklı (reciprocity) ve rotasyonel (rotational) simetriden dolayı sıfırdır. Şekil 2a'dan görüldüğü gibi ortak kutupsal yansıma güç katsayısı TM, dört farklı bakışimsızlık admitansı için 9.6 GHz civarında bire eşittir. Şekil 2c'de çapraz kutupsal geçme güç katsayısı TE'nin, 15.5 GHz civarında bakışimsızlık admitansının $\xi=0.002$ S değeri için bire yaklaştığı görülmektedir. Bu durumda geçen dalğanın polarizasyonu TM'den TE'ye dönüşmüştür.

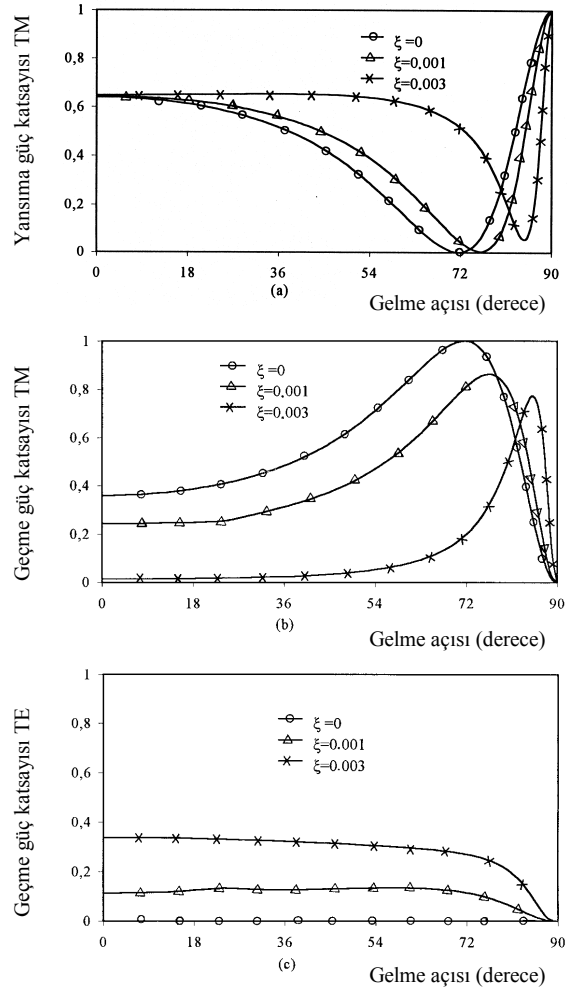
Şekil 3a,3b ve 3c sırasıyla, yansıma güç katsayısı TM, geçme güç katsayısı TM ve geçme güç katsayısı TE'nin bakışimsızlık admitansının farklı değerleri için gelme açısına göre çizilmiş grafiklerini göstermektedir. Şekil 3a'da bakışimsızlık admitansının $\xi=0$ ve $\xi=0.001$ S değerleri için 72° ve 75° 'lerde Brewster açısı (total transmission) vardır. Bakışimsızlık admitansının $\xi=0.003$ S değeri için ortak kutupsal yansıma güç katsayısının band aralığı daralırken Brewster açısı oluşmamaktadır. Şekil 2b'de $\xi=0$ için 72° 'de ortak kutupsal geçme güç katsayısının bire eşit olduğu görülmektedir. Şekil 3c'de çapraz kutupsal geçme güç katsayısı bakışimsızlık admitansının farklı değerleri için 70° 'ye kadar fazla değişmediği görülmüştür.

4. SONUÇ

Bakışimsız levhanın polarizasyon etkisi bilinmektedir. Doğrusal polarizasyonlu bir dalga dielektrik levha üzerine MB şeritler yerleştirilerek dairesel polarizasyonlu bir dalgaya çevrilebilir. Bu çalışmada, bakışimsız levha üzerine MB şeritler yerleştirilerek, bakışimsızlık admitansının farklı değerleri için ortak ve çapraz kutupsal yansıma ve geçme güç katsayıları frekans değişimi ve gelme açılarına göre incelenmiştir. MB polarizörlerde tasarım parametreleri MB şeritlerin boyutları, dielektrik sabiti ve levha kalınlığıdır. Dielektrik levha, bakışimsız levha ile değiştirilirse tasarımda kullanılan parametre sayısı artarak tasarımcıya kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 2. Normal açıyla gelen TM düzlemsel dalga için, $\epsilon_r=2$ ve $d=6.25$ mm. (a) yansıma güç katsayısı TM, (b) geçme güç katsayısı TM, (c) geçme güç katsayısı TE.



Şekil 3. TM düzlemsel dalga için, $\epsilon_r=2$, $d=6.25$ mm ($\lambda/4$) ve $f=12$ GHz. (a) yansıma güç katsayısı TM, (b) geçme güç katsayısı TM, (c) geçme güç katsayısı TE.

5. KAYNAKÇA

- [1]. Lindell I. V., Sihvola A. H., Tretyakov S. A., ve Viitanen A. J., *Electromagnetic Waves in Chiral and Bi-isotropic Media*, Boston-London, Artech House, 1994.
- [2]. Jaggard D. L., Mickelson A. R., ve Papas C. H., "On electromagnetic waves in chiral media," *Applied Physics*, 18, s.211-216, 1979.
- [3]. Bassiri S., Papas C. H. ve Engheta N., "Electromagnetic wave propagation through a dielectric-chiral interface and through a chiral slab," *J. Opt. Soc. Am. A*, 5, 9, s.1450-1459, Eylül 1988.
- [4]. Engheta N. ve Jaggard D. L., "Electromagnetic chirality and its applications," *IEEE AP-S Newslett.*, 30, 5, s.6-12, Ekim 1988.
- [5]. Young L., Robinson L. A. ve Hacking C. A., "Meander-line polarizer," *IEEE Trans. Propagat.*, 21, 376, Mayıs 1973.
- [6]. Montgomery J. P., "Scattering by an infinite periodic array of thin conductors on a dielectric sheet," *IEEE Trans. AP*, 23, 1, s.70-75, Haziran 1975.
- [7]. Uçkun S. ve Ege T., "Computation of susceptance for thick meanderline polarizer," *Electronic Letters*, 27, 22, s.2076-2077, Ekim 1991.
- [8]. Delihacıoğlu K., *Power Reflection and Transmission Coefficient for a Chiral Slab and Meander-line Polarizer with Chiral Slab*. Gaziantep Üni., Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Yüksek lisans tezi, Gaziantep, Kasım 1998.
- [9]. Harrington R. F., *Field Computation by Moment Methods*, New York, MacMillan, 1968.