

BAKIŞIMSIZ AYNALARDA FİLTRE ÖZELLİĞİ

Cumali SABAH

Savaş UÇKUN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep

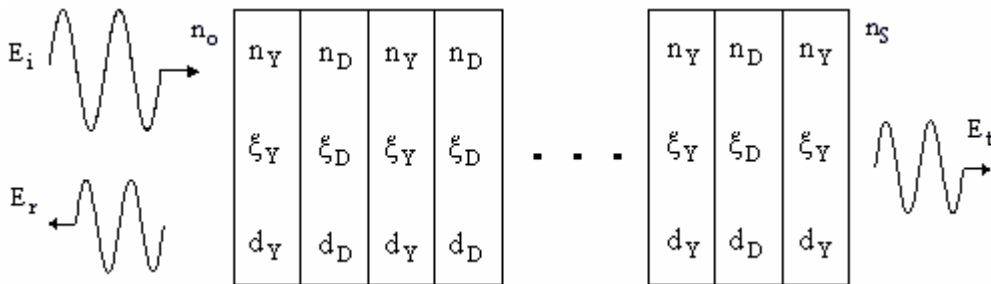
e-posta : sabah@gantep.edu.tr

e-posta : savas@gantep.edu.tr

Özet: Bragg reflektör olarak bilinen yalıtkan aynalara benzer şekilde oluşturulan bakışsız aynalar detaylı olarak incelenmiştir. Yalıtkan aynalar, yüksek ve düşük kırılma indekslerine sahip farklı iki katmanın birbiri ardına dizilmesi ile oluşur. Bu çalışmada önemli bir husus, bakışsız aynaların karakteristik yapısının polarizasyon dönüştürücü transmisyon filtresi ve yansıma filtresi olarak düzenlenebileceğinin saptanmasıdır. Nümerik sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, bakışsız aynalar geniş bir açı bandında ve çalışma frekansı ve yakınlıklarında belirtilen bu iki filtre çeşidi özelliğini göstermektedirler.

1. Giriş

Bakışsız yapıların optik, mikrodalga ve milimetredalga frekanslarında aktif olan özelliklerinden dolayı bu yapılarla ilgili araştırmalar son yıllarda oldukça artmıştır. Yapay bakışsız materyallerin yapımının bakışsızlık parametresi yardımı ile dizayn yöntemlerinde ekstra bir kolaylık sağlaması, bu yapıların ilgi odağı olmasını sağlamıştır [1-3]. Bakışsızlık geometrik bir fikir olup bakışsız nesne ile aynadaki görüntüsü arasında bir simetri yoktur. Genel olarak bakışsız objeler çevrilerek ve/veya döndürülerek aynadaki görüntüleri ile üst üste getirilemezler. Bakışsız maddeler optik etkinliğe (optical activity) sahip olup lineer polarizasyonlu dalgaların polarizasyon düzlemini dönüştüren yapılar olarak bilinirler [1, 2]. Birçok araştırmacı, elektromanyetik dalganın bakışsız ortam ile etkileşimini araştırmıştır. Elektromanyetik dalganın farklı materyal özelliklerine sahip ve farklı kalınlıklardaki çok katmanlı bakışsız ortamda yayılması örneklerden biridir [3]. Potansiyel uygulama alanlarının geniş olması nedeniyle bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Bu makalede, bakışsız aynalar (chiral mirrors) detaylı olarak incelenmiştir. Bu aynalar, Bragg reflektör olarak bilinen yalıtkan aynalara (dielectric mirrors) benzer şekilde oluşturulmuştur. Yalıtkan aynalar, yüksek ve düşük kırılma indekslerine sahip farklı iki katmanın birbiri ardına dizilmesi ile oluşur. Katman sayısı genellikle tek sayı olan bu yapılarda, ilk ve son katmanlar yüksek kırılma indeksine sahip olan yalıtkan katmanlar olarak seçilirler. Yalıtkan aynaların temel özelliği ise bu yapıların optik ve kızılötesi frekanslarda sıradan metalik aynalara göre çok daha az kayıplı olmalarıdır [4]. Bu çalışmada, yapısı Şekil 1’de gösterilen, iki farklı yalıtkan bakışsız katmanın birbiri ardına dizilmesi ile oluşturulan bakışsız aynalarda yansıma ve geçme katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar paralel polarizasyonlu gelen dalga için frekans ve gelme açısına göre hesaplanmış ve sunulmuştur. Nümerik sonuçlara göre, bakışsız aynalar polarizasyon dönüştürücü transmisyon filtresi ve yansıma filtresi özelliklerini göstermektedir. Ayrıca bu yapılar herhangi bir açıda ve çalışma frekansı yakınlıklarında belirtilen bu iki filtre çeşidi olarak kullanılabilirler.



Şekil 1. Çok katmanlı bakışsız aynalar

2. Teori

Çok katmanlı bakışsız dilimlerin m’inci katmanındaki genel yapı denklemleri, $\exp(j\omega t)$ gizli tutulmak koşulu ile

$$\mathbf{D}_m = \epsilon_m \mathbf{E}_m - j\xi_{cm} \mathbf{B}_m \quad (1)$$

$$\mathbf{H}_m = -j\xi_{cm} \mathbf{E}_m + (1/\mu_m) \mathbf{B}_m \quad (2)$$

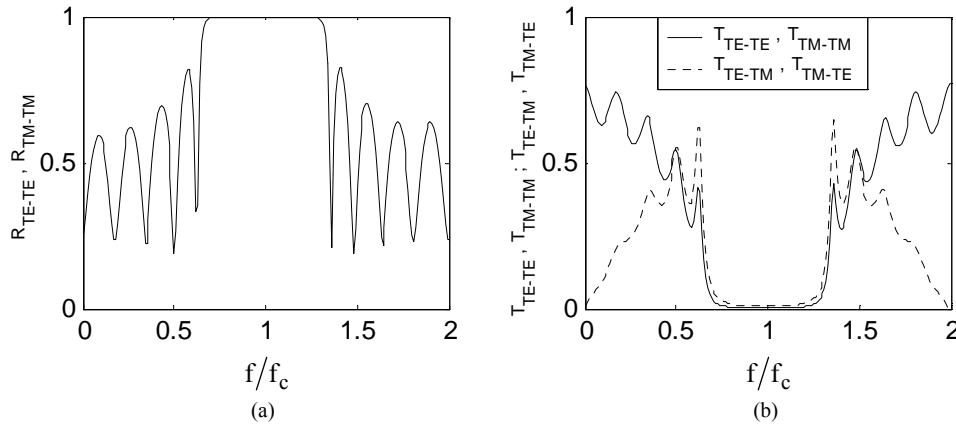
şeklinde olup, burada ϵ_m , μ_m ve ξ_{cm} , sırasıyla, bakışsız ortamın elektriksel geçirgenliği, manyetik geçirgenliği ve bakışsızlık admitansıdır. Bakışsızlık admitansı bakışsızlık derecesini göstermekte olup değeri $|\xi_{cm}| \leq \sqrt{\epsilon_m/\mu_m}$ aralığında sınırlıdır [2]. Kaynakların olmadığı ortamda, m'inci bakışsız ortam için Helmholtz denkleminin çözümü farklı faz hızlarındaki sol (LCP) ve sağ (RCP) el dairesel polarizasyonlu düzlemsel iki dalganın toplamı şeklindedir. Dolayısıyla, çok katmanlı bakışsız dilimlerin m'inci katmanında iki tane sağ ara yüzeye, iki tane de sol ara yüzeye ilerleyen toplam dört dalga bulunur. İlk yüzey, son yüzey ve ara yüzelerde sınır şartlarını kullanarak, yansıyan ve geçen elektriksel alanlar gelen elektriksel alan türünden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} E_{r\perp} \\ E_{r\parallel} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{i\perp} \\ E_{i\parallel} \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{bmatrix} E_{t\perp} \\ E_{t\parallel} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{i\perp} \\ E_{i\parallel} \end{bmatrix}$$

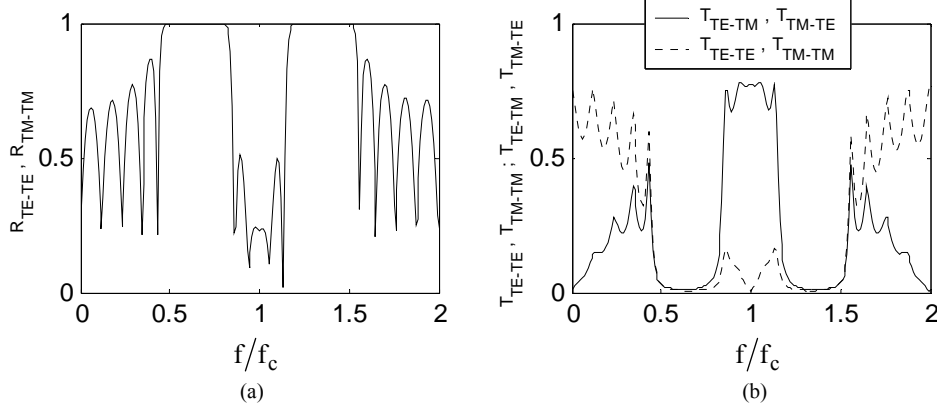
Böylece yansıma ve geçme katsayıları kolaylıkla tanımlanabilir. Yansıma ve geçme katsayıları gelen açı, bakışsız ortamın materyal özellikleri ve her bir bakışsız dilimin kalınlığının fonksiyonu şeklindedir.

3. Nümerik Sonuçlar

Teoride anlatılan metot, yansıma ve geçme katsayılarını nümerik olarak hesaplamak üzere paralel polarizasyonlu ($E_{i\perp} = 0$) ve yüzeye dik gelen ($\theta_0 = 0^\circ$) dalga için uygulanmıştır. Yapılan çalışmalardan, yalıtkan ortamların (ilk ve son ortam) kırılma indeksleri $n_0 = 1.0$ ve $n_S = \sqrt{\epsilon_S/\epsilon_0} = 1.60$ (boşluk ve polyester) olan dokuz katmanlı ($N=9$) bir yapı ($n_0 = 1.0 | YDYDYDYDY | n_S = 1.60$) seçilmiştir. Bu yapıda yüksek ve düşük kırılma indekslerine sahip bakışsız katmanlar için kırılma indeksleri, sırasıyla, $n_Y = \sqrt{\epsilon_Y/\epsilon_0} = 4.20$ ve $n_D = \sqrt{\epsilon_D/\epsilon_0} = 1.46$ olan germanyum (Ge) ve silikon-dioksit (SiO_2) kullanılmıştır. Kalınlıkları çeyrek dalga boyu ($\lambda_c/4$) uzunluğunda olan bu katmanların bakışsızlık admitansları $\xi_{cY} = \xi_{cD} = 6.8 \times 10^{-4} \text{ S}$ şeklindedir. Burada λ_c çalışma frekansındaki (f_c) dalga boyudur. Çapraz-yansıma katsayıları, $R_{\text{TE-TM}}$ ve $R_{\text{TM-TE}}$, yansıyan dalganın polarizasyonu gelen dalganın polarizasyonu ile aynı olduğu için sıfır olacaktır. Şekil 2 yansıma ve geçme katsayılarının frekansa göre değişimini göstermektedir. Ortak-yansıma katsayıları, $R_{\text{TE-TE}}$ ve $R_{\text{TM-TM}}$, çalışma frekansı ve yakınlarında bir olmaktadır. Geçme katsayıları yine aynı aralıkta sıfır olmaktadır. Gelme açısı değiştirilerek elde edilen sonuçlarda ortak-yansıma katsayılarının, Şekil 2'de olduğu gibi, bütün açılarda bir olduğu görülmüştür. Geçme katsayıları ve çapraz-yansıma katsayıları ise ihmal edilebilecek kadar küçük olmaktadır. Dolayısıyla, bu yapı tüm gelen açı değerleri için çalışma frekansı ve yakınlarında yansıma filtresi olarak kullanılabilir.

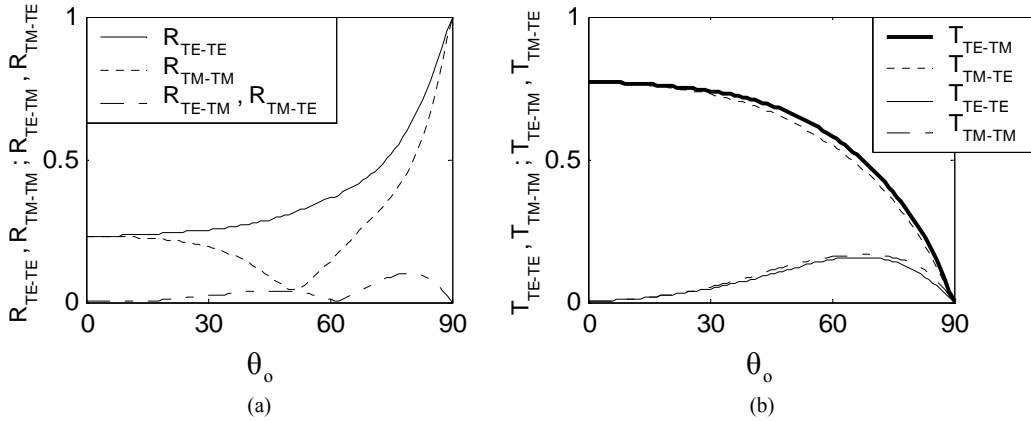


Şekil 2. Aynı kalınlıktaki katmanlardan oluşan bakışsız aynanın yansıma ve geçme katsayıları



Şekil 3. Farklı kalınlıktaki katmanlardan oluşan bakışsız aynanın yansımaya ve geçme katsayıları

Aynı yapıda, bakışsızlık admitanslarını $\xi_{cY} = \xi_{cD} = 5.2 \times 10^{-4} S$ ve yüksek kırılma indeksine sahip bakışsız katmanın kalınlığını yarım dalga boyu ($\lambda_c/2$) olarak değiştirelim. Bu yapı için yansımaya ve geçme katsayılarının frekansa göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Çalışma frekansında ortak-geçme katsayıları sıfır olmaktadır. Fakat çapraz-geçme katsayıları 0.8 değerine ulaşmaktadır. Şekil 4'te ise yine aynı yapı için yansımaya ve geçme katsayılarının gelen açıya göre değişimi verilmiştir. Gelen açının 60° 'den küçük olduğu durumlarda çapraz-geçme katsayıları baskın olmaktadır. Bu nedenle bu yapı polarizasyon dönüştürücü transmisyon filtresi olarak kullanılabilir.



Şekil 4. Farklı kalınlıktaki katmanlardan oluşan bakışsız aynanın yansımaya ve geçme katsayıları

4. Sonuç

Bu çalışmada bakışsız aynaların genel analizi sunulmuştur. Paralel polarizasyonlu ve yüzeye dik gelen dalga için ortak- ve çapraz- yansımaya ve geçme katsayıları elde edilip hesaplanmıştır. Bakışsız aynalar çalışma frekansı ve yakınlarında, tüm gelen açı değerleri için, gelen dalganın sadece ortak-kutupsal bileşenini yansıttığından dolayı yansımaya filtresi olarak kullanılabilirler. Aynı zamanda gelen dalganın çapraz-kutupsal bileşeninin büyük bir bölümünü geçirdiğinden dolayı da polarizasyon dönüştürücü transmisyon filtresi olarak kullanılabilirler. Nümerik sonuçlardan yola çıkılarak, bakışsız aynaların yapısının belirtilen bu iki filtre çeşidi olarak düzenlenebileceği görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Lindell I.V. et al., *Electromagnetic waves in chiral and biisotropic media*, Boston, Artech House, 1994.
- [2] Engheta N. and Jaggard D. L., "Electromagnetic chirality and its applications," *IEEE AP-S Newsletter*, cilt.30, no. 5, s. 6-12, Ekim, 1988.
- [3] Sabah C., ve Uçkun S., "Çok katmanlı bakışsız ortamda yansımaya ve geçme güç katsayıları," *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, cilt. 2, s. 364-367, İstanbul, 18-21 Eylül 2003.
- [4] Orfanidis S. J., *Electromagnetic Waves and Antennas*, Rutgers University, 2002.