

ÇİFT NEGATİF LEVHA YÜZEYİNE DİK GELEN ELEKTROMANYETİK DALGA İÇİN YANSIMA VE İLETİM KATSAYILARI

Cumali SABAH Gölge ÖĞÜCÜ Savaş UÇKUN
Elektronik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep
sabah@gantep.edu.tr ogucu@gantep.edu.tr savas@gantep.edu.tr

Özet: Bu bildiri, elektromanyetik dalganın çift negatif levha ile etkileşimi sonucu oluşan yansımaya ve iletim katsayıları incelenmiştir. Çift negatif ortam iki dielektrik ortam arasında yerleştirilmiştir. Gelen dalga, çift negatif levha yüzeyine dik olarak düşen tek renkli dalga olarak kabul edilmiştir. Yapının biçimi ve parametreleri düzenlendikten sonra, her bir ortam için elektrik ve manyetik alanlar belirlenmiştir. Her bir yüzey için sınır koşulları uygulandıktan sonra yansımaya ve iletim katsayıları bulunmuştur. Ayrıca yönbağımsız çift negatif levha için bu katsayılar elde edilmiştir.

1. Giriş

Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenliğe sahip olan çift negatif ortamlar (double negative media - DNG), son zamanlarda mikrodalga, milimetre dalga ve optik frekanslarda yapay olarak üretilmiş dolaylı kayda değer ölçüde önem kazanmıştır [1-6]. Çift negatif ortamlar (DNG) için, sol-elli ortamlar (left-handed media), geriye doğru dalga ortamları (backward wave media), çift negatif metamateriyaller (double negative metamaterials), ve negatif indeksli ortamlar (negative-index media) şeklinde bir çok isim ve terminoloji önerilmiştir. DNG kavramı ilk olarak Veselago tarafından 1967 yılında ortaya atılmıştır. Veselago çalışmasında DNG'leri tanımlanmış ve bu ortamlardaki dalga yayılımını sunmuştur [1]. Smith ve grubu sol-elli ortam oluşturan bileşik bir yapı üretmiş ve bu yapının özelliklerini göstermek için mikrodalga deneyleri yapmıştır [2]. Negatif kırılma indisi ortamlar Pendry tarafından analiz edilmiş ve benzetimlenmiştir. Pendry, negatif kırılma indisi levhanın geleneksel olmayan süper-mercek oluşturduğunu göstermiştir [3]. Ziolkowski ve Heyman elektromanyetik dalganın DNG içinde yayılımını analitik ve nümerik olarak incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında DNG içerisindeki yayılım ve saçılımı gözlemleyerek, sonuçların mükemmel merceklerle uygulanışı ele alınmıştır [4]. Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenliğe sahip olan metamalzemelerin uygulama alanları için kavramsal ve kuramsal fikirler, fiziksel ve sezgisel yorum ve görüşler Engheta tarafından 2002 yılında sunulmuştur [5]. Kong 2002 yılında çok katmanlı negatif yönbağımsız ortamların elektromanyetik dalga ile etkileşimini incelemiştir. Çok katmanlı ortamların elektromanyetik dalga ile etkileşiminin genel formülleri verildikten sonra, çok katmanlı ortamlardaki alan çözümü ve kılavuzlu dalga elde edilmiştir [6]. Bu çalışmada, çift negatif levha (double negative slab - DNS) yüzeyine dik gelen elektromanyetik dalga için yansımaya ve iletim katsayıları sunulmuştur. Kalınlığı d olan DNS iki dielektrik ortam arasında yerleştirilmiştir. Yapının biçimi ve parametreleri düzenlendikten sonra, her bir ortam için elektrik ve manyetik alanlar belirlenmiştir. Bütün yüzeylerde sınır koşulları uygulandıktan sonra yansımaya ve iletim katsayıları bulunmuştur. Ayrıca örnek olarak, yönbağımsız çift negatif levha için bu katsayılar hesaplanmıştır.

2. Çift Negatif Ortamlar

Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenliğe sahip olan DNG, doğada bulunmayan ve yapay olarak elde edilen malzemelerdir. Negatif elektriksel geçirgenlik, sırasıyla, metal çubuk dizileri ve ucu açık kare ya da çembersel halkalarla elde edilmiştir. Kırılma indisi ve dalga numarası DNG için negatif olup aşağıdaki şekilde yazılır.

$$n = -\sqrt{|\epsilon| \cdot |\mu|} \quad (1)$$

$$k = \omega \sqrt{\epsilon \cdot \mu} = k_0 \cdot n \quad (2)$$

Burada, k_o boşluğun dalga numarasıdır. Düzlemsel elektromanyetik dalga $\exp[j(k \cdot r - \omega t)]$ ' ye bağlı olarak kabul edilirse Maxwell denklemleri

$$k \times E(r) = \omega \mu H(r) \quad (3a)$$

$$k \times H(r) = -\omega \epsilon E(r) \quad (3b)$$

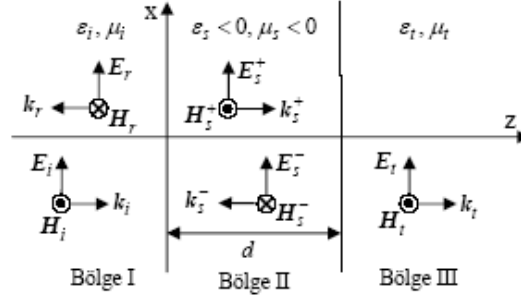
şekline döndürür. Denklem (3)'ten görüldüğü gibi, eğer ϵ ve μ negatif (pozitif) ise k , E , ve H sol (sağ) eli sistem oluştururlar. Poynting vektörü ise

$$S(r) = \frac{1}{2} \Re \{ E(r) \times H^*(r) \} \quad (4)$$

şeklinde olup, E , ve H ile daima sağ eli sistem oluşturur. Ayrıca, dalga numarası k faz hızı ile aynı yönlü olup, faz hızı enerji akışı ile ters yönlüdür. DNG'de grup hızı negatif, Doppler etkisi, Vavilov-Cerenkov ışınımı ve Snell kuralı da geleneksel ortama göre terstir.

3. Yansıma ve İletim Katsayıları

Teorik analizde, elektromanyetik dalga yarı sonsuz ortamdan kalmılığı d olan DNS yüzeyine dik gelen, DNS'te yayılan ve diğer yarı sonsuz dielektrik ortamdan ayrılan dalga olarak kabul edilmiştir. Yapının geometrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İki dielektrik ortam arasında yerleştirilmiş çift negatif levha

Yansıma ve iletim katsayılarını bulmak için Şekil 1'de gösterilen arayüzeyler detaylıca incelenmelidir. Analizde, zaman bağımlılığı $\exp(j\omega t)$ olarak kabul edilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, I. bölgedeki gelen elektrik alan

$$E_i = a_x E_i \cdot \exp(-jk_z z) \quad (5)$$

şeklinde olup, k_z dalga numarası ve E_i gelen elektrik alanın büyüklüğüdür. Benzer olarak, yansıyan elektrik alan

$$E_r = a_x E_r \cdot \exp(jk_z z) \quad (6)$$

şeklinde yazılır. Burada, k_z dalga numarası ve E_r yansıyan elektrik alanın büyüklüğüdür. DNS içindeki dalga, I. ve II. arayüzeye doğru hareket eden iki dalganın toplamından oluşmaktadır. Dolayısıyla DNS içindeki elektrik alan

$$E_x = a_x E_x^+ \cdot \exp(-jk_x^+ z) + a_x E_x^- \cdot \exp(jk_x^- z) \quad (7)$$

şeklinde yazılır. Burada, + ve - işaretleri DNS içinde ileriye ve geriye doğru giden dalgaları göstermek için kullanılmıştır. Ayrıca, $k_x^+ = -k_x^-$ olmak üzere, k_x^+ ileriye doğru giden ve k_x^- geriye doğru giden dalgaların yayılım vektörleridir. III. bölgedeki iletilen elektrik alan

$$E_t = a_x E_t \cdot \exp(-jk_x z) \quad (8)$$

şeklinde dir. E_t iletilen elektrik alanın büyüklüğü ve k_x dalga numarasıdır. Her bir bölgedeki manyetik alanlar Maxwell denklemleri kullanılarak kolaylıkla bulunabilir. İki arayüzeyde ($z = 0$ ve $z = d$) sınır şartları kullanılarak, gelen, yansıyan ve iletilen elektrik alanlar arasında ilişki bulunabilir. Elektrik alanların teğet bileşenleri arayüzeylerde sürekli olmalıdır. Bu süreklilik yardımıyla ve gerekli düzenlemeler ile yansım ve iletim katsayıları bulunabilir.

$$R = \frac{[(k_1 \mu_2 - k_2 \mu_1)(k_2 \mu_1 + k_1 \mu_2) \cdot e^{j\phi} + (k_1 \mu_2 + k_2 \mu_1)(k_2 \mu_1 - k_1 \mu_2) \cdot e^{-j\phi}]}{[(k_1 \mu_2 + k_2 \mu_1)(k_2 \mu_1 + k_1 \mu_2) \cdot e^{j\phi} + (k_1 \mu_2 - k_2 \mu_1)(k_2 \mu_1 - k_1 \mu_2) \cdot e^{-j\phi}} \quad (9)$$

$$T = \frac{4k_1 k_2 \mu_2 \mu_1 \cdot e^{j\phi}}{[(k_1 \mu_2 + k_2 \mu_1)(k_2 \mu_1 + k_1 \mu_2) \cdot e^{j\phi} + (k_1 \mu_2 - k_2 \mu_1)(k_2 \mu_1 - k_1 \mu_2) \cdot e^{-j\phi}} \quad (10)$$

Burada, $\phi = k_x d$, $\phi = k_x d$ olup, μ_1 , μ_2 , ve μ_t sırasıyla gelen, DNS ve iletilen ortamların manyetik geçirgenlikleridir.

Yönbağımsız çift negatif levha için, $\epsilon_1 = \epsilon_0$, $\mu_1 = \mu_0$, $\epsilon_2 = -\epsilon_0$, $\mu_2 = -\mu_0$, $\epsilon_t = \epsilon_0$, $\mu_t = \mu_0$, yansım katsayısı

$R = 0$ ve iletim katsayısı $T = \exp(j2\phi) = \exp(-j2\phi) = \exp(j2k_0 d)$ olmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, çift negatif levha yüzeyine dik gelen elektromanyetik dalganın genel analizi sunulmuştur. İki dielektrik ortam arasında yerleştirilen çift negatif levha üzerine dik olarak gönderilen düzlemsel dalga için yansım ve iletim katsayıları bulunmuştur. Ayrıca örnek olarak, yönbağımsız çift negatif levha için bu katsayılar hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar, çift negatif levha yüzeyine bir açı ile gönderilen dalga için temel oluşturmaktadır. Ayrıca bu sonuçlar bir açı ile yüzeye gelen ve çok katmanlı yapılar için de genişletilebilir.

Kaynaklar

- [1] Veselago V.G., "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," *Soviet Phys. Uspekhi*, cilt.10, s. 509-514, 1967.
- [2] Smith D. R., Padilla W. J., Vier D. C., Nemat-Nasser S. C., ve Schultz S., "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity," *Phys. Rev. Lett.*, cilt. 84, s. 4184-4187, 2000.
- [3] Pendry J.B., "Negative refraction makes a perfect lens," *Phys. Rev. Lett.*, cilt. 85, s. 3966-3969, 2000.
- [4] Ziolkowsky R.W. ve Heyman E., "Wave propagation in media having negative permittivity and permeability," *Phys. Rev. E*, cilt. 64, s. 1-15 (056625), 2001.
- [5] Egheta N., "Ideas for potential application of metamaterials with negative permittivity and permeability," *Advances in Electromagnetics of Complex Media and Metamaterials* adlı kitapta bir bölüm, *NATO Science Series, the Proceedings of NATO Advanced Research Workshop in Marrakech (Bianisotropics 2002)*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [6] Kong J. A., "Electromagnetic wave interaction with stratified negative isotropic media," *Progr. Electromagn. Res. PIER*, cilt. 35, s. 1-52, 2002.