

HALKA REZONATÖR (SRR) İÇEREN METAMATERYAL YAPILARIN ANSOFT-HFSS SİMÜLATÖR KULLANILARAK İNCELENMESİ

Dilek Bilim¹

Emin Ünal²

Muharrem Karaaslan³

^{1,3} Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mersin Üniversitesi, Mersin

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay

¹ e-posta: dcolakoglu@mersin.edu.tr

² e-posta: eunal@mku.edu.tr

³ e-posta: mkaraaslan@mersin.edu.tr

Özet

Metamateryaller; negatif dielektrik sabiti, manyetik geçirgenlik ve negatif kırılma indisine sahip olup; yapay olarak üretilen periyodik yapılardır. Bu materyaller; telekomünikasyon, radarlar, mikroelektronik, tıbbi görüntüleme ve savunma alanlarında önemli teknolojik ve bilimsel gelişmeler vaat etmektedir. Bu çalışmada; ANSOFT Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (HFSS) kullanılarak, düzlemsel olmayan, CLS (kapasitif etki gösteren şerit) ve SRR (üzerinde yarık bulunan halka rezonatör) yapılardan meydana gelen metamateryallerin yansıma (S_{11}) ve iletim (S_{21}) değerleri incelenmiştir.

1. Giriş

Metamateryaller (MTM'ler) doğada bulunmayıp, yapay olarak elde edilen elektromanyetik yapılardır. Eşzamanlı negatif ϵ ve μ 'ye sahip materyallerin varlığı hakkındaki teorik kuram ilk olarak Veselago [1] tarafından sunulmuştur. Veselago çalışmasında, eşzamanlı negatif dielektrik sabiti ϵ ve manyetik geçirgenlik μ ile karakterize edilen ortamın Maxwell denklemlerine uygun olduğunu ve içine yayılan düzlem dalgalarının bir sol-elli üçlü oluşturacak şekilde elektrik alan şiddeti vektörü \mathbf{E} , manyetik alan şiddeti vektörü \mathbf{H} ve dalga vektörü \mathbf{k} ile tanımlanabileceği sonucuna varmıştır.

Pendry, Veselago'nun çalışmasının ardından ince metal tel dizisinin, mikrodalga frekanslarda etkin bir negatif dielektrik sabiti ürettiğini kanıtlamıştır [2]. Bunun yanı sıra Pendry ve ark., silindirlere, merkezi eksen etrafına sarılmış paralel-plakalı bir kondansatöre benzeyen dahili elektromanyetik yapı vererek çok değişik bir davranış fark etmişlerdir [3]. Bu yapı halkalar arasında güçlü elektrik alanları gösteren, üzerinde yarık bulunan halka rezonatördür (SRR).

Pendry, çalışmasında bu yapıların negatif manyetik geçirgenlik özellik gösterdiğini ispatlamıştır. Ayrıca, Pendry, negatif kırılma indisine sahip çift negatif ortamın yansımaz mükemmel iletimi gerçekleştirdiğini ifade etmiştir [4]. Metamateryallerle ilgili ilk deneysel çalışma öncelikle tek boyutlu olarak Smith ve ark. [5] tarafından, iki boyutlu olarak ise Shelby ve ark. [6] tarafından gerçekleştirilmiştir. Ziolkowski [7] çalışmasında ise, kapasitif etki gösteren şerit (CLS) ve SRR yapıları içeren hem iki boyutlu, hem de üç boyutlu MTM yapıları oluşturmuş, X bandı frekanslarında bu metamateryallerin hem HFSS hem de FDTD hesaplamaları kullanılarak, çift negatif ortam özellik gösterdiğini bildirmiştir.

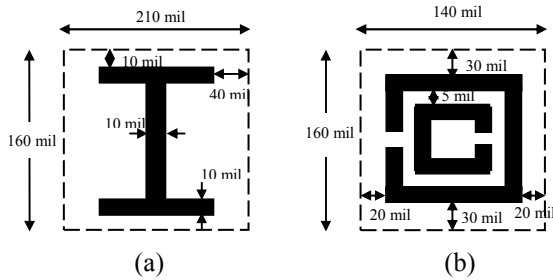
Bu çalışmada ise, ANSOFT'un Yüksek Frekans Yapı Simülatör (HFSS) modülü kullanılarak, CLS ve SRR'lerin periyodik olarak yerleştirilmesi ile yapay olarak meydana getirilen metamateryal ele alınmış, bu materyal için yansıma (S_{11}) ve iletim (S_{21}) parametreleri incelenmiştir.

2. SRR İçeren Metamateryal Yapının Yansıma ve İletim Değerleri

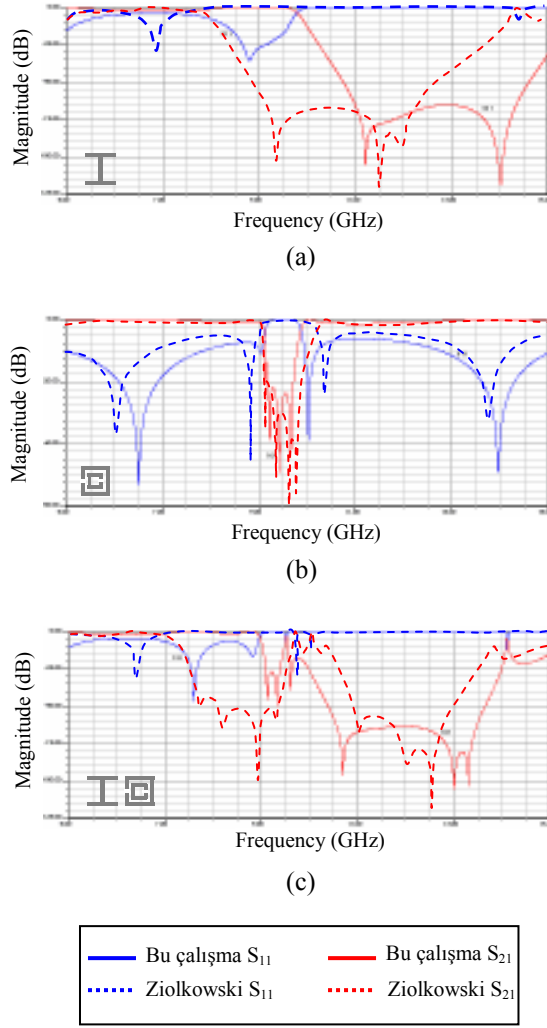
Yapılan deneylerde, ANSOFT'un Yüksek Frekans Yapı Simülatör (HFSS) modülü kullanılarak yansıma ve iletim değerleri elde edilmiştir. CLS'lerin güçlü dielektrik tepki, SRR'lerin ise güçlü manyetik materyal gibi tepki vereceği beklenmektedir. Buradaki SRR'ler, eşmerkezli kare şekillerden ve her birinde var olan açıklıklardan meydana gelmektedir. Kare şekiller üzerindeki açıklıklar, birbirine zıt taraftadır. Her bir simülasyon modeli; hem mükemmel elektrik iletken (PEC), hem de mükemmel manyetik iletken (PMC) duvarlarından oluşan çift-portlu dalga kılavuzundan meydana gelmiştir. PMC, sınır yüzeyindeki manyetik alanın teğet bileşenini sıfır olmaya zorlarken; PEC ise, sınır

yüzeyindeki elektrik alanın teğet bileşeni sıfır olmaya zorladığından dolayı bu yapının duvarları PEC ve PMC'lerden oluşturulmuştur. Dielektrik materyal katmanı dalga kılavuzunda merkeze yerleştirilmiştir. Her bir porttan gelen dalgalar, boş hacimden katmana doğru dik gelecek şekilde gönderilmektedir. CLS yapılar katmanın iç kısmına yerleştirilmiş olup, SRR yapılar katmanın üzerine yerleştirilmiştir. CLS yapıların hepsi PEC duvarlarına diktir; SRR yapıların hepsi PMC duvarlarına paraleldir. CLS'lerin ana parçası y eksenini boyunca, diğer kısımları (kapasitör uzunlukları) ise x eksenini boyunca yerleştirilmiştir. SRR yapılar yz düzlemine yerleştirilmiş olup, açıklıklar kaynağa doğrudur. Şekil 1'de görüldüğü gibi, CLS hat genişliği 10 mil, CLS kapasitör uzunluğu 130 mil, CLS uzunluğu 140 mil, y -ekseni boyunca CLS periyodu 210 mil, z -ekseni boyunca 150 mildir. Bunun yanı sıra, dıştaki kare SRR kenar uzunluğu 100 mil, SRR hat genişliği 10 mil, y -ekseni boyunca SRR periyodu 110 mil, z -ekseni boyunca 140 mildir. Katman $\epsilon_r=2.2$ dielektrik alt tabaka ile doldurulmuştur. Düzlemsel olmayan yapı, beş CLS yapıdan ve dört SRR yapıdan meydana gelmektedir. Katmanın toplam z uzunluğu 560 mildir. λ -arabımı 20 GHz hedef frekansı taban alınarak, hızlı tarama 5-15 GHz arasında yapılmıştır. S-parametrelerindeki değişim (ΔS) 0.00458'dir. Deneyle; sadece CLS'ler dahil edilerek, sadece SRR'ler dahil edilerek ve hem CLS'ler hem de SRR'ler dahil edilerek olmak üzere üç aşamalı yapılmış ve yansımaya ve iletim değerleri elde edilmiştir.

SRR yapıdaki açıklık miktarı 10 mil, kare şekiller arasındaki mesafe 5 mil, CLS ve SRR yapıların kalınlıkları 10 mil iken elde edilen S_{11} ve S_{21} değerleri, ZIOLKOWSKI (2003) tarafından HFSS kullanılarak elde edilen S_{11} ve S_{21} değerleri ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2a'da görüldüğü üzere 10.00 GHz'den başlayan 15.00 GHz'e kadar devam eden güçlü elektriksel yansıtma özelliği mevcuttur ($\epsilon < 0$). Sadece SRR'ler dahil edildiğinde ise Şekil 2b'de görüldüğü üzere 9.30 GHz'den başlayan 9.75 GHz'e kadar devam eden güçlü manyetik yansıtma özelliği mevcuttur ($\mu < 0$). Kompozit MTM'de, Şekil 2c'de görüldüğü üzere 5-15 GHz arasında 14.11 GHz'de eşleşme oluşmuş, rezonans frekans değeri 14.11 GHz olarak elde edilmiştir. Rezonans frekans değeri; manyetik geçirgenliğin ve dielektrik sabitinin aynı anda negatif olduğu frekans değeri olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1. (a) CLS yapı. (b) SRR yapı.



Şekil 2. Bu çalışma ve ZIOLKOWSKI (2003)'e ait S_{11} ve S_{21} değerleri.

3. Sonuçlar

Şekil 2a'da görüldüğü üzere, sadece CLS'ler devrede olduğunda yapının $\epsilon < 0$ özellik gösterdiği frekans değerleri, ZIOLKOWSKI (2003) tarafından 8-14 GHz frekans aralığında bulunurken, bu çalışmada 10-15 GHz frekans aralığında elde edilmiştir. Şekil 2b'de görüldüğü gibi, sadece SRR'ler devrede olduğunda yapının $\mu < 0$ özellik gösterdiği frekans değerleri, ZIOLKOWSKI (2003) tarafından 9-10 GHz frekans aralığında elde edilirken, bu çalışmada 9.30-9.75 GHz frekans aralığında gözlemlenmiştir.

Şekil 2c'de ise, ANSOFT HFSS programında fast sweep seçeneğinin kullanılması ve 5-15 GHz aralığında alınan değer sayısının farklı olması nedeni ile oluşan frekans kaymalarına rağmen, bu çalışmadaki yapı ile ZIOLKOWSKI (2003)'nin kullanmış olduğu yapının aynı şekilde tepki verdiği görülmüş, elde edilen sonuçların genel olarak literatür ile uyum içerisinde olduğu kanaatine varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] V. Veselago. "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," *Soviet Physics Uspekhi*, vol. 10, no. 4, pp. 509–514, Jan., Feb. 1968.
- [2] J. B. Pendry, A. J. Holden, W. J. Stewart, and I. Youngs. "Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructure," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 76, no. 25, pp. 4773–4776, June 1996.
- [3] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart. "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena," *IEEE Trans. Micr. Theory. Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2075–1084, Nov. 1999.
- [4] J. B. Pendry, "Negative refraction makes a perfect lens," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, no. 18, pp. 3966–3969, Oct. 30, 2000.
- [5] D. R. Smith, D. C. Vier, N. Kroll, and S. Schultz. "Direct calculation of permeability and permittivity for a left-handed metamaterial," *App. Phys. Lett.*, vol. 77, no. 14, pp. 2246-2248, Oct. 2000.
- [6] R. A. Shelby, D. R. Smith, and S. Schultz. "Experimental verification of a negative index of refraction," *Science*, vol. 292, pp. 77-79, April 2001.
- [7] R. W. Ziolkowski, "Design, Fabrication, and Testing of Double Negative Metamaterials" *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, pp. 1516-1529, July 2003.