

Negatif Kırılma İndisi Özelliği Gösteren Karesel ve Dairesel Yarık Halka Rezonatörlerin Analizi ve Karşılaştırılması

Selma Çiğdem, Cihan Tunca, Sultan Can*, Asım Egemen Yılmaz
Ankara Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gölbaşı, Ankara
selmacigdem01@gmail.com, cihan.tunca@outlook.com,
sultancan@ankara.edu.tr*, [ayilmaz@eng.ankara.edu.tr.com](mailto:ayilmaz@eng.ankara.edu.tr)

Özet: Bu çalışmada literatürde negatif kırılma indisli metamalzemeler elde etmek için kullanılan karesel ve dairesele yarık halka rezonatör yapılarının analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde Sonlu Entegrasyon Yöntemiyle çözümleme yapan CST Studio Suite ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle çözümleme yapan Ansoft HFSS programları kullanılmıştır. Analizlerden elde edilen saçılım parametreleriyle bu iki farklı rezonatör yapısının etkin elektriksel ve manyetik geçirgenlik katsayıları ile kırılma indisleri Kramers-Kronig ilişkisini temel alan algoritmanın kullanıldığı yöntem ile hesaplanarak negatif değer alabilecekleri gösterilmiş ve iki farklı rezonatör yapısı karşılaştırılmıştır.

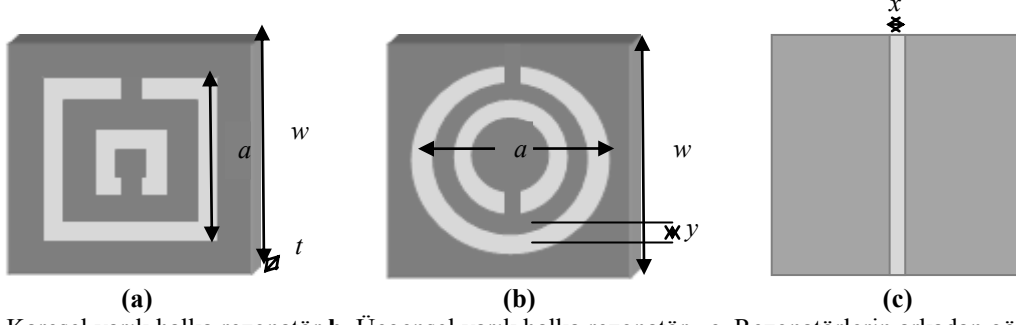
Abstract: In this study, two different split ring resonators (SRRs), both square and circular, were analyzed in order to obtain negative refraction. During the simulations CST Studio Suite (which is based on Finite Integration Method (FIM)) and Ansoft HFSS (which is based on Finite Element Method (FEM)) are used for design and validation. By using the analysis results, effective permittivity and permeability were calculated by using the algorithms based on Kramers-Kronig relationship; and it was demonstrated that the SRRs have negative reflection indices, and the SRR's were compared to each other.

1. Giriş

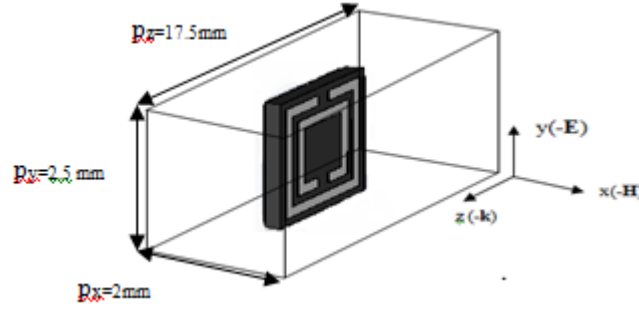
Meta kelimesi "ötesinde" anlamında kullanılan bir kelime olmak ile beraber metamalzeme ise malzeme ötesi diye anılmaktadır. Böyle anılmasının nedeni ise metamalzemelerin doğada bulunmaması ve yapay üretiliyor olmasıdır. Bilindiği gibi doğada bulunan malzemelerde dielektrik geçirgenlik ve manyetik geçirgenlik katsayıları pozitif bir sayıdır. Metamalzemelerde bir ortamın elektromanyetik özelliklerini belirleyen elektriksel geçirgenlik (ϵ) ve/veya manyetik geçirgenlik (μ) katsayıları sonlu bir frekans aralığında negatif değer alır. 1968 yılında Veselago aynı frekans aralığında negatif elektriksel geçirgenlik (ϵ) ve manyetik geçirgenlik (μ) katsayılarına sahip olan malzemelerin, doğal malzemelerin aksine kırılma indisinin negatif olacağını önermiştir. Bu malzemelerde elektrik alan şiddet vektörü $\mathbf{E}$ manyetik alan şiddet vektörü $\mathbf{H}$ ve yayılma vektörü $\mathbf{k}$ 'nin yönünün sol el kuralına göre belirlenmesi nedeniyle bu malzemeleri sol-elli malzemeler olarak adlandırmıştır [1]. 2001 yılında Shelby ve arkadaşları tarafından yarık halka rezonatör ve iletken çubuklar kullanılarak negatif kırılma indisli malzeme elde edilmiştir. Bu çalışmada iletken çubuklar negatif elektrik geçirgenlik ve yarık halka rezonatör yapısı da negatif manyetik geçirgenlik sağlamak amacıyla kullanılmıştır [2,4]. Bu tür malzemeler doğada hazır olarak bulunmayan, homojen olmayan, periyodik yapılardır. Metamalzemeler dalga kılavuzu boyutlarının küçültülmesi [6], anten tasarımı, filtre tasarımı gibi alanlarda kullanılmaktadır.

2. Tasarım

Analizi gerçekleştirilen yapılar Şekil 1.a ve Şekil 1.b de verilmiştir. Yalıtkan malzeme olarak tabanda $\epsilon_r = 4.4$, $\mu_r = 1$ ve kayıp tanjantı $\delta_e = 0.02$ olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. Yalıtkan üzerinde bulunan iletken malzeme ise iletkenliği 5.8×10^7 (S/m) olan bakırdır. Yalıtkan tabanın kenar uzunluğu $w = 2.5$ mm ve kalınlığı $t = 0.25$ mm ve bakır kalınlığı da 0.017 mm dir. Karesel yarık halka rezonatörde dıştaki iletken halka uzunluğu ve dairesele yarık halka rezonatörde dış çember çapı $a = 2.2$ mm dir. Şekil 1.a ve Şekil 1.b de bulunan tüm halkaların genişliği $y = 0.2$ mm, iç halka ile dış halka arasındaki boşluk 0.15 mm, iç ve dış halkanın yarık genişliği 0.3 mm'dir. Şekil 1.c de her iki birim hücre yapısının arkadan görünüşü verilmiştir. Birim hücrelerin arkasında bulunan iletken çubuğun boyu $w = 2.5$ mm ve genişliği $x = 0.14$ mm olarak seçilmiştir [5].



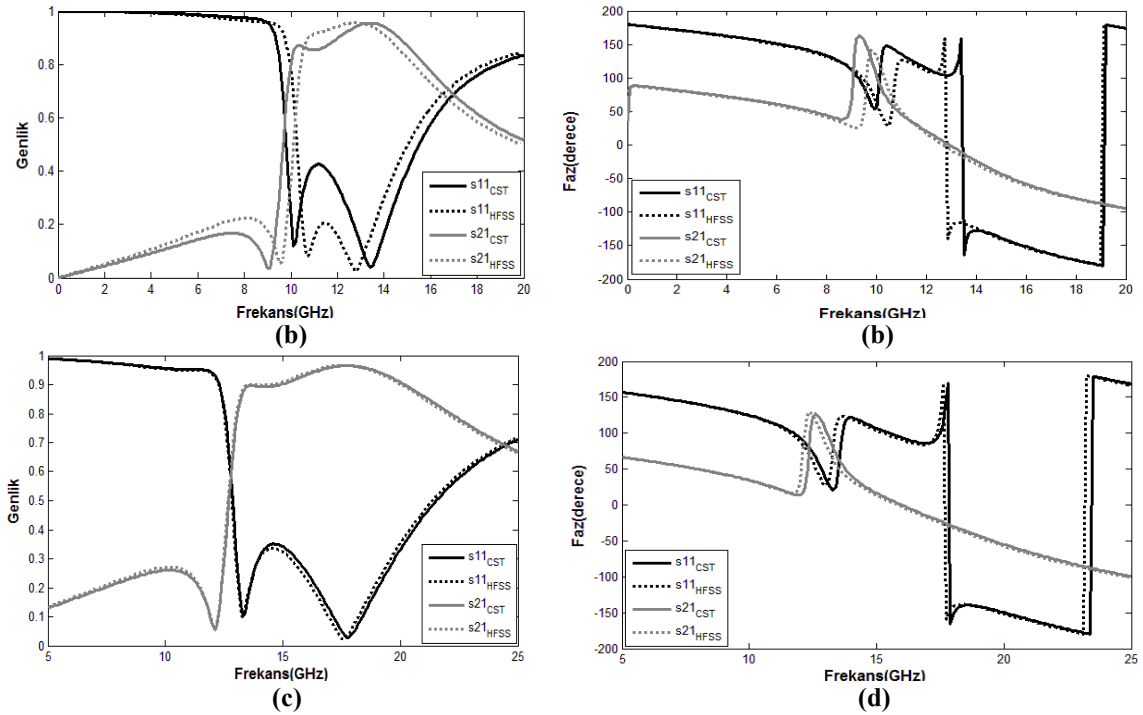
Şekil 1.a. Karesel yarık halka rezonatör b. Üçgensel yarık halka rezonatör c. Rezonatörlerin arkadan görünüşü



Şekil 2. Birim hücre yapısının sınır koşulları

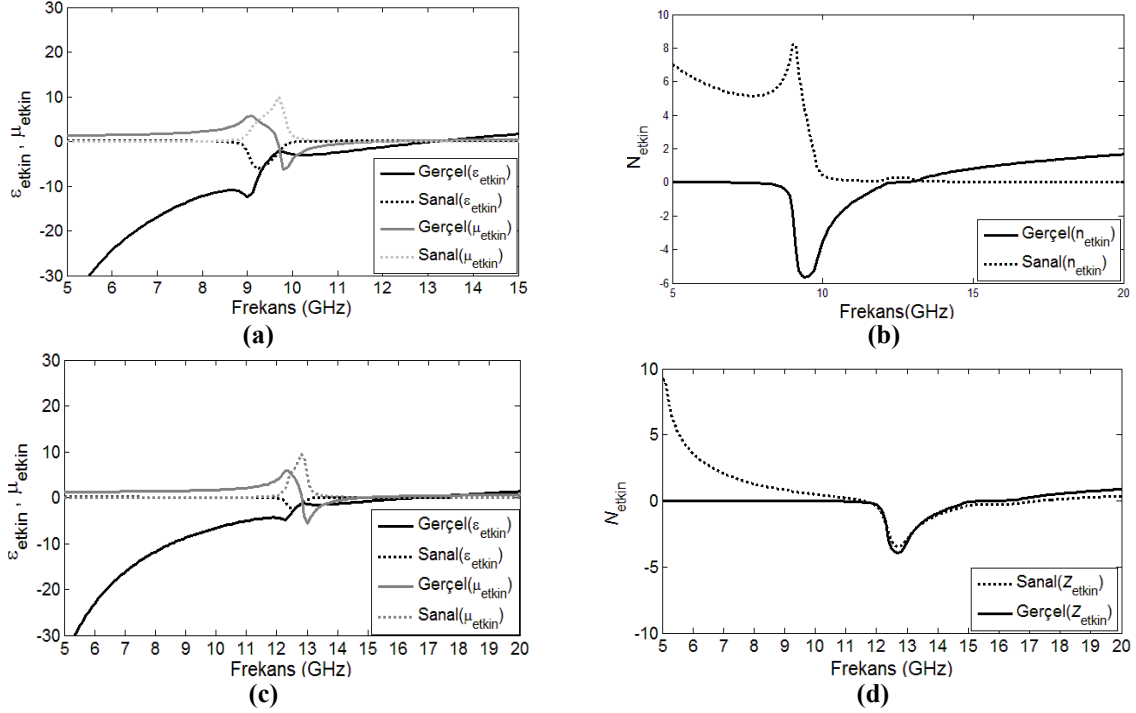
Şekil 2’de görüldüğü üzere x ve y eksenine dik olan yüzeyleri mükemmel iletken ve z eksenine dik olan yüzeyleri açık bulunan dalga kılavuzunun içinde benzetimler gerçekleştirilmiştir. Dairesel yarık halka rezonatörün sınır koşulları da Şekil 2’de gösterildiği gibidir. Manyetik alanın yönü $-x$ yönünde seçilerek iletken halkalar manyetik alan ile uyartılmış ve manyetik alan etkisiyle akım oluşumu sağlamıştır.

3. Benzetim Sonuçları ve Çıkarımlar



Şekil 3.a. Karesel yarık halka rezonatör S_{11} ve S_{21} genliği b. Aynı S_{11} ve S_{21} parametrelerinin açısı c. Dairesel yarık halka rezonatör S_{11} ve S_{21} genliği d. Aynı S_{11} ve S_{21} parametrelerinin açısı

Şekil 3'de CST ve HFSS programlarında elde edilen S-parametrelerinin genlik ve açı değerleri verilmiştir. Her iki programdaki değerler birbirine çok yakındır. Ancak iki programın farklı yöntemlerle çözümleme yapmaları nedeniyle az da olsa sonuçlarda farklılığa neden olmuştur. İki farklı rezonatör yapısının S-parametreleri karşılaştırıldığında bant genişliğinde değişim olmamakla birlikte rezonans değerinde ve S-parametrelerinin açıları arasında farklılık gözlenmiştir. Şekil 3.a da yaklaşık 9GHz olan rezonans frekans değeri Şekil 3.b de dairesel yarık halka rezonatör yapısında ise 12.5GHz civarındadır.



Şekil 4.a. Karesel yarık halka ϵ_{etkin} μ_{etkin} değerleri
 c. Dairesel yarık halka ϵ_{etkin} μ_{etkin} değerleri

b. Aynı yapının kırılma indisi
 d. Aynı yapının kırılma indisi

Saçılım parametreleri kullanılarak [3] yöntemiyle hesaplanan Şekil 4. (a) ve (c) de iki rezonatör yapısının 9 GHz ve 12.5 GHz civarında hem elektriksel geçirgenlik hem de manyetik geçirgenlik katsayılarının negatif olduğu ve bu frekans değerlerinde (b) ve (c) de olduğu gibi kırılma indisinin de negatif olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma ile dairesel ve karesel yarık halka rezonatörleri kıyaslanmış ve aynı fiziksel boyutlarda olmasına rağmen dairesel yarık halka rezonatörlerinde daha yüksek frekanslara çıktığı, minimizasyon açısından daha uygun olduğu düşünülmektedir.

4. Teşekkür

Bu çalışma 11B4343004 proje numarası ile Ankara Üniversitesi BAP tarafından desteklenmektedir. Yazarlar, söz konusu destekten ötürü Ankara Üniversitesine teşekkürü bir borç bilir.

Kaynaklar

- [1]. Veselago V. G., "The Electrodynamics of Substances With Simultaneously Negative Values of ϵ and μ ", Soviet Physics Uspekhi, 10(4), s.509-514,1968.
- [2]. Pendr J.B., Holden A.J., Robbins D.J., ve Stewart W.J., 'Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena', IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques, 47(11), s. 2075–2084, 1999.
- [3]. Szabo Z., Park G.-H., Hedge R. ve Li E.-P., "A unique extraction of metamaterial parameters based on Kramers-Kronig relationship", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 58(10), s. 2646-2653, Ekim 2010.
- [4]. Shelby R., Smith D. R. ve Schultz S., "Experimental Verification of a Negative Index of Refraction" Science, 292(5514), s.77-79, 2001.
- [5]. Smith D. R., Vier D. C., Koschny Th. ve Soukoulis C. M., "Electromagnetic Parameter Retrieval from inhomogeneous metamaterials," Physical Review, E 71, 036617, 2005.
- [6]. Karaaslan M., Negatif Kırılma İndisli Metamalzemelerin Elde Edilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana, 2009.