

Mikroşerit İletim Hattı ile Uyarılan Ayırık Halkalı Rezonatör Yapısının Konumunun ve Ayırık Yöneliminin İletim Karakteristiği Üzerine Etkileri

Nezihe Karacan¹, Neslihan Kader Bulut², Evren Ekmekçi^{1,2}

¹Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Isparta

karacannezihe@gmail.com, evrenekmekci@sdu.edu.tr,

²Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Isparta

neslihankader.bulut@gmail.com

Özet: Bu çalışmada mikroşerit iletim hattı üzerine bir üst tabaka olarak yerleştirilmiş ayırık halkalı rezonatör (AHR) yapısının konumunun ve ayırık yöneliminin değiştirilmesinin iletim ($|S_{21}|$) karakteristiği üzerine etkileri nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Ardından, iletim hattına göre konumunu değiştirmeden, farklı alttaş kalınlıklarına sahip AHR yapılarının iletim karakteristikleri nümerik olarak analiz edilmiştir. Nümerik ve deneysel analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Abstract: In this study, the effects of changes in the position and gap orientation on transmission ($|S_{21}|$) characteristics for split ring resonator (SRR) structure placed as a superstrate on the microstrip transmission line are studied numerically and experimentally. Following, the transmission characteristics of the SRR structures having different substrate heights, without changing their positions with respect to the transmission line, are analyzed numerically. The results obtained from numerical and experimental analyses are presented in a comparative way.

1. Giriş

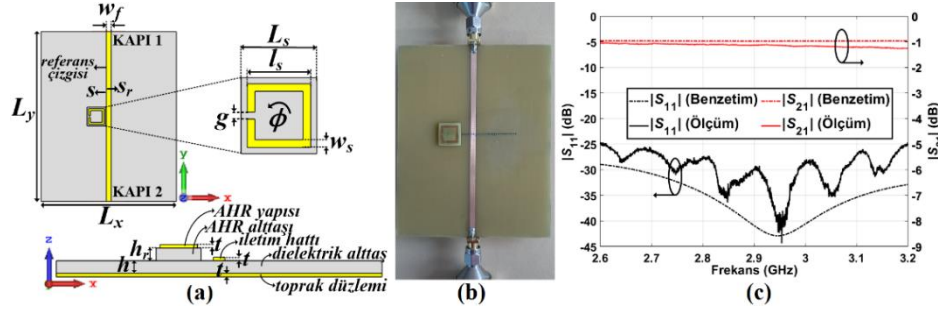
Ayrık halkalı rezonatör (AHR) yapıları [1-8], sensör [2, 3] ve filtre [4] uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta ve bu çalışmalarda genellikle bir mikroşerit iletim hattı (MŞİH) ile uyarılmaktadır [2-4]. AHR'lerin iletim hattına göre konumları ve ayırık yönelimleri, iletim ($|S_{21}|$) karakteristiğini etkileyen önemli parametrelerdir [4-8]. Literatürde AHR'lerin iletim hattına göre konumunun [4-6] ve ayırık yöneliminin [7, 8] iletim karakteristiği üzerine etkileri ayrı çalışmalar altında incelenmiştir.

Bu çalışmada, bir bütün olarak, AHR'nin MŞİH'ye göre konum ve ayırık yöneliminin yanı sıra AHR alttaş kalınlığının da iletim karakteristiği üzerine etkileri incelenmiştir. Öncelikle, AHR'nin MŞİH'ye göre konumunun iletim karakteristiği üzerine etkileri, AHR'nin üç farklı ayırık yönelimi için nümerik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Daha sonra, AHR'nin konumu MŞİH üzerinde sabit tutularak, AHR alttaş kalınlığı değişiminin iletim karakteristiği üzerine etkisi üç farklı alttaş kalınlığı ve ayrıca üç farklı ayırık yönelimi için benzetim yoluyla incelenmiştir. Tüm tasarımlar ve benzetimler CST Studio Suite® yazılımı frekans uzayı çözücüsü ile gerçekleştirilmiştir [9].

2. Mikroşerit İletim Hattı ve AHR Yapısının Tasarımları, Benzetimleri ve Ölçümleri

Bu çalışmada tasarlanan MŞİH ve MŞİH üzerine bir üst tabaka olarak yerleştirilen AHR'nin şematik görünümü ve tasarım parametreleri Şekil 1(a)'da verilmiştir. Burada MŞİH, alt yüzeyde bakır toprak düzlemi, ortada dielektrik alttaş ve üst yüzeyde bakır hat olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Tasarımlarda MŞİH ve AHR için aynı alttaş malzemesi kullanılmıştır. Bakır ($\sigma_{cu} = 5,8 \times 10^7$ S/m) ve dielektrik kalınlıkları sırasıyla $t = 0,035$ mm ve $h = h_r = 1,5$ mm'dir. Alttaşın elektriksel özellikleri laboratuvarımızda Nicolson-Ross-Weir yöntemi [10] kullanılarak 3,7 GHz'de $\epsilon_r = 4,53$ ve $\tan\delta = 0,01$ olarak tayin edilmiştir. MŞİH kenar boyutları $L_x \times L_y = 80 \times 100$ mm² dir. Bakır hat genişliği w_f , CST Studio Suite® empedans hesaplama aracı ile 50 Ω öz empedansı için 2,75 mm olarak elde edilse de [9] üretim hatalarından dolayı $w_f = 2,87$ mm (yaklaşık 49 Ω öz empedans) olarak gerçekleşmiş ve bu değer benzetimler için de kullanılmıştır. Üst tabaka olarak tasarlanan bir kenarı $l_s = 9,2$ mm, hat genişliği $w_s = 1,1$ mm ve ayırık genişliği $g = 1$ mm olan AHR, bir kenarı $L_s = 11$ mm olan kare kesitli ve kalınlığı $h_r = 1,5$ mm olan AHR alttaş üzerine yerleştirilerek oluşturulmuştur. Şekil 1(a)'da görülen ϕ

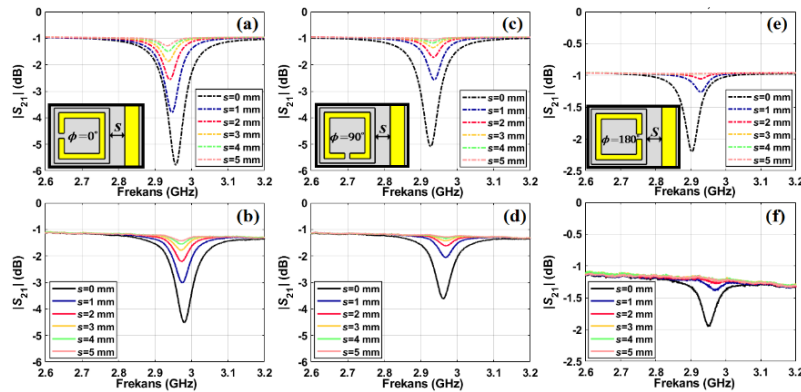
parametresi, AHR'nin ayrıık yönelimini tanımlamak için kullanılmış ve incelemeler sırasında 0° den 180° ye kadar 90° adımlarla değiştirilmiştir. Benzetimlerde yapıyı çevreleyen uzay tüm yönlerde "açık" sınır koşulları ile sonlandırılmış ve MŞİH doğrudan CST dalga kılavuzu kapısı ile uyarılmıştır [9]. Ölçümler için üretilen yapıların fotoğrafı Şekil 1(b)'de gösterilmiştir. Ölçümler Agilent FieldFox N9926A vektör ağ çözümleyicisi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1(b)'de MŞİH üzerinde görülen siyah noktalar, AHR konumunu hizalamak için oluşturulan 1 mm adım aralıklı bir ölçektir. Benzetimler ve ölçümlerde w_f kalınlıklı bakır hattın sol kenarı referans çizgisi (0 mm hattı) olarak belirlenmiş ve AHR bu çizgiden sola doğru s ve sağa doğru s_r parametresi (bkz. Şekil 1(a)) ile kaydırılarak $|S_{21}|$ karakteristiğindeki değişim incelenmiştir. Boş (AHR yerleştirilmemiş) MŞİH için $|S_{11}|$ (yansımaya) ve $|S_{21}|$ (iletim) grafikleri Şekil 1(c)'de gösterilmiştir. Buna göre yansımamanın -20 dB'nin altında ve iletimin -1 dB seviyelerinde (kayıplı alttaş neticesinde) olduğu görülmüştür.



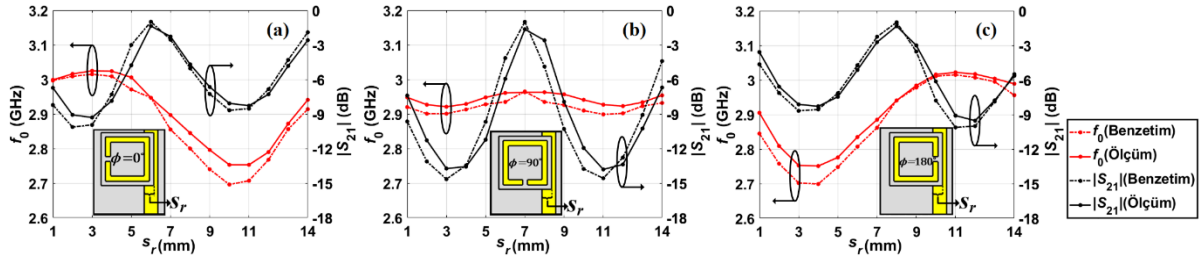
Şekil 1. Mikroşerit iletim hattı (MŞİH) ve AHR yapısının (a) şematik görünümü ve tasarım parametreleri. (b) Üretilen AHR yüklü MŞİH fotoğrafı ve (c) boş MŞİH için $|S_{11}|$ ve $|S_{21}|$ grafikleri.

3. Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

AHR'nin MŞİH üzerindeki konumunun $|S_{21}|$ karakteristiğine olan etkisi ilk olarak s parametresiyle ($s = 0$ mm'den 5 mm'ye 1 mm adımlarla sola kayma) üç farklı ayrıık yönelimi için incelenmiş, benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Burada s parametresi, Şekil 1(a)'da ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, farklı ayrıık yönelimine sahip üç AHR yapısı için s arttıkça rezonans frekansında (f_0) gözlenen $|S_{21}|$ değeri artmakta, ayrıca her bir s değeri için elde edilen rezonans şiddetleri, $\phi = 0^\circ$ den 180° ye giderken azalmaktadır. $\phi = 180^\circ$ durumu için $s = 3$ mm ve sonrasına ait benzetim ve ölçümlerde bir rezonans gözlenmemiş ve $|S_{21}|$ grafikleri neredeyse üst üste çıkmıştır (bkz. Şekil 2(e) ve 2(f)). Bununla birlikte, s arttıkça f_0 'ın, $\phi = 0^\circ$ ayrıık yönelimi için sola doğru, $\phi = 90^\circ$ ve 180° ayrıık yönelimleri için sağa doğru hafif bir şekilde kaydığı gözlemlenmiştir. İkinci olarak, AHR konumunun $|S_{21}|$ karakteristiğine olan etkisi s_r parametresiyle ($s_r = 1$ mm'den 14 mm'ye 1 mm aralıklarla sağa kayma) yine üç farklı ayrıık yönelimi için incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada s_r parametresi, Şekil 1(a)'da ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'ten, s_r değişimi ile hem f_0 'ın hem de $|S_{21}|$ 'in değiştiği görülmüştür. Burada s_r değişimiyle, Şekil 2'ye kıyasla daha şiddetli rezonanslar elde edilebildiği açıktır. Örnek olarak, $\phi = 90^\circ$ için $|S_{21}|$ değeri benzetimlerde -14 dB seviyelerine ulaşmıştır. Bunun yanında özellikle $\phi = 0^\circ$ ve 180° için f_0 'ın s_r 'ye oldukça duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma genelinde benzetim ve ölçüm sonuçları oldukça uyumlu olmakla birlikte mevcut küçük farklılıkların; üretim hatalarından, alttaş elektriksel özelliklerinin tespitinde oluşması mümkün hatalardan ve ölçümlerde kullanılan konnektör ve adaptör kayıplarından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

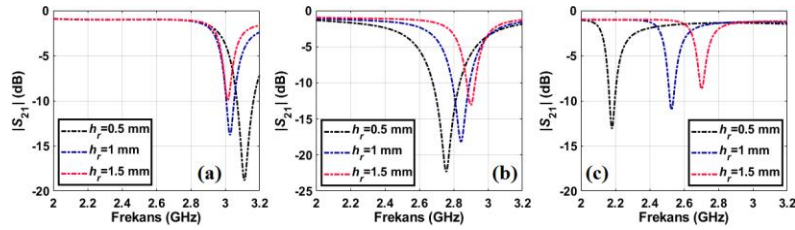


Şekil 2. Farklı s değerlerinde elde edilen $|S_{21}|$ grafikleri. (a) $\phi = 0^\circ$ benzetim. (b) $\phi = 0^\circ$ ölçüm. (c) $\phi = 90^\circ$ benzetim. (d) $\phi = 90^\circ$ ölçüm. (e) $\phi = 180^\circ$ benzetim. (f) $\phi = 180^\circ$ ölçüm.



Şekil 3. (a) $\phi = 0^\circ$, (b) $\phi = 90^\circ$ ve (c) $\phi = 180^\circ$ için farklı s_r değerlerine karşılık gelen f_0 ve $|S_{21}|$ değerleri.

Son olarak, AHR yapısı MŞİH üzerinde $s_r = 3$ mm'de sabit tutularak AHR alttaşının elektriksel özellikleri değiştirilmeden sadece kalınlığı benzetim ortamında $h_r = 0,5$ mm'den 1,5 mm'ye kadar 0,5 mm aralıklar ile değiştirilmiş ve benzetim sonuçları $\phi = 0^\circ, 90^\circ$ ve 180° için sırasıyla Şekil 4(a), 4(b) ve 4(c)'de sunulmuştur. Üç açıdaki AHR yapısı için de h_r arttıkça $|S_{21}|$ değerinin arttığı ve ayrıca h_r 'nin artması ile f_0 'ın da kaydığı görülmüştür. f_0 'da oluşan kayma, $\phi = 0^\circ$ ayırık yönelimi için sola doğru, $\phi = 90^\circ$ ve 180° ayırık yönelimleri için sağa doğru olmuştur. Bununla birlikte, kayma miktarı $\phi = 180^\circ$ için en fazla iken $\phi = 0^\circ$ için en azdır.



Şekil 4. (a) $\phi = 0^\circ$, (b) $\phi = 90^\circ$ ve (c) $\phi = 180^\circ$ için $s_r = 3$ mm iken farklı h_r değerleri için iletim grafikleri.

4. Sonuç

Bu çalışmada AHR'nin MŞİH üzerindeki konumunun ve ayırık yöneliminin iletim karakteristiği üzerine etkileri incelenmiştir. Tüm ayırık yönelimleri için AHR'nin bakır hatta uzaklığı (s) arttıkça rezonans şiddetinin azaldığı görülmüştür. AHR bakır hat üzerinden kayarken (s_r ile) daha şiddetli rezonanslar elde edilmiş ve bu durumlarda MŞİH ile AHR arasında daha yüksek bağlaşım sağlandığı değerlendirilmiştir. Bu bağlaşımın AHR yapısının alttaş kalınlığına da kayda değer bir şekilde bağlı olduğu parametrik incelemeler neticesinde tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Pendry J. B., Holden A. J., Robbins D. J. ve Stewart W. J., "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., cilt.47 no.11, s.2075-2084, 1999.
- [2]. Withayachumnankul W., Jaruwongrunsee K., Fumeaux C. ve Abbott D., "Metamaterial-inspired multichannel thin-film sensor", IEEE Sens. J., cilt.12 no.5, s.1455-1458, 2012.
- [3]. K T M. S., Ansari M. A. H., Jha A. K. ve Akhtar M. J. "Design of SRR-based microwave sensor for characterization of magnetodielectric substrates", IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett., cilt.27 no.5, s.524-526, 2017.
- [4]. Safwat A. M. E., Tretyakov S. ve Räisänen A., "Dual bandstop resonator using combined split ring resonator and defected ground structure", Microw. Opt. Technol. Lett., cilt.49 no.6, s.1249-1253, 2007.
- [5]. Singh G., Rajni ve Marwaha, A., "Frequency switching in coupled microstrip line loaded with split-ring resonator," Proceedings of the International Conference on Recent Cognizance in Wireless Communication and Image Processing., s.573-580 Ocak 2016.
- [6]. Anandan C. K., Nimisha C. S., Jitha B., Mohanan P. ve Vasudevan K., "Transmission properties of microstrip lines loaded with split ring resonators as superstrate", Microw. Opt. Technol. Lett., cilt.48 no.11, s.2280-2282, 2006.
- [7]. Rajni R., Singh G. ve Marwaha A., "Modeling of split ring resonators loaded microstrip line with different orientations", Int. J. Electr. Comput. Eng., cilt.5 no.6, s.1363-1371, 2015.
- [8]. Bojanic R., Milosevic V., Jokanovic B., Medina-Mena F. ve Mesa F., "Enhanced modelling of split-ring resonators couplings in printed circuits", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., cilt.62 no.8, s.1605-1615, 2014.
- [9]. CST STUDIO SUITE®, Dassault Systèmes, the 3DEXPERIENCE® Company; www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/
- [10]. Nicolson A. M. ve Ross G. F., "Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques", IEEE Trans. Instrum. Meas., cilt.19 no.4, s.377-382, 1970.