

Varaktör Diyotlar ile Yüksek Oranda Frekansı Ayarlanabilir Elmas Şekilli Metamalzeme Rezonatör

Evren Uysal^{*1}, Ersel Ercek^{*2}, Cumali Sabah^{#3}, Tayfun Nesimoğlu^{#4}

^{*}ASELSAN A.Ş. Kıbrıs İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi

Kalkanlı Teknoloji Vadisi (KALTEV), No: E-19, Kalkanlı, Güzelyurt, 99738, KKTC- Mersin 10, Türkiye

¹evrenuysal@aselsan.com.tr, ²ercek@aselsan.com.tr

[#]Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampusu, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Kalkanlı, Güzelyurt, 99738, KKTC- Mersin 10, Türkiye

³sabah@metu.edu.tr, ⁴ntayfun@metu.edu.tr

Özet: Geniş bant frekansı ayarlanabilir mikrodalga devre elemanları, yazılım tabanlı radyo gibi birçok frekans bandını kapsayacak teknolojilere imkân sağlamasıyla önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada varaktör diyotlar ile frekansı ayarlanabilir geniş bant elmas şekilli özgün metamalzeme rezonatör, çerçeve halinde toprak ve mikroşerit besleme hattı ile tasarlanmıştır. Rezonatöre frekansı ayarlanabilirlik özelliği varaktör diyotlar ile sağlanmıştır. Simülasyon sonuçları 0,75-1,65 GHz bandında %75 gibi yüksek bir frekans ayarlanabilir bant genişliğini göstermektedir. Metamalzeme özelliği elektrik-manyetik geçirgenlik ve S-parametrelerinin fazları ile gösterilmiştir. Bu tasarım filtreler, antenler, sensörler ve uyumlama devreleri gibi frekansı ayarlanabilir mikrodalga devrelerinde kullanılabilir.

Abstract: Broadband frequency tunable components are attracting research interests because of the possibility to allow new technologies such as Software Defined Radios (SDR) which covers commercial communication standards in one transceiver. In this work, a broadband diamond shape frequency tunable unique metamaterial resonator is designed with a ground frame and a feedline, tunability is achieved with varactor diodes. Simulation results showed 0.75-1.65 GHz tunability which corresponds to 75% tunable bandwidth. Metamaterial properties are also showed with permittivity, permeability, and S-parameter phases. Designed tunable metamaterial resonator can be used as a reconfigurable microwave circuit such as filter, antenna, sensor, and matching network.

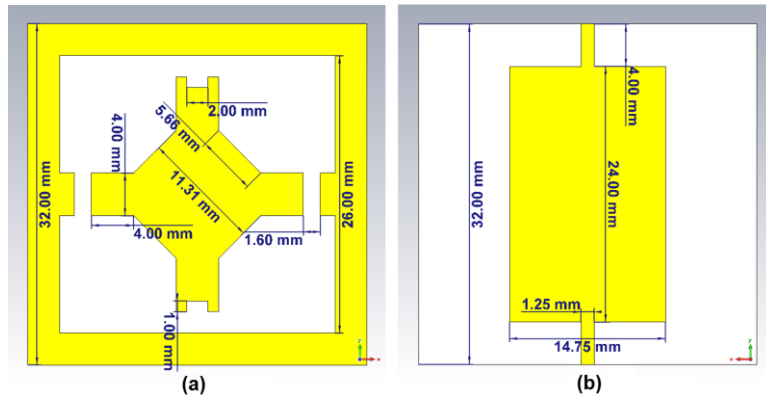
1. Giriş

Metamalzemeler, elektromanyetik dalgalara karşı doğada bulunan maddelere göre çok farklı fiziksel cevaplar verebilmektedir. Doğada bulunan malzemelerin elektrik ve manyetik geçirgenliği genellikle pozitif olmakla beraber metamalzemelerde her ikisi de negatif olarak bulunabilir. Bu özellik, metamalzemelerin elektromanyetik dalgalarda faz-grup hızında ters yönelime, Snell kanunu ve Doppler etkisinde de normalin tam tersini gösteren sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Veselago tarafından 1968'de teorik alt yapısının oluşturulmasının ardından metamalzemelerin güneş paneli verim artırımı, gizleme cihazları, süper lensler, anten boyutunda minyatürleştirme, emici ve filtreler gibi birçok kullanım alanının olabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur [1]-[5]. Metamalzeme rezonatörlere frekansı ayarlanabilirlik özelliğinin kazandırılması, birçok mikrodalga devrede alt bileşen olarak kullanılmasının önünü açacaktır. Literatürde birçok frekans ayarlanabilir metamalzeme rezonatör tasarımı mevcuttur [6]-[10]. Bu metamalzeme rezonatör tasarımında kayıplar da dikkate alınarak yüksek oranda frekansı ayarlanabilirlik özelliğinin kazanılması hedeflenmiştir.

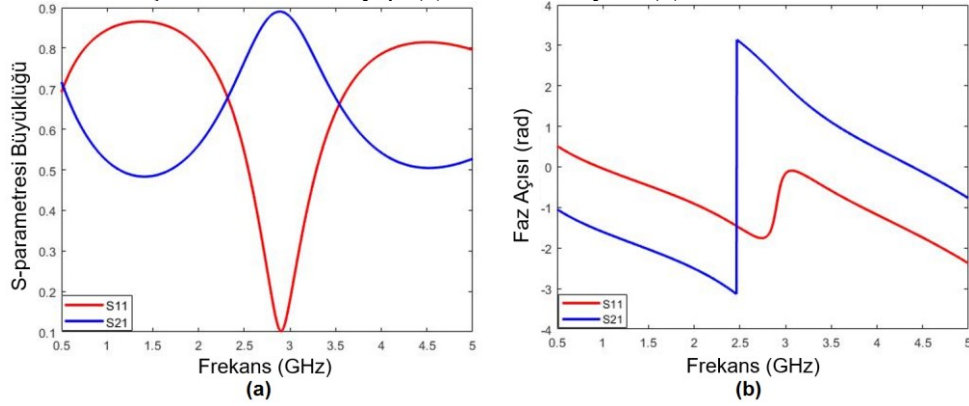
2. Tasarım ve Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada metamalzeme rezonatör yapı literatürdeki emsallerine göre daha yüksek frekans ayarlanabilir bant genişliği hedeflenerek tasarlanmıştır. C.Sabah ve T. Nesimoğlu, çerçeve şeklinde toprak ve mikroşerit besleme hattıyla tasarlanan metamalzeme rezonatör yapının varaktör diyotlar ile frekansı ayarlanabilir özellik kazanacağını daha önce göstermiştir [7]. Mikroşerit tasarımların üretim kolaylığı da göz önünde bulundurularak Şekil 1'de boyutları verilen yapı oluşturulmuştur. Bu tasarımda göreceli elektrik geçirgenliği 3,38, kayıp tanjantı 0,02 olan 0,81mm kalınlığında Rogers RO4003C alttaş kullanılmıştır. Kullanılan bakırın kalınlığı 0,0175 mm iletkenliği 58 MS/m'dir. Üç milyon elektromanyetik denklem çözücü hücre ile CST Studio Suite ortamında simülasyon sonuçları elde edilmiştir. S-parametrelerinin büyüklükleri ve fazları Şekil 2'de verilmektedir. Rezonans frekansında S21 ve S11 parametrelerinin fazları arasındaki 180 dereceye yakın fark metamalzeme özelliğini işaret etmekle beraber, Şekil 3 ile gösterilen ve gürbüz metot ile hesaplanan [11] elektrik ve manyetik geçirgenlik değerlerinin rezonans frekansında negatif değere sahip olması rezonatörün metamalzeme özelliğine sahip olduğunu kanıtlar. Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenlik durumunda gelen dalganın ters yönde

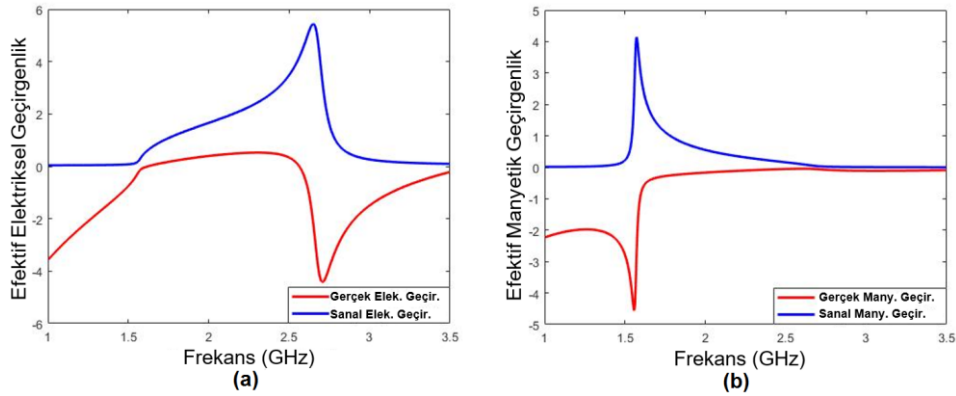
hareket ettiği kabul edilir. Bu sayede, ayarlanabilir mikroşerit yapı, negatif elektrik ve manyetik geçirgenliği ile rezonans frekansında aktif elektriksel (optik) anahtar olarak kullanılabilir. Rezonatör yapı, üç bölümlü besleme hattı ile beraber yüksek elektrik alan lokalizasyonu hedef alınarak tasarlanmış özgün bir yapıdır. Rezonatörün ön yüzünün tam altında genişleyen, 50Ω giriş empedansına sahip besleme hattı, elektriksel alan yoğunluğunu rezonatör üzerinde belirli bir bölgede eşlerken, elektriksel alanın Şekil 4 ile gösterilen bölgelerde daha fazla yoğunlaşmasına imkân sağlamak için rezonatör yapı asimetrik olarak tasarlanmıştır. Elektrik alan dağılımında elde edilen başarılı lokalizasyon, bu yapının yüksek oranda frekans ayarlanabilir bant genişliğine sahip olabileceğini göstermektedir. Tasarlanan bu metamalzeme rezonatöre frekans ayarlanabilirlik özelliği lokalize elektrik alanların bulunduğu bölgelere Skyworks SMV2019 varaktör diyot modellerinin konumlandırılması ile kazandırılmıştır. SMV2019 yüksek maksimum-minimum kapasitans değeri ve yüksek kalite faktörü nedeniyle tercih edilmiştir. 0-20 V aralığında ters gerilim ile 0,30-2,25 pF aralığında ayarlanabilen kapasitans değeri rezonans frekansının ayarlanması için kullanılmış ve rezonans frekansı voltaja bağlı olarak 0,75-1,65 GHz frekans aralığında %75 frekans ayarlanabilir bant genişliği ile ayarlanabilmiştir. Bu çalışmada elde edilen frekans ayarlanabilirliğin şimdiye kadar elde edilenlerden daha yüksek olabileceği simülasyon sonuçlarıyla gösterilmiştir [7]-[11]. S-parametrelerinin voltaja bağlı değişimi Şekil 5 ile verilmiştir.



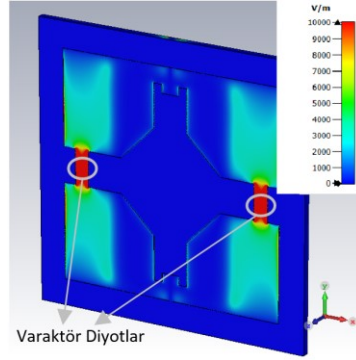
Şekil 1: Tasarlanan yapı (a) rezonatör ön yüzü (b) besleme hattı



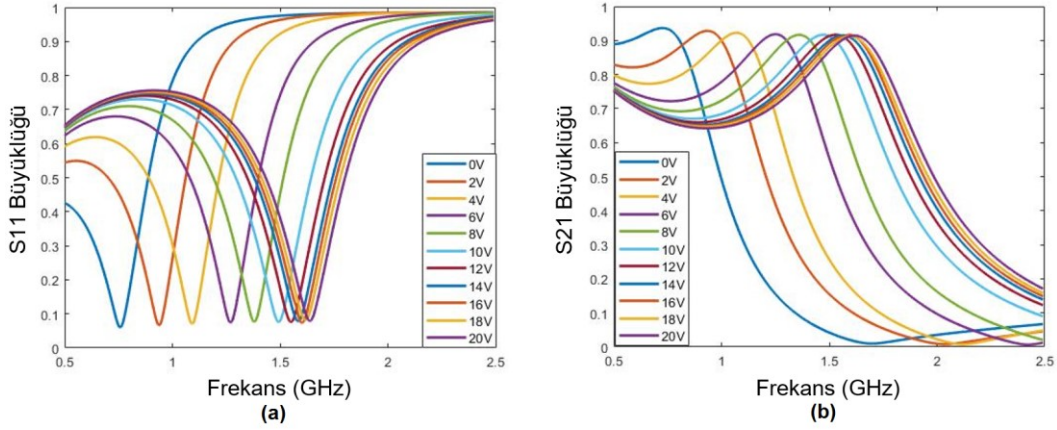
Şekil 2: S-parametrelerinin (a) büyüklükleri (b) fazları



Şekil 3: (a) Elektrik ve (b) manyetik geçirgenlik spektrumları



Şekil 4: Rezonans frekansındaki elektrik alan dağılımı



Şekil 5: Voltaja bağlı (a) S11 ve (b) S21 parametreleri

3. Sonuç

Tasarlanan rezonatör yapının metamalzeme özelliğine sahip olduğu, kolayca ulaşılabilir varaktör diyotlar ile 0,75-1,65 GHz frekans aralığında %75 frekans ayarlanabilir bant genişliği kazandırılabilmesine dair simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar tasarlanan yapının frekansı ayarlanabilir mikrodalga devrelerde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

4. Kaynaklar

- [1]. Veselago V. G., “The electrodynamic properties of a mixture of electric and magnetic charges”, Sov. Phys. Solid State, cilt.25 no.4, s.680–681, 1967.
- [2]. Rfuanura P. ve Sabah C., “Dual-band perfect metamaterial absorber for solar cell applications”, J. Vacuum, cilt.120, s.68-74, 2015.
- [3]. Alu A. ve Engheta N., “Plasmonic and metamaterial cloaking: physical mechanism and potentials”, J. Opt.A, cilt.10 no.9, s.093002, 2008.
- [4]. Aydın K., Bulu İ. ve Ozbay E., “Subwavelength resolution with a negative-index metamaterial superlenses,” Appl. Phys. Lett., cilt.90 no.25, s.254102, 2007.
- [5]. Gil M., Bonache J. ve Martin F., “Metamaterial filters: a review”, Metamaterials, cilt.2 no.4, s.186-197, 2008.
- [6]. Hand T. H. ve Cummer S. A., “Frequency tunable electromagnetic metamaterial using ferroelectric loaded split rings”, J. App. Phys., cilt.103 no.6, s.066105, 2008.
- [7]. Nesimoglu T. ve Sabah C., “A tunable metamaterial resonator using varactor diodes to facilitate the design of reconfigurable microwave circuits”, Tran. Circuit Syst.-II: Expr. Bri., cilt.63 no.1, s.89-93, Ocak 2016.
- [8]. Zhao Y., Zhou B. ve Zhang Z., “A compact tunable metamaterial filter based on split-ring resonators”, Optoelectron. Lett., cilt.13 no.2, s.120–122, 2017.
- [9]. Gil M., Damm C., Giere A., Sazegar M., Bonache J., Jakoby R. ve Martin F., “Electrically tunable split-ring resonators at microwave frequencies based on barium-strontium-titanate thick films”, Electron. Lett., cilt.45 no.8, s.417-418, 2009.
- [10]. Kim H. K., Lee D. ve Lim S., “Frequency-tunable metamaterial absorber using a varactor-loaded fishnet-like resonator”, App. Opt., cilt.55 no.15, s.4113-4118, 2016.
- [11]. Chen X., Grzegorzczak T., Wu B., Pacheco J. ve Kong J., “Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials”, Phy. Rev. E, cilt.70, s.016608, 2004.