

Ayrık Halkalı Rezonatör Tabanlı Dönme Sensörü Tasarımı ve Nümerik Olarak İncelenmesi

Alparslan Çınar *, Evren Ekmekçi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Isparta

* alparslancinar1992@hotmail.com evrenekmekci@sdu.edu.tr

Özet: Ayrık halkalı rezonatör (AHR), literatürde pek çok uygulama için kullanılan bir metamalzeme yapısıdır. AHR yapısının yer aldığı güncel uygulamalardan birisi de sensör tasarımlarıdır. Bu çalışmada X-bant bölgesi için ayrık halkalı rezonatör tabanlı bir dönme sensörü önerilmiş ve CST Microwave Studio (MWS) ile nümerik olarak incelenmiştir.

Abstract: Split ring resonator is a metamaterial structure used for many applications in literature. One of the current applications that SRR takes place is sensor design. In this study, a split ring resonator based rotation sensor is proposed for X-band and numerically analyzed by CST Microwave Studio (MWS).

1. Giriş

Metamalzemeler, negatif dielektrik sabiti, negatif manyetik geçirgenlik ve ters doppler etkisi gibi sıra dışı elektromanyetik özellikler gösterebilen yapay malzemelerdir [1, 2] ve birçok mikrodalga bölgesi uygulamada kullanım alanı mevcuttur [3-11]. Metamalzeme tasarımında yaygın olarak tercih edilen yapılardan birisi de ayrık halkalı rezonatörlerdir (AHR) [6-11].

Literatürde metamalzeme yapılarından esinlenerek tasarlanan açısız konumlandırma/dönme sensörü tasarımları sunulmuştur [10-14]. Bu çalışmalar temel olarak tek bir rezonatör yapısının düzlemde dalgı kılavuzuna yerleşim simetrisinin bozulmasına ve bu bozulmaya tepki olarak S_{21} parametresinin gözlemine dayanır [10-13]. Bu çalışmalardan farklı olarak Ebrahimi v.d., alt katmanda mikroşerit iletim hattına yüklenmiş bir rezonatör ve üst katmanda eksenî etrafında dönebilen bir rezonatör olmak üzere iki katmandan oluşan, bir sensör modülü sunmuştur [14]. Böylelikle dönme açısına göre üst ve alt katman rezonatörlerinin bağlaşımları ve buna bağlı olarak sensör modülünün iletim karakteristikleri farklılık göstermiştir [14]. Bu çalışmada [14] çalışmasına benzer olarak sabit ve dönen kısımlardan oluşan bir sensör modülü önerilmiş fakat rezonatör yapıları sadece dönen katmanda konumlandırılmıştır. Böyle bir yapının olası jiroskop uygulamalarına uyarlanması mümkün gözükmektedir.

2. Tasarım ve Benzetimler

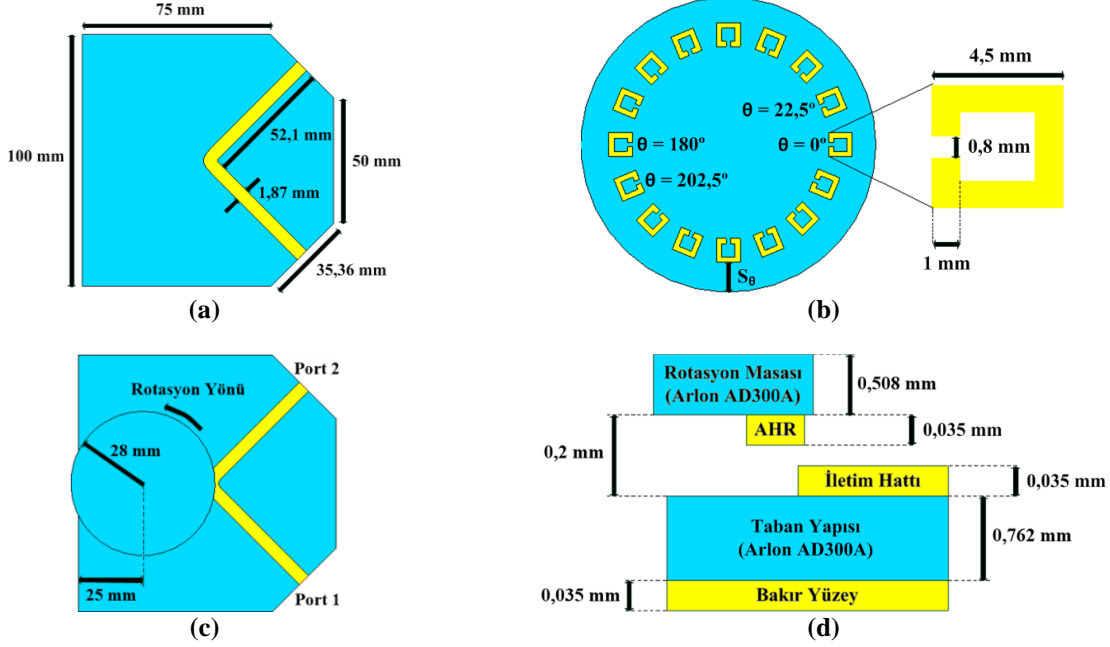
Bu çalışmada önerilen ayrık halkalı rezonatör tabanlı dönme sensörü tasarımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Tasarımda taban yapısı ve rotasyon masası dielektrikleri için Arlon AD300A kullanılmıştır. Bu malzemenin 10 GHz için sunulan göreceli dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3$ ve kayıp tanjantı $\tan\delta = 0,002$ 'dir. Taban yapısı ve dönme masasının kalınlıkları sırasıyla 0,762 mm ve 0,508 mm'dir. Dönme masası üzerine, her biri temsil ettikleri θ açısına bağlı eşitlik (1)'de verilen mesafeye göre, 16 adet geometrik olarak eş AHR yapısı konumlandırılmıştır (Şekil 1.b).

$$S_{\theta} = 1 + \frac{\theta}{\left(\frac{360}{N} \times 10\right)} \quad (1)$$

Burada; θ derece cinsinden açı ve N AHR sayısıdır. Karakteristik empedansı 50 Ω olan 1,87 mm kalınlığında iletim hattı taban yapısı üzerine 45° açıyla kıvrımlı şekilde tasarlanmıştır (Şekil 1.a). Bunun nedeni üzerine konumlandırılan AHR dışındaki diğer yapıların uyarmasını en aza indirmektir. Taban yapısının arka yüzeyi tamamen toprak yüzey ile kaplanmıştır. İletim hattı ve AHR yapıları birbirlerine bakacak şekilde taban yapısı üzerine rotasyon masası konumlandırılmıştır ve aralarındaki mesafe 0,2 mm'dir (Şekil 1.d). Konumlandırılan

rotasyon masası saat yönünün tersinde 0° 'den $337,5^\circ$ 'ye kadar $22,5^\circ$ adımlar ile döndürülmüştür (Şekil 1.c). Tasarımdaki tüm metaller için $0,035$ mm kalınlığında bakır ($\sigma_{cu} = 58 \times 10^6$ S/m) seçilmiştir.

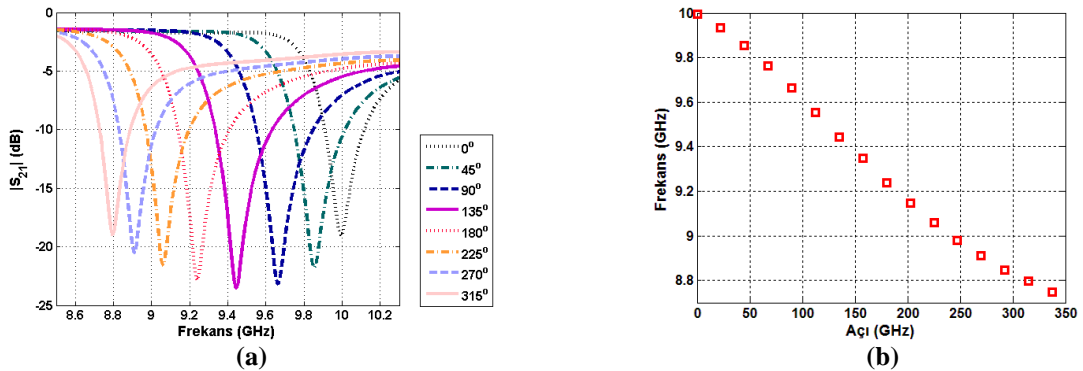
Nümerik sonuçlar frekans bölgesi çözümleyicisi kullanılarak CST MWS ile elde edilmiştir. Hesaplama uzayı "açık" sınır değer koşulu ile sonlandırılmış, mikroşerit iletim hattı dalga kılavuzu portu eklenerek beslenmiştir.



Şekil 1. AHR tabanlı dönme sensörü ve tasarım parametreleri. a) Mikroşerit iletim hattı. b) Dönme masasının alttan görünümü. c) Sensörün üstten ve d) yandan görünümü.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 2' de özetlenmiştir. Rotasyon masası saat yönünün tersinde 0° 'den $337,5^\circ$ 'ye $22,5^\circ$ 'lik adımlarla döndürülmektedir. $\theta = 0^\circ$ 'den $\theta = 337,5^\circ$ 'ye artınca rezonans frekansı $f_0 = 9,994$ GHz'den $f_0 = 8,748$ GHz'e düştüğü gözlenmektedir (Şekil 2). Açık $\theta = 360^\circ$ olduğunda rotasyon masası bir tam tur atmakta ve masa $\theta = 0^\circ$ 'deki ilk konumuna gelmektedir. Rezonans frekansındaki değişimin Şekil 2.b'de gösterildiği gibi doğrusala yakın olması, sensör uygulamaları için önemlidir. Şekil 2a'da okuma kolaylığı açısından sadece 45° dik adım aralıklarında elde edilen $|S_{21}|$ değerleri çizdirilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar Tablo 1'de listelenmiştir. Burada 16 adet farklı θ açı değeri için dönme masasının kenarına farklı S_θ mesafelerinde yerleştirilmiş eş AHR yapılarının uyarılması ile elde edilen rezonans frekansları f_0 bu frekanslardaki dB cinsinden $|S_{21}|$ değerleri verilmiştir. İletim hattına yüklenen AHR yapılarından oluşan sistem bir bant durdurucu filtre gibi davranarak rezonans karakteristiği sergilemektedir [6]. Açık değeri θ arttıkça S_θ artmakta ve böylece AHR yapısı iletim hattından uzaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak iletim hattı-AHR ve komşu AHR yapıları arasındaki bağlaşım değişmekte ve bunun sonucu olarak rezonans frekansında düşme gözlemlenmektedir.



Şekil 2. Açığa bağlı $|S_{21}|$ frekans grafiği.

Tablo 1. Açığa göre S_θ , f_0 ve $|S_{21}|$ değerleri.

θ (derece)	S_θ (mm)	f_0 (GHz)	$ S_{21} $ (dB)	θ (derece)	S_θ (mm)	f_0 (GHz)	$ S_{21} $ (dB)
0	1	9,994	-19,05	180	1,8	9,238	-22,80
22,5	1,1	9,934	-20,47	202,5	1,9	9,146	-22,21
45	1,2	9,854	-21,77	225	2	9,060	-21,55
67,5	1,3	9,764	-22,72	247,5	2,1	8,978	-21,04
90	1,4	9,662	-23,17	270	2,2	8,910	-20,51
112,5	1,5	9,554	-23,58	292,5	2,3	8,848	-19,78
135	1,6	9,444	-23,54	315	2,4	8,796	-19,01
157,5	1,7	9,348	-23,26	337,5	2,5	8,748	-18,08

4. Tartışma

Bu çalışmada ayırık halkalı rezonatör tabanlı dönme sensörü önerilmiştir. Nümerik sonuçlar göstermektedir θ değeri 0° 'den $337,5^\circ$ 'ye artınca rezonans frekansı 9,994 GHz'den 8,748 GHz'e düşmüştür. Rezonans frekansındaki değişim neredeyse doğrusaldır. İleriki çalışmalarda sensörün açı hassasiyetinin artırılması ve fiziksel olarak gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Veselago V. G., "The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of ϵ and μ ", Soviet Physics Uspekhi, cilt.10 no.4, s.509-514, 1968.
- [2]. Caloz C. ve Itoh T., Electromagnetic Metamaterials, Transmission Line Theory and Microwave Applications, Wiley - IEEE Press, Hoboken, NJ, A.B.D., 2006.
- [3]. Landy N. I., Sajuyigbe S., Mock J. J., Smith D. R. ve Padilla W. J., "Perfect metamaterial absorber", Phys. Rev. Lett., cilt.100 no.20, 2008.
- [4]. Ekmekci E. ve Demir E., "On/Off Switching of Absorption Spectra by Layer Shifting for Double Layer Metamaterial Based Absorber", IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., cilt.15, s.532-535, 2016.
- [5]. Garcia-Garcia J., Martin F., Falcone F., Bonache J., Baena J. D., Gil I., Amat E., Lopetegi T., Laso M. A. G., Iturmendi J. A. M., Sorolla M. ve Marques R., "Microwave filters with improved stopband based on sub-wavelength resonators", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., cilt.53 no.6, s.1997-2006, 2005.
- [6]. Disken G., Pala F., Demir E., Korucu H. D. ve Ekmekci E., "Electromagnetic behavior of SRR loaded microstrip transmission lines: Investigation for different SRR types and array topologies", PIERS Proceedings, Stockholm, İsveç, s.1796-1799, Ağustos 2013.
- [7]. Alici K. B. ve Ozbay E., "Electrically small split ring resonator antennas", J. Appl. Phys., cilt.101 no.083104, 2007.
- [8]. Ekmekçi E., Çınar A., Ayan A., Korucu H. D. ve Demir E., "Enine Kuplajlı ve AHR Tabanlı Anten Yapıları İçin Elektriksel Boyut ve Kazanç Analizi", URSI-Türkiye 2014 VII. Bilimsel Kongresi, Elazığ, Ağustos 2014.
- [9]. Ekmekci E. ve Turhan Sayan G., "Multi-functional metamaterial sensor based on a broad-side coupled SRR topology with a multi-layer substrate", Appl. Phys. A-Mater, cilt.110 no.1, s.189-197, 2013.
- [10]. Naqui J., Duránn-Sindreu M., ve Martín F., "Novel sensors based on the symmetry properties of split ring resonators (SRRs)", Sensors, cilt.11 no.8, s.7545-7553, 2011.
- [11]. Horestani A. K., Fumeaux C., Al-Sarawi S. F., ve Abbot D., "Displacement sensor based on diamond-shaped tapered split ring resonator", IEEE Sens. J., cilt.13 no.4, s.1153-1159, 2013.
- [12]. Horestani A. K., Abbott D. ve Fumeaux C., "Rotation Sensor Based on Horn-Shaped Split Ring Resonator", IEEE Sens. J., cilt.13 no.8, s.3014-3015, 2013.
- [13]. Naqui J. ve Martin F., "Angular Displacement and Velocity Sensors Based on Electric-LC (ELC) Loaded Microstrip Lines", IEEE Sens. J., cilt.14 no.4, s.939-940, 2014.
- [14]. Ebrahimi A., Withayachumnankul W., Al-Sarawi S.F. ve Abbott D., "Metamaterial-Inspired Rotation Sensor With Wide Dynamic Range", IEEE Sens. J., cilt.14 no.8, s.2609-2613, 2014.