

Ayrık Halka ve Kapalı Halka Rezonatör Kullanılarak Oluşturulan Kompozit Bir Yapı ile Saydam Pencere Uygulamasının Nümerik Olarak İncelenmesi

Umut Köse *, Evren Ekmekçi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Çünür, Isparta
umut.kose29@gmail.com* evrenekmekci@sdu.edu.tr

Özet: Elektromanyetik indüklenmiş saydamlık (EİS) ile ilgili uygulamalar literatürde genellikle optik bölgelerde gerçekleştirilen popüler bir araştırma konusudur. Bu çalışmada metamalzeme kullanımı ile EİS mikrodalga bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Kapalı halka rezonatör (KHR) ve ayrık halkalı rezonatör (AHR) yapıları birlikte kullanılarak bir metamalzeme tabanlı EİS yapısı önerilmiştir. Burada, içte bulunan AHR yapısı farklı açılar değerlerine döndürülerek saydam pencere ve birinci soğurma tepe değerlerindeki değişim incelenmiştir. Sonuçlar nümerik olarak CST Microwave Studio (MWS) yazılımı frekans bölgesi çözümleyicisi ile elde edilmiştir.

Abstract: Applications related to electromagnetic induced transparency (EIT) is a popular research topic which is commonly carried out in optical regions. In this study EIT with the use of metamaterial is realized in microwave regions. Together with the use of close ring resonator (CRR) and split ring resonator (SRR) structures, a metamaterial based EIT structure is proposed. Herein, by rotating the SRR structure, which is the inner ring, the variations in the transparency window and the first absorption peak is investigated. The results are obtained by using CST Microwave Studio (MWS) software frequency-domain solver.

1. Giriş

Elektromanyetik indüklenmiş saydamlık (EİS); elektromanyetik dalgadaki yayılan ışık demetini elimine etmek için kullanılan bir yöntemdir [1]. EİS temelinde kuantum girişim etkisi yatmaktadır. Bu etki sayesinde soğurma tepeleri arasında bir saydam pencere oluşur [2]. EİS oluşumunda önemli rol oynayan iki tane mod vardır. Bu modlardan iyi ışık yayan olarak adlandırılan parlak mod; ilerleyen elektromanyetik dalga ile kuvvetli bir bağlaşım yapar ve bunun sonucunda geniş bir rezonans değeri oluşur ve düşük bir kalite faktörü (Q-faktörü) elde edilir. Bir diğer mod ise daha az ışık yayan karanlık moddur ve bu mod sayesinde dar bir rezonans değeri oluşur ve yüksek bir kalite faktörü elde edilir. Bu iki modun birbirleriyle bağlaşım yapımları sonucunda saydam pencere oluşur [3]. Elektromanyetik indüklenmiş saydamlığın günümüzde birçok uygulaması görülmektedir. Bunlardan bazıları; yüksek hassasiyetli manyetometre [4], yavaş ışık ilerlemesi uygulamaları [4], ışık depolama [4], sensör [5], optik filtreler [2], optik fiber haberleşmedir [6].

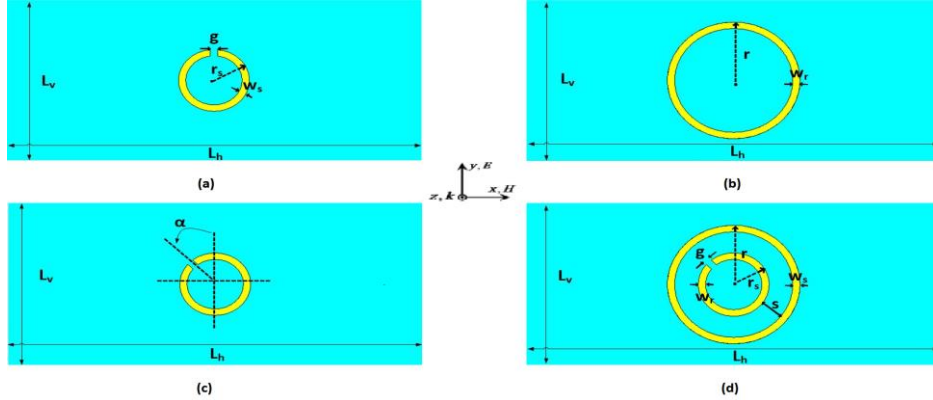
Ayrık halkalı rezonatör (AHR) yapısı, mikrodalga frekanslarında gösterdiği sıra dışı rezonans özellikleri nedeniyle metamalzeme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Özellikle metamalzeme kullanımının yaygınlaşması ile EİS alanında gerçekleştirilen çalışmalar mikro dalga frekans bölgesinde de gerçekleştirilmeye başlamıştır [2, 3, 6, 8].

Bettioli v.d. tarafından literatürde önerilen EİS modeli, bize AHR ve KHR yapıları kullanılarak EİS elde edilebileceğini göstermiştir [9]. Bu çalışmada ise tasarlanan yapıda bulunan AHR yapısının farklı açılar değerlerinde döndürülmesi sonucu elde edilen birinci soğurma tepe değerindeki ve saydam pencere değerindeki değişimler incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak rastlanan sensör uygulamalarından da görüldüğü üzere bu değişimler sensör uygulamalarında kullanılabilir [8].

2. Tasarım ve Benzetimler

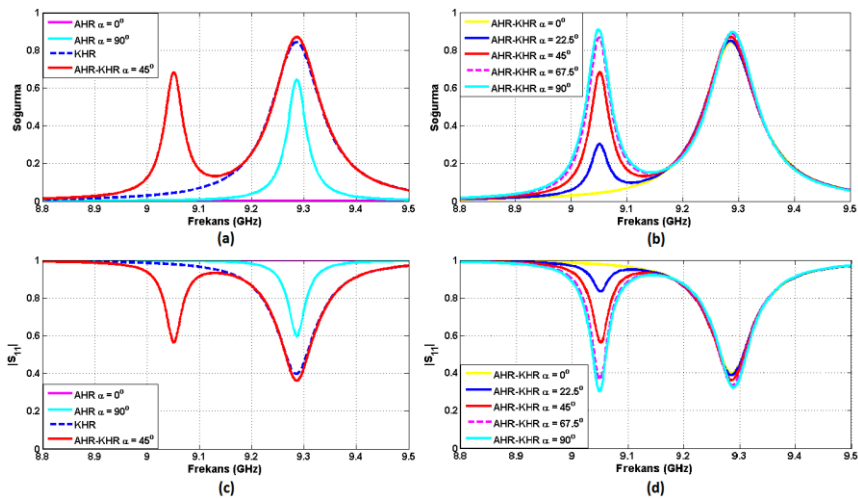
Bu çalışmada önerilen EİS yapısı için taban malzemesinin üst yüzeyi Şekil 1(d)'de gösterilmiş olup, arka yüzeyi tamamen toprak yüzey olarak seçilmiştir. Şekil 1.'den görüleceği gibi önerilen bu yapı iç içe geçmiş KHR ve AHR yapılarından oluşmaktadır. Taban malzemesi olarak 10 GHz'de dielektrik sabiti $\epsilon_r = 3$, dielektrik kayıp

tanjantı $\tan \delta_c = 0,002$ olan Arlon AD300A kullanılmıştır. Bu taban malzemesi için boyutlar $L_v = 10,16$ mm, $L_h = 22,86$ mm ve taban malzemesi kalınlığı $h = 0,508$ mm olarak seçilmiştir. Şekil 1(d)'de gösterilen EİS yapısı için



Şekil 1. (a) Tek AHR yapısı. (b) Tek KHR yapısı. (c) $\alpha = 45^\circ$ için tek AHR yapısı. (d) $\alpha = 45^\circ$ için AHR ve KHR kullanılarak oluşturulan EİS yapısı.

AHR'nin yarıçapı $r_s = 2$ mm, bakır hat kalınlığı $w_s = 0,4$ mm, yan yana iki hat arasındaki mesafe $g = 0,4$ mm, KHR'nin yarıçapı $r = 3,65$ mm, bakır hat kalınlığı $w_r = 0,4$ mm, olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak aynı frekans değerinde çalışan bir AHR ve KHR yapıları tasarlanmıştır. AHR ve KHR yapıları için soğurma tep değerleri Şekil 2(a)'da ve birinci porttan görülen yansıma değerleri ($|S_{11}|$) Şekil 2(c)'de gösterilmektedir. Metamalzeme tabanlı rezonatör yapıları üç farklı şekilde uyarılabilir. Bunlar elektrik uyarım, manyetik uyarım, hem elektrik hem de manyetik uyarımdır. Bunlardan elektrik uyarım için; rezonatörlerde bulunan ayırığın ilerleyen dalgaının elektrik alan bileşenine dik olması gerekir. Eğer ilerleyen dalgaının manyetik alan bileşeni rezonatör yapısının yüzeyine dikse rezonatör yapısı manyetik uyarılır [10, 11]. Tasarlanan AHR yapısı Şekil 1(a)'da görüldüğü üzere ilk durumda AHR yapısının boşluğu (g) ilerleyen dalga yönüne dik olarak konumlandırılmıştır. Bu durum da herhangi bir uyarım mevcut değildir. Şekil 2(a)'da görüldüğü üzere soğurma grafiğinde herhangi bir yükselme söz konusu değildir. AHR yapısı farklı " α " döndürme açısı değerlerinde döndürüldüğünde AHR yapısı uyarılmaya başlar. $\alpha = 90^\circ$ için AHR yapısı en yüksek seviyede elektrik olarak uyarıma maruz kalmaktadır. Şekil 2(a) ve 2(b)'de bulunan soğurma değerleri $Soğurma = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2$ formülü ile hesaplanmıştır. Burada $|S_{11}|^2$ giriş terminalinde ki yansıyan güç miktarı, $|S_{21}|^2$ ise 1. Porttan 2. Porta iletilen güç miktarını göstermektedir. Bu çalışmada nümerik sonuçlar CST MWS yazılımında frekans bölgesi çözümleyici kullanılarak elde edilmiştir. Benzetim uzayı ilerleyen dalga yönünde açık-ekle (open-add), diğer yönlerde elektrik sınır değer ile sonlandırılmış, EİS yapısının beslenmesi için dalga kılavuzu portu kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) $\alpha = 0^\circ$ ve 90° için tek AHR yapısı, tek KHR yapısı ve $\alpha = 45^\circ$ için önerilen EİS yapısı için soğurma grafikleri. (b) Farklı α açısı değeri için önerilen EİS yapısının soğurma grafikleri. (c) $\alpha = 0^\circ$ ve 90° için tek AHR yapısı, tek KHR yapısı ve $\alpha = 45^\circ$ için önerilen EİS yapısı için $|S_{11}|$ grafikleri. (d) Farklı α açısı değeri için önerilen EİS yapısının $|S_{11}|$ grafikleri.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada aynı frekansta çalışan KHR ve AHR yapıları kullanılarak EİS modeli önerilmiştir. Şekil 2(a)'da görüldüğü üzere daha geniş bant genişliğine sahip KHR yapısı parlak modda, AHR yapısı ise karanlık moddadır. Bu iki yapının birbirleriyle bağlaşım yapması sonucunda EİS soğurma grafiğinin ortasında bulunan saydam pencere değeri elde edilmiştir. $\alpha = 0^\circ$ değeri için KHR ve AHR yapılarında herhangi bir bağlaşım mevcut değildir. α değeri arttığında bağlaşım miktarı artar ve saydam pencere değeri ve birinci soğurma tepe değeri artmaktadır. Soğurma tepe değerlerinin yüksek olması EİS uygulamalarında iyileştirme sağlamaktadır. Örneğin sensör uygulamalarında hassasiyeti artırmaktadır. Farklı α değerleri sonucunda elde edilen EİS modeli için soğurma grafiğine ait değerler Tablo 1 de gösterilmektedir. EİS çalışmalarındaki amaç soğurma tepe değerlerinin olabildiğince yüksek, saydam pencere değerinin olabildiğince alçak ve bulunan iki soğurma tepe değerinin birbirine yakın olması istenir. Tablo 1 den de görüldüğü üzere, $\alpha = 90^\circ$ de EİS yapısı en verimli çalışmaktadır.

Tablo 1. EİS yapısı için elde edilen nümerik sonuçlar.

Döndürme Açısı α (°)	Birinci Soğurma Tepesi		Saydam Pencere Tepesi		İkinci Soğurma Tepesi	
	f_0 (GHz)	Değeri	f_0 (GHz)	Değeri	f_0 (GHz)	Değeri
0	-	-	-	-	9,287	0,84
22,5	9,051	0,30	9,107	0,097	9,286	0,85
45	9,051	0,68	9,130	0,130	9,286	0,87
67,5	9,049	0,87	9,140	0,150	9,288	0,89
90	9,049	0,90	9,144	0,150	9,289	0,90

Kaynaklar

- [1]. Harris, Stephen E. "Electromagnetically induced transparency." Quantum Electronics and Laser Science Conference, 1997. QELS'97., Summaries of Papers Presented at the. IEEE, 1997.
- [2]. Fan-Yi Meng, QunWu, DanielErni, Ke Wu, Jong-Chul Lee, "Polarization-Independent Metamaterial Analogue of Electromagnetically Induced Transparency for a Refractive-Index-Based Sensor," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, cilt.60 no.10, Ekim 2012.
- [3]. Xing-Ri Jin, Yuehui Lu, Jinwoo Park, Haiyu Zheng, Feng Gao, YoungPak Lee, Joo Yull Rhee, Ki Won Kim, H. Cheong, Won Ho Jang, "Manipulation of electromagnetically-induced transparency in planar metamaterials based on phase coupling," . Appl. Phys., cilt 111, 073101, 2012.
- [4]. F. B. M. dos Santos ve J. W. R. Tabosa, " Application of electromagnetically induced transparency for cold-atom velocimetry," Phys. Rev. A, cilt 73, 023422, 2006.
- [5]. Na Liu, Thomas Weiss, Martin Mesch, Lutz Langguth, Ulrike Eigenthaler, Michael Hirscher, Carsten So'nnichsen, ve Harald Giessen, "Planar Metamaterial Analogue of Electromagnetically Induced Transparency for Plasmonic Sensing," Nano Lett., cilt 10, s. 1103–1107, 2010.
- [6]. Lei Zhang, Philippe Tassin, Thomas Koschny, Cihan Kurter, Steven M. Anlage, ve C. M. Soukoulis, "Large group delay in a microwave metamaterial analogue of electromagnetically induced transparency," Appl. Phys. Lett., cilt 97 no. 24, 241904, 2010.
- [7]. Pendry J. B., Holden A. J., Robbins D. J., ve Stewart W. J., "Magnetisim from conductors and enhanced nonlinear phenomena," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., cilt.47 no.11, s. 2075-2084, 1999.
- [8]. Xian Qi Lin, Zhe Chen, Jia Wei Yu, Pei Qing Liu, Peng Fei Li, ve Zhizhang (David) Chen, "An EIT-Based Compact Microwave Sensor With Double Sensing Functions," IEEE Sensors Journal, cilt.16, no. 2, Ocak 15, 2016.
- [9]. Sher-Yi Chiam, Ranjan Singh, Carsten Rockstuhl, Falk Lederer, Weili Zhang, ve Andrew A. Bettiol, "Analogue of electromagnetically induced transparency in a terahertz metamaterial," Phys. Rev. B, cilt 80 no.15 153103, 2009.
- [10]. J. Garc'ia-Garc'ia, F. Mart'ın, J. D. Baena, R. Marqu'es, ve L. Jelinek, "On the resonances and polarizabilities of split ring resonators," J. Appl. Phys., cilt 98, s. 033103, 2005.
- [11]. N. Katsarakis, T. Koschny, M. Kafesaki, E. N. Economou, ve C. M. Soukoulis, "Electric coupling to the magnetic resonance of split ring resonators," Appl. Phys. Lett., cilt.84 no.15, s. 2943–2945, 2004.