Mikrodalga Bölgesinde Enerji Hasadı İçin Elektrik-LC Tabanlı Rezonatör Tasarımı

Electric-LC Resonator Design for Energy Harvesting in Microwave Region

Alparslan ÇINAR[1] ve Sinan BİÇER[2]
Elmalı Meslek Yüksekokulu
Akdeniz Üniversitesi
Antalya, Türkiye
alparslancinar@akdeniz.edu.tr[1], sinanbicer@akdeniz.edu.tr[2]

***Özetçe*— Bu çalışmada enerji hasadı amacıyla Elektrik-LC (ELC) tabanlı rezonatör tasarımı önerilmiştir. Havada serbest olarak dolaşan elektromanyetik dalgalar önerilen yapıyla toplanması ve elektrik sinyallerine çevrilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yapının farklı direnç değerleri, farklı dielektrik malzeme kalınlıkları, farklı dielektrik kayıpları ve farklı dielektrik sabitleri için hasatlama verimi ve soğurma analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre %88,38 verim elde edilmiştir.**

Anahtar Kelimeler — enerji hasadı; metamalzeme; soğurucu; ELC.

***Abstract*— In this study, Electric-LC (ELC)-based resonator design is suggested for energy harvesting. Electromagnetic waves travelling in space are aimed to be collected with the suggested structure and to be converted into electric signals. Harvesting efficiency and absorption analyses are made for different resistance values, dielectric thicknesses, loses and constants of the suggest structure. According to results, 88,38% efficiency is obtained.**

Keywords — energy harvesting; metamaterial; absorber; ELC.

I. GİRİŞ

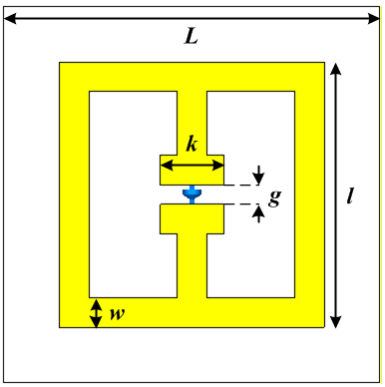
Metamalzeme tasarımında kullanılan yapılardan biri de Elektrik-LC (ELC) rezonatörleridir [1-3]. Bu yapılar enerji hasadı ve soğurucu uygulamalarında kullanılabilmektedir [2,4,5].

Yerkürenin sınırlı enerji kaynağına sahip olmasıyla enerji tüketimi büyük bir öneme sahiptir [6]. Günümüzde teknolojik cihazların boyutları küçülmektedir. Bu cihazlar düşük seviyede güç harcayabilmekteler ve ihtiyaç duyulan bu güç enerji hasadı ile sağlanabilmektedir [7]. Enerji hasadı için tasarlanan yapılar ayrıca soğurucu eleman olarak da kullanılabilmektedir [6,8,9]. Bu nedenle enerji hasadı son yıllarda oldukça popüler bir çalışma konusu olmuştur [6-10].

Bu çalışmada mikrodalga bölgesinde enerji hasadı için ELC tabanlı rezonatör tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yapıyla havada serbest halde dolaşan elektromanyetik dalgaların enerjilerinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu yapının sahip olduğu direnç, dielektrik malzeme yüksekliği, dielektrik kaybı ve dielektrik sabiti gibi değişkenlerin, hasat verimi ve soğurma üzerine etkileri incelenmiştir.

II. TASARIM VE BENZETİM

Tasarlanan ELC tabanlı rezonatörün tasarım parametreleriyle birlikte şematik görünümü Şekil. 1'de gösterilmiş ve parametre değerleri TABLO. I'da verilmiştir. Önerilen yapı tasarımı, uygulama frekansının istenilen değere optimizasyonu ile elde edilmiştir. Bu kapsamda, dielektrik malzeme boyutları, ELC boyutları ve konumları optimize edilen temel parametrelerdir. Tasarım için h = 1,016 mm kalınlığında Rogers RO3006 dielektrik malzeme seçilmiştir. Bu malzemenin dielektrik sabiti ε_r = 6,15 ve kayıp tanjantı tanδ = 0,002'dir. Dielektrik malzemenin arka yüzeyi komple toprak yüzey ile kaplanmıştır. Rezonatör ve toprak yüzey için t = 0,035 mm kalınlığa ve σ = 5,8 x 10^7 S/m elektriksel iletkenliğe sahip bakır seçilmiştir. Rezonatörün g = 1 mm genişliğindeki ayrık bölgesine R direnci eklenmiştir.



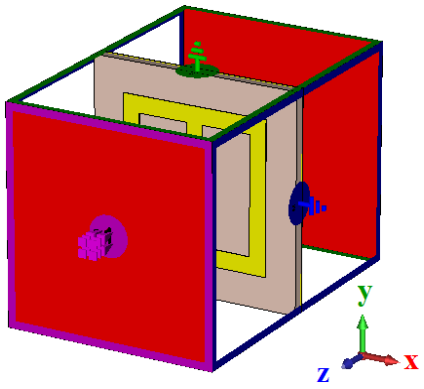
Şekil. 1. ELC tabanlı rezonatörün tasarım parametreleriyle birlikte şematik görünümü.

978-605-01-1240-5/sk 2018 722

TABLO I. ELC TABANLI REZONATÖRÜN PARAMETRE DEĞERLERİ

Parametre	Değer (mm)
L	19
l	13.4
w	1,5
g	1
k	3,2

Benzetimler CST Microwave Studio (MWS) ile frekans bölgesi çözümleyicisi kullanılarak yapılmıştır. Şekil. 2' de görüldüğü gibi önerilen yapı dalga kılavuzu portu ile uyarılmıştır ve dalga yayılım yönü k, elektrik alan vektörü E, manyetik alan vektörü H sırasıyla $-z$, y, x yönündedir. Sınır koşulları; x doğrultusunda manyetik (H_t = 0), y doğrultusunda elektrik (E_t = 0) ve z doğrultusunda açık (boşluk ekle) seçilmiştir.



Şekil. 2. Tasarlanan yapı için benzetim ortamının şematik görünümü.

III. SONUÇLAR

Şematik görünümü, tasarım parametreleri ve parametre değerleri tasarım ve benzetim başlığı altında verilmiştir. Verilen yapının direnci R, 1000 Ω'dan 5000 Ω'a değiştirilmiştir. Hasatlama verimi ve soğurma sonuçları CST MWS kullanılarak elde edilmiş ve Şekil. 3'de verilmiştir. Yapı yaklaşık 5.75 GHz rezonans frekansına sahiptir ve R = 2000 Ω için maksimum verim ve soğurma sağlamıştır. Bu direnç değeri için % 88.38 verim ve %99,86 soğurma elde edilmiştir. Soğurma grafikleri denklem (1) ile hesaplanmıştır.

$$soğurma = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (1)$$

Burada $|S_{11}|$ yansıma ve $|S_{21}|$ iletim olarak adlandırılır [11]. Önerilen yapının arka yüzeyi tamamen toprak yüzey ile kaplanmıştır. Bu nedenle 1. porttan 2. porta iletim yoktur ve $|S_{21}|$ iletim değeri sıfırdır. Verim grafikleri ise denklem (2) ile elde edilmiştir.

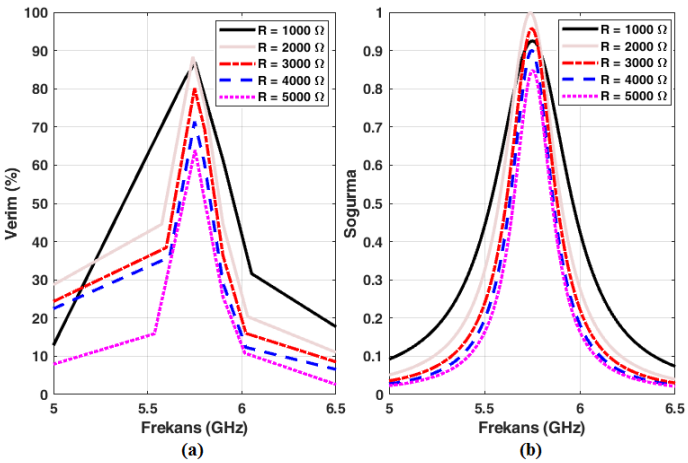
$$\%\ verim = (P_R / P_s) \times 100 \quad (2)$$

Burada P_s 1. porttun yapıyı uyardığı gücü temsil etmektedir ve benzetim ortamındaki değeri 0,5 Watt'tır. P_R ise direnç üzerinde harcanan güç olarak adlandırılır.

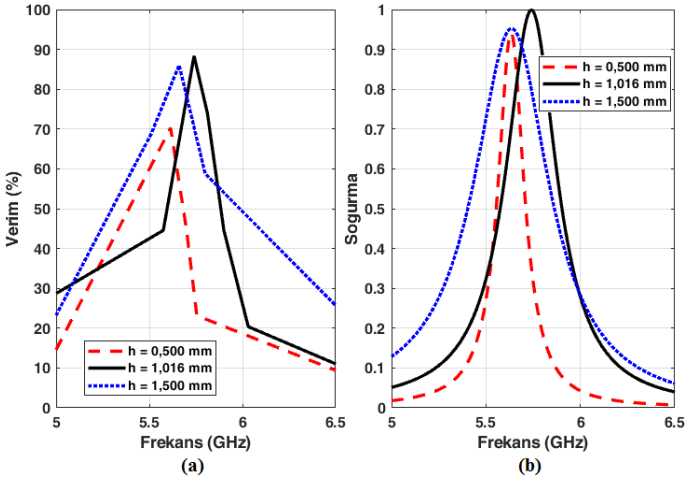
Dielektrik malzeme kalınlığının hasatlama verimine ve soğurmaya etkisini incelemek için h = 0,5 mm, 1,016 mm, 1,5 mm kalınlık değerleri için analizler yapılmış ve Şekil. 4'te verilmiştir. Tüm kalınlık değerleri için soğurma %94'ün üzerindedir. Ancak verim; h = 0,5 mm için %70,28 iken diğer iki yükseklik değeri için %86'nın üzerindedir.

Dielektrik malzemenin tanδ kayıp tanjantının verime ve soğurmaya etkisini incelemek için tanδ = 0,002, 0,020, 0,200 değerleri için analizler yapılmış ve Şekil. 5'te verilmiştir. Kayıp artıkça hasatlama verimi ve soğurmanın düştüğü gözlemlenmiştir. Kayıp tanδ =0,002'den 0,200'ye artırılınca; verim %88,38'den %5,13'e, soğurma %99,86'dan %44,84'e düşmüştür.

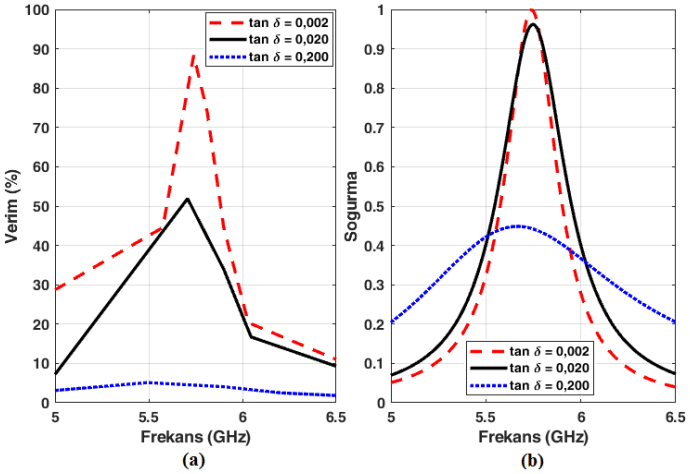
Rogers RO3006'ın ε_r dielektrik sabitinin verime ve soğurmaya etkisini incelemek için ε_r = 5, 6,15, 7 değerleri için analizler yapılmış ve Şekil. 6'da verilmiştir. Dielektrik sabiti ε_r artıkça rezonans frekansının düştüğü gözlemlenmiştir. Dielektrik sabiti ε_r = 5, 6,15, 7 için sırasıyla rezonans frekansları 6,30, 5,74, 5,45 GHz'dir. Tüm ε_r dielektrik sabiti değerleri için verim %83'ün üstünde ve soğurma %100'e yakındır.



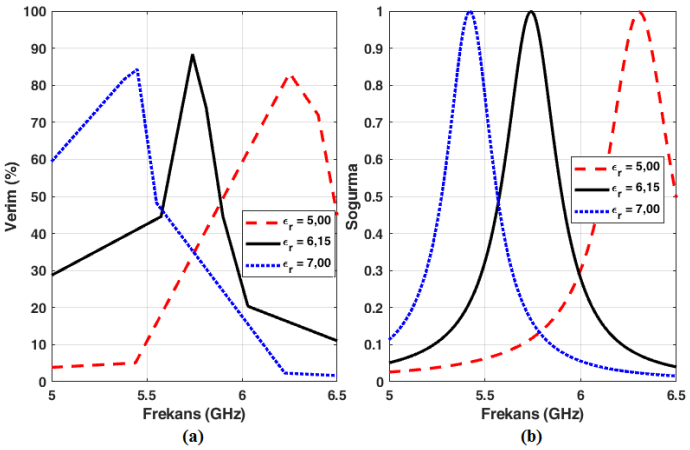
Şekil. 3.Farklı R direnç değerleri için (a) verim (b) soğurma benzetim sonuçları (h = 1,016 mm, tanδ = 0.002, ε_r = 6,15).



Şekil. 4.Farklı h dielektrik yükseklik değerleri için (a) verim (b) soğurma benzetim sonuçları (R = 2000 Ω, tanδ = 0.002, ε_r = 6,15).



Şekil. 5.Farklı tanδ dielektrik kayıp değerleri için (a) verim (b) soğurma benzetim sonuçları (R = 2000 Ω, h = 1,016 mm, ε_r = 6,15).



Şekil. 6.Farklı ε_r dielektrik sabiti değerleri için (a) verim (b) soğurma benzetim sonuçları (R = 2000 Ω, h = 1,016 mm, tanδ = 0.002).

IV. TARTIŞMA

Bu bildiride mikrodalga bölgesinde enerji hasadı için ELC tabanlı rezonatör tasarımı önerilmiştir. Ayrıca önerilen yapı soğurucu uygulamalarında da kullanılabilmektedir. Dielektrik malzemenin kalınlığının, kayıp tanjantının ve dielektrik sabitinin hasatlama verimine ve soğurmaya etkisi incelenmiştir. Kayıp tanjant arttıkça verim ve soğurmanın düştüğü, dielektrik sabitinin artıkça rezonans frekansının düştüğü ancak verim ve soğurmayı çok fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. Önerilen yapı için en iyi verim R = 2000 Ω, h = 1,016 mm, tanδ = 0.002, h = 1,016 mm parametre değerleri ile elde edilmiştir. Bu parametreler için hasatlama verimi %88,38 ve soğurma %99,86'dur.

KAYNAKLAR

[1] Schurig, D., Mock J. J., and Smith D. R., "Electric-field-coupled resonators for negative permittivity metamaterials." *Appl. Phys. Lett.*, 88(4):041109, 2006.

[2] Tao, H., Bingham, C. M., Pilon, D., Fan, K., Strikwerda, A. C., Shrekenhamer, D., ... and Averitt, R. D., "A dual band terahertz metamaterial absorber", J. Phys. D Appl. Phys., 43(22):225102, 2010.

[3] Ertan, Ö., Köse, U., Çinar, A. and Ekmekçi, E., "Sensitivity analysis of different resonator structure for sensor applications in microwave region", *Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 2016 National Conference on.* IEEE, 2016.

[4] Almoneef, T. S. and Ramahi, O. M., "Metamaterial electromagnetic energy harvester with near unity efficiency", *Appl. Phys. Lett.*, 106(15):153902, 2015.

[5] Ghaderi, B., Nayyeri, V., Soleimani, M. and Ramahi, O. M., "A novel symmetric ELC resonator for polarization-independent and highly efficient electromagnetic energy harvesting", *Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), 2017 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on.* IEEE, 2017.

[6] Dincer, F., "Electromagnetic energy harvesting application based on tunable perfect metamaterial absorber." *J. Electromagnet. Wave.*, 29(18) (2015):2444-2453, 2015.

[7] Chen, Z., Guo, B., Yang, Y. and Cheng, C., "Metamaterials-based enhanced energy harvesting: A review", *Physica B*, 438:1-8, 2014.

[8] Unal, E., Dincer, F., Tetik, E., Karaaslan, M., Bakir, M. and Sabah, C., "Tunable perfect metamaterial absorber design using the golden ratio and energy harvesting and sensor applications", *J. Mater. Sci-Mater. El.*, 26(12):9735-9740, 2015.

[9] Mulazimoglu, C., Karakaya, E., Can, S., Yilmaz, A. E. and Akaoglu, B. "Hexagonal-shaped metamaterial energy harvester design", *Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics (METAMATERIALS), 2016 10th International Congress on.* IEEE, 2016.

[10] Ramahi, O. M., Almoneef, T. S., AlShareef, M. and Boybay, M. S., "Metamaterial particles for electromagnetic energy harvesting", *Appl. Phys. Lett.*, 101(17):173903, 2012.

[11] Al-Badri, K. S., Cinar, A., Kose, U., Ertan, O. and Ekmekci, E., "Monochromatic Tuning of Absorption Strength Based on Angle-Dependent Closed-Ring Resonator-Type Metamaterial Absorber", *IEEE Antenn. Wirel. Pr.*, 16:1060-1063, 2017.