

Mikrodalga Enerjisi Hasat Uygulamaları için Çok Bantlı Çift Katmanlı Metamalzeme Tabanlı Mükemmel Soğurucu

Gökberk Akarsu, Mohammed Farouk Nakmouche, Diaa E. Fawzy
İzmir Ekonomi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
İzmir

gokberkakarsu97@gmail.com, Nakmouche.MFarouk@gmail.com, diaa.fawzy@gmail.com

Özet: Bu çalışma, 5G uygulamaları için mikrodalga enerjilerini toplamayı amaçlayan metamalzeme tabanlı, üç bantlı mükemmel soğurucunun yeni bir tasarımını önermektedir. Geliştirilen birim hücre, topraklanmış bir dielektrik substrat üzerine iki harfin birleşmesinden oluşan yamadan oluşmaktadır. Bu substratın üstüne iki katman arasındaki boşluk bir dalga boyu olmak üzere, λ veya $\lambda/2$ (dielektrik sabiti $\epsilon_r=2.2$, frekans değeri $f = 30$ GHz için hesaplanmıştır) oranında boşluk bırakılarak topraklanmamış bir substratın eklenmesi ile çift katmanlı soğurucu tasarlanmıştır. Bu tasarımın simülasyon sonuçlarına göre ortalaması %99.98'lik bir emilim değerine ulaşılmıştır. Bu çalışmada, çeşitli 5G frekans spektrumlarına uyumlu üç rezonans bandı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, enerji hasadı uygulamaları için umut vericidir.

Abstract: This study proposes a new design of a double-layered metamaterial-based triple band perfect absorber aimed at harvesting microwave energies for 5G applications. The developed unit cell is formed by the combination of two letters-shape patches on a grounded dielectric substrate. The spacing between the two layers is varied between one and half wavelength (computed for a dielectric constant $\epsilon_r= 2.2$, and frequency $f = 30$ GHz). According to the simulation results, on the average, an absorption rate of about 99.98% is achieved. With this structure, we obtained three resonance bands at various 5G spectra. The obtained results are promising for energy harvesting applications.

1. Giriş

Metamalzemeler, doğada var olmayan yapay olarak tasarlanmış malzemelerdir [1]. Geleneksel malzemelerden kolayca elde edilemeyen mühendislik yöntemlerine uygun elektriksel geçirgenlik, permeabilite ve kırılma indisi sağlarılar [2]. Dar veya geniş frekans aralıklarında elektromanyetik dalgaların emilimini, iletimini ve yansımaları kontrol etmek için birinci sınıf fırsatlar sunarlar. Bu fırsatlar sayesinde yeni konseptler, ekipmanlar, soğurucular, filtreler, süper lensler gibi birçok yeni uygulama alanlarının gelişimini mümkün kılmışlardır [3-5]. Literatürde farklı metamalzemeler, farklı frekans aralıklarında ve farklı geometrilere kullanılmaktadır. Metamalzemelerin frekans aralığı, enerji hasadı, kablosuz güç aktarımı, güneş pili hücreleri, antenler gibi farklı uygulamalar için MHz ile THz frekans aralığındadırlar [6-9]. Bu çalışmada ise, önceden geliştirmiş olduğumuz geniş bant metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu birim hücre tasarımını kullanarak, çift katmanlı, üç bantlı ve yüksek emilim oranına sahip metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu tasarımı geliştirildi. Geliştirilen bu çalışma, daha önceki araştırmamızdan farklı olarak çoklu bant yapısına, çok katmanlı mimariye ve yüksek frekanslarda çalışma imkanına sahiptir. Bu çalışmada elde edilen tasarım 26 GHz ila 42 GHz çalışma frekansları arasında üç bantlı metamalzeme soğurucu olarak çalışmaktadır. Bu çalışma aralığı 5G frekans spektrumunun üst frekans aralığını kapsamaktadır ve geliştirilen tasarım çok yüksek emilim oranına sahip olduğu için, 5G ve R.F (Radyo Frekansı) enerji hasadı uygulamaları için son derece uygundur.

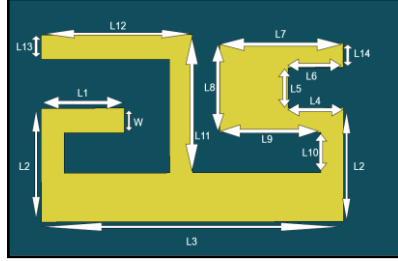
2. Teori ve Soğurucu Tasarımı

Bu makale ve çalışmanın amacı, 5G ve RF enerji hasadı uygulamaları için çok bantlı, çift katlı yeni bir metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu tasarımı geliştirmektir. Mükemmel bir metamalzeme tabanlı soğurucu tasarlanmanın temel prensibi, boşluğun empedansı ile eşleşen mükemmel empedans uyumuna ulaşmaktır. Bu metamalzemelerdeki soğurma oranı, iletim ve yansıma katsayıları ile ilgilidir (S_{11} & S_{21}). Mükemmel emilim oranına sahip olmak için malzemeden yansıyan elektromanyetik dalgalar sıfır veya sıfıra çok yakın olmalıdır. Tasarımın mükemmel empedans uyumuna ulaşip ulaşmadığını kontrol etmek için iletim ve yansıma katsayıları metamalzeme tabanlı soğurucuların emilim oranını hesaplamakta aşağıdaki denklem 1 aracılığıyla kullanılarak hesaplanır.

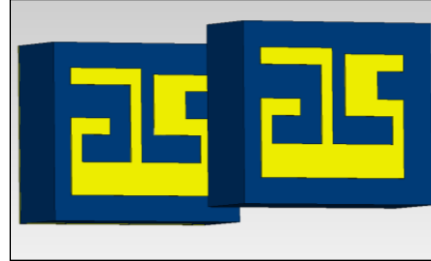
$$A = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (1)$$

Cismin tasarımı çift katmandan oluşmaktadır, bu çift katmanlı tasarım ilki topraklanmış bir substrat üzerine eklenmiş iki harfin birleşmesinden oluşan yama ve aralarında λ ($\epsilon_r=2.2, f=30$ GHz için sinyalin dalga boyu) veya $\lambda/2$ mm oranında boşluk bırakılarak topraklanmamış substrat üzerine yine aynı iki harfin birleşmesinden meydana gelen yamadan oluşmuştur. Denklem 2'de λ değerinin mm cinsinden nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Şekil 1. ve Şekil 2. de cismin tasarımı görülmekte, Tablo 1. de ise şeklin parametre değerleri verilmiştir.

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$



Şekil 1. Birim hücre tasarımı



Şekil 2. Çift katmanlı metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu tasarımı

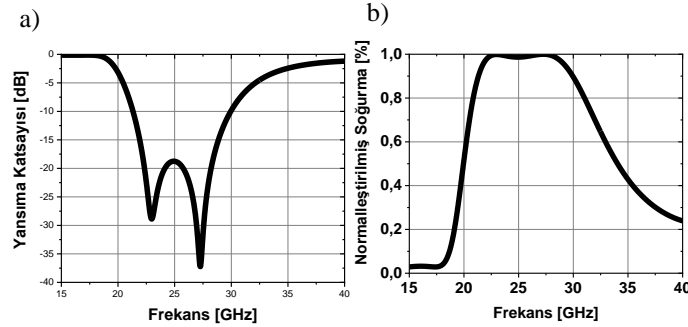
Tablo 1. Metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu birim hücre parametreleri

Parametreler	W	L1	L2	L3	L4
Değerleri (mm)	0.2585	0.94	1.2	3.44	0.63
Parametreler	L5	L6	L7	L8	L13
Değerleri (mm)	0.43	0.63	1.4	0.94	0.2585
Parametreler	L9	L10	L11	L12	L14
Değerleri (mm)	1.15	0.43	1.5	1.7	0.2585

Bu metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucunun birim hücre boyutunun toplam boyutu 4.54 mm x 2.77 mm'dir, bu birim hücre diğer çalışmalara göre kompakt ve minyatürdür [10]. Birinci cismin alt katmanı yani toprağı ve üst katman yaması ve ikinci katmandaki üst katman yaması 0.035 mm kalınlığında 5.96×10^7 S / m iletkenlikte bakırdan yapılmıştır. Substrat yüksekliği dielektrik malzemesi ROGERS RT5880 (dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.2$ ve kayıp tanjant değeri $\tan \delta = 0.009$) için 1.575 mm'dir.

3. Simülasyon ve Performans Analizleri

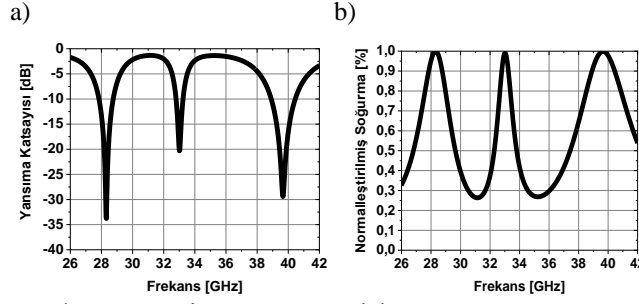
Bu çalışmada CST Microwave Studio aracı ile daha önce geliştirdiğimiz metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucunun birim hücrelerini çift katmanlı hale getirerek çoklu bant özelliği kazandırılmıştır. Daha önce geliştirdiğimiz metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucunun birim hücrelerinin sonuçları şekil 3'te belirtildiği üzere tek bant özelliğine sahiptir. Şekil 4'te görülebildiği üzere Rogers RT5880 isimli dielektrik malzemede, geliştirilen çift katmanlı metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucunun 26 GHz ila 42 GHz çalışma frekansları aralığında üç veya çok bantlı özelliğine ve yüksek emilim oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmadaki en optimize sonucu bulmak için yapılan parametrik çalışmalara göre $\lambda/2$ oranında boşluk bırakmanın, λ oranında boşluk bırakmaya göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiş ve Şekil 4'te bu optimize edilmiş nihai sonuca yer verilmiştir.



Şekil 3. Tek katmanlı metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu birim hücresi için

Yansım Katsayısı ve Emilim Oranları

a) Yansım Katsayısı b) Soğurma Oranı



Şekil 4. Çift katmanlı tasarımın $\lambda/2= 3.371$ mm için Yansıma Katsayısı ve Emilim oranları

a) Yansıma Katsayısı b) Emilim Oranı

Frekans Aralığı(GHz)	Soğurma(%)	Soğurma Bant Genişliği (GHz)	Birim Hücre Boyutu (mm ²)	Substrat Yüksekliği (mm)	Referans Numarası
23.1 – 24.1	≈ 96	1.0	6 x 6	0.20	[11]
24.62- 26.15	≈ 93.5	1.53	10 x 10	1.58	[12]
36-36.8	≈ 90	0.8	13 x 13	1.50	[13]
27.84 - 28.76 32.80 - 33.24 38.90 - 40.45	≈ 99	0.92 0.45 1.55	4.5 x 2.7	1.575	Bu Tasarım

4. Sonuçlar

Bu çalışmada tasarlanan çift katmanlı metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu geniş frekans aralığında çalışan üç bant veya çoklu bant özelliklerine sahiptir ve vaat ettiği yüksek emilim oranları sayesinde, 5G ve RF enerjisi hasadı uygulamalarına uygulanabilir. Rogers RT5880 isimli dielektrik malzemeden oluşan bu metamalzeme tabanlı mükemmel soğurucu $\lambda= 6.742$ mm için %99.2'ye ulaşan emilim değerlerine ve $\lambda/2= 3.371$ mm için %99.98'e varan son derece yüksek emilim değerlerine sahiptir. Bu özel çalışmanın, fabrikasyon ve ölçümlerle gelecekteki çalışmalarda doğrulanması beklenmektedir.

Kaynaklar

- [1]. C. L. Holloway, E. F. Kuester, J. A. Gordon, J. O'Hara, J. Booth ve D. R. Smith, "An Overview of the Theory and Applications of Metasurfaces: The Two-Dimensional Equivalents of Metamaterials," in IEEE Antennas and Propagation Magazine. cilt. 54, no. 2, s. 10-35, Nisan 2012.
- [2]. Liu, N., Mesch, M., Weiss, T., Hentschel, M. ve Giessen, H. Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor. Nano Lett. 10, s.2342–2348,2010.
- [3]. Landy, N.I. & Sajuyigbe, S & Mock, J.J. & Smith, D.R. ve Padilla, Willie. Perfect Metamaterial Absorber. Physical review letters. 100. 207402. 10.1103/PhysRevLett.100.207402, 2008.
- [4]. J. Bonache, I. Gil, J. Garcia-Garcia & F. Martin, "Novel microstrip bandpass filters based on complementary split-ring resonators," in IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Ocak, 2006.
- [5] A. K. Iyer & G. V. Eleftheriades, "Free-Space Imaging Beyond the Diffraction Limit Using a Veselago-Pendry Transmission-Line Metamaterial Superlens," in IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2009.
- [6] A. A. G. Amer, S. Z. Sapuan, N. Nasimuddin, A. Alphones ve N. B. Zinal, "A Comprehensive Review of Metasurface Structures Suitable for RF Energy Harvesting," in IEEE Access, cilt. 8, s. 76433-76452, 2020.
- [7] B. Wang, W. Yezazunis ve K. H. Teo, "Wireless Power Transfer: Metamaterials and Array of Coupled Resonators," in Proceedings of the IEEE, cilt. 101, no. 6, s. 1359-1368, Haziran 2013.
- [8] Y. Shen, Y. Pang, J. Wang, H. Ma, Z. Pei ve S. Qu, "Ultrabroadband Terahertz Absorption by Uniaxial Anisotropic Nanowire Metamaterials," in IEEE Photonics Technology Letters, 1 Kasım 2015.
- [9] Fan Yang ve Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap (EBG) structures: a low mutual coupling design for array applications," in IEEE Trans. on Antennas and Propagation, cilt. 51, no. 10, s. 2936-2946, Ekim. 2003.
- [10] G. Akarsu, M. F. Nakmouche, D. E. Fawzy, A. M. M. A. Allam, K. Başköy ve M. F. Cengiz, "A Novel 5G Wideband Metamaterial Based Absorber for Microwave Energy Harvesting Applications," 2021 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE), s. 309-312, 2021.
- [11] E. Jeong, J. Tak ve J. Choi, "A metamaterial absorber for reducing false image in 24GHz automotive radar system," 2015 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), s. 1-3,2015.
- [12] Hannan, S., Islam, M.T., Hoque, A., Singh, M.J., Almutairi, A.F. Design of a Novel Double Negative Metamaterial Absorber Atom for Ku and K Band Applications. Electronics, 2019.
- [13] A. K. Singh, M. P. Abegaonkar ve S. K. Koul, "Penta Band Polarization Insensitive Metamaterial Absorber for EMI/EMC Reduction and Defense Applications," 2017 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC), s. 1-5,2017.