

MİKRODALGA UYGULAMALARI İÇİN MÜKEMMEL METAMALZEME SİNYAL EMİCİ TASARIMI

Ali ÇINGİ (ORCID: 0000-0001-9194-8179)*

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, Türkiye

*Geliş / Received: 25.01.2017
Kabul / Accepted: 28.12.2017*

ÖZ

Metamalzemeler doğada direkt olarak bulunmayan ve sıra dışı elektromanyetik özellikler gösteren malzemelerdir. Günümüzde metamalzemelerin çok çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Bunlar; medikal, görüntü işleme, sinyal emilimi, görünmezlik pelerini, sensör, anten vb. Metamalzemeler gösterdiği sıra dışı elektromanyetik özellikler ile malzemelerde kazanç artışı sağlamaktadır. Bu çalışmada metamalzemelerin sinyal emilimi ele alınmıştır. Bu amaçla mükemmel sinyal emilimi yapabilen bir metamalzeme tasarlanmış ve nümerik sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre amaçlanan metamalzeme 11,227 GHz frekansında %99,98 gibi mükemmel bir oranda gelen sinyali emebilmektedir. Ayrıca, yapının mekanik ayarlanabilirlik özelliğinin de göstermek amacıyla parametrik bir çalışma da gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga için yapılan bu çalışma farklı frekans bantları için de uyarlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Metamalzeme, sinyal emilimi, mikrodalga

DESIGN OF PERFECT METAMATERIAL ABSORBER FOR MICROWAVE APPLICATIONS

ABSTRACT

Metamaterials are materials that are not found directly in nature and exhibit extraordinary electromagnetic properties. Today, metamaterials have a wide range of application areas such as medical, image processing, signal absorption, cloaking, sensor, antenna etc. Metamaterials increases gain of the materials since it has extraordinary electromagnetic properties. In this study, signal absorption of metamaterials is discussed and analyzed as detailed. For this purpose, a metamaterial has excellent signal absorption was designed and its numerical results were obtained. According to results, the perfect signal absorption ratio is 99.98% at the frequency of 11.227 GHz. In addition, a parametric study has also been realized to demonstrate the mechanical adjustability of the structure. This work is performed for microwave application and it can also be adapted for different frequency bands.

Keywords: Metamaterials, absorber, microwave

1. GİRİŞ

Metamalzemeler doğada direkt olarak bulunmayan ve sıra dışı elektromanyetik özellikler gösteren malzemelerdir. 1967-68 yılında ilk olarak Veselago [1] tarafından teorik olarak ortaya atılan metamalzemeler bilim dünyasından uzun yıllar ilgi görmemiştir. 1990'lı yıllar itibariyle Pendry ve ark. [2, 3], Shelby ve ark. [4] tarafından yapılan çalışmalar ile teorik olarak ortaya atılan metamalzemelerin aslında yapılabileceği deneysel

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 554 694 09 45; e-mail / e-posta: alicingi2727@gmail.com

MİKRODALGA UYGULAMALARI İÇİN MÜKEMMEL METAMALZEME SİNYAL EMİCİ TASARIMI

olarak tekrar gündeme gelmiştir. Daha sonraki yıllarda ise bilim dünyasının önemle dikkatini çektiği bu konuda çok sayıda çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

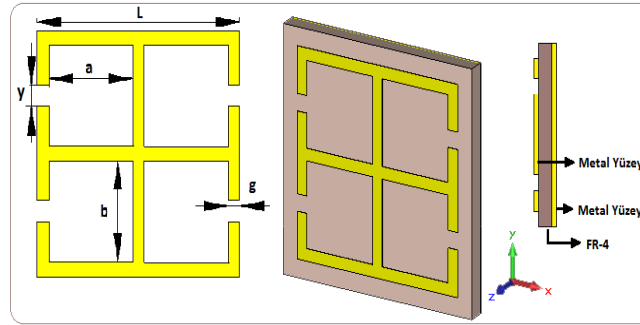
Günümüzde metamalzemelerin çok çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Bunlar; medikal [5], görüntü işleme [6], sinyal emilimi [7], görünmezlik pelerini [8], sensör [9], anten [10] vb. Metamalzemeler gösterdiği sıra dışı elektromanyetik özellikler ile malzemelerde kazanç artışı sağlamaktadır [11].

Bu çalışmada metamalzemelerin sinyal emilimi ele alınmıştır. Metamalzeme ile sinyal emiliminin gerçekleştirilebilmesi için malzemeye elektromanyetik sinyal uygulandığında malzemenin rezonans frekans aralığında gelen sinyali iletmemesi ve yansıtması yani soğurması beklenmektedir. %100 soğurma olmayacağı için bu değer kayıplar çıktıktan sonra en azından %99 civarlarında olması istenmektedir. Bu tür malzemelere mükemmel sinyal emilimi yapan malzemeler de denilebilmektedir. Bu durum için malzemenin arka kısmı metal ile kaplanmaktadır. Böylece iletim değeri yani S21 sıfıra çok yakın bir değer almaktadır. Yapılan rezonatör tasarımı ve kullanılan dielektrik ile de yansıma değeri yani S11 sıfıra çok yakın elde edilebilmektedir. Bu durum için kullanılan malzeme yapısı, kalınlığı, dielektrik değeri, kayıp tanjant değeri, rezonatörün yapısı, vs. birçok parametre sinyal emilimini doğrudan etkilemektedir.

Literatürde çeşitli metamalzeme sinyal emilim çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada daha önceki literatür çalışmalarında elde edilen sinyal emilim değerlerinden çok daha yüksek değerlerde emilim elde edildiği ve farklı aralık değerlerinde yine mükemmel emilim değerlerine yakın değerler elde edilmesi ile bundan sonraki çalışmalara örnek olması hedeflenmektedir. Farklı frekans değerlerinde de iyi emilim sağlaması için yapıya çoklu frekans değerlerinde simülasyon ile sinyal emilimi gerçekleştirilmiştir. Böyle bir çalışma, medikal, görüntü işleme, askeri alanlar vb. birçok çalışma alanı için uygulanabilir özelliğe sahiptir.

2. MATERYAL VE METOT

Tasarımı yapılan metamalzeme tabanlı sinyal emici yapıda dielektrik malzemenin katman kalınlığı 1,6 mm olan FR-4 kullanılmaktadır. FR-4 yanmaya karşı dayanıklı cam elyaf katkılı laminateden yapılmış ve epoksi yapıdan oluşan bir malzemedir. Çift veya tek yüzeyli bakır kaplama ile imal edilebildiği gibi yüksek frekanslarda da rahatça kullanılabilir. FR-4 yapısına bakıldığında ise bağıl dielektrik geçirgenliği, (ϵ_r) 4,3 ve kayıp tanjant değeri 0,025'tir. Yansıma değerinin sıfıra yakın değerde tutmak için yapının arka kısmını metalik özelliklere sahip olan, $5,8 \times 10^7$ S/m elektriksel iletkenliğe ve 0,035 mm kalınlık değerine sahip bakır ile kaplanmaktadır. Aynı şekilde ön yüzde rezonatör de bakır cinsi metalden yapılmıştır. Verilen rezonatör yapısının ölçüleri; $L=17$ mm, $a=7$ mm, $b=7$ mm, $g=1$ mm, $h=0,7$ mm, $y=0,7$ mm şeklindedir. Bu değerlerin elde edilebilmesi için parametrik çalışma gerçekleştirilmiş ve yapı optimize edilmiştir. Yapı oluşturulurken en dıştaki L uzunluğundaki kare yapıdan aynı alanlara sahip kenar uzunlukları a ve b olan karalar çıkartılarak oluşturulmaktadır. Tasarımda yapılan y değeri de boşluklu aralık alanı olarak belirlenmektedir. Şekil 1'de yapının ölçekli ve perspektif görüntüleri verilmektedir.

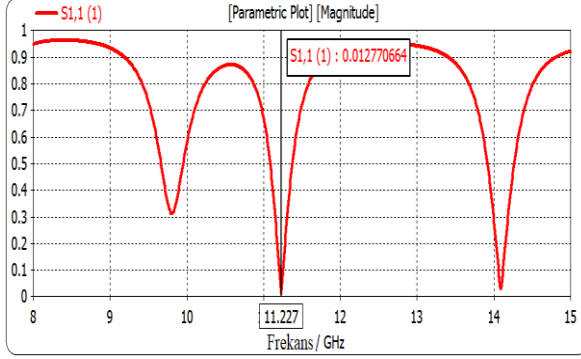


Şekil 1. Tasarlanan sinyal emicinin ölçü değerleri ve perspektif görüntüleri

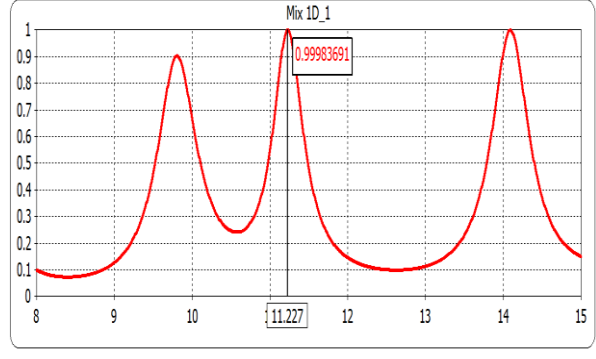
Tasarlanan ve optimize edilen yapının nümerik sonuçları için 3D elektromanyetik çözüm nümerik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Periyodik olarak atanan sınır şartları içerisinde yapının öncelikle yansıma ve iletim değerleri bulunmuştur. Yapının arkasında metal plaka olması iletim sıfıra çok yakın bir değerde çıkmasına, sinyal emilim hesaplamasında yansımanın en küçük olduğu noktadaki lineer değerde sinyal emiliminin en yüksek değerinin çıkmasını sağlamaktadır. Sinyal emilimi için; $A(w)=I-(R(w)+T(w))$ formülüne göre hesaplama yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Burada; $R(w) = |s_{11}|^2$ ve $T(w) = |s_{12}|^2$ değerlerini ifade etmektedir.

A. ÇINGİ

Şekil 2’de elde edilen sonuca göre S11 değeri en düşük 11,227 GHz frekans değerinde 0,012 olarak elde edilmiştir. Ayrıca yapının 10 GHz ve 14 GHz frekans değerleri civarında da sinyal emilimi gösterdiği, S11 değerlerinin 0,5’in altında olduğu görülmektedir. Bu frekans değerlerinde de yapı sinyal emilimi yapsa da en iyi, mükemmel olarak sinyal emilimi yaptığı rezonans frekansı 11,227 GHz’dir. Bu frekans değerinde yapının %99,98 oranında sinyal emilimi gerçekleştirdiği görülebilmektedir. Şekil 3’te elde edilen sinyal emilim nümerik sonuçları gösterilmektedir.



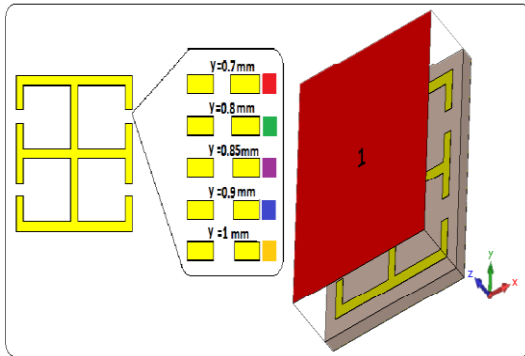
Şekil 2. Tasarlanan metamalzeme için nümerik S11 sonuçları



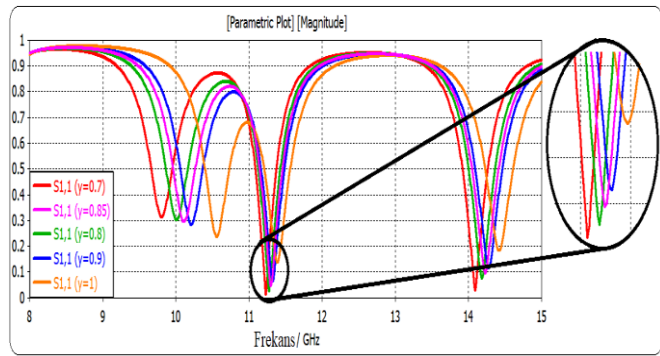
Şekil 3. Tasarlanan metamalzeme için nümerik A(w) sonuçları

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bazı durumlarda metamalzeme yapıli sinyal emici tasarımı yapılırken en iyi emilim değerin ortaya çıkması için tasarımı yapılan yapının kesit alanları, frekansın belirli bir aralıklarda sabit tutulmasına bağlı olarak parabolik olarak değiştirilmektedir. Böylelikle en iyi sonucun elde edildiği kesit alanı belirlenmektedir. Yani yapının en iyi sonucu vermesi için optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Yapılan bu çalışmada da kurulmuş olan yapının y parametre kısmını parametrik hale getirerek 8-15 GHz frekans aralığında y değeri için 0,70; 0,80; 0,85; 0,90 ve 1,00 değerlerinin parametrik olarak uygulandığı yapı (Şekil 4) ve simülasyon verilerinin sonuçları Şekil 5’te verilmektedir.



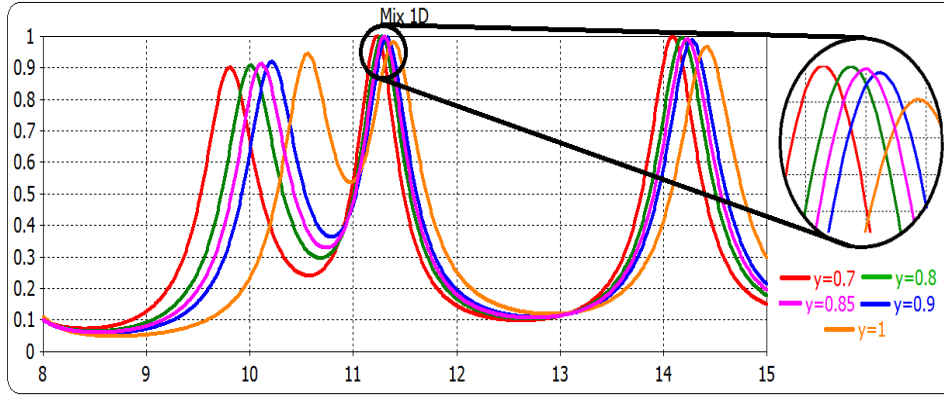
Şekil 4. Parametrik y değerleri (0,70; 0,80; 0,85; 0,90 ve 1,00 mm) ve yapının perspektif görünümü



Şekil 5. y parametrik değerine bağlı olarak 8 ile 15 GHz aralığında uygulanan elektromanyetik dalganın nümerik S11 sonuçları

Şekil 5’te elde edilen nümerik sonuçlar için sinyal emilim hesaplamaları da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi emilim değerin kesit alanının y=0,7 mm frekansın da 11,22 GHz iken olduğu açıkça görülebilmektedir. Kesit alanının 0,7 mm değerinden küçük veya büyük alınması durumunda emilim değerlerinin birbirine yakın çıktığı uygun kesit alanının 0,7 mm olduğu ortaya çıkmaktadır. Karmaşıklığa yol açmaması açısından sadece 0,7 mm ve üzeri değerler verilmektedir. (Şekil 6)

MİKRODALGA UYGULAMALARI İÇİN MÜKEMMEL METAMALZEME SİNYAL EMİCİ TASARIMI



Şekil 6. y parametrik değerine bağlı olarak 8 ile 15 GHz aralığında uygulanan elektromanyetik dalganın nümerik sinyal emilim sonuçları

Uygulanan elektromanyetik dalgaya bağlı olarak en iyi emilim elde edildiği değerler dışında farklı frekanslarda da çok iyi sonuçların ortaya çıktığı Şekil 6'da görülmektedir. Tablo 1'de ise farklı frekanslarda en iyi emilim değerlerinin sonuçları verilmektedir.

Tablo 1. Farklı frekans aralığında en iyi emilimin olduğu y parametrik değerleri

Frekans Aralığı (GHz)	$y=0,70$ mm	$y=0,80$ mm	$y=0,85$ mm	$y=0,90$ mm	$y=1,00$ mm
9-11	0,901172	0,908135	0,913052	0,919382	0,943448
11-12	0,999836	0,999267	0,997915	0,995837	0,981252
14-15	0,999081	0,994225	0,990718	0,986502	0,966343

y değerinin artırıldığı farklı frekans değerlerinde de çok iyi emilim sonuçlarının ortaya çıktığı görülmektedir. Buna göre uygulanan frekans aralığı 9 ile 15 GHz aralığında tutulduğunda en iyi emilim oranı %94,34 ile y parametrik değerinin 1 mm olduğunda ortaya çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde uygulanan frekans değeri 11 ile 12 GHz aralığında alındığında da en iyi emilim oranı %99,98 ile y kesit alanının 0,7 mm olduğu değerde ortaya çıkmaktadır. Yine aynı şekilde frekans aralığı 14 ile 15 GHz aralığında seçildiğinde ise en iyi emilim oranı %99,90 ile y kesit alanının 0,7 mm olduğu değerde ortaya çıktığı görülmektedir. Buradan da en iyi emilim oranının uygulanan frekans aralığına göre değiştiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Giriş bölümünde bahsettiğimiz ve daha önceki çalışmaların sonuçları incelendiğinde farklı frekans değerlerinde mükemmel bir emilim sağlayan yapıların çok az olduğu ortaya çıkmaktadır. Simülasyon çalışmalarında çok iyi sonuçların elde edilmesi medikal, görüntü işleme, askeri alanlar vb. birçok çalışma alanı için uygulanabilir özellikle olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada son yıllarda ilgi odağı haline gelen metamalzeme uygulamalarından birisi olan sinyal emici metamalzeme yapısı tasarlanarak nümerik verileri analizi yapılmaktadır. Tasarlanan yapının en iyi şekilde soğurulma sağlanması için arka kısmı metal iletken ile kaplanarak ön yüzeydeki kesitler ile sonuçlar test edilmektedir. Elde edilen nümerik verilere göre kesit alanı parametrik 0,7 mm'den 1 mm'ye kadar değiştirilerek mükemmel sonuçların elde edilmesi sağlanmaktadır. Simülasyon sonuçlarında elde edilen değerler neticesinde 0,7 mm kesit alanında %99,99 emilim değeri sağlanmaktadır. Bunu yanında 0,8 mm'de %99,92; 0,85 mm'de %99,79; 0,9 mm kesit alanında %99,58 değeri gibi yüksek emilim değerlerinin elde edilmesi tasarlanan nümerik yapının uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Kesit alanının 1 mm üzerine çıkılması durumunda emilim oranının %98 değerine düşmesi yine kesit alanının 0,7 mm değerinin altında seçilmesi durumunda emilim oranının %98 değerine düşmesi tasarımın 0,7 mm en uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu amaçla tasarımı yapılan ve mekanik ayarlanabilirlik özelliği ile mükemmel sonuçların elde edildiği bu yapı medikal, görüntü işleme, askeri alanlar vb. birçok çalışma alanı için uygulanabilir özelliğe sahiptir. Mikrodalga için yapılan bu çalışma farklı frekans bantları için de uyarlanabilir.

A. ÇINGİ

KAYNAKLAR

- [1] VESELAGO, V.G., “The Electrodynamics of Substances With Simultaneously Negative Values of ϵ and μ ”, Soviet Physics Uspekhi, 10, 517-526, 1968.
- [2] PENDRY, J.B., HOLDEN, A.J., ROBBINS, D.J., STEWARD, W.J., “Magnetism from Conductors and Enhanced Nonlinear Phenomena”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 47, 2075-2084, 1999.
- [3] PENDRY, J.B., SCHURIAND, D., SMITH, D.R., “Controlling Electromagnetic Fields”, Science 312, 1780–1782, 2006.
- [4] SHELBY, R.A., SMITH, D.R., NEMAT-NASSER, S.C., SCHULTZ, S., “Microwave Transmission Through a Two-Dimensional, Isotropic, Left-Handed Metamaterial”, Applied Physics Letters, 78, 489-491, 2001
- [5] SMITH, D.R., PENDRY, J. B., WILTSHIRE, M.C.K., “Metamaterials and Negative Refractive Index”, Science, 305, 788-792, 2004.
- [6] PAPAIOANNOU, M., PLUM, E., ZHELUDEV, I.N., “All-Optical Pattern Recognition and Image Processing on a Metamaterial Beam Splitter”, ACS Photonics, 4, 217–222, 2017.
- [7] ZENG, L., LI, B., LI, H., WANG, B., “Nano Sensing Based on Transparency Effect in Planar Metamaterial”, Journal of Modern Optics, 64, 1158–1163, 2017.
- [8] SCHURIG, D., MOCK, J.J., JUSTICE, B.J., CUMMER, S.A., PENDRY, J.B., STARR, A.F., SMITH, D.R., “Metamaterial Electromagnetic Cloak at Microwave Frequencies”, Science, 314, 977-980, 2006.
- [9] HE, X., LI, S., YANG, X., SHI, S., WU, F., JIANG, J., “High-Sensitive Dual-Band Sensor Based on Microsize Circular Ring Complementary Terahertz Metamaterial”, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 31, 91-100, 2017.
- [10] WU, B.I., WANG, W., PACHECO, J., CHEN, X., GRZEGORCZYK, T., KONG, J.A., “A Study of Using Metamaterials as Antenna Substrate to Enhance Gain”, Progress in Electromagnetics Research, 51, 295-328, 2005.
- [11] SABAH, C., TAYGUR, M.M., ZORAL, E.Y., “Investigation of Microwave Metamaterial Based on H-Shaped Resonator in A Waveguide Configuration and Its Sensor and Absorber Applications”, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 29, 819–831, 2015.