



PCB mikroşerit dipol ve monopol antenlerin kullanıldığı çok portlu sistemlerde metamalzeme ile yalıtımın iyileştirilmesi

Oğuzhan AKGÖL*

İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay
oguzhan.akgol@iste.edu.tr ORCID: 0000-0002-1423-1569, Tel: (326) 613 56 00 (3508)

Geliş: 16.02.2018, Kabul Tarihi: 12.06.2018

Öz

Bu çalışmada, dipol ve monopol antenlerin bulunduğu iki portlu anten sistemlerindeki izolasyonun iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için 2.4 GHz ve 6 GHz frekanslarında çalışan dipol antenler ile 2.438 GHz ve 1.706 GHz frekanslarında çalışan monopol antenler tasarlanmış ve aralarındaki yalıtımı arttırmak için uygun metamalzeme yapısı tasarlanmıştır. Çok portlu sistemlerde antenlerin birbirini etkilemelerini önlemek için ya antenleri yeteri kadar birbirinden ayırık yerleştirmeli ya da aralarındaki izolasyon (yalıtım) iyileştirilmelidir. Ancak, çoğu uygulamada, birinci çözüm fiziksel alan gereksinimlerinden dolayı mümkün olmamaktadır. Bu yüzden daha etkin bir çözüm bulunmalı ve kullanılmalıdır. Bu çalışmada, metamalzeme tabanlı yapılar kullanılarak antenler arasındaki yalıtım olarak bilinen iletim parametresinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Tasarlanan yapı basit bir şekle sahip olup fazla bir yüzey alanı işgal etmemektedir. Buna ek olarak FIT (Finite Integration Technique) tabanlı ticari bir elektromanyetik simülasyon programı kullanılarak MTM yapısı varken ve yokken elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Antenlerin çalışma frekansına uygun tasarlanan yapıların izolasyon davranışını önemli miktarlarda arttırması bu sistemin mevcut ve yeni tasarlanacak anten sistemlerinde kullanımına imkan sağlayacak ve bunlardan daha iyi performans elde etmemizin önünü açacaktır. Başka bir açıdan bakılırsa bu yöntem anten minyatürizasyonu için farklı bir yaklaşım olarak başarılı sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok portlu anten sistemleri; Antenlerde yalıtım; MTM tabanlı izolasyon; Metamalzemeler; dipol ve monopol antenler;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Metamalzemeler doğadaki maddelere kıyasla sıradışı ve şaşırtıcı özellikler gösteren malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Metamalzemeler tasarıma bağlı olarak teller veya şeritlerin kombinasyonlarından ve periyodik olarak dizilmiş rezonatörlerden oluşurlar. Metamalzemeler ile negatif kırılma indisi gibi çok değişik özellikleri elde etmek mümkündür. Aynı anda hem negatif manyetik geçirgenlik (μ) hem de dielektrik katsayısı (ϵ) değerlerine sahip olma fikri ilk olarak Veselago'nun teorik çalışmasına kadar dayanmaktadır (Veselago, 1968). Bununla birlikte, Veselago'nun çalışması bilimsel çevreler tarafından çok fazla ilgi görmemiş ve bu tutum Pendry ve Smith'in çalışmalarında metamalzeme yapılarını üretmelerine kadar devam etmiştir (Pendry, J. B. vd., 1996; Pendry, J. B., vd., 1999; Smith, D. R. vd., 2000). Bu aşamadan sonra metamalzemeler için birçok uygulama alanı bulunmuştur. Örneğin; süper lensler, mükemmel emiciler, kaynak görüntüleme, süper çözünürlük, polarizasyon dönüştürücüler, sensörler, elektromanyetik hasat bunlar dan birkaçıdır (Karaaslan vd., 2014; Akgol vd., 2011; Muharrem Karaaslan vd., 2017; S. R. Thummaluru ve R. K. Chaudhary, 2017; G. Zhai, Z. N. Chen ve X. Qing, 2015).

Anten endüstrisinde antenlerin çeşitli kısımlarına rezonatörlerin eklenmesi, metalik ince köprücükler yerleştirilmesi gibi farklı teknikler yalıtımı iyileştirmek için kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde, metamalzemeleri kullanarak anten elemanları arasındaki yalıtımı iyileştirmek üzerine bazı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. C.M. Luo ve arkadaşları çalışmalarında UWB-MIMO antenlerde yalıtımın iyileştirilmesi üzerine çalışmış ve geniş bir bant aralığında -18 dB'nin altında yalıtım elde etmiştir (C.M. Luo vd., 2015). E. Rajo-Iglesias ve arkadaşları düzlemsel bir EBG yapısını kullanarak yama antenlerin yalıtımını iyileştirme üzerine bir çalışma yapmış ve tamamen düzlemsel bir yapı kullanarak 10 dB'lik bir yalıtım farkı elde etmiştir (E. Rajo-

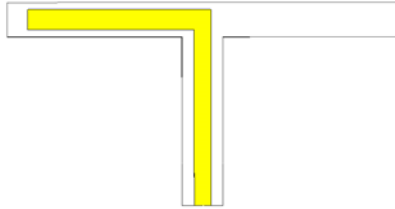
Iglesias, 2008). M. M. Bait-Suwailam ve arkadaşları mikro şerit yama antenlerde yalıtımın iyileştirilmesinde ayırık halka rezonatörleri kullanmış ve yine 10 dB civarında bir yalıtım farkı elde etmişlerdir (M. M. Bait-Suwailam vd., 2010). S.R. Thummaluru ve arkadaşları MIMO antenler için elektromanyetik geçirgenliği negatif olan metamalzemeleri kullanmışlardır (S.R. Thummaluru vd., 2017). Bir başka çalışmada Guohua Zhai ve arkadaşları dört elementli MIMO antenlerde yalıtımı iyileştirmek için mantar şekilli metamalzemeleri kullanmıştır (Guohua Zhai vd., 2015). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada Shraman Gupta ve arkadaşları 28 GHz frekansında çalışan MIMO antenlerde metayüzeyleri kullanarak etkileşimi azaltma üzerine çalışmışlardır (Shraman Gupta vd., 2017). Yapılan bu çalışmalar genellikle MIMO ve eş frekansa sahip antenler üzerinde yapılmış ve farklı frekanslarda çalışan dipol veya monopol antenlerin oluşturduğu sistemlerde yalıtım üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, literatürdeki çoğu çalışmanın aksine iki farklı bantta çalışan dipol ve monopol antenler kullanılmıştır. 2.4 GHz ve 6 GHz frekanslarında tasarlanmış iki dipol ve 2.438 GHz ve 1.706 GHz frekanslarında çalışacak şekilde tasarlanmış iki monopol anten arasındaki yalıtımı iyileştirmek için metamalzeme yapılarından olan ayırık halka rezonatörleri kullanılmıştır. Yapıların boyutları ve şekilleri genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiş ve belirlenen frekanslarda en iyi sonucu veren parametre değerleri elde edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Dipol Antenlerin Tasarımı

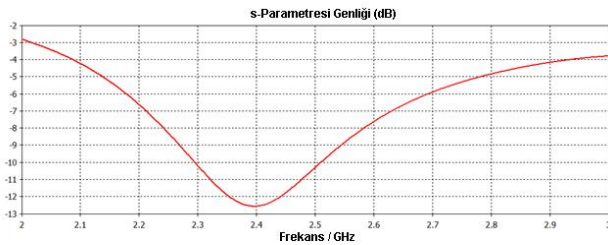
Bu çalışmada, öncelikle yüksek bant ($f_h=6$ GHz) ve alçak bant ($f_l=2.4$ GHz) için iki tane dipol (çift kutuplu) anten optimize edilmiş ve tasarlanmıştır. Antenler iki bakır katmandan ve bunların arasındaki dielektrik ara yapıdan oluşmaktadır. Dielektrik malzeme olarak iyi performansa ve düşük maliyete sahip FR4 malzemesi seçilmiştir. Geometri her iki dipol

anten için aynı olduğundan sadece düşük bantta çalışan mikroşerit anten gösterilmiştir (Şekil 1). Bilinen yarım dalga dipol anteni sağlayacak şekilde anten boyutları seçilmiş ve ince ayarlamalar yapılmıştır. Mikroşerit ve baskı devre (PCB) seçilmesi dipol için diğer anten şekillerine nazaran daha tutarlı ve düşük maliyetli üretime imkan sağlaması amaçlıdır.



Şekil 1. PCB mikroşerit dipol antenin geometrik yapısı (2.4 GHz için)

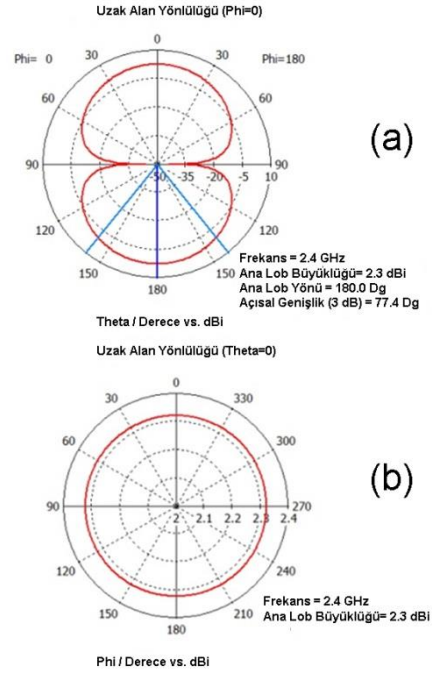
Bilindiği gibi, dipol antenin çalışma frekansı basitçe dipol uzantılarının optimize edilmesiyle ayarlanabilir. Düşük bant dipolün boyutları hedefimiz olan 2.4 GHz frekansında rezonans verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu anten için S_{11} olarak bilinen geri dönüşüm kaybı karakteristiği Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, bu değer antenin verimli bir şekilde çalışmasına yetecek bir değer olan -12.5 dB değerine kadar düşmektedir. S_{11} parametresi için genelde -10 dB ve bazı uygulamalarda ise -15 dB değeri referans olarak kullanılmaktadır. Bu değerler bant genişliğini belirlemede de referans olarak kullanılan değerlerdendir. Bu açıdan bakıldığında önerilen alçak bant dipol antenin bant genişliği yaklaşık olarak 200 MHz civarındadır.



Şekil 2. Dipol anten için dB olarak geri dönüşüm kaybı grafiği (f=2.4 GHz)

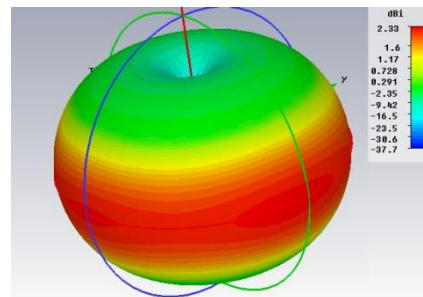
Yönlülük, verim ve böylece antenin kazancını bulmak için antenin yayılım deseni de incelenmelidir. Uzak alan ışınma deseninin iki

temel kesiti aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3-a ve Şekil 3-b). Bunlardan biri yatay kesiti (Azimuth) verirken diğeri dikey kesiti (Elevation) vermektedir.



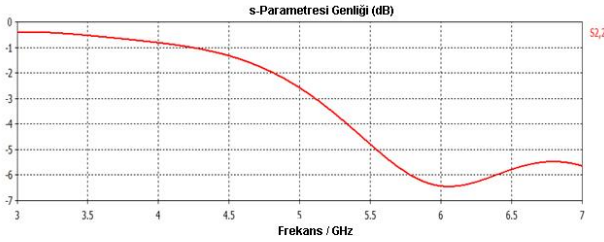
Şekil 3. PCB Mikroşerit Dipol Anten için Uzak Alan Işımasının Temel Kesitlerinin Polar Gösterimi (f=2.4 GHz için)

Yayılım desenini daha açık anlayabilmek için 3 boyutlu gösterim de bulunmuş ve Şekil 4’de gösterilmiştir. Antenin kazancı yaklaşık 2.3 dBi civarında olup yayılımı dipol antenlerde olması beklendiği gibi simit şeklinde olmuştur. Enerjinin kenarlarda toplandığı ve istenmeyen kenar ve alt lobların neredeyse hiç olmadığı gözlenmektedir.



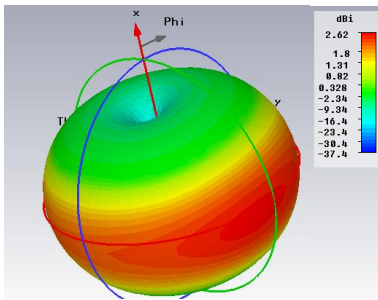
Şekil 4. Dipol Anten için 3-Boyutlu Uzak Alan Işıma Dokusu (f=2.4 GHz)

Sistemin yüksek bant kısmı $f=6$ GHz frekansında çalışan bir dipol antenden oluşmaktadır. Yüksek bant dipol anten için S_{11} parametresinin değişim grafiği Şekil 5'ten görülebilir. Buna ek olarak, 3-Boyutlu uzak alan ışınma görüntüsü de Şekil 6'da verilmiştir ve çıkan şekil düşük bantta olduğu gibi beklenen simit şeklindedir.



Şekil 5. Yüksek Bant Dipol Anten için dB Olarak Geri Dönüş Kaybı Grafiği ($f=6$ GHz)

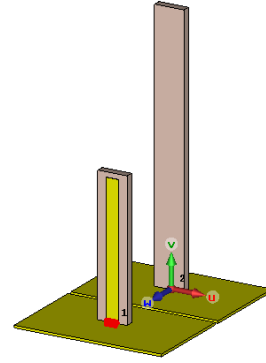
Antenin kazancı yaklaşık olarak 2.6dBi seviyelerindedir ki bu değer bu tür antenler için beklenen bir seviyededir. Geri dönüş kaybı istenen frekansta azalmakta olup asıl çalışmamızın odak noktası aralarındaki yalıtım olduğu için bu değer iyileştirilmesinden ziyade yine saçılım parametrelerinden olan ve iki portlu sistemlerde enerji iletimini gösteren $S_{12}=S_{21}$ parametreleri incelenmiştir. Bu nedenle, belirtilen özel rezonans frekans noktalarında daha ileri düzey ayarlamalara (tuning) gidilmemiştir. Her ne kadar anten sanayisinde çok portlu antenlerin yalıtımını geliştirmek için değişik teknikler kullanılıyor olsa da, metalmalzemeleri bu amaçla kullanmak kısmen yeni bir tekniktir ve bu özel problemin metalmalzemeleri kullanarak çözülmesi üzerine sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır.



Şekil 6. Yüksek Bant Dipol Anten için 3-Boyutlu Uzak Alan Işınma Dokusu ($f=6$ GHz)

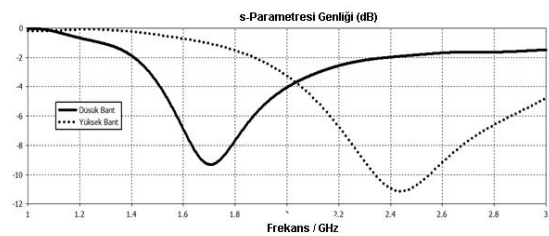
Monopol Antenlerin Tasarımı

İki anten arasındaki yalıtımı arttırmak için yapılan bu çalışmada tasarlanacak sistemin başka antenler için de uygunluğunu test etmek için 2.438 GHz ve 1.706 GHz frekanslarında çalışacak şekilde iki tane de monopol anten tasarlanmıştır. Antenler dipollerde olduğu gibi baskı devre (PCB) şeklinde tasarlanmış mikroşerit hatlardan oluşmaktadır. Bu mikroşerit hatlar antenin asıl yayılım yapan kısımlarını oluşturmakta olup bakır bir zemine dik olarak yerleştirilmiştir. Antenlerin birlikte bulunduğu sistem Şekil 7'de ve geri dönüşüm kayıpları ise (S_{11} parametreleri) Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Farklı frekanslarda çalışan iki monopol antenin oluşturduğu çok portlu anten sistemi.

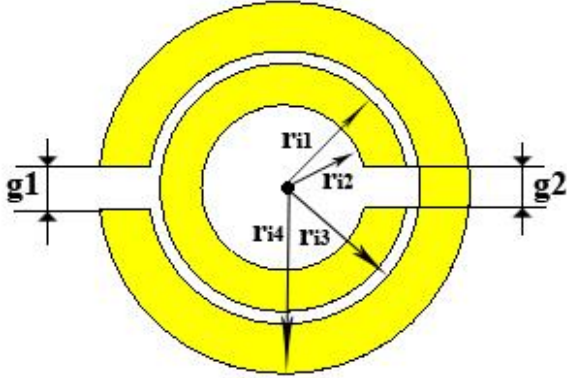
Şekilden de anlaşılacağı gibi bu sistemde iki ayrı port kullanılmış ve birinci port yüksek bantlı antene ve ikincisi ise düşük bantlı antene takılmıştır. Simülasyonlar FIT (Finite Integration Technique) tabanlı bir elektromanyetik simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Monopol Antenlerin Geri Dönüşüm Kayıpları Grafikleri (S_{11} , S_{22})

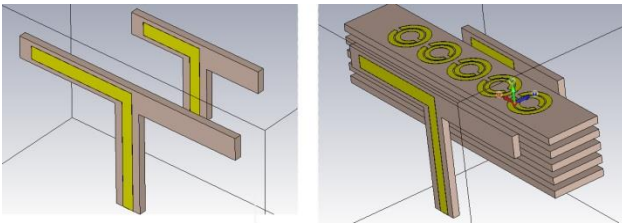
Metamalzemelerin Tasarımı

Yalıtımı iyileştirmek için metamalzeme olarak ayrık halka rezonatörler (Split Ring Resonators-SRR) kullanılmıştır. Modelin geometrik yapısı Şekil 9’da gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi yapı, FR4 alt tabakası üzerine zıt yönlü olarak yerleştirilmiş eş merkezli ve açıklığı bulunan halkalardan oluşmaktadır.

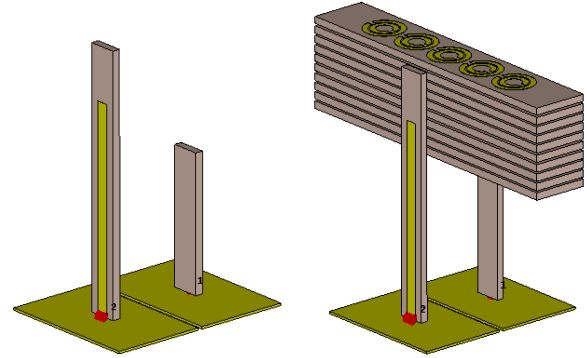


Şekil 9. Metamalzeme (MTM) Birim Hücre Yapısı

Her katman üzerine beş tane birim hücre yerleştirilmiş ve bu katmanlardan beş tanesi birlikte yatay olarak iki anten arasında yerleştirilmiştir. Plakaların aralarındaki mesafe, halkaların açıklıkları, SRR’lerin yerleşim şekli ve yarıçapları simülasyon programına gömülü olarak gelen genetik algoritma ile optimize edilmiştir. Optimizasyon yapılırken metamalzeme hücresinin iç halkası yüksek bant için ve dış halkası ise düşük bant için etkili olmuş ve bu etki göz önünde bulundurularak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistemin geometrik gösterimi dipol antenler için Şekil 10’da ve monopoll antenler için ise Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10. Yalıtımı Arttırmak için Dipol Antenlerde Metamalzemenin Birlikte Kullanımı

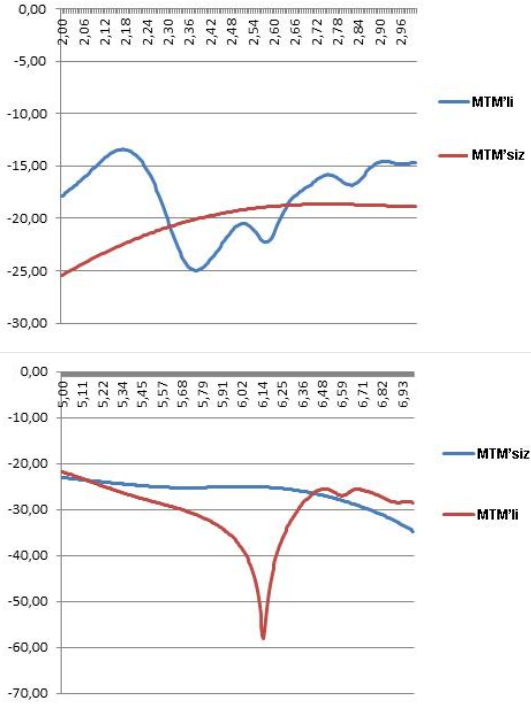


Şekil 11. Yalıtımı Arttırmak için Monopoll Antenlerde Metamalzemenin Birlikte Kullanımı

Sonuçlar ve Tartışma

Hem monopoll hem de dipoll antenlerin kullanıldığı iki portlu bahsedilen sistemlerde iyi bir yalıtım elde etmek için gerekli olan geometriler optimize edilerek tasarlanmıştır. Yalıtımı artırma mekanizmasının çalışmasını göstermek için bir porttan diğerine transfer edilen enerjiye karşılık gelen saçılım parametresi ($S_{12}=S_{21}$) kullanılmıştır.

Dipoll antenler için aradaki enerji transferini ve dolayısıyla aradaki yalıtımı gösteren grafik Şekil 12’de verilmiştir. Grafikte değerin 0 dB’ye yaklaşması enerjinin neredeyse tamamının diğer port’a gönderildiğini gösterirken, dikey eksen yönünde negatif yönde artması enerji geçişinin azaldığını göstermektedir. Dolayısıyla grafiğin daha aşağı değerlerde çıkması daha az enerjinin transferini ve antenler arasında daha iyi yalıtımı göstermektedir.

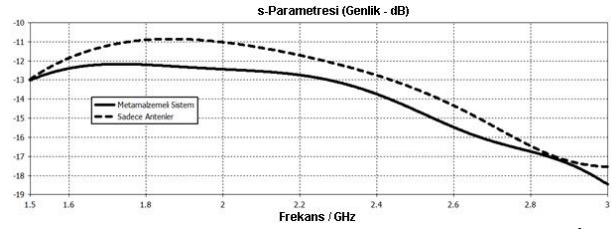


Şekil 12. Dipol Antenlerin Bulunduğu İki Portlu Sistemde Alçak Bant ve Yüksek Bant Yalıtımın Karşılaştırılması

Şekil 12'den görüleceği gibi anten sistemimiz metamalzeme yapılarının yerleştirilmesi ile hem düşük bantta hem de yüksek bantta daha iyi izolasyona sahip olmuştur. Başka bir deyişle, birbirlerinin çalışmasını daha az etkilemektedir. İletim değeri düşük bantta en düşük -25 dB'e kadar gerilemiş ve metamalzemesiz sisteme göre neredeyse 5 dB'lik bir fark oluşturmuştur. Yüksek bant için bu değişim daha yüksek seviye de olmuş ve çalışma frekansımız olan 6 GHz frekansında saçılım parametresinin grafiği neredeyse -55 dB değerlerine kadar gerilemiştir. Bu da neredeyse iki anten arasında hiç enerji transferinin olmadığını göstermektedir.

Monopol antenlerin bulunduğu iki portlu sistemde sadece antenlerin bulunduğu durum ile metamalzeme yapılarının eklenmesiyle oluşan yalıtım grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 13'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi metamalzeme yapılarının kullanımı ile hem düşük bantta hem de yüksek bantta bir porttan diğer portta transfer edilen enerjinin miktarı azalmıştır. Başka bir deyişle metamalzemelerin kullanımıyla aradaki yalıtım iyileştirilmiş ve

antenlerin birbirini daha az etkilemeleri sağlanmıştır.



Şekil 13. Monopol Antenlerin Bulunduğu İki Portlu Sistemde Yalıtımın Karşılaştırılması

Sonuç olarak, çok portlu anten sistemlerinde büyük bir problem olarak karşımıza çıkan antenlerin birbirini etkilemesi probleminin çözümünde tasarlanan metamalzeme yapısının kullanılmasının faydalı olacağı gösterilmiştir. Birden fazla antenin kısıtlı fiziksel alanlarda birlikte kullanımının çok yaygın olduğu anten sanayisinde, herhangi ek bir fiziksel yer gerektirmeden, sadece antenlerin arasındaki boşluğa uygun şekilde tasarlanmış metamalzeme yapıları yerleştirilerek antenler arasındaki yalıtımın iyileştirilebileceği karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Literatürdeki çalışmalara kıyasla bu çalışmada kullanılan metamalzeme ile, çalışma frekansları birbirinden farklı olan monopol ve dipol antenler kullanılmıştır. Antenler arasındaki yalıtım tüm çalışma bantları için iyileştirilmiş hatta bu iyileştirme dipol antenlerde yüksek bant için 25 dB'nin üzerinde olmuştur. Bu tür bir yapı kullanımı kullanımda olan ve birbirinden farklı çalışma frekanslarına sahip antenlerin arasındaki etkileşimi azaltmak için kullanılabilir. Buna ek olarak yapının farklı frekanslar için uygunlaştırılması da mümkün olmaktadır.

Kaynaklar

- G. Zhai, Z. N. Chen and X. Qing, "Enhanced Isolation of a Closely Spaced Four-Element MIMO Antenna System Using Metamaterial Mushroom," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 8, pp. 3362-3370, Aug. 2015.
- Karaaslan M., Bakir M., Chiral metamaterial based multifunctional sensor applications. *Progress in Electromagnetics Research*, 2014; 149: 55-67.

- Muharrem Karaaslan, Mehmet Bağmancı, Emin Ünal, Oguzhan Akgol, Cumali Sabah, "Microwave energy harvesting based on metamaterial absorbers with multi-layered square split rings for wireless communications", in *Optics Communications*, vol. 392, pp.31-38, 2017.
- O. Akgol, D. Erricolo and P. L. E. Uslenghi, "Exact Imaging by an Elliptic Lens," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 639-642, 2011.
- Pendry, J. B., Holden, A. J., Stewart, W. J., Youngs, I., "Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures," *Physical Review Letters*, Vol. 76, 4773{4776, 1996.
- Pendry, J. B., Holden, A. J., Robbins, D. J., Stewart, W. J., "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 47, 2075{2084, 1999.
- Smith, D. R., Padilla, W. J., Vier, D. C., Nemat-Nasser, S. C., Schultz, S., "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity," *Physical Review Letters*, Vol. 84, 4184{4187, 2000.
- S. R. Thummaluru and R. K. Chaudhary, "Mu-negative metamaterial filter-based isolation technique for MIMO antennas," in *Electronics Letters*, vol. 53, no. 10, pp. 644-646, 5 11 2017.
- Veselago, V. G., "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," *Sov. Phys. Usp.*, Vol. 10, No. 4, 509{514, 1968.
- C.M. Luo, J.S. Hong, L.L. Zhong, "Isolation enhancement of a very compact UWB-MIMO slot antenna with two defected ground structures" *Antennas Wirel. Propag. Lett.* vol. 14 pp. 1766-1769, 2015.
- S.R. Thummaluru, R.K. Chaudhary, "Mu-negative metamaterial filter-based isolation technique for MIMO antennas," *Electronics Letters*, vol. 53 pp. 644-646, 2017.
- Guohua Zhai, Zhi Ning Chen, Xianming Qing "Enhanced Isolation of a Closely Spaced Four-Element MIMO Antenna System Using Metamaterial Mushroom," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63 pp. 3362 – 3370, 2015.
- E. Rajo-Iglesias, O. Quevedo-Truel, L. Inclan-Sanchez, "Mutual coupling reduction in patch antenna arrays by using a planar EBG structure and a multilayer dielectric substrate", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 6, pp. 1648-1655, Jun. 2008.
- M. M. Bait-Suwailam, Omar F. Siddiqui, Omar M. Ramahi, "Mutual coupling reduction between microstrip patch antennas using slotted-complementary split ring resonators", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 876-878, Sept. 2010.
- Shraman Gupta; Zouhair Briqech; Abdel Razik Sebak; Tayeb Ahmed Denidni, "Mutual-Coupling Reduction Using Metasurface Corrugations for 28 GHz MIMO Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16 pp. 2763 – 2766, 2017.

Improving the isolation in multiport antenna systems including PCB microstrip dipole and monopole antennas using metamaterials

Extended abstract

In this study, the improvement of the isolation in multi-port antenna systems containing dipole and monopole antennas is realized. These types of systems are generally referred as Multiple input multiple output (MIMO) systems in literature and isolation is one of the key parameters in these types of systems. For this purpose, two PCB microstrip dipole antennas with working frequencies of 2.4 GHz and 6 GHz as well as two PCB microstrip monopole antennas with working frequencies of 2.438 GHz and 1.706 GHz were designed and optimized. In addition, the metamaterial (MTM) structure that is used for improving the isolation was also optimized and designed for the related frequencies and the antennas.

There are some methods used in antenna industry to improve the isolation in MIMO systems including increasing the separation distance, integrating resonators on top of the antennas or adding conductive thin bridges between the antenna elements etc. However, in most applications, increasing the separation distance is limited due to the physical space provided for the system. That is why, there is a need to develop new method without sacrificing the limited physical space assigned for the antenna must be found and used.

This study aims to improve the isolation between the antennas also known as transmission parameter by using metamaterial based structures. The designed structure has a simple shape and does not require any extra physical space other than the gap between the antennas. For investigating the isolation behavior of the considered MIMO systems including two dipole antennas and two monopole antennas, the designed metamaterial cell structures are placed in a plates and placed 5 in a row and five of these rows were put between two antennas. The separation distance, the number of cells, the radius of the split ring resonators (SRRs) used in the MTM structures and the number of layers are determined by using genetic algorithm which is integrated in the simulation program. For the analysis, FIT (Finite Integration Technique) based commercial

electromagnetic simulation program was used while designing the system with and without MTM structure and the obtained results are compared to explain the working mechanism of the system. As it is well known, the isolation or insulation between antenna elements in multi-port systems can be measured one of the scattering parameters which is more commonly known as S_{12} or S_{21} . These values refer to the amount of energy transferred from one port to the other which can also be thought as isolation. These behaviors are drawn in decibels and as it close to zero, the isolation gets worse. These curves are measured at the working frequencies of the designed antennas. It should also be noted that the system is designed to work in two separate frequency points which are 2.4 GHz and 6 GHz for dipole antennas and 2.438 GHz and 1.706 GHz for the monopole antennas and the corresponding metamaterial cells are designed accordingly.

The obtained results show that the transmission behavior of the system with and without metamaterial structure is different and using MTMs reduces the energy transferred between two antennas. Thus, the isolation gets better if the structure is properly adjusted between the antenna elements.

The proposed system work well to improve isolation in the working frequencies at which the antennas are designed which will lead us to use this technique for the new design of antennas and to obtain better performance. Furthermore, this technique can be considered as a new way to minimize the antenna size by using the space we already have for the antenna placement while improving the efficiency and isolation. Besides, with a small adaptation the structure can be used in current multiport antenna systems which can be considered another advantage of the proposed model for improving isolation and thus obtaining higher efficiencies. It is recommended to use different optimization techniques for not only two port antenna systems but for three or more input systems in future studies. Improving gain, directivity, return loss and efficiency along with the isolation can be investigated and different optimization algorithm can be studied.

Keywords: Multi-port systems, Isolation in antennas, MTM based isolation, Metamaterials, Dipole and Monopole Antennas