

X-Bant Konformal Dizi Frekans Seçici Yüzey Tasarımı

Naz Alpaslan, Sultan Can, A. Egemen Yılmaz

Ankara Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gölbaşı, Ankara

nazalpaslann@gmail.com, sultancan@ankara.edu.tr, aeyilmaz@eng.ankara.edu.tr

Özet: Bu çalışmada X bantta konformal dizi frekans seçici yüzey (FSY) tasarımı önerilmiştir. Başlangıçta düzlemsel yapıda dizi frekans seçici yüzey tasarımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra düzlemsel yapı silindirik yüzey üzerine bükülerek konformal yapı haline getirilmiştir. Önerilen tasarıma ait benzetim çalışmaları CST Microwave Studio programında gerçekleştirilmiştir. Tasarımda FSY X-bant bant durdurucu filtre görevi görmektedir. Tasarımın konformal yapıda olması düzlemsel FSY in kullanılmadığı alanlarda avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada konformal FSY' nin kullanım alanları, tasarımı ve benzetim sonuçları sunulmuştur.

Abstract: In this study, conformal array frequency selective surface (FSS) at X-band design is proposed. At the beginning, a planar array frequency selective surface design. After that, the planar surface is bended on a cylinder surface to transform shape of a planar to a conformal surface. Simulations of the proposed designs have been performed in CST Microwave Studio software. In this design, FSS is a band stop filter at X band applications. Conformal surfaces provide same advantages, which planar frequency selective surfaces cannot provide. In this study, a conformal array frequency selective surface design is proposed and simulation results are presented.

1. Giriş

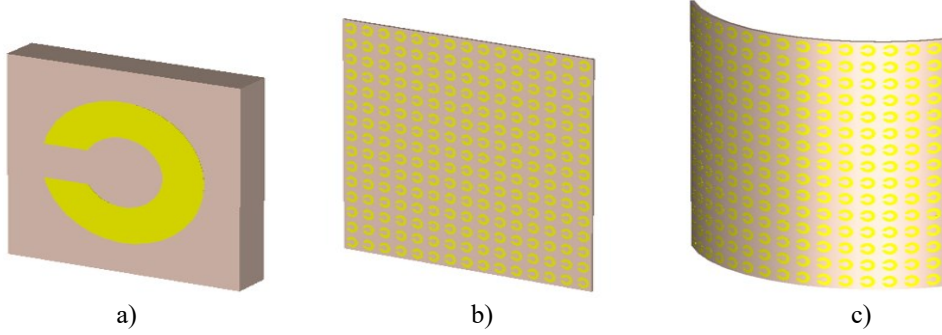
Kullanım amacına göre farklılık göstererek istenilen frekans aralığında yansıtan ya da soğuran yüzey görevi gören pasif yapılara Frekans Seçici Yüzey (FSY, Frequency Selective Surface, FSS) denir. FSY mikrodalga entegre devreleri ve antenlerde, ekranlama, uydu haberleşmesi, radar kesit alanının azaltılması, radom, kablosuz ağ güvenliği ve biyomedikal sistemler gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [1]. Örneğin; insan üzerinde kullanılan bir konformal mikrodalga anten yapısının insana olan zararını azaltmak için anten ile aynı frekansta çalışan bir konformal bant durdurucu FSY yapısı antenin arkasına yerleştirilerek antenin insana verdiği zarar azaltılabilir [2]. Radom yapılarında FSY, sinyalin frekans bandında tam iletim yaparken diğer frekans bantlarında yansıtıcı özellik göstermektedir. Radom tasarımı gibi uygulamalarda yapıların aerodinamiği minimum şekilde etkilenen bir birimde eğik yüzeylere FSY uyumlandırılması gerekmektedir. Frekanslar sözü geçen birçok parametreye bağlı olan bu yapıların konformal olduğu durumda da istenen performansı sağlaması oldukça zor bir durumdur. Konformal Frekans seçici yüzeyler gerek teorik gerekse uygulamalar anlamında kullanılagelmiş [3], radom tasarımından Radar Kesit Alan (RCS) azaltmak, anten performansını arttırmak ve enerji hasatına kadar çeşitli alanlarda kendine kullanım alanı bulmuştur. Konformal yapıların tercih edilmesinin nedenlerinden birisi de hava araçlarına aerodinamik özelliklerini bozmadan kullanılabilmesidir [3].

FSY'nin yansıma ve iletim karakteristiği; kullanılan malzemelerin cinsine, katman kalınlığına, düzlemsel dalgaın geliş açısına ve polarizasyonuna, katmanlar üzerine yerleştirilen metalik yamaların boyutları, geometrisi ile periyodikliklerine ve simetri ekseninin konumuna göre değişmektedir [4]. Frekans seçici yüzeyler dielektrik bir alt taş malzeme üzerine yerleştirilen iletken bir malzemenin farklı desenler oluşturulmasıyla gerçekleştirilen yapılardır. Bu desenler dairesel, dikdörtgen gibi pek çok yapıda olabilir. İletken malzeme ile oluşturulan desenler iç içe zıt konumlandırılarak istenilen frekans elde edilebilmektedir. İstenilen frekans elde etmek için dielektrik malzemenin boyutu önemli bir parametredir. Dielektrik malzeme boyutu istenilen frekansın dalga boyuna göre hesaplanmaktadır. Özellikle metalmalzemelerde tek veya çift negatif malzeme elde etmek için alt taş birim hücre boyutu istenilen frekansın dalga boyunun dörtte biri ($\lambda/4$) olarak belirlenir ve böylece parametre çıkarımında homojenlik sağlanmış olur.

Konformal yapılarda yapılan benzetimin fabrikasyonunun da gerçekleştirilebilmesi için kullanılan malzemelerin bükülebilir olması gerekmektedir. Bu bağlamda alt taş malzeme olarak dielektrik malzeme olan doğal olmayan malzeme kullanmak istenirse Rogers 3000 serisi, doğal malzeme kullanmak istenirse de kauçuk, ipek, pamuklu kumaş gibi tekstil temelli malzemeler kullanılabilir. İletken malzeme olarak da bükülebilir bakır, zelt gibi iletkenler kullanılabilir. Bu çalışmada alt taş malzeme olarak Rogers3003($\epsilon_r=3$), iletken malzeme olarak da bakır kullanılmıştır. Tasarımın radom yapılarında kullanılabilir olması amaçlanmış bu doğrultuda çalışma frekansı X-bantta seçilmiştir.

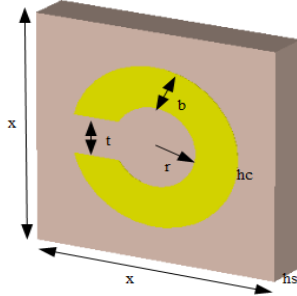
2. Önerilen Model ve Sınır Koşulları

Bu çalışmada önerilen tasarım için dielektrik malzeme olan Rogers3003 üzerine iletken bakır malzeme Şekil 1a'da gösterildiği gibi birim hücre boyutunda kazanmıştır. Birim hücre tasarımı elektriksel olarak uyarılmıştır. Periyodik sınır koşullarında tasarlanan yapıda birim hücreden bir düzlem üzerinde sonsuz eleman olduğu varsayımı ile sonuçlar elde edilir. Pratikte bu boyutları elde etmek mümkün olmayacağından sınırlı elemanlı dizi için benzetimler gerçekleştirilmiş, birim hücrede istenilen frekans değeri olan 9GHz elde edildiği gibi düzlemsel dizi için de benzer sonuçlar elde edilebilmiştir (Şekil 1-b).



Şekil 1. Önerilen a) birim hücre yapısı, b) düzlemsel dizi FSY yapısı, c) konformal FSY yapısı

Tasarım ve benzetim için kullanılan CST Microwave Studio programında birim hücre 15×15 lik bir dizi FSY haline getirilmiştir. Dizi FSY'den de istenilen sonuçlar elde edildikten sonra konformal yapıya geçilmiştir. Konformal yapı için dizi FSY bir silindir yüzeyine bükülerek uyumlandırılmıştır. Silindir yarıçapı r_s değeri değiştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Tasarımın üretiminin yapılabilmesi için Rogers3003 kalınlığı h_s ve bakır kalınlığı h_c üretim yapılabilir boyutlar seçilmiştir.



Şekil 2. Birim Hücre Boyutları

Tablo 1. Birim hücre parametrelerine ait değerler

$b = 1.48\text{mm}$	$h_s = 1.52\text{mm}$	$x = 8.33\text{mm}$
$r = 1.44\text{mm}$	$h_c = 0.035\text{mm}$	$t = 1.4\text{mm}$

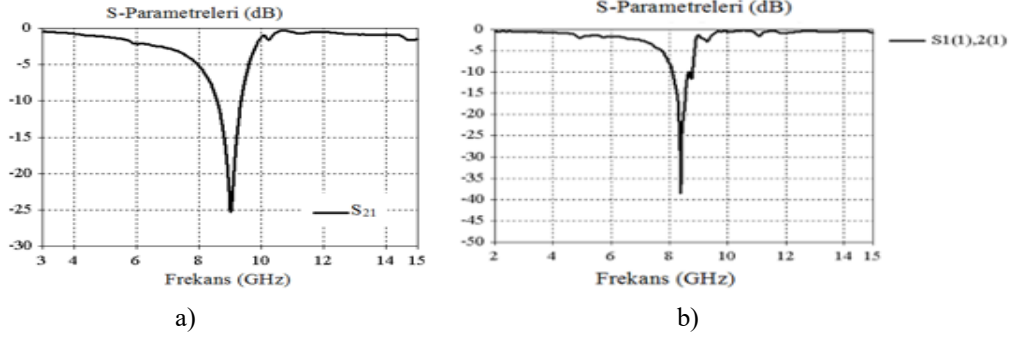
Şekil 2 de birim hücre boyutları ve Tablo 1'de de boyut uzunlukları sunulmuştur. Birim hücrede benzetim gerçekleştirilirken sınır koşulları gereği sonsuz birim hücrenin bir araya gelerek FSY oluşturduğu birim hücre (unit cell) sınır koşulları ile benzetim gerçekleştirilmiştir. Dizi FSY tasarımında ise sınır koşulları açık(open) ayarlanarak birim hücre istenilen boyutlarda çoğaltılmaktadır. Bu çalışmada birim hücre boyutları sabit tutularak 15×15 'lik bir dizi FSY tasarlanmıştır. Dizi FSY'nin boyutları değiştirilmeden silindir yüzeye bükülerek konformal yüzey elde edilmiştir (Şekil 1c). Silindir yüzeyin yarıçapının değişimine göre her bir birim hücre yapısı farklı geliş açıları ile aydınlatılacağından frekans kaymaları gerçekleşmiştir. Beklenildiği üzere düzlemsel FSY ye en yakın sonucun silindir yarıçapının arttırıldıkça gerçekleştiği görülmüştür.

Düzlemsel dizi FSY r_s yarıçaplı bir silindir yüzey üzerine bükülerek uyumlandırılmıştır. Silindir yarıçapı değiştirilerek benzetim tekrarlanmıştır. Silindir yarıçapının 50mm olması durumunda frekansın 9GHz altına düştüğü gözlemlenmiştir. r_s değerinin 70 mm ye çıkarıldığı durumda ise rezonans frekansının 9GHz e yaklaştığı görülmüştür. Ancak frekans değeri hala düzlemsel dizi FSY'nin rezonans frekansının altındadır. Son olarak r_s değerinin 300mm olası durumu incelendiğinde rezonans frekansın 9GHz'e çok yakın bir değerde çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de yarıçap arttıkça silindir dış yüzeyinin düzlemsel bir yapıya yaklaşmasıdır.

3. Benzetim Sonuçları

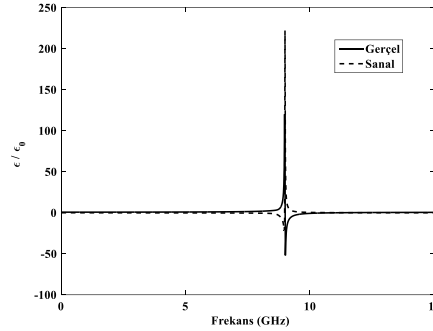
Şekil 3' te düzlemsel 15×15 dizi FSY S_{21} parametresi sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü üzere FSY 9GHz -26dB' lik bir geçiş kaybı (insertion loss) değerlerine sahiptir. Çalışmada önerilen FSY, X Bantta bant durdurucu filtre görevi gören bir FSY olacaktır. Şekil 3b'de silindir yarıçapı r_s 'nin 50mm olduğu konformal dizi FSY S_{21} değeri sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü üzere silindir yarıçapı küçük olduğu için rezonans frekans 9GHz in altında bir

değerde gözlenmiştir. Ancak Şekil 3b'de sunulan sonuca göre -38dB değerinde bir geçiş kaybı gözlemlenmiştir. Bu da FSY'nin konformal yüzeyler için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.a) Düzlemsel Dizi FSY S_{21} b) Konformal Dizi FSY S_{21}

Radom tasarımı amaçlanarak gerçekleştirilen bu çalışmada önerilen FSY dizinin büyük çaplarda silindir üzerine uyumlandırılacağı öngörüldüğünden söz konusu sonuçların tasarlanan düzlemsel diziyeye yakınsayacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla r_s değerinin 300 mm olduğu benzetim sonuçlarında rezonans frekansının 9GHz e yakın olduğu görülmüştür. Silindir yarıçapının artırılması ile elde edilen sonuç birim hücre sayısının artırılmasıyla da mümkün olabilmektedir.



Şekil 4. Parametre çıkarım sonuçlarına göre etkin elektrik geçirgenlik değerleri

Şekil 4' te çalışmada tasarlanan konformal dizi FSY efektif elektriksel geçirgenlik değeri sunulmuştur. Elektriksel geçirgenlik katsayılarının çıkarımı, Nicholson-Ross-Weir (NRW) algoritmasının Kramers-Kronig ilişkilerini de göz önüne alarak iyileştirilmiş bir versiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [5]. 0-15 GHz frekans bandında Şekil 4'de de görüldüğü üzere 9GHz civarında efektif elektriksel geçirgenlik değerinin negatif olduğu görülmektedir. Tasarlanan yapıların üretimi baskı devre teknolojisi ile gerçekleştirilecek üretilen yapı dizi halinde olacaktır. Dizi halinde ve bükülebilir malzemeden yapılan bu diziler farklı yarıçapa sahip silindireler üzerine uyumlandırılarak, düzlemsel diziler ile birlikte boş uzay deney düzeneğinde ölçülecek, yapılara ait yansımaya, iletim parametreleri incelenecektir.

Bu çalışma 115E667 numaralı TUBİTAK projesi ile 15H0443004 ve 16B0443005 numaralı Ankara Üniversitesi BAP projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, söz konusu destekten ötürü Ankara Üniversitesine teşekkürü bir borç bilir.

Kaynaklar

- [1]. Munk B. A., Frequency Selective Surfaces: Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc., 2000, ISBN 0-471-37047-9.
- [2]. Zvonimir S., Marko B., Sinisa S., "Analysis of Curved Frequency Selective Surfaces" Final Report For Contract FA8655-07-1-3018, 16 Mayıs 2008.
- [3]. Pelletti, C., Bianconi, G., Mittra, R., Monorchio, A., "Characteristic Basis Function Method for efficient modeling of conformal Frequency Selective Surfaces," in Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2013 IEEE , s.260-261, 7-13 Temmuz 2013.
- [4]. Ekici S., Yazgan E., "Frekans Seçici Yüzeylerin Yansımaya ve İletim Karakteristiklerinin İncelenmesi", 13. Ulusal Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisleri Kongresi, Ankara, 2009.
- [5]. Z. Szabo, G.-H. Park, R. Hedge, and E.-P. Li, "A unique extraction of metamaterial parameters based on Kramers-Kronig relationship", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Cilt. 58, no. 10, s. 2646-2653, 2010.