

X-Bant Frekans Seçici Yüzey Geliştirme Çalışmaları

Özkan Sağlam

ASELSAN A.Ş. Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Grubu

Anten Teknolojileri Müdürlüğü

Ankara

saglam@aselsan.com.tr

Özet: Bu çalışmada, radar kesit alan azaltıcı hibrit FSY (Frekans Seçici Yüzey) radom tasarımı yer almaktadır. Yarık ve tek kutuplu halka FSY'lerin iletim özellikleri karşılaştırılmıştır. Literatürdeki çoğu çalışmadan farklı olarak, geçirgenlik ölçümleri ışıma performansı ölçümleri ile desteklenmiştir. Tek kutuplu halka FSY radomun yarıklı dalga kılavuzu antene entegrasyonu ile elde edilen anten ışıma performansı makalede yer almaktadır.

1. Giriş

Frekans seçici yüzeyler (FSS – Frequency Selective Surfaces) mikrodalga ve optik filtreler olarak kullanıldığı geniş uygulama alanlarından dolayı kırk yılı aşkın süredir yoğun araştırmaların konusu olmuştur [1-3]. Frekans seçici yüzeyler genellikle iki boyutta periyodik olarak düzenlenmiş rastgele metalik yamalar veya tümler geometriye sahip yarık elemanlardan oluşur. Bu yüzeyler, kendini oluşturan elemanların rezonans frekansı çevresinde sırasıyla yama ve yarıklar için gelen dalgaya tam yansıtıcılık veya tam geçirgenlik gösterir. FSY tasarım sürecinde en önemli nokta iki boyutlu diziyi oluşturacak birim eleman seçimidir. Birim eleman tipi ve geometrisi, dielektrik katman parametreleri, komşu elemanlar arası mesafe ve varsa birden fazla FSY katmanı arası mesafe, oluşturulan FSY yapısının frekans tepkisini ve gelen dalganın açı ve polarizasyonuna bağımlılığını belirler [4].

Frekans seçici yüzeyler modern askeri platformlarda antenler ve RKA (radar kesit alanı) azaltımı için sıkça kullanılmaktadır. Antenler gibi karmaşık bazı nesnelerin geniş bir frekans bandı boyunca radar kesit alanını kontrol altında tutabilmek epeyce zordur [5]. Bu gibi durumlarda saçılım yaratan nesne düşman radarlara karşı geniş bant radar soğurucu yapı veya boyalar kullanılarak siperlenmelidir. Söz konusu nesne anten olunca siperleme işlemi antenin ışıma mekanizmasına zarar verecektir. Bunun üstesinden gelebilmenin en akıllıca yolu; anteni, çalışma frekansında elektromanyetik olarak saydam özellik, diğer tehdit frekanslarında iletken, dolayısıyla EM dalga geçirmez özellik gösteren FSY ile kaplamaktır.

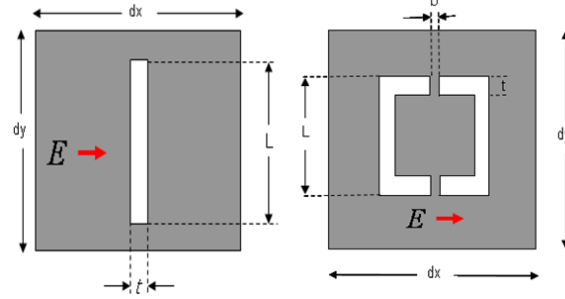
2. FSY Tasarımı

FSY tasarımında en önemli nokta, birim eleman seçimi ve yapının kullanılacağı merkez frekans çevresinde yapılan spektral şekillendirmedir. Anten çalışma bandında saydam, diğer bantlarda dalga geçirmez özellik göstermesi gerektiğinden tasarlanacak FSY, bant geçirgen özellik taşımalı; dolayısıyla yarık tipi elemanlardan oluşmalıdır. Babinet prensibine göre tümler geometriye sahip yama elemanlar ise aynı frekansta bantı durduran özellik gösterirler.

Periyodik yüzeylerde tam geçirgenliğin olduğu rezonans frekansı dalga geliş açısına göre değişkenlik gösterebilir. Bazı açılarda bant dışında 'grating lobe' diye anılan istenmeyen geçirgenlikler de oluşabilir. Bunların üstesinden gelebilmek için metalik periyodik yüzey dielektrik katman ile yüklenir. Ayrıca dielektrik katman yüklemesi FSY filtre seçiciliğini arttırabilmektedir [6]. Birden fazla periyodik dizi katmanı kullanarak geçirgenlik eğrisi daha da keskin hale getirilebilir.

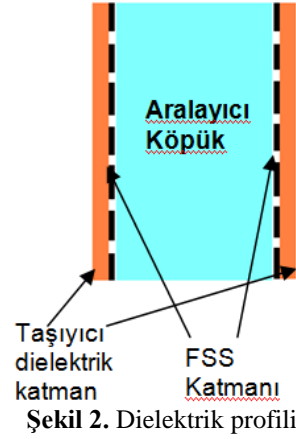
En iyi spektral şekillendirme için iki FSY katmanı arası mesafe $\lambda / 4$ olmalıdır. Bu şekilde ilk katmandan geri yansıyan dalga ile ikinci katmandan geri yansıyan dalga birbirini eler ve Butterworth eğrisi elde edilir. İki katman arası etkileşim daha da artırıldığında bant geçişleri daha keskin hale getirilebilir fakat bu durumda bant içi dalgalanmalar meydana gelir. İki katman arası mesafe yaklaşık çeyrek dalga boyu olacak şekilde ayarlanmıştır. Aralayıcı olarak dielektrik sabiti havaya yakın, yüksek basınca dayanıklı köpük kullanılmaktadır. Bu sayede geliştirilen radom denizaltı uygulamalarında da kullanılabilir olacaktır.

Frekans seçici yüzey tasarımında iki boyutlu dizinin tamamı değil, diziyi oluşturan birim elemanlar periyodik sınır koşulları kullanılarak analiz edilir. Bu şekilde sadece birim eleman CST Microwave Studio© benzetim programında analiz edilmiştir ve eleman parametreleri Şekil-1’de görüldüğü gibi optimize edilmiştir.



Şekil 1. Birim eleman modelleri

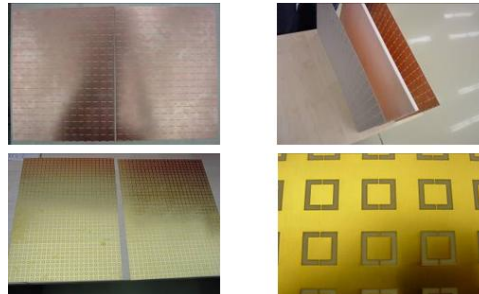
Birim eleman modelleri yukarıda gösterilen sandviç FSY yapılarının her biri için dielektrik profili aşağıdaki gibidir. FSY tasarımında kullanılan dielektrik malzemelerin, benzetime girdi sağlaması amacıyla karmaşık dielektrik sabitleri Serbest Uzay Ölçüm Sistemi’nde ölçülmüştür. Periyodik dizileri destekleyen dış katmanlar dielektrik sabiti 3,5 olan laminatlardan oluşmaktadır. Sandviç FSY yapısının dielektrik profili Şekil 2’de gösterilmektedir.



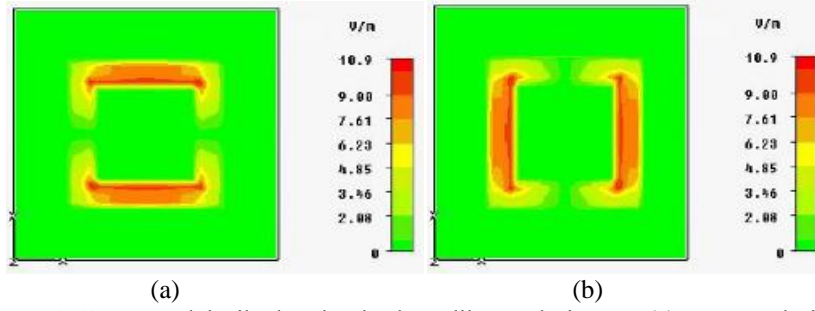
Şekil 2. Dielektrik profili

Birim eleman tasarımları tamamlandıktan sonra iki boyutta periyodik olarak çoğaltılmış ve Şekil 3’teki paneller üretilmiştir. X-bantta f_1 merkez frekansında bant genişliği farklı iki tip yarık FSY ve merkez frekansı f_2 olan daha geniş bantlı tek kutuplu halka FSY radom üretilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen tek kutuplu halka FSY’in sıradan halka FSY’den farkı gelen dalganın dikey polarizasyon bileşenini yok etmesidir. Sıradan kare halka FSY’in rezonans frekansında sırasıyla dikey ve yatay polarizasyonlu düzlem dalga ile aydınlatıldığı durumlarda yarıklar üzerinde oluşan elektrik alan dağılımları Şekil 4’teki gibidir.



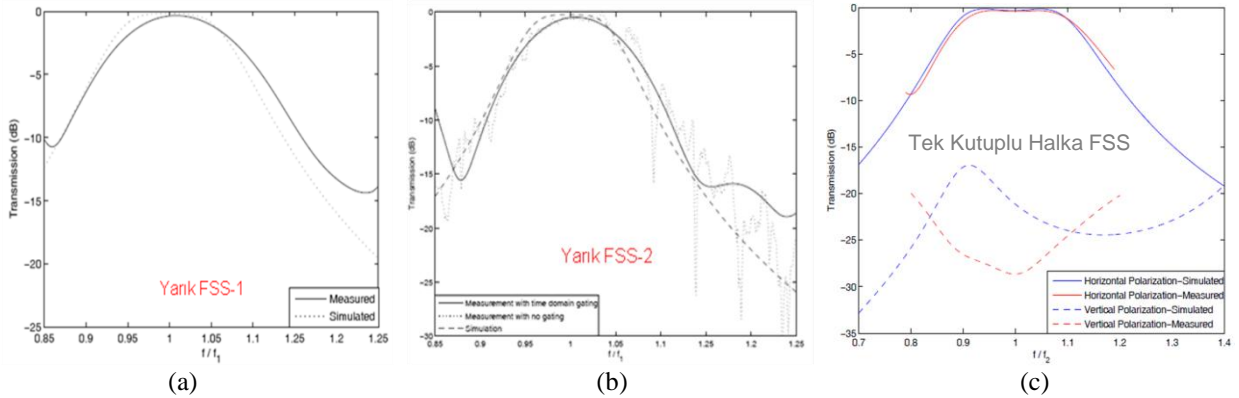
Şekil 3. Üretilmiş FSY fotoğrafları: Yarık FSY üstte, tek kutuplu kare halka FSY altta



Şekil 4. Kare halka FSY elektrik alan dağılımları: dikey polarizasyon(a), yatay polarizasyon(b)

Dikey polarizasyon bileşenini yok etmek için elektrik alan şiddetinin maksimum olduğu bölgelere *polarizasyon engelleyici* tabir ettiğimiz kısa devre elemanları uygulanmaktadır (Bkz. Şekil 1).

Şekil-3'te görüldüğü gibi aralarına köpük yerleştirilerek sandviç yapıya getirilen FSY'ler Serbest Uzak Ölçüm Sistemi'nde ölçülmüştür (Bkz. Şekil 5). Birbirine bakan 2 adet noktasal odaklanabilen X-bant horn anten ve malzeme tutucudan oluşan bu düzeneğe önce antenler arası THRU kalibrasyon yapılır. Daha sonra ölçülecek FSY radom malzeme tutucunun ortasına gelecek şekilde sabitlenir. Malzeme tutucunun kenarlarında oluşan ve sistemden kaynaklanan diğer çoklu yansımaların ölçüme etkisini azaltmak için zaman uzamı filtreleme (time domain gating) kullanılır. Bu teknikle sadece malzemeden geçip direkt olarak karşı antene giden ışınlar işleme sokulur. Diğer yansıyan ışınlar direkt ışınlar göre daha fazla yol kat edeceğinden (dolayısıyla daha fazla zaman) zaman uzamında filtreleme ile bunlar elenebilir. Üretilen üç farklı FSY yapısı için zaman uzamı filtreleme tekniği kullanılarak ölçülen geçirgenlik eğrileri Şekil 5'te verilmektedir.

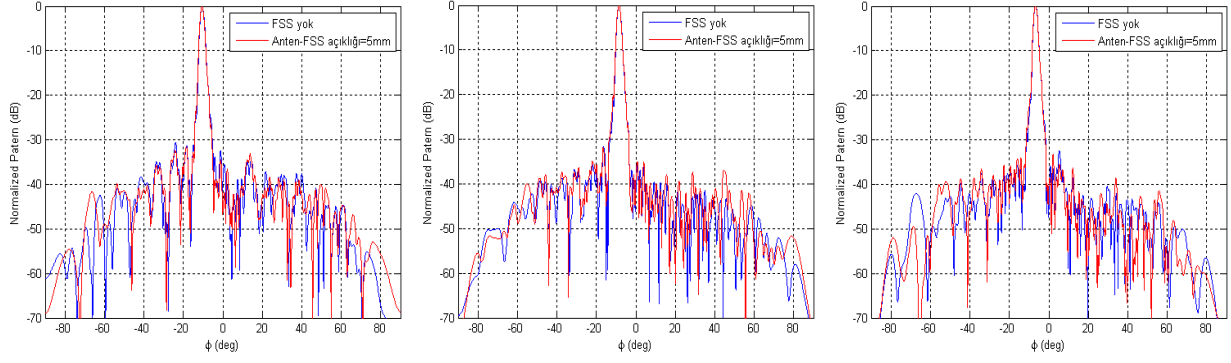


Şekil 5. Değişik FSY yapılarının geçirgenlik eğrileri

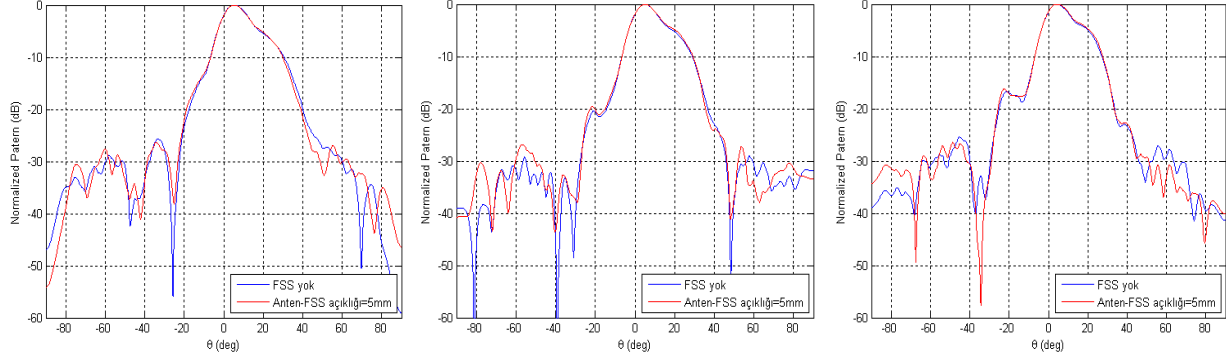
Benzetimde elde edilen ve ölçülen FSY frekans karakteristiklerinin birbiriyle son derece uyum içinde olduğu görülmektedir. Merkez frekanslarda her üç FSS tipi için yaklaşık %1'lik bir farklılık mevcuttur. Ölçülen 1dB bant genişlikleri yarı FSS-1 ve yarı FSS-2 için benzetimdekilere göre %2 düşüktür. Tek kutuplu halka FSY için benzetim ve ölçüm sonucu elde edilen bant genişliği %20'dir. Tek kutuplu halka FSY yapısında uygulanan polarizasyon engelleyiciler çapraz polarizasyonu bant içinde 25dB bastırmaktadır (Şekil 5c). Frekans bandının başında ve sonunda oluşan ufak farklılıklar ölçümlerde yansımaları engellemek için uygulanan zaman uzamı filtreden kaynaklanmaktadır.

3. Patern Ölçümleri

Geliştirilen FSY radomların frekans seçiciliğinin yanı sıra anten ışıma performansına etkisini de incelemek için düzlemsel yakın alan ölçüm altyapısında patern ölçümleri gerçekleştirilmiştir. FSY radomların boyutları anten açıklığını tamamen kapsayacak şekilde belirlenmiştir. İlerleyen dalga tipi yarıklı dalga kılavuzu dizi anten ile FSY radom arasındaki uzaklık ölçümlerde optimize edilmiştir. Tek kutuplu halka FSY radomun antene entegrasyonu ile oluşan yanca ve yükseliş paternleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 6. Tek kutuplu halka FSY radomlu/radomsuz anten yanca paternleri (sol: $0.98f_2$, orta: f_2 , sağ: $1.02f_2$)



Şekil 7. Tek kutuplu halka FSY radomlu/radomsuz anten yükseliş paternleri (sol: $0.98f_2$, orta: f_2 , sağ: $1.02f_2$)

Yanca paternleri incelendiğinde tek kutuplu halka FSY radomun ana huzme şeklinde herhangi bir bozulmaya veya yan huzme seviyesinde herhangi bir artışa sebep olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde yükseliş paternlerinde de FSY radom entegrasyonu ile herhangi bir bozulma görülmemektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, yarıklı dalga kılavuzu dizi antenin radar kesit alanını azaltmak için anten çalışma bandında elektromanyetik olarak saydam, diğer frekanslarda iletken özellik gösteren üç farklı FSY radom geliştirilmiştir. Serbest uzay geçirgenlik ölçümleri ile geliştirilen FSY radomların oluşturduğu spektral şekillendirme ölçülmüş, ışıma örüntüsü ölçümleri ile de FSY radomların anten ışıma performansına etkisi incelenmiştir. Geçirgenlik ölçümlerinin, zaman uzamı filtreleme sonucu oluşan birtakım farklılıkların dışında benzetimdekilerle son derece uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Yanca ve yükseliş paternleri incelendiğinde FSY radomun anten ışıma performansında herhangi bir düşüşe neden olmadığı görülmüştür. Elde edilen altyapılar ve bilgi birikimi ile X-bantta istenilen merkez frekansında ve/veya istenilen frekans bant genişliğinde FSY radom tasarım, üretim ve ölçüm kabiliyeti kazanılmıştır.

Kaynaklar

- [1]. F. O’Nians ve J. Matson, “Antenna Feed System Utilizing Polarization Independent Frequency Selective Surface Intermediate Reflector,” U.S. Patent 3.231.892, Ocak 1966.
- [2]. C.C. Chen, “Transmission through a conducting screen perforated periodically with apertures,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., cilt 18, sayfa 627–632, Eylül 1970.
- [3]. B.A. Munk, R. Kouyoumjian ve L. Peters Jr., “Reflection properties of periodic surfaces of loaded dipoles,” IEEE Trans. Antennas. Propag., cilt 19, sayfa 612–617, Eylül 1971.
- [4]. B.A. Munk, *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*. John & Wiley Sons, Kanada, 2000.
- [5]. Peremans H., Audenaert K. ve Van Campenhout J. M., “A high-resolution sensor based on tri-aural perception”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, 9(1), sayfa 36-48, 1993.
- [6]. D.C. Jenn, *Radar and Laser Cross Section Engineering*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Virginia, ABD, 2005.
- [6]. R.J. Luebbers ve B.A. Munk, “Some Effects of Dielectric Loading on Periodic Slot Arrays”, IEEE Trans. Antennas. Propag. , cilt 26, no. 4, Temmuz 1978.