

Kesik Piramit Radar Soğurucu Tasarımı

Ali Ziya ÖZER, Birsen SAKA

Hacettepe Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Ankara

aliziyaazer@yahoo.com, birsen@ee.hacettepe.edu.tr,

Özet: Radar soğurucu yapılar radar kesit alanı azaltım tekniklerinin en önemli yöntemlerinden birisidir. Bu yapıların geniş bantlı olması isteği ise yapının toplam kalınlığının artması ve kullanılan malzemelerin ilgili frekans bandında yüksek kayıplı olması gerekliliklerini de beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, Duroid, Epoksi, Arlon gibi düşük kayıplı dielektrik malzemeler ve düşük elektriksel iletkenliğe sahip Grafit malzemesi kullanılarak geniş bantta ince bir radar soğurucu yapı tasarlanmıştır. Tasarlanan radar soğurucunun, toplam kalınlığı 2.5 cm'dir ve 2-18 GHz aralığında maksimum -10 dB, minimum -45 dB ve ortalama -18 dB yansımaya katsayısı elde edilmiştir.

Abstract: The increase of the frequency bandwidth to obtain the maximum absorbency brings the necessity of increase of the total thickness of the absorber and using the materials with high loss. In this study, a thin wideband radar absorber using low-loss dielectric materials such as Duroid, FR4 Epoxy, Arlon, and Graphite material with low electrical conductivity is designed. The designed absorber with a total of 2.5 cm thickness is in the form of the truncated pyramidal array and has a maximum reflection coefficient of -10 dB, minimum -45 dB, and average -18 dB in the range of 2-18 GHz.

1. Giriş

Radar soğurucu yapıların geniş bantlı ve düşük yansıtıcılığa sahip olma gereksinimi, kullanılan malzemelerin, uygulama ve amaç için özelleştirilmiş, ileri üretim teknolojileri gerektiren ve tedarik edilmesi zor ve yüksek maliyetli olmasına sebep olmaktadır [1]. Hatta bu tür malzemelerin üretici firmadan askeri amaçla tedariki bazen mümkün olmamaktadır. Radar soğurucu yapıların tasarımının gerçekleştirilebilmesi için tasarımda kullanılacak malzemelerin elektriksel özelliklerinin ilgililenilen izgel bölgede biliniyor olması gerekmektedir.

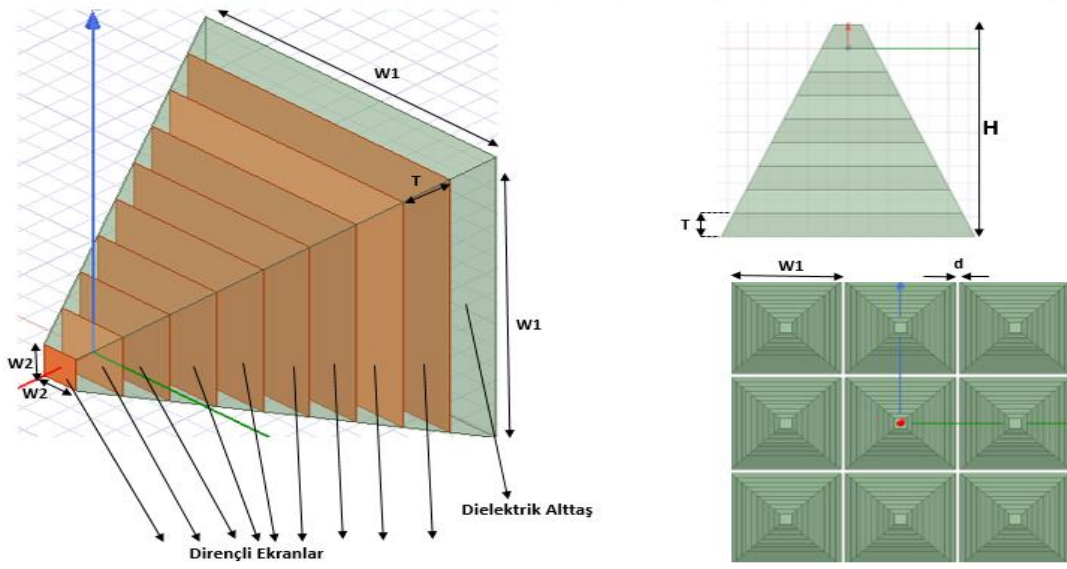
Bu engellerin aşılabilmesi için iki yoldan birine başvurmadan başka çözüm kalmamaktadır. Birincisi, radar soğurucu yapı tasarımında kullanılacak kayıplı malzemelerin tasarım ve üretim süreçlerinin soğurucu yapı tasarımcı tarafından gerçekleştirilmesi, diğeri ise elektriksel davranışı bilinen düşük kayıplı malzemeler kullanılarak tasarlanmasıdır. Fakat minimum yansıtıcılığın hedeflendiği bant genişliği arttıkça, gerekli soğurucu yapı kalınlığı da artmaktadır. Toplam yapı kalınlığı arttırılmadan, yansımaya katsayısını azaltmak ve bant genişliğini arttırmak ise ilgili frekans bandında yüksek kayıplı malzemeler kullanma gereksinimini de beraberinde getirmektedir.

Bu makalede, yaygın olarak kullanılan düşük kayıplı dielektrik malzemeler ve dirençli filmler kullanılarak en fazla 3 cm kalınlığa sahip ve sivil ve askeri platformlarda kullanıma uygun özgün bir radar soğurucu yapı tasarımı sunulmuştur. Dallenbach tabakası [2], Salisbury tabakası [3] ve piramit soğurucu gibi temel radar soğurucu yapılar ile gerçekleştirilen tasarımlarda, yaygın olarak kullanılan ve elektriksel özellikleri bilinen malzemeler kullanılmıştır. Öncelikle temel radar soğurucu yapıların yansıtıcılık davranışlarını gözlemlemek amacıyla bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Bu benzetimlerde alınan sonuçların ışığında, Dallenbach tabakası, Salisbury tabakası ve piramit soğurucu yapılarının minimum yansıtıcılık ve maksimum soğuruculuk yönünden fayda sağlayan özelliklerini tek bir radar soğurucu yapıda birleştirilmeye çalışılmış ve 2-18 GHz frekans bandında -10 dB'nin altında yansımaya katsayısına sahip tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlarda, Duroid, FR4 Epoksi ve Arlon malzemelerinden oluşan 1.6 - 2.5 mm kalınlığa sahip kesik piramitler kullanılmıştır. Bu kesik piramit elemanlarının üst ve alt yüzeyi arasına belirli aralıklarda yüksek elektriksel dirençli nanometre mertebelerinde kalınlığa sahip filmler yerleştirilmiştir. Benzetimler ANSYS HFSS® yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

2. Radar Soğurucu Yapısı ve Tasarım Yöntemi

Bu çalışmada tasarımı yapılan kesik piramit dizi soğurucunun tek elemanının üç boyutlu ve dizi şekline getirildiğinde üstten görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Burada yapının toplam yüksekliği H 'dir ve T kalınlığındaki N adet katmandan oluşmaktadır. Herbir katman, bir dielektrik alttaş ve üzerine kaplanmış dirençli filminden oluşmaktadır. Kesik piramitin taban ve tepesi karedir ve kenar uzunlukları sırasıyla $W1$ ve $W2$ 'dir. Soğurucu dizi

elemanları arasındaki mesafe d 'dir ve dizinin iki yönde de eleman sayısı sonsuza gitmektedir. Bu çalışmada Şekil 1'de verilen bütün boyutlar ve dielektrik alltaş olarak kullanılan malzemeler tasarım parametreleridir. Bu çalışmada alternatif alltaş malzemeleri olarak elektriksel özellikleri Çizelge 1'de özetlenen RT/Duroid 5880, Nelco N4000-13 EP ve Arlon TC 600 dielektrik malzemeler kullanılmıştır



Şekil 1. Kesik Piramit Soğurucu Geometrisi.

Dielektrik katmanlar arasında dirençli film olarak 70000 S/m kitle iletkenliğine ve 0.03789 μm kalınlığa sahip Grafit malzemesi kullanılmıştır. Grafit yüzey direncinin dielektrik alltaşın öz empedansına eşit olabilmesi için film kalınlığı

$$d = \frac{1}{Z_d \sigma} \quad (1)$$

eşitliğine uygun olarak seçilmiştir. Burada Z_d dielektriğin öz empedansı ve σ filmin iletkenliğidir. Böylelikle malzemenin yüksek elektrik geçirgenliği seçilen dielektrik malzemeler ile; elektriksel kayıplı olma özelliği ise kullanılan dirençli filmler ile sağlanmıştır.

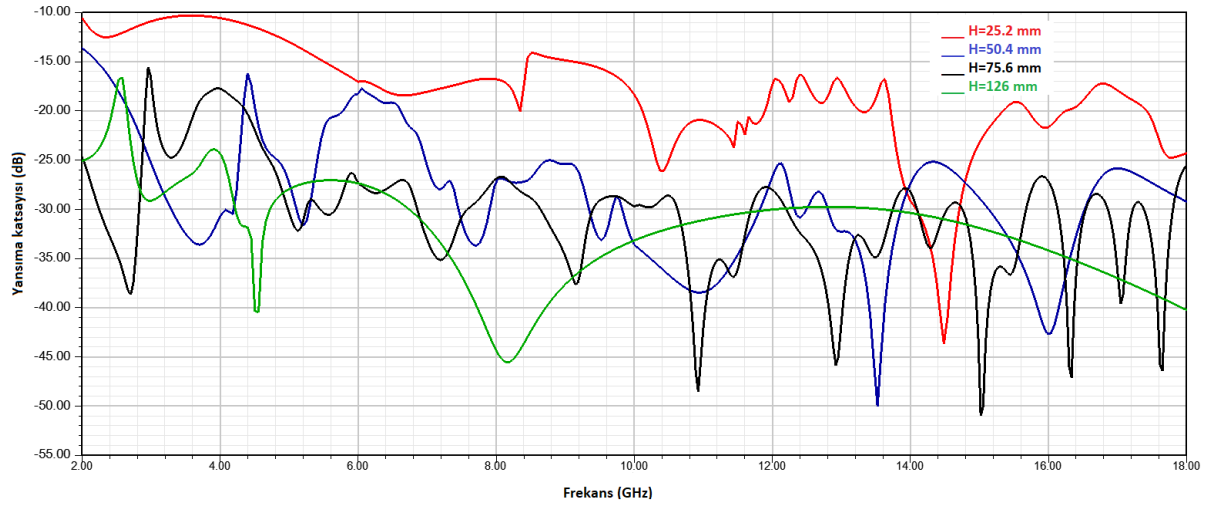
Çizelge 1. Tasarımda kullanılan dielektrik malzemeler ve elektriksel özellikleri

Malzeme	Bağıl Elektrik Geçirgenliği	Bağıl Manyetik Geçirgenlik	Dielektrik Kayıp Tanjantı	Manyetik Kayıp Tanjantı
RT/Duroid 5880	2.20 @1 MHz 2.20 @10 GHz	1	0.0004 @1 MHz 0.0009 @10 GHz	0
Nelco N4000-13 EP	3.70 @1 GHz 3.70 @2.5 GHz 3.60 @10 GHz	1	0.0009 @2.5 GHz 0.0009 @10 GHz	0
Arlon TC600	6.15 @1.8 MHz 6.15 @10 GHz	1	0.0017 @1.8 MHz 0.0020 @10 GHz	0

Tasarım ve eniyileme işlemlerinde başlangıç boyutları, tasarım yapılacak frekans aralığı dikkate alınarak; $W1$ ve H boyutları 2 GHz'te dielektrik içerisindeki dalga boyunun dörtte biri, $W2$ ve T ise 18 GHz'te dielektrik içerisindeki dalga boyunun dörtte biri seçilmiştir. ANYSS HFSS yazılımı kullanılarak eniyileme işlemleri aşağıdaki sıralama ile yapılmıştır: [5]

- $W2$ ve geliş açısının değişimine göre parametrik olarak yansıma katsayısı hesaplanmış ve en düşük yansımayı veren $W2$ değeri daha sonraki adımlarda kullanılmıştır.
- Çizelge 1'de verilen farklı malzemeler için yansıma katsayısı bulunan $W2$ değeri için hesaplanmış ve en iyi performansı veren malzeme RT/duroid olarak elde edilmiştir.

- Seçilen alttaş RT/duroid için piramit yüksekliği değiştirilerek Şekil 2’de verilen yansımaya katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 2. RT/Duroid 5880 alttaş kullanıldığında farklı kesik piramit eleman boyutları için elde edilen yansımaya katsayıları.

Şekil 2’deki analiz sonuçları değerlendirildiğinde, dirençli film sayısının büyütme oranıyla aynı oranda artırıldığı durumda, kesik piramit eleman boyutu arttıkça 2 - 18 GHz frekans bandındaki yansımaya katsayısı azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

3. Sonuçlar ve İrdeleme

Bu çalışmada tasarlanan nihai kesik piramit radar soğurucu dizisinin kalınlığı 2.5 cm olup, 2 - 18 GHz frekans bandında -18 dB ortalama yansımaya katsayısına sahiptir. Her bir kesik piramit eleman boyutu 5 kat artırıldığında toplam yapı kalınlığı 12.5 cm olduğunda, 3 - 18 GHz arasındaki yansımaya katsayısının -25 dB’nin altında olduğu ve 2 - 18 GHz aralığında ortalama yansımaya katsayısının -32 dB olduğu hesaplanmıştır.

Elektromanyetik uyumluluk laboratuvarlarında sıklıkla kullanılan piramit soğurucular 15 cm ile 45 cm arasında yüksekliğe sahip olabilmektedir. Ticari olarak kullanılan TDK IP-045C radar soğurucu yapının yüksekliği 45 cm olup 2 - 18 GHz frekans bandında -30 dB altında yansımaya katsayısına sahiptir [6]. Karbon ile doldurulmuş köpük malzeme kullanılarak tasarlanan yaklaşık 45 cm yüksekliğe sahip tek katlı ve üst üste dizili piramit soğurucular kullanıldığında bile ortalama yansımaya katsayısı 8-12 GHz frekans bandında sırasıyla -21 dB ve -26 dB seviyelerindedir [6].

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ve mevcut radar soğurucu tasarımları ile kıyaslandığında, daha düşük kalınlığa ve yansımaya katsayısına sahip geniş bantlı radar soğurucu yapı tasarımlarının düşük kayıplı alttaşlar ve dirençli filmler kullanılarak yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. P. Saville, Optimisation of Dallenbach Layers using Real Materials. Defence Research & Development Canada, 2007.
- [2]. W. Dallenbach, L; Kleinstuber, “Reflection and Absorption of Decimeter-waves by Plane Dielectric Layers.,” Hochfreq. u Elektroak, cilt. 51, s. 152–156, 1938.
- [3]. W. W. Salisbury, “US Patent 599944,” 1952.
- [4]. Peremans H., Audenaert K. ve Van Campenhout J. M., “A high-resolution sensor based on tri-aural perception”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, cilt.9 no.1, s.36-48, 1993.
- [5]. A.Z. Özer, “Geniş Bantlı Yeni Bir Radar Soğurucu Yapı Tasarımı”, Yüksek lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [6]. H. Abdullah et al., “Improvement Study of the Reflectivity for Hollow Pyramidal Shape Absorbers,” 2014 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA), pp. 81–85, 2017.