

Slabline Rezonatorler Kullanılarak Üçlü Etkileşimli Tarak Hat Filtre Tasarımı

Eyüp TÖNGEL, Erdem YAZGAN*

Aselsan A.Ş.

Mikrodalga ve Sistem Teknolojileri Grubu
Elektronik Donanım Müdürlüğü (RADAR ve Elektronik Harp)
Yenimahalle, Ankara
tongel@aselsan.com.tr

* Hacettepe Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Beytepe, Ankara
yazgan@hacettepe.edu.tr

Özet: Slabline hatlardan oluşan, beş rezonatorlü bir tarak hat filtre tasarlanmıştır ve gerçekleştirilmiştir. Bu yapıya yeni bir form verilerek iki adet üçlü etkileşimli rezonatöre sahip yeni bir filtre elde edilmiştir. Sonuç olarak geçirme bandının hemen üzerinde bir iletim sıfırı oluşturulmuştur. Ayrıca bu iletim sıfırının yerinin ayarlanabilir olduğu gösterilmiştir.

1.Giriş

Kablosuz haberleşme servisleri ile RF ve mikrodalga sistemlerindeki artış, iletişim kanallarının dar bir frekans bölgesinde paylaşımını gerektirmektedir. Bu durumda, kanallar arasında girişimi engellemek için, geçirme bandı dar olan ve geçirme bandı dışındaki işaret bastırma karakteristikleri keskin olan filtreler ihtiyacı duyulmaktadır. Yüksek kalite faktörlü rezonatorler elde edebilmek ve izolasyon gereksinimlerini sağlayabilmek için bu tür sistemlerde genellikle etkileşimli rezonator filtreler kullanılır. Bunun yanı sıra herhangi bir uygulamaya yönelik olarak filtre yapıları belirlenirken fiziksel boyutların küçük, maliyetin düşük ve performansın yüksek olması gibi etkenlerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Bütün bu özellikleri sağlayabilmek için slabline veya koaksiyel boşluklu tarak hat filtreler seçilir. Literatürde, slabline rezonatorlü tarak hat filtrelerle ilgili çalışmalar mevcuttur. [1]-[6]. Bu çalışmalar, TEM mode etkileşim teorisine ve bazı deneysel sonuçlara dayandırılmaktadır. Gerçekleştirilen filtrelerin band genişliğinin, TEM mode etkileşim teorisine göre beklenenden daha geniş olduğu görülmüştür. Band genişliğinin beklenenden daha fazla çıkmasının nedenleri de ayrıca incelenmiştir [7]. Bugünlerde geçirme bandı yakınlarına sonlu iletim sıfırları eklemek popüler bir araştırma konusudur [8]. Buna ek olarak, etkileşim mekanizması ve rezonator yapılarını birlikte ele alan daha kesin modeller oluşturmak için yapılmış bazı çalışmalar da mevcuttur [9],[10].

Bu çalışmada, üç boyutlu yapıların analizine uygun bir Elektromanyetik benzetim programı olan HFSS (High Frequency Structure Simulator) kullanılarak, çapraz etkileşim mekanizmasının deneysel olarak incelenmesine yer verilmiştir. Slabline rezonatorlü bir tarak hat filtre yapısına yeni bir şekil verilerek üçlü etkileşimli rezonatorlere sahip bir filtre elde edilmiştir. Geçirme bandının genişlemesini önlemek amacıyla, çapraz etkileşim mekanizması, boşluk etkileşimli bir yapı kullanılarak sağlanmıştır.

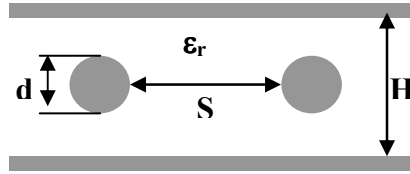
2.Slabline Rezonatorlü Tarak Hat Filtre Tasarımı

Tarak hat band geçiren filtreler, bir ucu topraklanmış olan doğrudan etkileşimli slabline iletim hatlarından oluşmaktadır (Şekil.1). Rezonatorleri oluşturan ve rezonans frekansında elektriksel boyları 90 dereceden daha kısa olan slabline hatların hepsi aynı yönden topraklanmış olup diğer uçları ise bir ayar vidasının oluşturduğu kapasitans ile toprağa çekilmiştir [3], [6]. (Bknz Şekil.2)

Etkileşimli slabline hatlardan oluşan bir yapıda tek ve çift mod empedansları ve dolayısıyla etkileşim katsayılarını belirleyen en önemli faktör yapıya ilişkin olarak Şekil.1’de gösterilen fiziksel boyutlar olacaktır. Tarak hat filtre yapılarında etkileşim katsayısını azaltmak ve dolayısıyla band genişliğini azaltmak için rezonatorler arasındaki mesafeyi artırmak gerekir. Açıklık etkileşimli koaksiyel kaviteelerin kullanılması durumunda ise açıklıkların boyutlarını küçülterek etkileşim katsayıları azaltılabilir.

Alçak geçiren prototip filtre eleman değerleri (g-değerleri) için literatürde mevcut tablolar ile Eşitlik 1,2,3 [4] kullanılarak, tasarlanmak istenilen band geçiren filtreye ilişkin elektriksel parametreler elde edilebilir.

Eşitliklerde, Δf filter band genişliğini, f_0 filtre merkez frekansını, $k_{i,j}$ ardışık rezonatörler arasındaki etkileşim katsayısını ve $(Q_e)_A$, $(Q_e)_B$ filtre giriş/çıkış etkileşim katsayılarını ifade etmektedir. Bu elektriksel parametreleri kullanarak fiziksel parametreleri elde edebilmek için, deneysel olarak oluşturulmuş grafiklerden de faydalanılır.



Şekil 1. Etkileşimli slabline hatlar

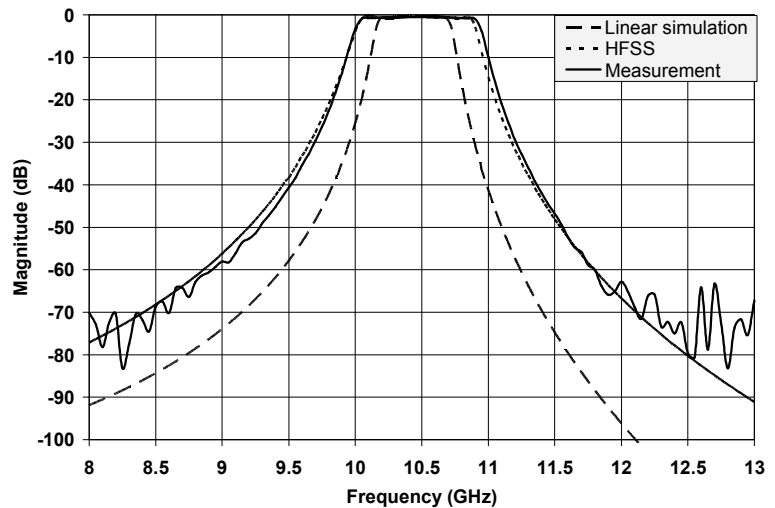
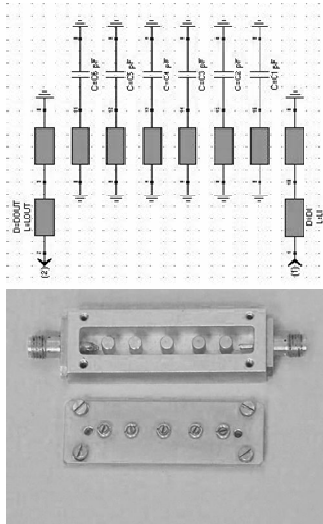
$$k_{i,i+1} = \frac{\Delta f}{f_0} \frac{1}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad (1)$$

$$(Q_e)_A = \frac{f_0}{\Delta f} g_0 g_1 \quad (2)$$

$$(Q_e)_B = \frac{f_0}{\Delta f} g_n g_{n+1} \quad (3)$$

10.2-10.7 GHz ters düz hat girişli slabline tarak hat filtreye ilişkin devre serimi modeli, üretilmiş olan yapı ve TEM mode etkileşim teorisine göre çalışan lineer benzetim programı ve HFSS elektromanyetik benzetim programı analiz sonuçları ile üretilen filtreye ilişkin ölçüm sonuçları Şekil.2’de birlikte verilmiştir.

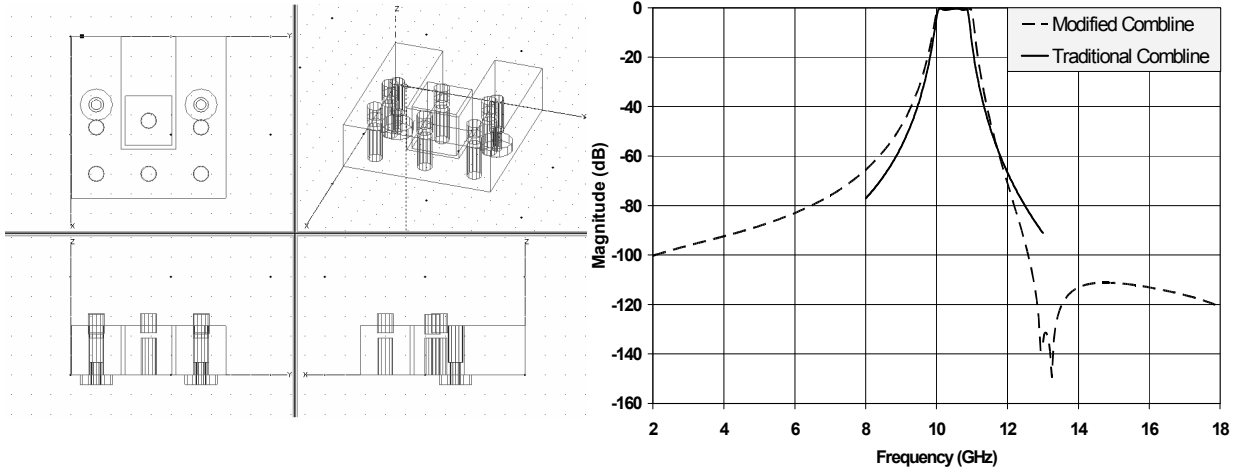
Şekil 2. 'de görüldüğü gibi üretilen filtrenin band genişliği tasarlanandan 500MHz daha geniş gerçekleşmiştir. Band genişliğindeki artış, lineer simulasyon sırasında ardışıl olmayan rezonatorler arasındaki etkileşimin hesaba katılamamasından ve TEM mode etkileşim teorisi kullanılarak slabline tarak hat filtre yapısının tam olarak modellenemiyor olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yapıda TEM modlara ek olarak sönümlü TE ve TM modların oluşturduğu etkileşimlerde söz konusudur. Gerçek ölçüm sonuçları ile 3-Boyutlu HFSS elektromanyetik benzetim programı sonuçlarının tutarlı olduğu Şekil 2’de görülmektedir.



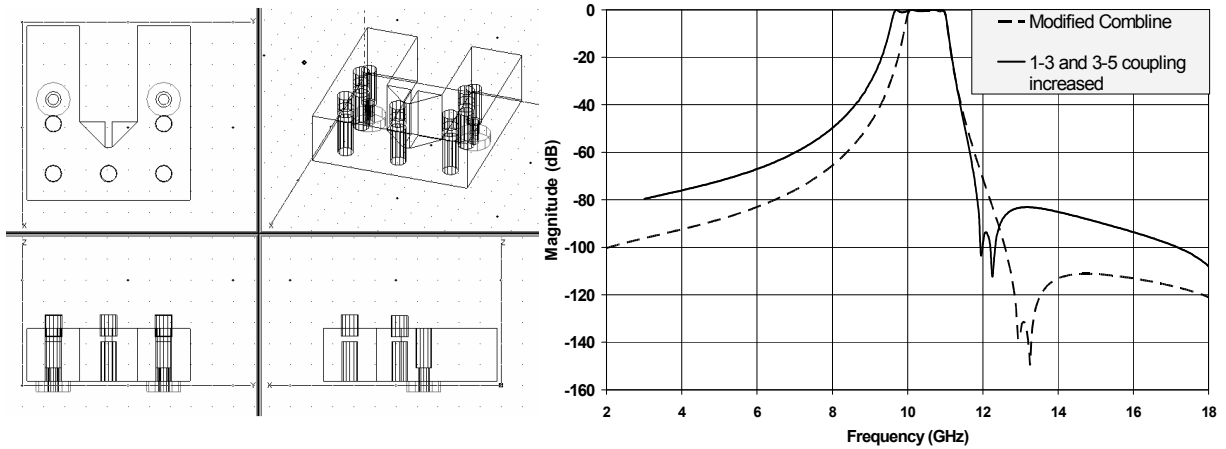
Şekil.2. 10.2-10.7GHz Ters düz hat girişli slabline tarak hat filtre yapısı, lineer benzetim programı analiz sonuçları, HFSS benzetim programı analiz sonuçları ve ölçüm sonuçları

3. Üçlü Etkileşimli Rezonatorler Kullanarak Slabline Tarak Hat Filtre Gerçeklenmesi

Şekil.2’de görülen 10-11GHz band geçiren tarak hat filtre yapısını Şekil.3’de görüldüğü gibi U şeklinde kıvrılarak 1-3 ve 3-5 nolu rezonatorler arasında da etkileşim oluşturulabilir. Şekil.3’de verilen 3-boyutlu elektromanyetik benzetim programı (HFSS) sonuçlarından görüldüğü gibi geçirme bandının üst kesim frekansına yakın frekanslarda iletim sıfırları oluşturularak bu bölgede daha fazla bastırma sağlanabilir ve keskin bir eğim elde edilebilir. Şekil.4’de görüldüğü gibi 1-3 ve 3-5 nolu rezonatorler arasındaki açıklık genişletilerek, iletim sıfırlarının geçirme bandına daha fazla yaklaşması sağlanabilir ve üst kesim bölgesindeki bastırma karakteristikleri daha da iyileştirilebilir.

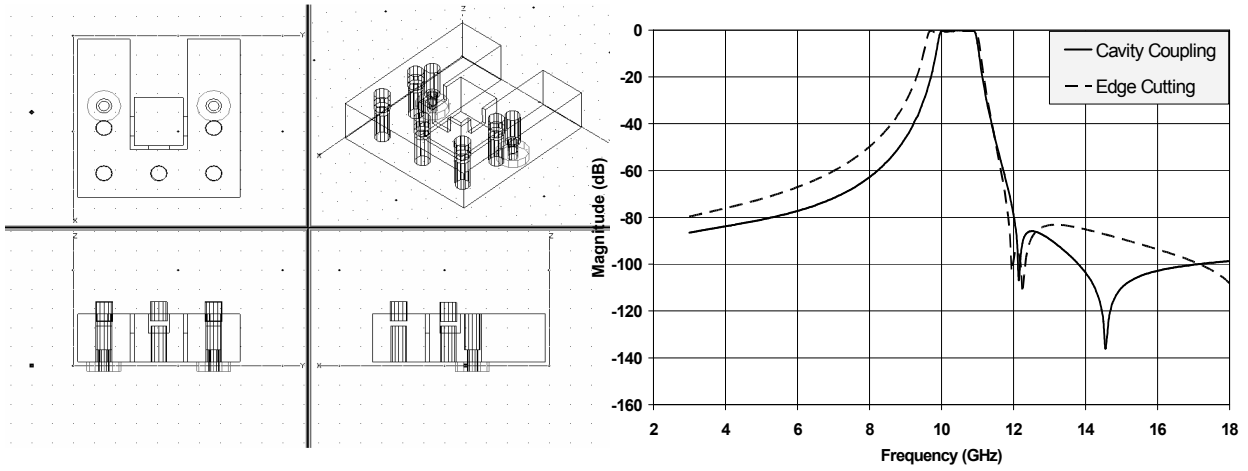


Şekil 3. Şekil.2 'de verilen filtrenin fiziksel yapısı değiştirilerek kaskad bağlı etkileşimli üçlü rezonatorler oluşturulması ve 3-boyutlu EM (HFSS) benzetim programı analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil.4. Şekil.3’de görülen yapıda 1-3 ve 3-5 nolu rezonatorler arası açıklığın genişletilmesi ile etkileşimin artırılması ve yapılara ilişkin 3-boyutlu EM (HFSS) benzetim programı analiz sonuçları

Şekil.5 'de görülen kavite etkileşimli yapıda 1-3 ve 3-5 nolu rezonatorler arasındaki açıklıkların boyları artırılarak Şekil.4 'de görülen yapı ile benzer işlevi görebilen bir kaskad bağlı üçlü rezonator yapısı oluşturulabilir. Bu yapıda 1-3 ve 3-5 nolu rezonatorler arasındaki etkileşim ortada bulunan kavite üzerinden gerçekleşmektedir ve kavite üzerindeki açıklıkların boyları artırılarak iletim sıfırlarının geçirme bandına yaklaşması sağlanır. Şekil.5' de bu filtreye ilişkin karakteristik de verilmiştir, şekilden de görüldüğü gibi bu filtreye geçirme bandındaki genişleme Şekil.4’deki yapıya göre daha az olmaktadır.



Şekil 5. Kavite üzerinden açıklık etkileşimli kaskad üçlü rezonatorlü tarak hat filtre yapısı ve 3-boyutlu EM (HFSS) benzetim programı analiz sonuçlarının karşılaştırılması

4. Sonuçlar

Geçirme bandı 10.2-10.7 GHz frekansları arasında olacak şekilde tasarlanan tarak hat filtre ölçülmüş ve geçirme bandının 10-11 GHz arasında olduğu görülmüştür. Rezonator hatlarını oluşturan paralel plakalar arasındaki mesafenin 0.08λ 'dan daha büyük seçilmesi (yaklaşık 0.2λ) ve dolayısıyla yapı içerisinde TEM modlarla birlikte sönümlü modların da iletebilmesinden kaynaklanan bu durum 3-boyutlu elektromanyetik benzetim programı analiz sonuçları ile uyumludur. Örnek olarak gerçekleştirilmiş olan bu tarak hat filtrede paralel plakalar arasındaki mesafenin 0.08λ 'dan daha büyük seçilmesinin nedeni rezonatorlere ilişkin kalite faktörünün yeterince yüksek olmasını sağlamaktır.

10-11 GHz tarak hat filtre yapısı kullanılarak üçlü etkileşimli rezonatorlerin oluşturulmasına değinilmiştir. Bu yöntemle geçirme bandının üst kesim frekansı yakınlarında iletim sıfırları oluşturularak üst kesim frekansına yakın bölgelerde daha fazla bastırma sağlanabileceği görülmüştür. Üçlü etkileşim yapısı üzerinde etkileşim katsayılarını değiştirilerek iletim sıfırlarının geçirme bandına daha fazla yaklaşması sağlanabilmektedir. Üçlü etkileşimli filtrede, geçirme bandında görülen genişlemeyi engellemek için kavite üzerinden üçlü etkileşim yapısı oluşturulmuştur.

5. Kaynaklar

- [1]. S.B. Cohn, "Direct coupled resonator filters," *Proc. IRE* 45, s.187-196, Şubat 1957
- [2]. W.J. Getsinger, "Coupled bars between parallel plates," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-10, s.65-72, Ocak 1962
- [3]. G.L. Matthaei, "Comb-line bandpass filters of narrow or moderate bandwidth," *The Microwave Journal*, vol. 6, s.82 – 91, Ağustos 1963.
- [4]. G.L. Matthaei, L.Young, E.M. Jones, *Microwave Filters, Impedance Matching Networks and Coupling Structures*. New York:Mc Graw Hill, 1964.
- [5]. E.G. Cristal, "Coupled circular cylindrical rods between parallel ground planes," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-12, s.1428-439, Temmuz 1964
- [6]. R.M. Kurzrok, "Design of combline bandpass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-14, s.351-353, Temmuz 1966
- [7]. R. Levy, H.W.Yao ve K.A. Zaki, "Transitional combline/evanescent mode microwave filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-45, s.2094-2099, Aralık 1997.
- [8]. R. Levy, "Direct synthesis of cascade quadruplet (CQ) filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-43, No12, s.2940-2945, 1995
- [9]. H.W.Yao, K.A. Zaki, A.E. Atia ve R. Hershtig, "Full wave modeling of conducting posts in rectangular waveguides and its applications to slot-coupled combline filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, s.2824-2830, Aralık 1995.
- [10]. G. Macchiarella, "An original approach to the design of bandpass cavity filters with multiple couplings," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-45, pp. 179-187, Şubat 1997