

# RF MEMS TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK TASARLANMIŞ AYARLANABİLİR BANT GEÇİREN BAĞLANMIŞ-HAT SÜZGEÇ

İ. İstanbulluoğlu, K. Topallı, E. U. Temoçin, H. İ. Atasoy, M. Ünlü, Ö. Bayraktar,  
Ş. Demir, O. A. Çivi, S. Koç, and T. Akin  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi 06531, Ankara, Türkiye  
Telefon: 90 312 210 45 26 Fax: 90 312 210 12 61  
E-posta: [ipek@eee.metu.edu.tr](mailto:ipek@eee.metu.edu.tr) E-posta: [simsek@metu.edu.tr](mailto:simsek@metu.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada eşdüzlemsel dalga kılavuzu EDK üzerinde tasarlanmış ayarlanabilir bir RF mikro-elektro-mekanik (MEMS) bant geçiren bağlanmış hat süzgeç sunulmaktadır. Süzgeç, hatlar üzerine yerleştirilmiş anahtarların yukarı ve aşağı pozisyonları arasında geçiş yapması sonucu bağlanmış hat uzunluğunun değiştirilmesi prensibiyle çalışmaktadır. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın geçerliliğini göstermek için anahtarların aşağı ve yukarı durumlarını sembolize eden iki farklı yapı tasarlanmış ve üretilmiştir. Her iki yapı için de benzetim ve ölçüm sonuçları alınmış ve karşılaştırılmıştır. Üp ilan çalışmalar sonucu tasarlanan süzgeçin merkez frekansı hatlar üzerindeki anahtarların aşağı durumdan yukarı duruma çıkarılması sonucu 6.5 GHz'ten 40 dB bant genişliği 19.5 GHz'e 40 dB bant genişliği 39.5'e değiştirilmiştir.

## 1. Giriş

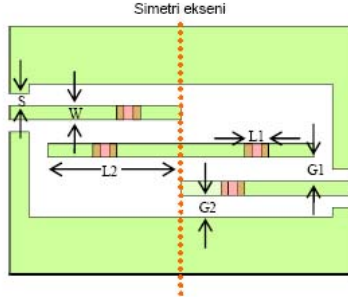
Bant geçiren süzgeçler bir çok mikrodalga sistem uygulamasında temel eleman olarak kullanılmaktadır. Bugüne kadar literatürde en sık rastlanan süzgeç türleri interdigital (iç içe geçmeli), paralel bağlanmış hat, dağıtılmış hat ve toplu eleman süzgeçlerdir [1]. Kullanım alanına ve ihtiyaçlara bağlı olarak bu türlerden bir seçilip tasarlanabilir. Örnek olarak, alıcı verici bizi devre elemanlarını olduğu iletişim alanında değişik kanalların seçilebilmesi için değişken merkez frekanslı bant geçiren süzgeçler gerekmektedir. Bu gibi alanlarda kullanılmak üzere, kullanılacak süzgeç tipi belirlendikten sonra o süzgecin ayarlanabilir özelliklere sahip olması gerekliliği üzerinde durulmalıdır. Böyle bir ayarlanabilirlik rezonans devresi boyunun ya da indüktif/kapasitif yükünün değiştirilebilmesiyle mümkündür [2]. RF MEMS teknolojisi bu belirtilen değişikliklerin yapılmasına olanak sağlayan yeni tekniklerden biridir. RF MEMS teknolojisi, anahtarlar, değişken kapasitörler, indüktörler, faz kaydırıcılar gibi mikrodalga elemanlarının tasarımcılar tarafından uygulamaya konmasını kolaylaştırır. Değişken MEMS kapasitörlerin gerçekleştirilmesiyle ayarlanabilir süzgeç yapmak iki yolla mümkündür. Birinci yol, değişken kapasitörlerin hibrit montaj teknikleri kullanılarak geleneksel mikrodalga devrelere bağlanmasıdır [3]. İkinci yol ise bütün bir cihazın tek parça olarak üretilmesidir ki bu yolla parazitik etkiler de azaltılmış olur.

Bu çalışmada anlatılan süzgeç, RF MEMS teknolojisiyle cam taban üzerine altın birinci metal kullanılarak ve tek parça olarak üretilmiştir. Genel olarak bağlanmış hat süzgeçler mikro şerit hatlar kullanılarak yapılırsa da, MEMS seri anahtarlar EDK üzerine rahatlıkla yerleştirilebildiği için bu çalışmadaki yapılarda bağlanmış hatlar mikroşerit yerine EDK olarak seçilmiştir. İleriki bölümler süzgeç yapısını anlatmakta, tasarım ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırmaktadır.

## 2. Süzgeç Yapısının Fiziksel Tanımlanması

Tasarlanan süzgeç yapısı Şekil 1.'de gösterildiği üzere seri olarak bağlanmış iki tane çeyrek dalga boyu uzunluğundaki bağlanmış hattın oluşmaktadır. Bu tip süzgeçlerin çalışma frekansı her bir hattın uzunluğuyla orantılı olarak belirlenmektedir [4]-[5]. İstenen merkez frekansı tutturmak için her bir hattın o frekanstaki kılavuzlu çeyrek dalga boyunda,  $\lambda_g/4$ , olması gerekir. Tasarlanan süzgeçteki hatların üzerinde toplam dört tane seri RF MEMS anahtar [6] bulunmaktadır ve bu anahtarların yukarı veya aşağıda olma durumları yapının geometrisini dolayısıyla merkez frekansı belirleyen hat uzunluğunu değiştirmektedir. Anahtarlar aşağı konumdayken, anahtarların bulunduğu kısımlar ideal kısa devre olarak davranır. Şekil 2(a) aşağı durum için denk devreyi göstermektedir. Bu durumdayken merkez frekansı 6.5 GHz'e getirmek için her bir hattın uzunluğu,  $L/2$ ,  $\lambda_g/4 = 6.8$  mm olarak tasarlanmıştır ( $\epsilon_r = 4.6$ ,  $\tan\delta = 0.005$ ). Anahtarlar yukarı konumdayken ise anahtarların

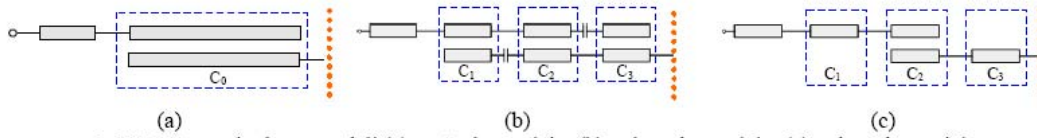
bulunduğu kısımlar 5 fF'lık seri kapasitans olarak davranmaktadır. 5fF'lık seri kapasitanslar açık devreye yakın karakteristik göstermektedir ve Şekil 2(b)'de de görülebildiği gibi yukarı durum 3 ayrı parçadan oluşan bağlanmış hat geometrisi olarak algılanabilir. Ayrıca,  $C_1$  ve  $C_3$  olarak adlandırılan birbirine eş ve eşit uzunluktaki bağlanmış hatlar, karakteristik empedansı  $(Z_{0o}+Z_{0e})/2=133 \Omega$ , olan basit birer iletim hattına dönüştürülebilir (Şekil 2(c)). Burada  $Z_{0o}$  ve  $Z_{0e}$ ,  $C_1$  ve  $C_3$ 'ün tek ve çift mod karakteristik empedansını simgelemektedir.



Şekil 1. Süzgeç yapısının üstten genel görünümü

Tablo 1 Süzgeç Boyutları  
( $H=500 \mu\text{m}$ ,  $t=1.5 \mu\text{m}$ ,  $\epsilon_r=4.6$ ,  $h=3 \mu\text{m}$ )

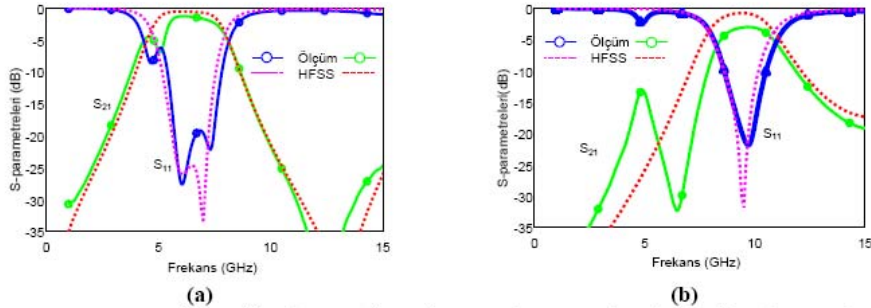
| Değişken | Boyut ( $\mu\text{m}$ ) |
|----------|-------------------------|
| W        | 50                      |
| S        | 76                      |
| G1       | 100                     |
| G2       | 250                     |
| L1       | 100                     |
| L2       | 6800                    |



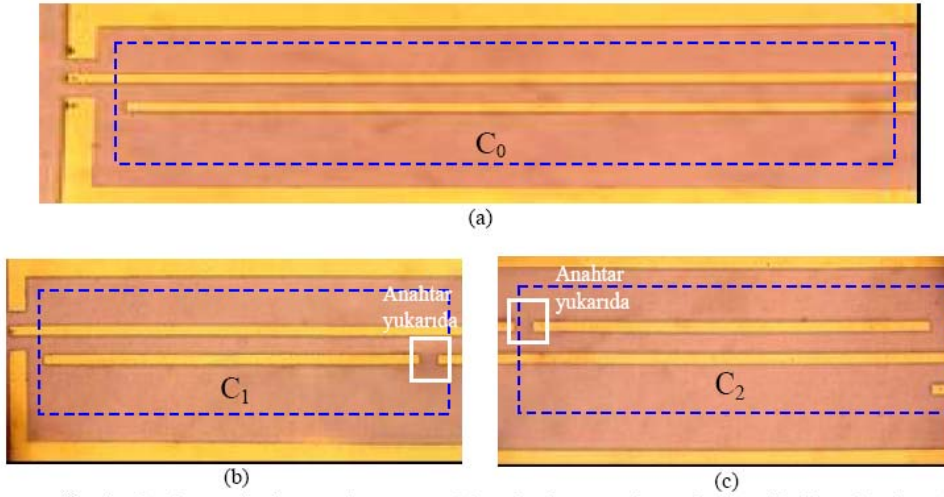
Şekil 2. Süzgecin devre modeli (a) aşağı durum için. (b) yukarı durum için. (c) yukarı durum için (sadeleştirilmiş).

### 3. Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

Tasarlanan süzgeç yapısının benzetimleri Ansoft HFSS v9.2 programıyla yapılmıştır. Yaklaşımın doğruluğunu kanıtlamak için anahtarların yukarı ve aşağı durumlarına denk iki farklı yapı tasarlanmış ve bu yapılarda anahtarlar açık ve kısa devrelerle yer değiştirilmiştir. Üretimde birinci metal olarak 500  $\mu\text{m}$  cam pul üzerine 1.5  $\mu\text{m}$  altın kullanılmıştır. Şekil 3.(a)-(b)'de benzetim ve üretim sonuçları karşılaştırılmış ve araya girme kaybındaki artış dışında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Aşağı ve yukarı durumlar için 1.5 ve 3 dB'den düşük araya girme kayıpları elde edilmiştir. Tasarlandığı üzere anahtarların aşağı durumu için 6.5 GHz, yukarı durumu için de 9.5 GHz merkez frekans elde edilmiş; ölçümler, anahtarların durumu değiştirilerek merkez frekansta 3 GHz'lık bir kayma elde edilebileceğini göstermiştir. Anahtarların her iki yapı için de ilk parazit tepki 20 GHz'te oluşmaktadır. Şekil 4 yukarı ve aşağı durumları simgeleyen üretilmiş denk yapıları göstermektedir.



Şekil 3. (a) Aşağı durum için ölçüm ve benzetim sonuçları (b) Yukarı durum için ölçüm ve benzetim sonuçları.



Şekil 4. Üretilen bağlanmış hat bant geçiren süzgeç (a) anahtarlar aşağı durumdayken. (b)-(c) anahtarlar yukarı durumdayken.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, RF MEMS teknolojisi ile eşdüzlemsel dalga kılavuzu (EDK) üzerinde tasarlanmış ayarlanabilir bir bant geçiren bağlanmış hat süzgeç sunulmaktadır. Süzgeç, hatlar üzerine yerleştirilmiş anahtarların yukarı ve aşağı pozisyonları arasında geçiş yapması sonucu bağlanmış hat uzunluğunun değiştirilmesi prensibiyle çalışmaktadır. Tasarlanan yapının EM benzetimleri anahtarların yukarı ve aşağı durumlarını simgeleyen denk devreler için yapılmış, ve yine aynı denk devrelerin üretim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kullanılan denk devrelerde anahtarların yukarı durumu için açık devre, aşağı durumu içinde kısa devre kullanılmıştır. Hem üretim hem de benzetim sonuçlarında anahtarların durum değişikliği sonucu merkez frekansı 6.5 GHz'ten 9.5 GHz'e kaydırılmış ve ayarlanabilir merkez frekanslı bağlanmış hat süzgeç yapısı elde edilmiştir.

#### Referanslar

- [1] R. Levly ve S. B. Cohn, "A History of Microwave Filter Research, Design, and Development," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT- 32, no. 9, s.1055-1067, Eylül 1984.
- [2] J. Uher ve W. J. R. Hoefer, "Tunable Microwave and Millimeter-Wave Band-Pass Filters," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. 39, no. 4, s.643-653, Nisan 1991.
- [3] C.L. Goldsmith, A. Malczewski, J. J. Yao, S. Chen, J. Ehmke, ve D. H. Hinzl, "RF MEMS variable capacitors for tunable filters," Int. J. RF Microwave CAE, s. 362-374, no.9, 1999.
- [4] S. B. Cohn, "Parallel-coupled transmission-line-resonator filter," IRE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. MTT-6, s. 223-231, Nisan 1958.
- [5] J. S. Park, "A Design of the Novel Coupled-Line Banpass Filter Using Defected Ground Structure With Wide Stopband Performance," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 50, no. 9, s.2037-2043, Eylül 2002.
- [6] M. Ünlü, K. Topallı, H. Sağkol, Ş. Demir, Ö. Aydın Çivi, S. Koç, ve T. Akın, "New MEMS Swich Structures for Antenna Applications," 2002 IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, s.134, San Antonio, Texas, 16-21 Haziran 2002.