

RF MEMS TEKNOLOJİSİ İLE MİKROŞERİT VE EŞDÜZLEMSEL DALGA KILAVUZU HAT ÜSTÜNDE PARALEL ANAHTAR YAPILARI

K. Topallı, M. Ünlü, Ş. Demir, Ö. Aydın Çivi, S. Koç ve T. Akın
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
kagan@metu.edu.tr, munlu@metu.edu.tr, simsek@metu.edu.tr,
ozlem@metu.edu.tr, skoc@metu.edu.tr, tayfuna@metu.edu.tr

Özet: Bu bildiride RF MEMS teknolojisi ile gerçekleştirilen iki paralel anahtar yapısı sunulmuştur. Yapılardan ilki mikroşerit hatlarda anahtarlama yapabilmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu yapı, hattın $2\ \mu\text{m}$ üstüne yerleştirilen MEMS köprü ve doğru akım uygulanarak köprünün aşağı çekilmesiyle toprak etkisi gösteren ve giriş-çıkış yalıtımı sağlayan dairesel kütükten oluşmaktadır. Diğer yapı ise eşdüzlemsel dalga kılavuzu üzerinde anahtarlama yapabilmektedir. Bu yapı MEMS köprülerin periyodik olarak dizilmesiyle elde edilen RF MEMS devre elemanlarının yapı taşı olarak kullanılmak amacıyla tasarlanmıştır. Yapıların EM benzetimleri Ansoft HFSSv9.1, mekanik benzetimleri ise CoventorWare 2004 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapıların üretimi ODTÜ Mikroelektronik Tesislerinde gerçekleştirilecektir.

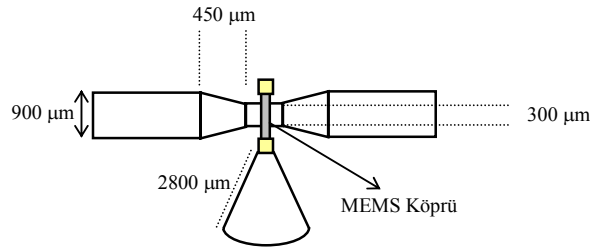
1. Giriş

Bu çalışmada RF MEMS teknolojisi ile mikroşerit ve eşdüzlemsel dalga kılavuzu hatlar üstünde anahtarlama yapabilen iki anahtar yapısı sunulmuştur. Mikro Elektro Mekanik Sistemler, kısaca MEMS, yüksek performansları, yığın üretime uygun boyutları ve düşük maliyetleriyle elektronik dünyasının birçok alanında yerlerini almışlardır. Bu gelişmelerle birlikte MEMS, mikrodalga alanında kullanılan bazı devre elemanlarının daha yüksek verim ve daha düşük maliyet ile tekrar geliştirilmesine imkan sağlamaktadır. Geliştirilen devre elemanları arasında radyo frekanslarında çalışabilen mikro elektromekanik anahtarlar (RF MEMS anahtar) en başta gelmektedir. Bunun sebebi de RF MEMS anahtarların ayırık devre elemanı olarak kullanılmalarının yanısıra, başka yapıların da temel taşlarını oluşturan parçalar olmalarıdır. Ayrıca bu yapılar, PIN diyot ve FET gibi eşleniklerine göre daha az güç tüketmekte ve daha az RF güç kaybına sebep olmaktadır. Bu yapılar daha geniş bir frekans aralığında giriş-çıkış arasında daha iyi bir yalıtıma sahiptirler [1].

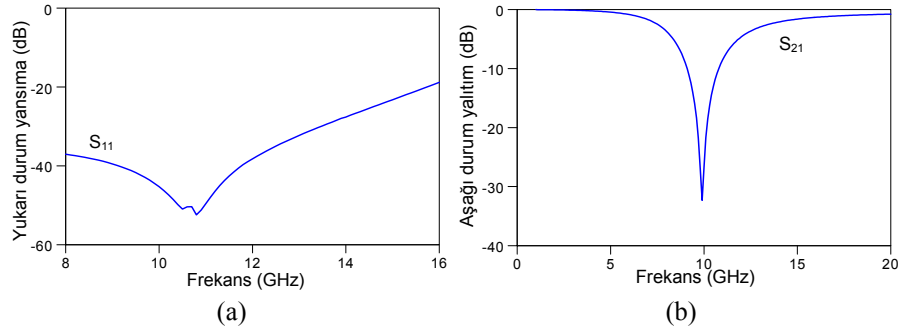
Bu bildiride, iki çeşit RF MEMS anahtar yapısı sunulmaktadır. Bu anahtar yapılarının her ikisi de MEMS köprülerin yukarı durumlarında RF gücün iletilebildiği, köprünün aşağı durumunda girişteki RF gücün yansıtılarak çıkış tarafına iletilemediği paralel anahtarlardır. Bu paralel anahtarlardan birincisi, mikroşerit (MŞ) hat üstünde anahtarlama yapabilen paralel anahtardır. Bu anahtar yapısı MŞ hattın $2\ \mu\text{m}$ üstüne yerleştirilen bir köprü ve köprü destek ayaklarından birine bağlanan açık devre ile sonlandırılmış radyal (daireysel) kütükten oluşmaktadır. Köprü ile MŞ hat arasına voltaj verilmediği durumda (yukarı durum), giriş ve çıkış arasında iletim gerçekleşirken, gerekli doğru akım (DA) gerilimi sağlandığında, oluşan elektrostatik güç sayesinde, köprü MŞ hat üstüne çökmekte ve tasarlanan frekansta yaklaşık olarak $\lambda_g/4$ uzunluğunda dairesel kütük, kısa devre (toprak) etkisi göstererek giriş-çıkış arasında yalıtımın gerçekleşmesine yol açmaktadır. Sunulan ikinci yapı ise eşdüzlemsel dalga kılavuzu (EDK) üstünde anahtarlama yapabilen bir paralel anahtardır. Yapı temel olarak MEMS köprülerin periyodik olarak dizilmesiyle elde edilen yüklenmiş hat yapılarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu köprülerin periyodik olarak dizilmesiyle elde edilen bu yapılarda, ayarlanabilir uzunlukta kütük gibi devre elemanlarının gerçekleştirilebilmesi için bu köprülerin ayrı ayrı hareket ettirilmesine gereksinim vardır. Tasarlanan bu anahtarlarla köprülere ayrı ayrı DA verilebildiği periyodik yapılar elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada sunulan anahtar yapılarının EM benzetimleri HFSSv9.1, mekanik benzetimleri ise CoventorWare adlı programlar ile gerçekleştirilmiştir. Yapılar $500\ \mu\text{m}$ kalınlığındaki cam ($\epsilon_r=4.6$) tabanlar üzerine tasarlanmıştır. Yapıların mikroişleme teknolojisi ile üretilmesi için bilgisayarda serimler hazırlanacak, maskeler ürettirilecek ve daha önceden denenmiş ve iyileştirilmiş üretim aşamalarıyla ODTÜ bünyesindeki Mikroelektronik tesislerinde üretilcektir. Bildirinin aşağıdaki bölümlerinde, bu yapılar hakkındaki diğer detaylar sunulacaktır.

2. Mikroşerit hat üstüne paralel anahtar yapısı

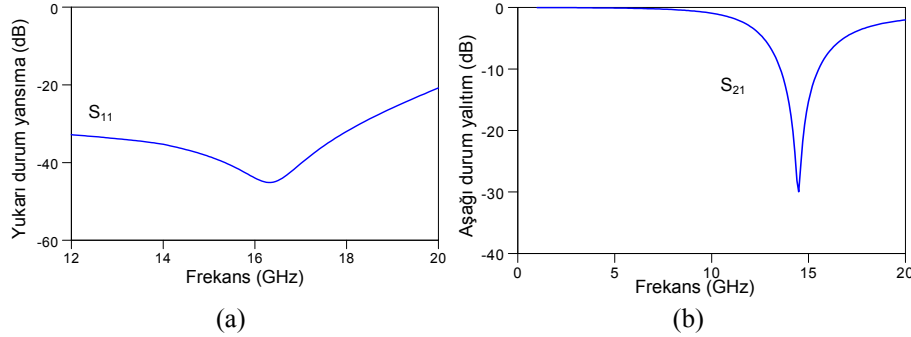
MŞ hat üstünde paralel anahtarlama yapabilmek amacıyla tasarlanan anahtarın genel görüntüsü Şekil 1’de sunulmuştur. Yapı genel olarak, 900 μm genişliğinde 50 Ω MŞ hat, bu hattın 2 μm üzerine yerleştirilmiş 30 μm genişliğinde MEMS köprü, köprünün destek ayaklarından birine bağlı olan dairesel kütükten oluşmaktadır. Uyumlama amacıyla, 50 Ω ’luk hat inceltilecek 300 μm uzunluğunda yüksek empedanslı hatta dönüşmektedir. Geçiş için 450 μm uzunluğunda bir iletim hattı kullanılmaktadır. Ansoft HFSSv9.1 kullanılarak yapılan EM benzetimlerde, dairesel kütüğün uzunluğu 2800 μm olarak ayarlandığında köprü, aşağı durumda en iyi yalıtımı 10 GHz frekansında sağlamaktadır. Şekil 2’de görülebileceği gibi, bu anahtar yapısıyla, köprü aşağı durumdayken 9.6-10.1 GHz (% 5 bant genişliği) arasında 20 dB’den, 9 GHz-10.6 GHz (%15 bant genişliği) arasında 10 dB’den daha iyi yalıtım elde edilebilmektedir. Bu yapının yansıma kaybı ise 8-12 GHz arasında 30 dB’den daha iyidir. Dairesel kütük uzunluğunun 2800 μm ’den 1750 μm düşürülmesiyle, köprünün aşağı durumdayken sağladığı yalıtım performansının merkez frekansı 14.5 GHz’e çekilmiştir ve Şekil 3’te de görülebileceği gibi bir önceki yapıyla benzer performanslar 14.5 GHz frekansı civarında elde edilmiştir.



Şekil 1. MEMS köprünün MŞ hat üstüne yerleştirilmesiyle gerçekleştirilen paralel anahtar yapısı. Dairesel kütük köprü aşağı durumdayken toprak etkisi göstererek giriş-çıkış arasında yalıtım sağlanmaktadır.



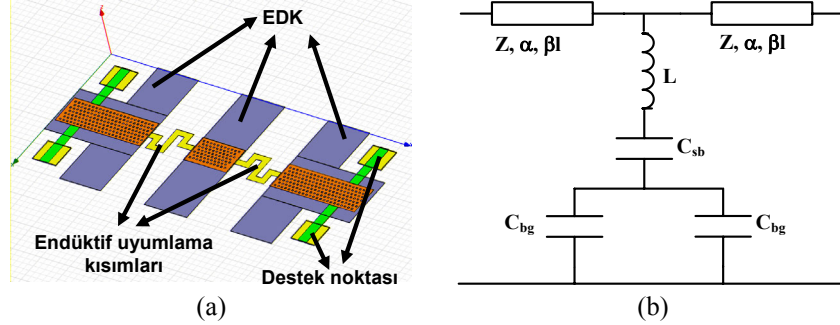
Şekil 2. 10 GHz merkez frekansında çalışan MŞ üstündeki paralel anahtar yapısı için EM benzetim sonuçları. (a) Yukarı durum yansıma kaybı (b) Aşağı durum yalıtım performansı.



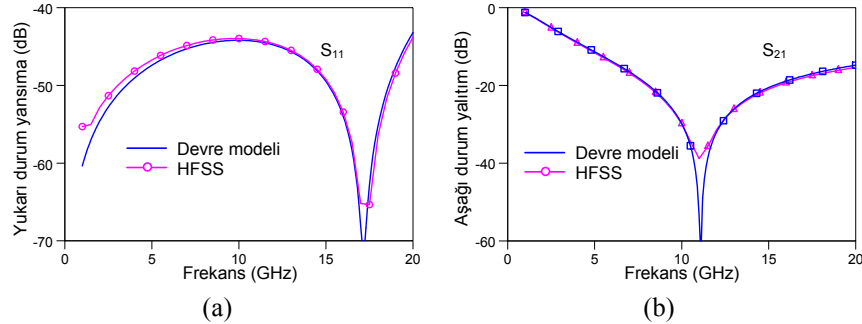
Şekil 3. 15 GHz merkez frekansında çalışan MŞ üstündeki paralel anahtar yapısı için EM benzetim sonuçları. (a) Yukarı durum yansıma kaybı (b) Aşağı durum yalıtım performansı.

3. Eşdüzlemsel dalga kılavuzu üstüne paralel anahtar yapısı

EDK üstünde anahtarlama yapmak amacıyla tasarlanan diğer paralel anahtarın genel görüntüsü ve yapı için kullanılan devre modeli [1] Şekil 1’de sunulmuştur. Devre modelinden de anlaşılacağı gibi yukarı durumdayken düşük olan köprü kapasitansları (C_{sb} ve C_{bg}), köprünün anahtarlama yapmak amacıyla aşağı çekilmesi durumunda oldukça yüksek bir seviyeye gelerek girişten gönderilen RF gücün yansiyarak çıkışa ulaşmasını engellemektedirler. Şekilde görülen endüktif uyumlama kısımları sayesinde modeldeki endüktans istenen seviyeye getirilerek, aşağı durumda yalıtım performansının merkez frekansı 10 GHz olarak ayarlanmıştır. Şekil 2’de HFSS sonuçları ve bu sonuçlara göre modelin sağladığı performans görülebilir. Model ile EM benzetimler arasında optimizasyon yoluyla elde edilen sonuçlara göre model parametrelerinin aldığı değerler ise Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 4. (a) MEMS köprünün EDK üzerine yerleştirilmesiyle elde edilen paralel anahtar yapısı (b) Yapı için kullanılan devre modeli. Modeldeki kapasitanslar, EDK’nın sinyal hattı ile köprü arasındaki (C_{sb}) ve köprü ile EDK’nın düzlemsel toprakları arasındaki kapasitansları modellemek için kullanılmıştır.



Şekil 5. EDK üzerinde anahtarlama yapabilen paralel anahtar yapısı için EM benzerimlerin sonuçları. (a) Yukarı durum yansıma kaybı (b) Aşağı durum yalıtım performansı.

Tablo 1. Modelin EM benzetimlere optimizasyonu ile elde edilen model parametrelerinin değerleri.

Köprü durumu	C_{sb} (pF)	C_{bg} (pF)	L (pH)	Z (Ω)	ϵ_{eff}	α (dB/cm)
Yukarı durum	0.071	0.134	57	85	2.78	0.27
Aşağı durum	4.5	9.29	57	85	2.78	0.27

4. Sonuçlar

Bu çalışmada MŞ ve EDK hatlar üstünde anahtarlama yapabilen iki paralel anahtar yapısı sunulmuştur. Bu yapıların EM tasarımı Ansoft HFSSv9.1, mekanik tasarımı CoventorWare 2004 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar göz önüne alındığında anahtar PIN/FET anahtarlara kıyasla çok üstün performans sağlayabilmektedir. Yapıların üretimi ODTÜ Mikroelektronik Tesislerinde daha önceden denenmiş ve iyileştirilmiş RF MEMS teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilecektir.

5. Kaynaklar

[1] G. M. Rebeiz, “RF MEMS theory, design, and technology,” John Wiley & Sons, 2003.