

ANTEN UYGULAMALARI İÇİN YENİ MEMS ANAHTAR YAPILARI

M. Ünlü, H. Sağkol, K. Topalı, Ö. Aydın Çivi, Ş. Demir, S. Koç ve T. Akın

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara

munlu@metu.edu.tr, sagkol@metu.edu.tr, kagan@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr, simsek@metu.edu.tr,
skoc@metu.edu.tr, tayfun-akin@metu.edu.tr

ÖZET

Bu bildiriye Mikro Elektro Mekanik Sistemler (MEMS) teknolojisi kullanılarak üretilmiş iki RF anahtar sunulmaktadır. Bu anahtarlar özellikle fazla sayıda anahtar gerektiren MEMS faz kaydırıcı ve faz dizili anten gibi uygulamalara yönelik tasarlanmıştır. Yapılardan birincisi eşdüzlemli dalga kılavuzu üzerinde paralel anahtarlama yapan "T-kanatlı" anahtardır ve yapılan benzetimlerle araya sokma yitimi, 10 GHz frekansında -0.035 dB, yalıtımı ise -33 dB olarak belirlenmiştir. Diğer yapı eşdüzlemli dalga kılavuzunun canlı hattı üstünde çalışan seri anahtar olarak tasarlanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre bu yapının 10 GHz frekansında araya sokma yitimi -0.015 dB, yalıtımı ise -20 dB olarak belirlenmiştir. Yapılar MEMS ve mikroışleme teknolojisi ile cam tabanlar üzerinde üretilmiştir.

GİRİŞ

Mikro Elektro Mekanik Sistemler, veya MEMS adı verilen teknoloji, elektronik dünyasında yeni bir çağın açılmasına yol açmıştır. Gelişmiş yarı iletken teknolojisine dayanan ve mikroışleme yöntemleri ile hassas mikromekanik yapıların tasarlanmasına imkan veren MEMS teknolojisi, birçok yeni elektronik yapının yüksek performans ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu yönleriyle MEMS, radyo frekansı (RF) elektronisinin de ilgisini çekmiş ve son yıllarda bu konuda yoğun bir araştırma başlamıştır. MEMS, mikrodalga alanında kullanılan bazı devre parçalarının, daha yüksek verim ve daha düşük maliyetle tekrar geliştirilmesine imkan sağlamaktadır. MEMS teknolojisiyle üretilen bu devre elemanlarını uygulama alanları arasında işaret yönlendirme, faz kaydırma ve faz dizili anten uygulamaları gösterilebilir. Bu araştırmalar sonucunda, MEMS'in RF alanındaki ilk ürünleri olarak RF anahtarlar üretilmiştir[1-3]. Günümüze değin süren kapsamlı araştırmalarla, RF MEMS anahtarlar, ilgi odağı olarak sürekli bir gelişim halinde olmuştur. Bunun sebebi de RF MEMS anahtarların mikrodalga devrelerinde ayrı devre elemanı olarak kullanılmaya uygun parçalar olmalarının yanı sıra, diğer MEMS yapılarının da temel yapıtaşı olmalarıdır. Ayrıca RF MEMS anahtarlar, daha önce kullanılan eşleniklerine göre daha az güç tüketimi ve kaybı yapmakta, daha geniş bir frekans aralığında çalışmakta, daha yüksek bir açık/kapalı durum sığa oranı sağlamakta ve giriş çıkış arasında daha iyi bir yalıtım sağlamaktadır.

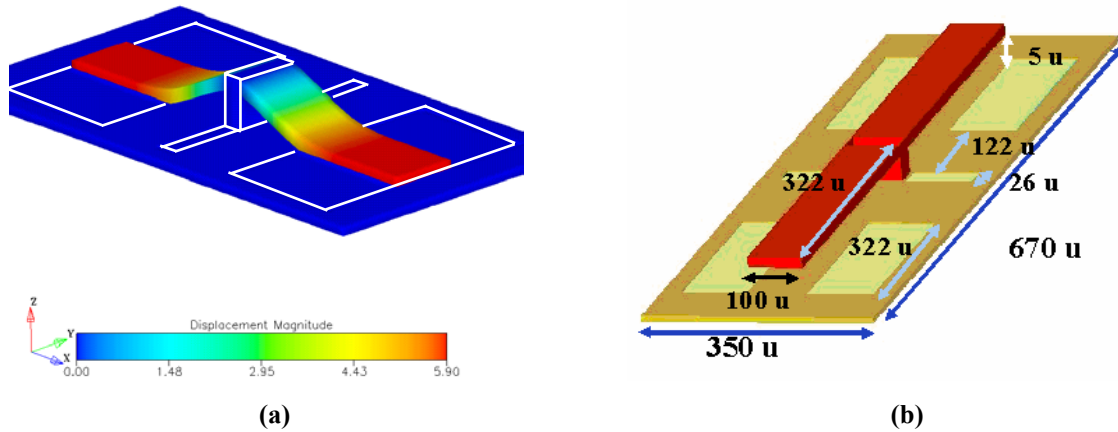
Bu çalışmada, belirli uygulamalara yönelik iki RF MEMS anahtar olarak tasarlanmıştır. Bu yapılardan birincisi, "T-kanatlı" paralel anahtar olup, çok sayıda anahtarın kullanıldığı yapılar için tasarlanmıştır. Bu anahtar, eşdüzlemli dalga kılavuzunun (EDK) canlı hattı üstüne inşa edilmiş olup, kanatları ve toprak hat arasındaki sığa anahtarlama yapma amacıyla kullanılmaktadır. Sunulan ikinci yapı ise seri bir RF MEMS anahtardır. Bu yapıda, EDK'nın canlı ucunda fiziksel bir aralık bulunmaktadır. Canlı hat üstüne büyütülen bir çıkma aracılığıyla bu aralık, isteğe bağlı olarak kapatılabilir. Bu anahtar diğer RF MEMS anahtarlara göre daha küçük bir alan kaplamaktadır. Bu çalışmanın aşağıdaki bölümlerinde, bu iki RF MEMS anahtarın tasarımı ve bu anahtarların üretimi sunulmaktadır.

RF MEMS ANAHTARLARIN MEKANİK VE RF TASARIMI

RF MEMS anahtarlar, genellikle aralarına voltaj uygulanan iki metal plakanın elektrostatik kuvvet ile birbirlerini çekmesiyle hareket eden kısımlardan oluşur. Dolayısıyla bu yapılar, basitçe, iki metal plaka arasında oluşan değişken bir sığa olarak düşünülebilir. RF MEMS anahtarların tasarımında göz önünde bulundurulması gerekenler birkaç başlık altında toplanabilir. Anahtar kapalı ve açık durumlarda sığa gibi davrandığı için bu iki durumdaki sığaların oranı, bir RF MEMS anahtarın RF performansının bir ölçüsüdür. Çünkü bu sığa oranı, doğrudan anahtarın araya sokma yitimi ve yalıtımıyla ilintilidir. Mekanik olarak göz önünde bulundurulması gereken unsur ise hareket için gerekli olan voltajın değeridir. Çünkü hareket voltajının düşük olması, varolan sistemlere yapının yerleştirilmesi açısından önemlidir. Ayrıca, düşük bir durum değiştirme diğer bir değişle anahtarlama süresine sahip olması da tasarımda dikkat edilen diğer unsurlardır. Hareket voltajını düşürmek için şimdiye kadar en çok kullanılan yöntem, yapının mekanik yay sabitinin değiştirilmesidir. Fakat bu yöntem,

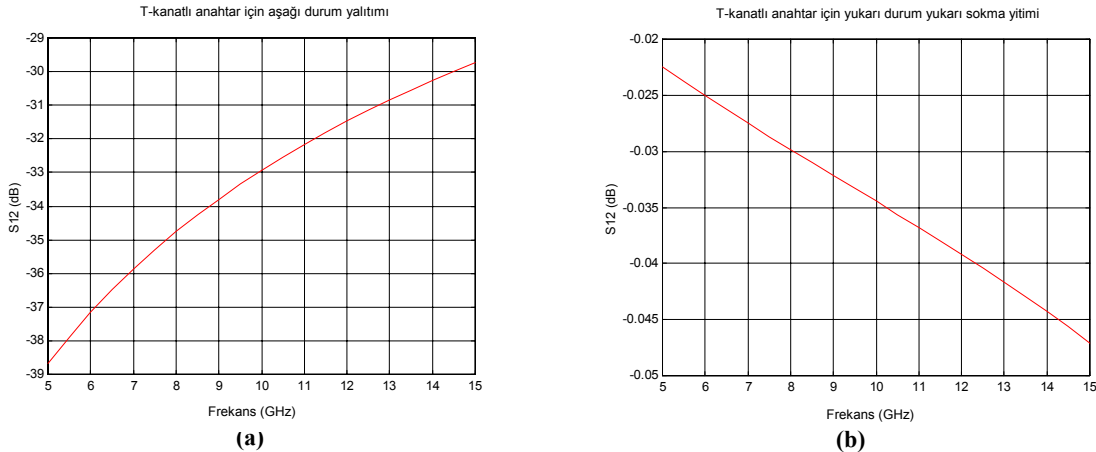
yapının durum değiştirme süresinin artmasına neden olmaktadır ki, bunun da sebebi yapıyı kapalı durumdan açık duruma çeken kuvvetin yay kuvveti olmasıdır. Sonuç olarak, yapının hareket voltajı ile durum değiştirme süresi arasında genelde ters orantı vardır denilebilir.

Bu makalede, iki çeşit, yeni RF MEMS anahtar sunulmaktadır. Bunlardan birincisi, "T-kanatlı" paralel anahtar olup çok sayıda anahtarın kullanıldığı uygulamalar için tasarlanmıştır. Yapı, bir eşdüzlemlı dalga kılavuzunun (EDK) canlı hattına üzerindeki destek noktasından toprak hatlarına doğru uzanan kanatlardan oluşmaktadır. Yapı kapalı konumda iken kanatlar uygulanan voltajın etkisiyle aşağıya, toprak hatlarına yapışır ve işaret hattı ile toprak hattını mikrodalga işaretleri için birleştirir. Bu yapı için gerekli olan hareket voltajı EDK'nın canlı hattına verilmektedir. Bu durum çok sayıda anahtar kullanılan uygulamalarda doğru akım (DA) kaynak geriliminin bütün anahtarlara beraber verilebilmesini sağlar ve işaret yönlendirilmesini ciddi olarak kolaylaştırır. Ayrıca bu yapı EDK'nın toprak hatlarını bir sığanın plakalarından biri olarak kullandığı için ayrıca başka bir alana ihtiyaçı yoktur. Bu durum da pul üzerinde ihtiyaçı duyulan alanı azaltır. "T-kanat"ın bir başka özelliği de kapalı durumda iken canlı hattan toprak hatta bağlantıyı sağlayan sığanın iki tane olmasıdır. Bu da bu tasarımın açık-kapalı işaret oranını iki katına çıkartmaktadır ve yalıtım yönünden performansı arttırmaktadır. Coventorware benzetim programının sonuçlarına göre yapının kanatlarının toprak hattına tamamen yapışması için gerekli gerilim 45 volt, yukarı durum sığası 90 fF, aşağı durum sığası ise 15 pF olarak belirlenmiştir. Yapının yine Coventorware kullanılarak elde edilen, elektrostatik kuvvet uygulandığındaki görüntüsü Şekil 1 (a)'da verilmektedir. Şekil 1 (b)'de ise yapının fiziksel boyutları sunulmaktadır.



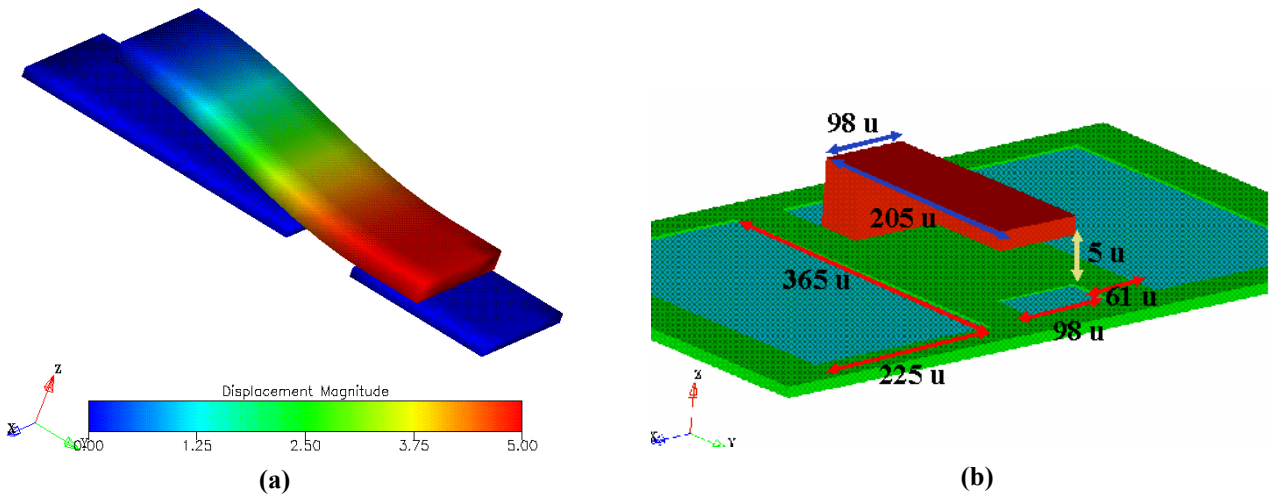
Şekil 1(a). T-kanatlı RF MEMS anahtarının aşağı durumdaki genel görüntüsü. **(b)** Anahtarın fiziksel boyutları

Ansoft HFSS programı kullanılarak yapılan benzetimlerde, T-kanatlı anahtarın araya sokma yitimi 10 GHz frekansında -0.035 dB, geri dönüş kaybı -35 dB, yalıtımı ise -33 dB olarak belirlenmiştir. Benzetim sonuçlarının frekansa göre değişimi Şekil 2(a) ve (b)'de görülebilir.



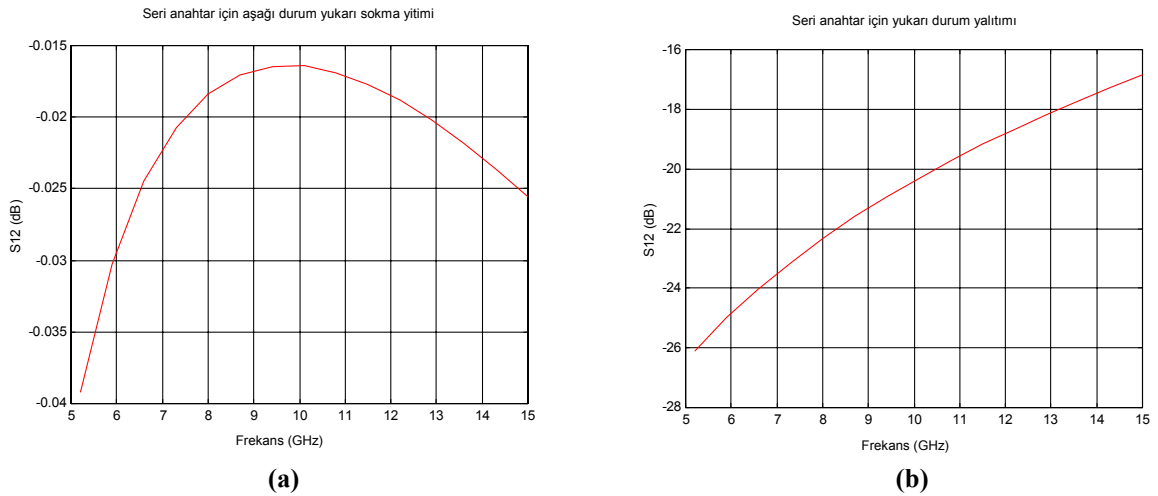
Şekil 2. T-kanatlı RF MEMS anahtarının Ansoft HFSS benzetim sonuçları **(a)** yalıtım **(b)** araya sokma yitimi.

Çalışmada sunulan ikinci yapı seri bir RF MEMS anahtardır. Bu yapı EDK'nın canlı hattı üzerinde yükselen bir destek noktası ve bu hatta paralel olarak sütundan ileriye doğru uzanan bir çıkmadan oluşmaktadır. Bu yapının özelliği, hareket için EDK'nın canlı hattını ve çıkmayı sığa plakaları olarak kullanmasıdır. Yapıda anahtar yukarı durumdayken canlı hat fiziksel olarak kopuktur ve bu yönüyle "T-kanatlı" anahtardan farklıdır. Bu durum anahtar kapalı iken iyi dereceli bir işaret yalıtımı sağlar. Hareket için gerekli olan voltaj uygulandığında çıkma aşağıya, canlı hattın üstüne iner ve canlı hat tamamlanır. Bu seri anahtar, çok sayıda anahtarın kullanıldığı uygulamalarda toplam pul alanını azaltır ve DA voltaj yönlendirilmesini kolaylaştırır. Bu yapı tek girişli çok çıkışlı anahtarların temel yapı taşı oluşturmakta ve bu yönüyle faz kaydırıcı uygulamalarına yönelik olarak tasarlanmaktadır. "T-kanatlı anahtarda olduğu gibi bu yapıda da yay sabitini azaltacak bir yöntem kullanılmamıştır. "T-kanatlı" anahtar ile karşılaştırıldığında elektrostatik gücün oluşacağı alan daha küçük olduğundan hareket için gereken voltaj daha yüksektir. Coventorware programı kullanılarak yapılan mekanik benzetimlerde anahtarın kapanması için gerekli olan hareket voltajı 72 volt olarak belirlenmiştir. Ayrıca aşağı durum sığası 8.1 pF ve yukarı durum sığası da 18 fF olarak aynı benzetimde belirlenmiştir. Şekil 3 (a)'da anahtarın elektrostatik kuvvet uygulandığındaki aşağı durum görüntüsü, Şekil 3 (b)'de ise anahtarın fiziksel boyutları görülmektedir.



Şekil 3(a). Seri RF MEMS anahtarının aşağı durumdaki genel görüntüsü. (b) Anahtarın fiziksel boyutları

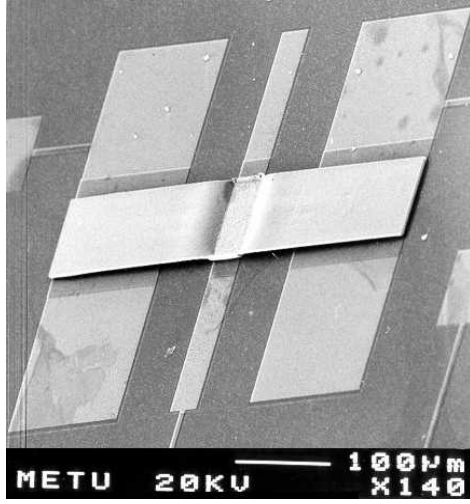
Bu yapının RF performansını gözlemek için Ansoft HFSS programı ile yapılan benzetimlerde, araya sokma yitimi 10 GHz frekansında -0.015 dB, geri dönüş kaybı -43 dB, yalıtımı ise -20 dB olarak belirlenmiştir. Benzetim sonuçları Şekil 4'te görülebilir.



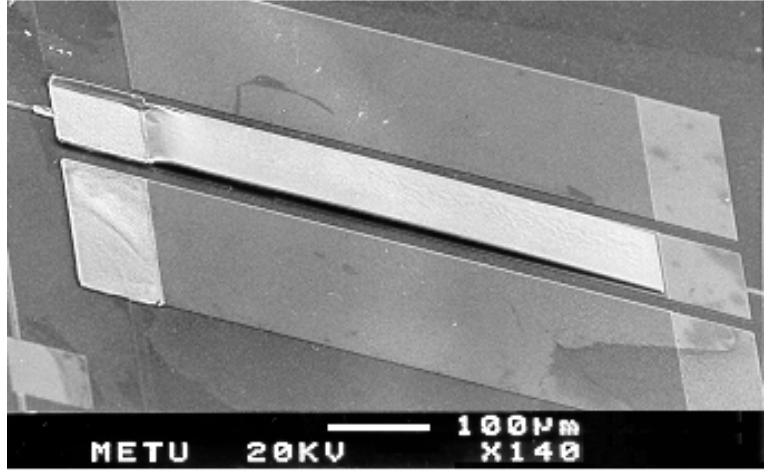
Şekil 4. T-kanatlı RF MEMS anahtarının Ansoft HFSS benzetim sonuçları (a) yalıtım (b) araya sokma yitimi.

ÜRETİM

Yapılar temel olarak üç katmandan oluşmaktadır. Birinci katman eşdüzlemlı dalga kılavuzlarının gerçekleştirildiği 1.metal katmandır. İkincisi ise doğru akım yalıtımını sağlayan yalıtkan katmandır. Üçüncüsü de hareketli kısımların oluşturulmasında kullanılan yapısal katman olarak da bilinen ve bazı kısımları havada duran 2. metal katmandır. Bu üç katmanlı yapıyı oluştururken şu süreç takip edilmiştir: 1) İlk metal katmanı olarak 0.1 µm/0.9 µm Cr/Au serilip şekillendirilmesi, 2) Yalıtım için 0.2 µm Si₃N₄ serilip şekillendirilmesi, 3) Yapısal katmanın havada kalan kısımlarını desteklemek amacıyla 5 µm kalınlığında fotodirenç (photoresist) serilip şekillendirilmesi, 4) yapısal metal katmanın elektrokaplama tekniğiyle büyütölüp şekillendirilmesi, 5) Yapıların havada kalması amacıyla daha önce serilen fotodirençin kaldırılması. Bu süreç sonucunda elde edilen T-kanatlı ve seri anahtar sırasıyla Şekil 5 (a) ve (b)'de sunulmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 5. Üretilmiş MEMS anahtarın elektron taramalı mikroskop (SEM) kullanılarak elde edilmiş görüntüleri
(a) T-kanatlı anahtar (b) seri anahtar.

SONUÇ

Bu çalışmada RF MEMS teknolojisi kullanılarak üretilmiş iki farklı anahtar yapısı sunulmuştur. Yapılardan ilki canlı hatla toprak arasında paralel anahtarlama yapmaktadır. Bu yapı özellikle çok sayıda anahtar gerektiren uygulamalarda işaret yönlendirilmesinde kolaylık getirmektedir. Diğer yapı ise, fiziksel olarak kopuk olan canlı hat üzerinde seri anahtarlama yapmaktadır. Bu anahtar, diğer RF MEMS anahtarlara göre çok daha az bir alan kaplamaktadır. Üretilen her iki yapı da MEMS faz kaydırıcılarda tasarım esnekliği ve kolaylığı gibi avantajlar sağlamaktadır. Yapıların RF tasarımı Ansoft HFSS, mekanik tasarımı da Coventorware benzetim programı ile doğrulanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre birinci anahtarın araya sokma yitimi 10 GHz frekansında -0.035 dB, yalıtımı ise -33 dB, ikinci anahtarın araya sokma yitimi -0.015 dB, yalıtımı ise -20 dB olarak belirlenmiştir. Anahtarların MEMS teknolojisi ile üretimleri tamamlanmıştır, ölçüm sonuçları konferansta sunulacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Elliott R. Brown, "RF-MEMS Switches for Reconfigurable Integrated Circuits," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 46, s. 1868-1880, Kasım 1998.
- [2] J.B. Muldavin ve G.M. Rebeiz, "High-Isolation CPW MEMS Switches Part 1: Modeling," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 48, s. 1045-1052, Haziran 2000.
- [3] J.B. Muldavin ve G.M. Rebeiz, "High-Isolation CPW MEMS Switches Part 2: Design," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 48, s. 1053-1056, Haziran 2000.