

RF MEMS TEKNOLOJİSİ İLE FAZ DİZİLİ ANTEN

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

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
kagan@metu.edu.tr, sagkol@metu.edu.tr, munlu@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr, simsek@metu.edu.tr,
skoc@metu.edu.tr, tayfun-akin@metu.edu.tr

ÖZET

Bu bildiri, RF MEMS teknolojisi kullanılarak bütün elemanları aynı taban üstünde gerçekleştirilen faz dizili antenin tasarımı ve üretimi anlatılmaktadır. Faz dizili anten, doğrusal olarak yerleştirilmiş mikroşerit yama antenlerden, RF MEMS faz kaydırıcılardan ve besleme ağından oluşmaktadır. Yeni faz kaydırıcı, daha önce yine RF MEMS kullanılarak üretilmiş iki tipteki faz kaydırıcıların özelliklerini tek bir üründe bir araya getirmek üzere tasarlanmıştır. Bu faz kaydırıcı 0° - 95° arasında sürekli bir faz kaymasını sağlayabilmektedir. Sistemin giriş yansıması 15.08 GHz frekansında -20 dB kadardır. Tasarlanan anten sistemi MEMS ve mikroışleme teknolojileri ile üretilmiştir

GİRİŞ

Faz dizili antenler yüksek anten kazancına ihtiyaç duyulan pek çok iletişim uygulamasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir faz dizili anten, genellikle, besleme ağı, faz kaydırıcılar ve antenlerin ayrı ayrı üretilip bir araya getirilmesiyle elde edilir. Bu parçaların karma olarak bağlanması sadece sistem boyutlarını arttırmakla kalmaz aynı zamanda parazit etkilerin, sinyaldeki kayıpların ve paketleme masraflarının da artmasına neden olur. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için, bu parçaların hepsinin aynı taban üzerinde, tek parça faz dizili bir anten oluşturmak üzere bir araya getirilmesi uygundur. Bu ise son yıllarda adı sıkça duyulmaya başlayan Mikro Elektro Mekanik Sistemler veya kısaca MEMS adı verilen teknoloji ile mümkün olabilir. MEMS teknolojisindeki son gelişmelerle birlikte mikrodalga ve radyo frekansı (RF) uygulamaları için birçok mikromekanik yapı geliştirilmektedir. Bu yapılardan bazıları RF anahtarlar [1-2], ayarlanabilir sızgılar [3] ve faz kaydırıcılarıdır [4-6]. Bu parçalardan faz kaydırıcılar gerek kapladıkları küçük alan, gerekse sağladıkları yüksek RF performansı sebebiyle yoğun ilgi çekmektedir. RF MEMS teknolojisiyle farklı yaklaşımlar kullanılarak faz kaydırıcı örnekleri gerçekleştirilmiştir. Yaklaşımlardan birisi, faz verebilmek amacıyla yol farkı oluşturma düşüncesini kullanırken diğer yaklaşım, faz farkını faz hızını değiştirmek yoluyla elde etme prensibini kullanmaktadır. Bu yöntemlerden ilkiyle, küçük bir fiziksel alanda yüksek miktarda ancak ayrıntılarıyla faz farkı elde edilebilmektedir. İkinci teknik kullanılarak gerçekleştirilen faz kaydırıcılar ise, göreceli olarak çok daha büyük bir fiziksel alanı kullanarak sürekli, ancak küçük faz farkı verebilmektedirler. Bu iki yaklaşımın tek bir tasarımda bir araya getirebilmesi durumunda büyük miktarda ve sürekli bir faz farkı verebilen bir faz kaydırıcı elde edilebilir.

Bu çalışmada tasarlanan faz dizili anten, mikroşerit yama antenlerin, besleme ağının ve sözü edilen RF MEMS faz kaydırıcıların aynı taban üzerinde gerçekleştirilmesiyle elde edilmektedir. Faz dizili anteni oluşturan parçaların tek parça olarak entegrasyonu ve bu yeni faz kaydırıcı tasarımı, sistem alanının küçültülmesini, paketleme kayıplarını ve parazit etkilerin azaltılmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışmanın aşağıdaki bölümlerinde, faz kaydırıcıları ve antenin tasarımı ile bu sistemin gerçekleştirilmesinde kullanılan fabrikasyon yöntemleri anlatılmaktadır.

ANTEN TASARIMI

Faz dizili antenler, anten elemanlarının her birisinin faz kaydırıcılar üzerinden beslenmesiyle elde edilir. Dolayısıyla faz kaydırıcılar, faz dizili antenlerin temel yapıtaşlarından biridir. Bu çalışmada sunulan faz dizili anten tasarımında kullanılan faz kaydırıcı, daha önce yine MEMS kullanılarak üretilen iki tip faz kaydırıcı örneklerinin kullandığı çalışma prensiplerinin her ikisini de kullanan yeni tipte bir faz kaydırıcıdır. Daha önce üretilen MEMS faz kaydırıcılarında, faz farkı elde etmek için yol farkı oluşturmak veya dalganın yayılma hızını değiştirmek prensipleri kullanılmıştır. Yol farkı oluşturmak için hattın fiziksel uzunluğunun değiştirildiği faz kaydırıcılarda, farklı uzunluklardaki iki fiziksel hattan birinin MEMS anahtarlar yardımıyla seçilmesi yöntemi kullanılmaktadır. MEMS

anahtarlar, destek noktaları aynı olan tek girişli iki çıkışlı bir yapı olarak tasarlanmıştır. Bu yapıda, sinyalin gideceği hat elektrostatik kuvvet ile belirlenmektedir ve hangi çıkış seçilmişse, mikromekanik yapılara uygulanan kuvvet o çıkışı giriş kısmına fiziksel olarak bağlamaktadır. Bu yöntem ile faz kayması ayrı adımlarla gerçekleştirilebilir. Bu prensibe dayanan ve anten sisteminde kullanılmak üzere tasarlanan yapıların 15 GHz frekansındaki sinyallerde 0°, 30°, ve 60°'lik faz kaymaları verdiği HFSS benzetim programı ile gösterilmiştir. Bu yapıda kullanılan RF MEMS anahtar, yine HFSS sonuçlarına göre -0.09 dB araya sokma yitimine -20 dB yalıtıma ve -40 dB giriş yansımaya sahiptir.

Hattın fiziksel uzunluğu yerine dalganın ilerleme hızını değiştiren faz kaydırıcılar, genel olarak üzerine periyodik olarak köprü biçiminde metal şeritler yerleştirilmiş eşdüzlemlı dalga kılavuzu (EDK) hatlardan oluşmaktadır. Bu köprüler aslında, eşdüzlemlı dalga kılavuzunu yükleyen, aktif hatla toprak hattı arasına yerleştirilmiş sığalardır. Sığaların değeri değiştirildiğinde, hattın karakteristik özellikleri ve dalganın yayılma hızı değişmektedir. Bu da faz kaymasına yol açmaktadır. Köprü ile toprak arasına gerilim verildiğinde oluşan elektrostatik kuvvetten dolayı iki plaka birbirine yaklaşmakta, böylece yükseklik değişmekte ve bununla orantılı olarak faz kayması elde edilmektedir. Bu yöntemde faz kayması ayrı adımlarda olmak zorunda değildir. Faz dizili anten sisteminde kullanılmak üzere tasarlanan bu tip faz kaydırıcı 1.5 cm uzunluğunda bir hat ve üzerinde köprülerden oluşmaktadır. Bu yapıdaki köprülerin uzunluğu 640 µm, genişliği 100 µm, EDK'dan yüksekliği 5 µm'dir. Bu köprüler 100 µm aralıklarla periyodik olarak EDK üzerine sıralanmışlardır. Bu yapının 15 GHz frekansındaki sinyallerde 0°-35° aralığındaki faz kaymalarını verebildiği HFSS benzetim programı ile gösterilmiştir.

Yukarıda çalışma prensipleri anlatılan faz kaydırıcıların özelliklerinin tek bir yapıda birleştirilmesiyle, 0°-35°, 30°-65° ve 60°-95° arasındaki faz kaymasını bu aralıklarda sürekli bir şekilde elde etmek mümkündür. Bu yeni yapı, faz dizili anten sisteminde, anten elemanlarının uygun faz kaymalarıyla beslenmesi amacıyla tasarlanmış ve 15 GHz çalışma frekansında istenen sonuçları verdiği benzetim programlarıyla gösterilmiştir.

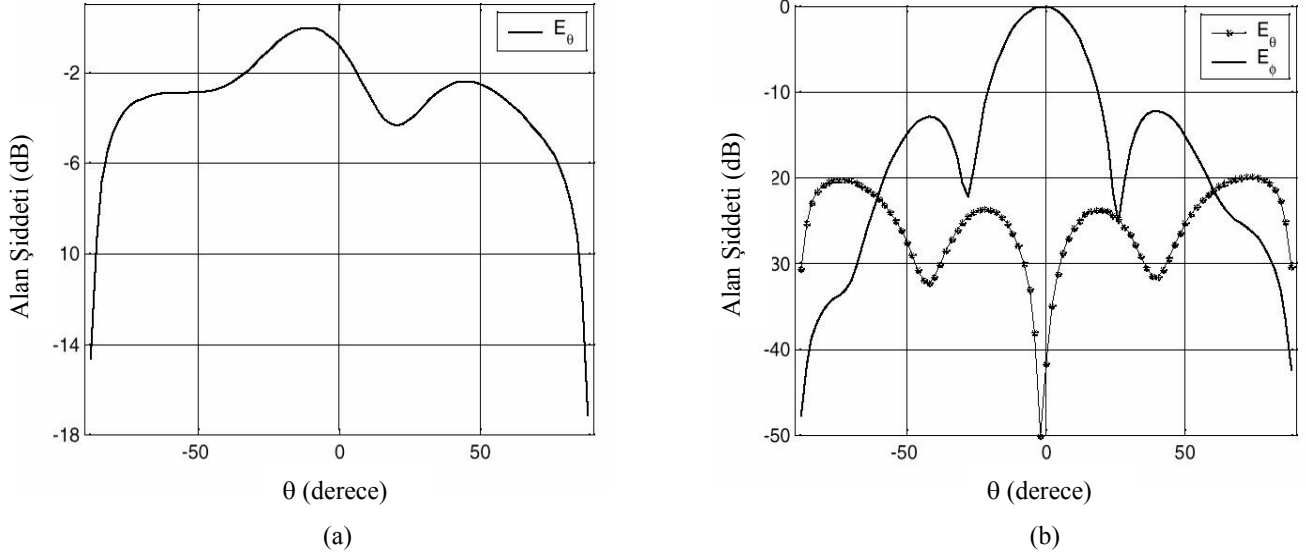
Çalışma prensipleri ve sağladıkları faz kaymaları yukarıda belirtilen faz kaydırıcılar tarafından beslenecek anten elemanı olarak mikroşerit yama antenler seçilmiştir. Çünkü yama antenler hem MEMS teknolojisiyle kolaylıkla üretilebilmektedirler hem de ağırlık ve büyüklük yönünden sınırlamalar getiren uygulamalar için en uygun anten çeşitlerinden biridir. Bu düşünceden hareketle, doğrusal bir dizi oluşturmak amacıyla, $\lambda/2$ (λ :dalgaboyu) aralıklarla dört mikroşerit yama anten yerleştirilmiştir. Faz dizili anten sistemi 15 GHz frekansında tasarlanmıştır. Dielektrik olarak cam pul kullanılmıştır ve dielektrik sabiti 5.75, kalınlığı 500 µm'dir. Yama antenler kare olarak tasarlanmışlardır ve kenar boyutları 4.14 mm'dir. Anteni besleyen mikroşerit 50 Ω'a uyumlama amacıyla 1.55 mm içeri girintiyle kesilmiştir. Girişteki gücü faz kaydırıcılara ve antenlere dağıtan besleme ağı mikroşerit hatlardan oluşmaktadır ve besleme ağındaki mikroşerit hatlar açılarak EDK'ya geçişte uyumlama sağlanmıştır.

Ansoft Ensemble programıyla yapılan benzetimler sonucunda elde edilen E- ve H-düzlemindeki ışınma örüntüleri Şekil 1 (a) ve (b)'de sunulmuştur. E-düzlemindeki çapraz polarizasyon bileşeni 50 dB'nin altında olduğu için gösterilmemiştir. E-düzlemindeki ışınma örüntüsünün simetrik olmaması ise anten elemanlarını besleyen faz kaydırıcıların toprak hatlarındaki geniş metal hatlardan kaynaklanmaktadır. Şekil 2 'de ise sistemin S₁₁ karakteristiği verilmektedir. Faz dizili anten sistemi, tasarlandığı gibi, 15.08 GHz frekansında -20 dB'den daha düşük bir giriş yansımaya sahiptir.

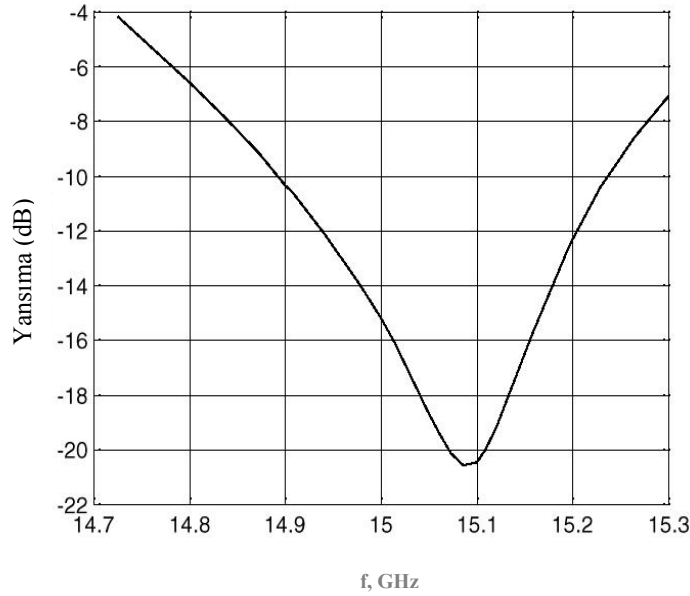
ÜRETİM

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 büyütülüp şekillendirilmesi, 5) Yapıların havada kalması amacıyla daha önce serilen fotodirençin kaldırılması. Şekil 3'te üretilen antenin fotoğrafı verilmiştir. Sol üstte verilen yakın görüntüde ayrı adımlarla faz farkı veren faz kaydırıcının serimi görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu tip faz kaydırıcıda

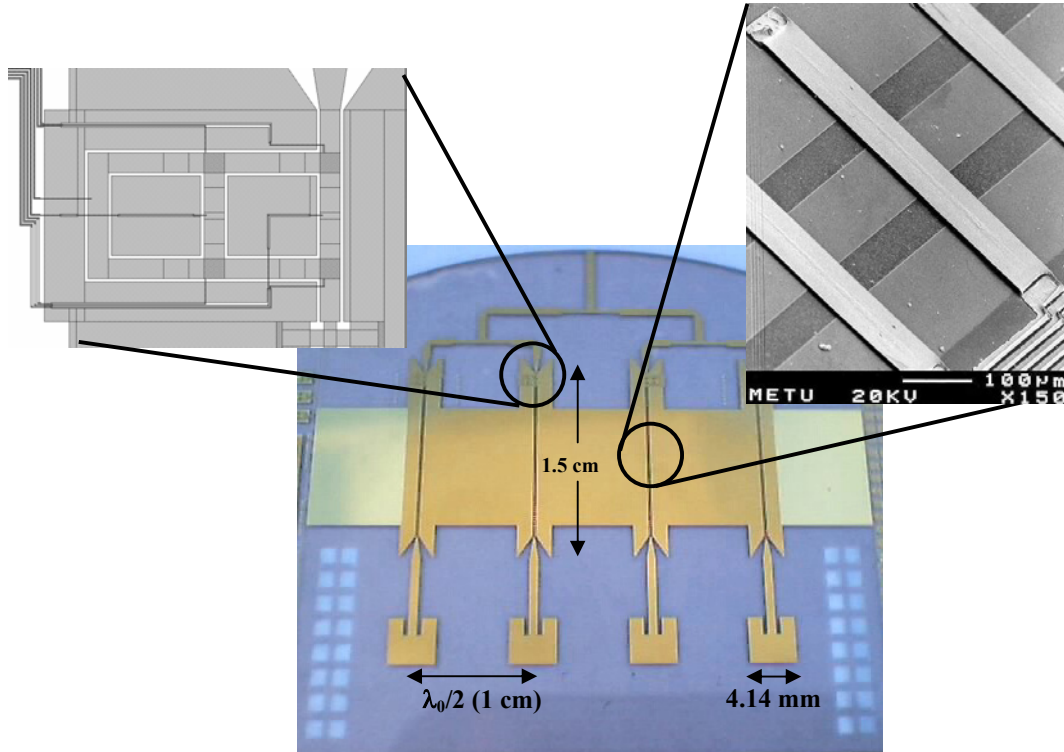
ayrık adımlarla faz farkı vermek amacıyla yol farkı oluşturmak için RF anahtarlar kullanılmaktadır. Sağ üstte ise, elektron tarama mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak alınan görüntüde sürekli faz farkı veren faz kaydırıcı görülmektedir. Bu faz kaydırıcıda ise faz kayması oluşturabilmek amacıyla faz hızının değiştirilmesi amaçlanmıştır ve sinyalin taşındığı hat ayarlanabilir sığa ile yüklenmektedir. Şekilde sunulan bu faz kaydırıcıda ayarlanabilir sığa olarak davranan köprüler gözlenmektedir.



Şekil 1. (a) E-düzlemi ışınma örüntüsü. (b) H-düzlemi ışınma örüntüsü . Noktalı çizgiler çapraz polarizasyon, sürekli çizgiler ise eş-polarizasyon bileşenini göstermektedir.



Şekil 2. Faz dizili anten sisteminin S_{11} karakteristiği



Şekil 3. Üretilen faz dizili antenin fotoğrafı. Sistem cam taban üzerinde üretilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, bütün parçaları aynı taban üzerinde gerçekleştirilen bir faz dizili anten sunulmaktadır. Sistem doğrusal olarak dizilmiş dört adet yama anten, RF MEMS faz kaydırıcılar ve bunları besleyen besleme ağından oluşmaktadır. Tasarlanan RF MEMS faz kaydırıcı, 15 GHz frekansında 0°-95° aralığındaki faz kaymasını üretebilmektedir. Bu faz kaydırıcı iki farklı çalışma prensibinin tek bir tasarımda birleştirilmesiyle elde edilen yeni tipte bir faz kaydırıcıdır. Faz kayması elde etmek için kullanılan prensipler ise yol farkı oluşturmak veya dalganın faz hızını değiştirmektir. Bu faz kaydırıcılar, yama antenler ve besleme ağının bir bütün halinde yapılan benzetimlerinde, giriş yansıması 15.08 GHz frekansında -20 dB'den azdır. Bu anten sistemi, bütün elemanları aynı taban üstünde bütünleştirildiği için sistem alanının küçültülmesini, paketleme kayıplarını ve parazit etkilerin azaltılmasını mümkün kılmaktadır. Tasarlanan anten sistemi MEMS ve mikroişleme teknolojileri ile üretilmiştir; ölçüm sonuçları konferansta sunulacaktır.

KAYNAKÇA

- [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, G.M. Rebeiz, "High-Isolation CPW MEMS Switches Part 1: Modeling & Part 2: Design," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 48, s. 1045-1056, Haziran 2000.
- [3] Z. Feng, H. Zhang, W. Zhang, B. Su, K.C. Gupta, V.M. Bright, Y.C. Lee, "MEMS Based Variable Capacitor for Millimeter Wave Applications," Solid-State Sensor and Actuator Workshop, s. 255-258, Haziran 2000.
- [4] P. Billans, S. Eshelman, A. Malczewski, J. Ehmke, C. Goldsmith, "X-Band RF MEMS Phase Shifters for Phased Array Applications," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol. 9, s. 517-519, Aralık 1999.
- [5] Pillaus B., Eshelman S., Malczewski A., Ehmke J., Goldsmith C., "Ka-Band RF MEMS Phase Shifters for Phased Array Applications," Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium, s. 195-199, 2000.
- [6] N. Scott Barker, Gabriel M. Rebeiz, "Distributed MEMS True-Time Delay Phase Shifters and Wide-Band Switches," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 46, s.1881-1890, Kasım 1998.