

RF MEMS TEKNOLOJİSİ İLE TEK PARÇA FAZ DİZİLİ ANTEN YAPISI

Kağan Topallı, Mehmet Ünlü, Özlem Aydın Çivi, Şimşek Demir, Sencer Koç, Tayfun Akın

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
kagan@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr

Özet: Bu bildiri, RF MEMS teknolojisi ile üretilen tek parça faz dizili anten yapısının tasarımı, üretimi ve ölçüm sonuçları sunulmuştur. 15 GHz çalışma frekansında tasarlanan faz dizili anten sistemi, cam taban üzerine doğrusal şekilde dizilmiş 4 adet mikroşerit yama anten, 3-bit faz kaydırıcılar ve bütünleşik besleme ağından oluşmaktadır. ODTÜ Mikroelektronik tesislerinde geliştirilen üretim süreci ile gerçekleştirilen faz dizili antenin ana hüzmesinin 4° , 6° ve 15° derecelere döndürülebildiği görülmüştür. Sunulan yapı literatürde sunulan RF MEMS teknolojisi ile üretilen ilk tek parça faz dizili anten yapılarından biridir.

1. Giriş

Faz dizili anten sistemleri genellikle besleme ağı, faz kaydırıcılar ve antenlerin ayrı ayrı üretilip biraraya getirilmesiyle elde edilmektedir [1]. Bu parçaların melez (hibrit) yöntemlerle bütünleştirilmesi sadece sistem boyutlarını değil aynı zamanda parazitik etkilerin, kayıpların ve paketleme masraflarının da artmasına sebep olmaktadır. Bu sıkıntıları ortadan kaldırmak için, bu elemanları tek-parça faz dizili anten sistemi oluşturacak şekilde, aynı taban üzerinde üretilmesine gereksinim vardır. MikroElektroMekanik Sistemler (MEMS) teknolojisindeki son gelişmelerle birlikte mikrodalga mühendisliğine önemli katkılarda bulunan RF MEMS teknolojisi ortaya çıkmış ve düşük maliyetli, düşük sistem hacmine sahip, yüksek performanslı devre elemanlarının gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Bu devre elemanlarının mekanik hareketlerle RF performanslarının ayarlanabilir olması düşük hacimli çok işlevli anten sistemlerinin tek parça olarak gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu devre elemanlarının faz dizili anten sistem uygulamasında kullanılması durumunda tek parça faz dizili anten sisteminin üretilmesi mümkündür. Bu bildiri 15 GHz çalışma frekansında antenlerin, besleme ağının ve 3-bit yüklenmiş hat faz kaydırıcılarının tek parça olarak bütünleştirildiği faz dizili anten sisteminin tasarımı, üretimi ve ölçüm sonuçları sunulmaktadır. Sistemde kullanılan bütün elemanlar aynı taban üzerinde RF gücü taşımak için başka herhangi bir bağlantı gerektirmeden tek parça bir şekilde tasarlandığı için melez yöntemlerle üretilen faz dizili anten sistemlerine kıyasla, RF güç kayıpları daha az üretimi tekrarlanabilir sistemler ortaya çıkartmak mümkündür. Bildirinin aşağıdaki bölümlerinde sistem içerisinde kullanılan özellikle faz kaydırıcı başta olmak üzere diğer alt bloklar anlatılacak, sistem entegrasyonu özetlenecek ve ölçüm sonuçları sunulacaktır.

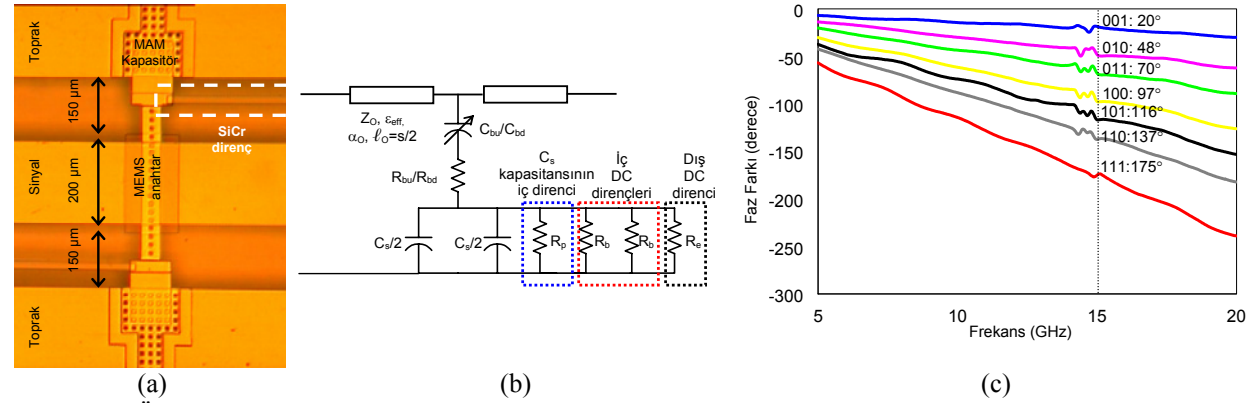
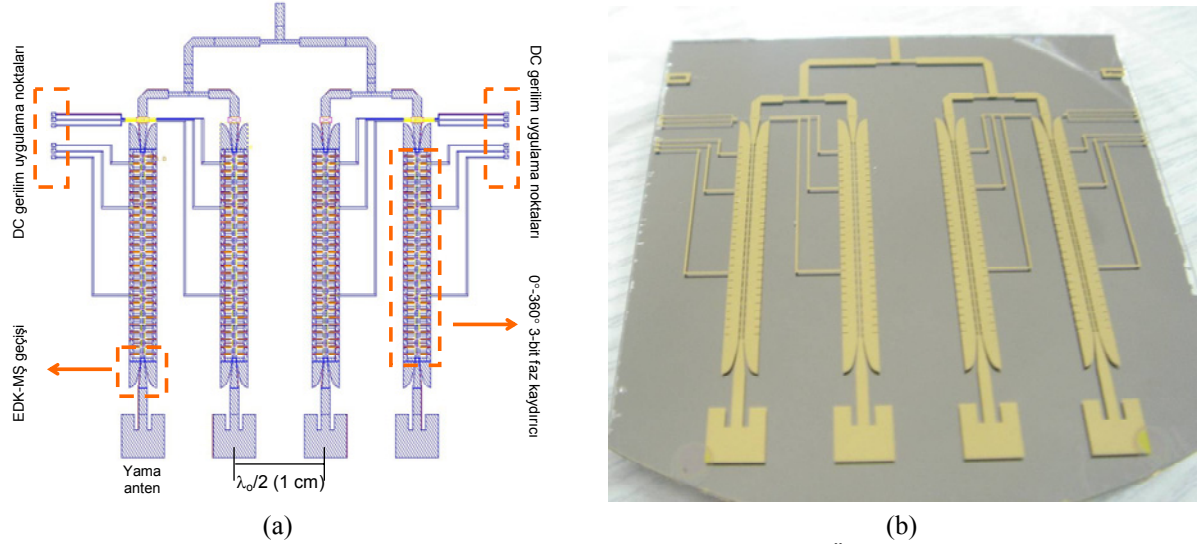
2. Faz Dizili Anten Sistemi

Şekil 1'de bildiri sunulan tek parça faz dizili antenin maske çizimi ve üretilmiş yapının fotoğrafı verilmiştir. Yapının çalışma frekansı 15 GHz olarak seçilmiştir. 4" çapındaki bir cam pula ($\epsilon_r=4.6$, $\tan\delta=0.005$, kalınlık $h=500 \mu\text{m}$) sığabilecek şekilde tasarlanan sistemin toplam çip alanı $6 \times 5 \text{ cm}^2$ 'dir. Sistemdeki yama antenler, faz merkezleri arasında $\lambda_0/2$ (1 cm) aralık olacak şekilde doğrusal olarak dizilmişlerdir. 15 GHz frekansında tasarlanan mikroşerit besleme ağı, bu dört anteni beslemektedir. Faz kaydırıcı elemanları eşdüzlemsel dalga klavuzu (EDK) hatların üzerine tasarlandığı için, besleme ağı-faz kaydırıcı ve faz kaydırıcı-anten arasında yansımayı azaltmak için EDK-mikroşerit geçiş hatları kullanılmıştır. Sistemdeki faz kaydırıcılar, sıralanmış MEMS iletim hattı (SMİH, distributed MEMS transmission line) olarak, 15 GHz frekansında 0° - 360° arası faz farkını 45° 'lik adımlarla sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu faz kaydırıcılarla antenleri 45° , 90° ve 180° 'lik ardışık (progressive) faz farkıyla besleyebilmek mümkündür. Anten dizisine 45° ve 90° 'lik ardışık faz farkı uygulanması durumunda ana hüzme sırasıyla 10° ve 20° döndürülebilmektedir. Faz dizili anten sisteminin bir başka özelliği olarak, 180° 'lik ardışık faz farkı uygulanması durumunda $\theta=0^\circ$ noktasında ışınım oluşmaması söylenebilir.

3. Faz Kaydırıcı Tasarımı

Faz dizili anten yapısında kullanılan faz kaydırıcı yapısı sıralanmış hat tasarım teknikleri kullanılarak tasarlanmış sayısal bir faz kaydırıcıdır. Şekil 2 (a)'da üretilmiş faz kaydırıcı yapısının birim hücrenin fotoğrafı, Şekil 2 (b)'de ise birim hücrenin devre şeması verilmiştir. Bu faz kaydırıcı yüksek empedanslı ($> 50 \Omega$) bir EDK üzerine birbirine seri olarak bağlanmış değişken kapasitör olarak davranan MEMS köprü (C_{bu}/C_{bd}) ve hareketsiz (statik, C_s) kapasitörlerin periyodik bir şekilde yerleştirilmesiyle elde edilmiştir. MEMS köprü yukarı durumdayken hattı yükleyen toplam kapasitans, köprü kapasitansı ile statik kapasitansın seri birleşimidir. Köprü ve sinyal hattı arasında DC gerilim uygulandığında köprü aşağı çekilir ve hattı yükleyen toplam kapasitans statik kapasitansa eşit olur. Köprünün yukarı ve aşağı durumların hattı yükleyen kapasitans değerinin farklı olması, bu iki durum için hattın

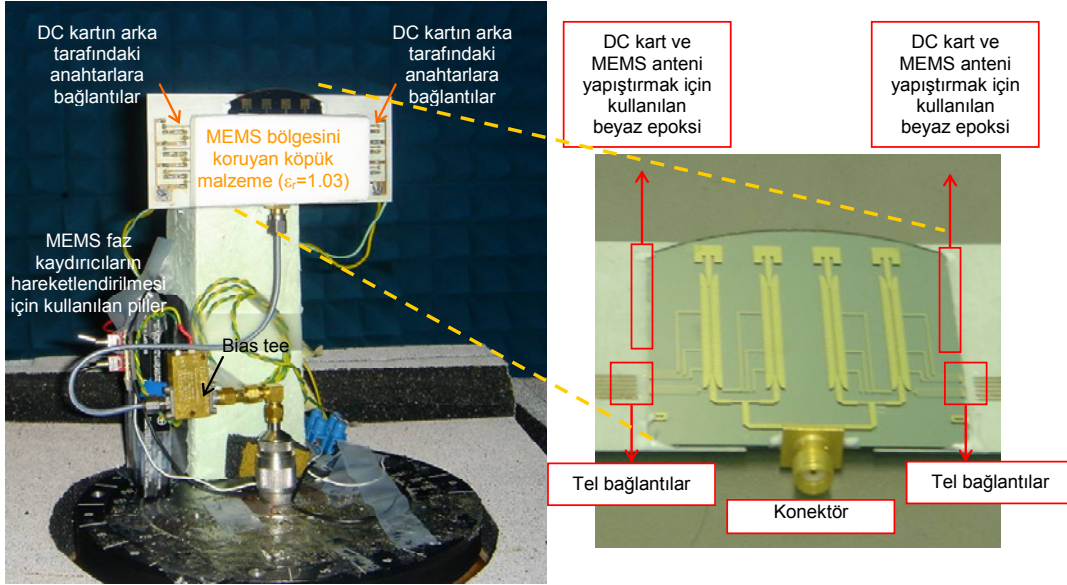
yüklenmiş karakteristik empedansı iki farklı değer alabilmesini mümkün kılar ve faz kayması elde edilir. Tasarımda yukarı ve aşağı durum yüklenmiş hat karakteristik empedans değerleri, geri dönüş kayıplarını belli bir seviyede tutabilmek amacıyla sırasıyla 58 Ω ve 44 Ω olarak seçilmiştir. Yapı 45°/90°/180° ve diğer kombinasyonlarla faz farkını sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. ODTÜ Mikroelektronik tesislerinde geliştirilen ve iyileştirilen üretim sürecinin ardından gerçekleştirilen ölçümlerde, faz kaydırıcı yapısının yukarı durumda 63 Ω , aşağı durumda 53 Ω yüklenmiş empedans değerleri arasında çalıştığı görülmüştür. Faz kaydırıcı yapısı 15 GHz frekansında 20°/48°/97° ve diğer kombinasyonlarla faz farkı sağlayabilmiştir. Şekil 2 (c)'de elde edilen farklı durumlar için elde edilen faz kayması eğrileri sunulmuştur.



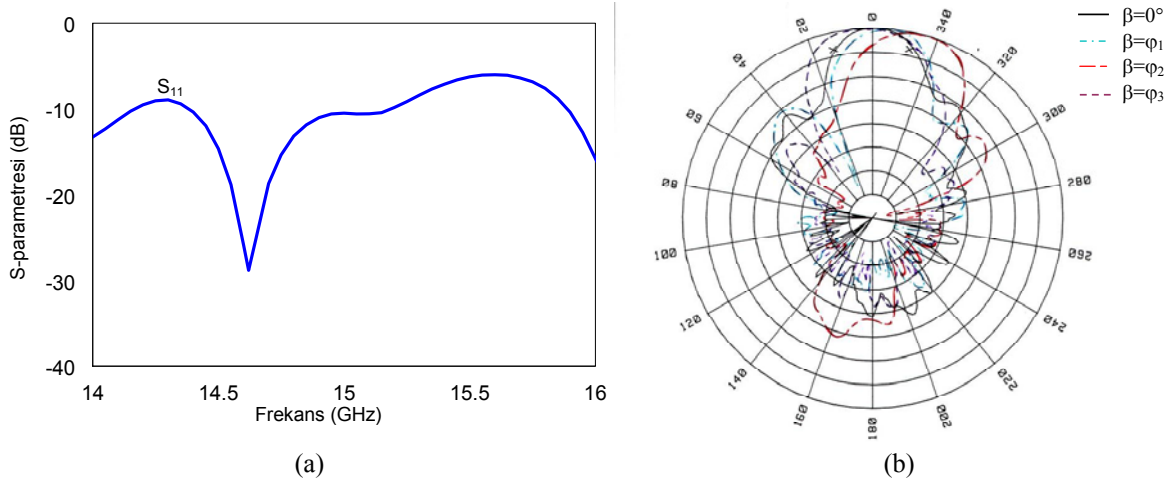
Şekil 2. (a) Üretilen faz kaydırıcı yapısının birim hücresinin genel görünümü. (b) Faz kaydırıcının birim hücresinin devre modeli. (c) Faz kaydırıcı yapısının farklı durumlarında elde edilen faz farkı eğrileri

4. Faz dizili anten sisteminin üretimi ve ölçümü

Faz dizili anten sistemi ODTÜ-Mikroelektronik tesislerinde geliştirilen üretim süreci kullanılarak 500 μm kalınlığındaki Pyrex 7740 cam taban üzerine gerçekleştirilmiştir [4]. Faz dizili anten sisteminin geri dönüş kaybı ve ışınma örüntüsü ölçümlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Şekil 3'de verilen düzenek kurulmuştur. Hüzme farklı doğrultulara yönlendirebilmek amacıyla DC gerilimlerin uygulanmasını sağlayan bir kart tasarlanmıştır ve bu kart MEMS anten sistemine beyaz epoksi ile yapıştırılmıştır. DC kart ve MEMS anten arasında elektriksel bağlantılar ince teller (wire bond) ile sağlanmıştır. Sistemin geri dönüş kaybı 14.6 GHz frekansında 28.8 dB'dir [Şekil 4 (a)]. Faz kaydırıcıların farklı durumları için elde edilen ışınma örüntüsü sonuçları Şekil 4 (b)'de sunulmuştur. Ardışık faz farkı yaklaşık 20° olacak şekilde seçildiğinde ana hüzmeyin 4° döndüğü, yaklaşık 48° olarak seçildiğinde ise 14° döndüğü görülmüştür. Sonuçlar sözü edilen ardışık faz kayması değerleri için hesaplanan değerlere oldukça yakındır. Faz kaydırıcıların, diğer yöne dönme sağlamak için 48° ardışık faz farkını verecek şekilde ayarlanması durumunda 6°'lik hüzmeye dönmesi elde edilmiştir. Faz dizili anten sisteminin bu yönde, diğer yöne kıyasla beklenen performansı sağlayamamasının nedeni olarak faz kaydırıcıların üretimden kaynaklanan bazı sorunlar nedeniyle bazı adımlarının istenen faz kaymasını sağlayamamış olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Faz dizili anten sisteminin ölçümlerinin gerçekleştirilebilmesi için kurulan düzenek.



Şekil 4 (a) Faz dizili anten sisteminin geri dönüş kaybı ölçüm sonucu. (b) Faz kaydırıcıların farklı durumları ($\phi_1 \sim 20^\circ$, $\phi_2 \sim 48^\circ$, $\phi_3 \sim 48^\circ$) için ışınım örüntüsü ölçümleri.

5. Sonuç

Bu bildiriye, RF MEMS teknolojisi ile üretilen tek parça faz dizili anten yapısının tasarımı, üretimi ve ölçüm sonuçları sunulmuştur. ODTÜ Mikroelektronik tesislerinde geliştirilen üretim sürecinin ardından gerçekleştirilen ölçümlerde, sistemde kullanılan faz kaydırıcı yapısının 15 GHz frekansında $20^\circ/48^\circ/97^\circ$ ve diğer kombinasyonlarla faz farkı sağlayabildiği görülmüştür. Yapılan ışınım örüntüsü ölçümlerinde ana hüzmeyin 4° , 6° ve 15° derece döndürebildiği görülmüştür. Sunulan yapı literatürde sunulan RF MEMS teknolojisi ile üretilen ilk tek parça faz dizili anten yapılarından biridir.

Kaynaklar

- [1] R.C. Hansen, *Phased Array Antennas*, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, New York, 1998.
- [2] K. Topalli, M. Unlu, S. Demir, O. Aydın Civi, S. Koc, and T. Akin, "A New Approach for Modeling Distributed MEMS Transmission Lines," *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol. 153, No. 2, pp. 152-162, April 2006
- [3] J. S. Hayden and G. M. Rebeiz, "Very low-loss distributed X-band and Ka-band MEMS phase shifters using metal-air-metal capacitors," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, pp. 309-314, Jan. 2003.
- [4] K. Topalli, M. Unlu, S. Demir, O. Aydın Civi, S. Koc, and T. Akin, "A Monolithic Phased Array using 3-Bit DMTL RF MEMS Phase Shifters," *2006 IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Albuquerque, NM.