



Adaptif Huzme Yönlendirmeli 7 Elemanlı ETPID Anten Tasarımı

Peyman MAHOUTI*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul
pmahouti@yildiz.edu.tr ORCID: 0000-0002-3351-4433, Tel: (212) 283 59 22)

Mehmet Ali BELEN

Artvin Çoruh Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Artvin
mehmetalibelen@artvin.edu.tr ORCID: 0000-0001-5588-9407

Samet ALTUNALEV

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul
altunalev55@gmail.com ORCID: 0000-0003-2436-9948

Geliş: 12.03.2018, Kabul Tarihi: 28.05.2018

Öz

Modern haberleşme sistemlerinin en önemli özelliklerinden biri elektronik tarama yeteneğidir. Günümüzde haberleşme uygulamalarında frekans tarama, zaman gecikmeli tarama, faz tarama gibi elektronik tarama yöntemleri kullanılır, ayrıca yeni ve daha ucuz elektronik tarama yöntemleri için araştırmalar devam etmektedir. Bu çalışma kapsamında elektronik huzme yönlendirme özelliğine sahip Elektriksel Taramalı Pasif Işımalı Dizi (ETPID, Electrically Steerable Passive Array Radiator ESPAR) tabanlı akıllı anten sisteminin tasarımı ve donanım imalatı gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımı, tasarım parametrelerinin tanımlarını, benzetim sonuçlarını, üretimi ve ölçüm sonuçlarını içerir. Yedi elemanlı ETPID anteni, aktif merkez elemanı ve altı adet pasif eleman ile tasarlanmıştır. Paraziter elemanlara varikap diyotlar yüklenirken, pasif dipol elemanlarının reaktans yüklerinin değerleri değiştirilerek azami (maksimum) kazanç istenilen yöne kolayca yönlendirilir. Parazitik elemanların reaktans yüklerinden birinin kontrol edildiği banttaki tüm frekanslar için aynı desen yönlendirmesi vardır. Yedi Elemanlı ETPID anteni, dinamik ışın yönlendirme yeteneğine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Theta ve phi'nin belirtilen yönlerinde 7dB kazanç elde edilmiştir. 10 GHz operasyon frekansı için tasarlanan antenin bant genişliği 450 MHz'dir ve ışın 360 derece yönlendirmiştir. Değişken kapasiteler kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda, varaktör diyotların kapasite değişimi ile elektronik huzme tarama gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizi anten; Huzme yönlendirme; Akıllı anten; ETPID;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Akıllı antenler, SIMO (tek girişli, çoklu çıkışlı), MISO (çoklu giriş, tek çıkışlı) ve MIMO (çoklu girişli, çoklu çıkış) olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır. Günümüz sistemlerinde bu antenler çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Akıllı antenler, huzme genişliğini kontrol etmek ve huzme yönünü çevreye uygun olarak düzenlemek için kullanılır. Bunun için akıllı anten sistemleri temel olarak, anahtarlanmış ışınım ve uyarlamalı dizi sistemleri olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Her iki sistem de kullanıcı yönündeki kazancı artırmaya çalışsa da sadece uyarlamalı sistem, aynı anda tanıma, izleme ve girişim azaltma işlemlerini yaparak en iyi dizi kazancını sağlar. Akıllı antenler, antenin istenilen ışınımını ve örüntüsünü düzenleyerek haberleşme imkânı sunmaktadır (Liberti, 1999).

Mobil terminallerde antenin boyutu ve taşınabilirliği temel ihtiyaçtır. Kablosuz haberleşme pazarının hızlı gelişimi daha iyi bir performans için yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve uygun spektrumun etkili biçimde kullanılmasına ihtiyaç duyar. Kanalların tekrar kullanımına izin verilmesi ve sistem performansının artırılması ile bu ihtiyacı karşılanması, kontrol edilebilir yönlü akıllı antenler ile sağlanmaktadır. Genellikle, her bir eleman radyasyon ışınması ve boşluklar oluşturmak için bilgi sinyalinin farklı fazları ile harekete geçirilirler. Fakat mobil haberleşme sistemlerindeki doğal karmaşıklık üretilen büyük kablosuz haberleşme ürünlerinde klasik adaptif dizilerin kullanımını kısıtlar. Elektriksel yönlendirilebilir veya anahtarlanabilir parazit anten dizileri bu sorunu giderebilirler. Fazlı dizi antenler de kullanılabilir. Ancak faz dizi antenler bir ara elemana ihtiyaç duyarlar. Bu da boyutun büyümesi, maliyetin artması anlamına gelir. Çözüm olarak, elektriksel yönlendirici antenler tercih edilir. $0.5 \lambda_0$ dalga boyundan daha büyük dalga boyuna sahip olan ETPID antende elemanlar arası uzaklık $0.25 \lambda_0$ dalga boyuna azaltılabilir. ETPID anten ışınmayı tasarlanan alıcıya ve ışınma boşluklarını girişim sinyallerine yönlendirebilir.

ETPID antenler, tek bir aktif anten elemanından ve belirli bir geometrik düzenlemede (doğrusal, dairesel vb.) birkaç parazitik dizi elemanından oluşurlar (Harrinton, 1978; Ohiro, 2000). Literatürde tel monopol antenler (Anbaran, 2015; Liu, 2012) ve baskılı antenler (Alrabadi, 2012, Yousefbei, 2014) kullanılarak çok sayıda ETPID anteni önerilmiştir. Özellikle düşük profilli baskılı anten tasarımları ile çalışanlar, baskılı dipollere (Alrabadi, 2012), monopole (Sawaya, 2004), slotlara (Petit, 2006), baskılı yamalara (Zhang, 2004; Preston, 1997) ve PIFA'lara (Islam, 2010) ayrılır. Dipol, yama ve slot antenleri, monopol antenlerinin iki katı büyüklüğünde olan yarı dalga boyunun teorik elektriksel uzunluğuna sahiptirler.

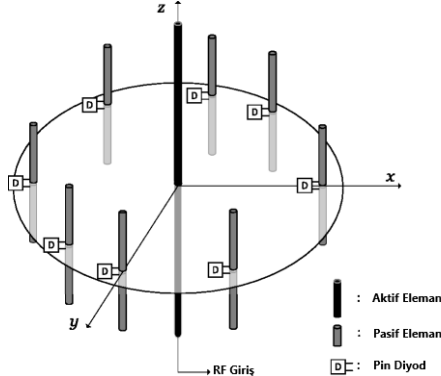
ETPID anten modeli, basit yapısıyla ve düşük üretim maliyetiyle adaptif huzme yönlendirme sunmaktadır (Cheng, 2002; Gyoda, 2000). Düşük maliyeti, istikrarlı performansı, basit yapısı ve analog ayarlamalı reaktans kontrolü özelliklerinden dolayı oldukça yaygındır. Genellikle, ETPID anten dizisi bir merkezi aktif elemandan ve N yüklü parazitik elemanlardan oluşur. Merkezi aktif bir eleman, simetrik N yüklü parazitik elemanlarla çevrilidir. Her bir parazitik eleman, beklenen ışınma modeli oluşturmak için isteğe bağlı yüklerle bağlanmaktadır (Jiawen, 2012; Dimousios, 2008). Elektriksel kontrollü yapısı ile ihtiyaç durumunda parazitik elemanların değerleri değiştirilir. Bu aşamada düşük güç tüketimi gerçekleşir. Huzme taramalı antenler ile kıyaslandığında ise güç tüketimi yönünden avantajlıdırlar. Işınma örüntüsünü değiştirmek için varaktörlerin reaktans dizileri değiştirilir. Düşük güç tüketimli ETPID antenler baskı devreler üzerine kurulabilir ve çok düşük maliyetle üretilebilir. Bu çalışma kapsamında elektronik huzme yönlendirme özelliğine sahip ETPID tabanlı akıllı anten sisteminin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımı, anten parametrelerinin belirlenmesi ile antenin benzetim sonuçlarını ve üretimini içermektedir. Yedi elemanlı ETPID anteni, aktif merkez elemanı ve altı adet pasif elemanı ile tasarlanmıştır. Parazitik elemanlara varikap diyotlar yüklenirken varikap diyotlar, pasif dipol

elemanlarının reaktans yük değerlerini değiştirerek azami (maksimum) yönlendirmeyi değiştirmek üzere kolayca kontrol edilebilir. Parazitik elemanlar reaktans yüklerinden birinin kontrol edildiği banttaki tüm frekanslar için ışına desenine sahiptir.

Anten Tasarımı

ETPID antenler yönsüz antenlerden daha yüksek kazançlı olarak tasarlanmıştır. İstenen ortamla uyum içerisinde ışına örüntüsü çeşitliliğine sahiptirler. Bu özellikleri sebebiyle ETPID antenlerin kullanımı sayesinde SNR iyileştirilebilir. ETPID antenler faz kaydırıcı içermez. Bu yüzden parazitik dizi antenler için üretim maliyeti fazlı dizi antenlerle karşılaştırıldığında daha az olur. Her bir elemanın birbirinden uzaklığı $\lambda_0/4$ olur. ETPID anten biri merkezde olmak üzere dairesel simetrik bir şekilde dizi haline getirilmiş monopul veya dipol antenlerden oluşur. Merkezdeki anten beslenerek aktif anten görevi yapması sağlanır. Çevredeki antenlere ise değişik reaktans elemanları bağlanarak parazit ışına görevi yapmaları sağlanır. ETPID anten, adaptif dizi anten veya değişik açılı anten olarak düşük maliyetli çözüm sağlar.

Şekil 1'de ETPID Anten modeli verilmektedir. ETPID anteni oluşturan elemanlar monopul veya dipol olabilir fakat boşluk $0.25 \lambda_0$ boyu olmalıdır. Besleme elemanı sıfırdan farklı olmak zorundadır. Parazit antenlerin altında ise değişken reaktans elemanları bulunmalıdır.



Şekil 1. Sekiz Elemanlı ETPID anten (Ilsoo 2016)

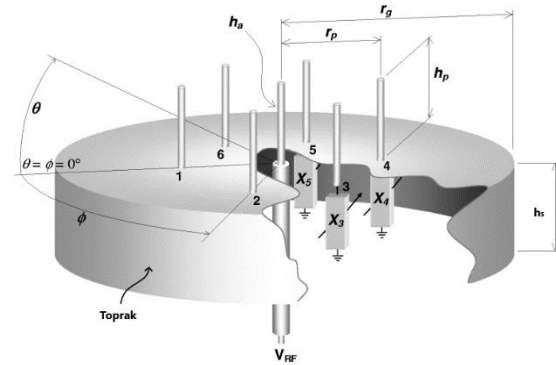
ETPID antenlerin ışına paternleri parazitik elemanların rekatif değerlere (varikap diyotların farklı gerilim değeri verilmesi) sahip olması ile

yönlendirilir. Bu nedenle, RF anahtarlar bu sistemlerde kullanılmaz. Bu değişikliği sağlamak için genellikle varaktör diyotlar kullanılır. Varaktörün avantajı diğer reaktif elemanlara göre daha ucuz olmasıdır. Bu çalışmada SMV1247-079 varaktör diyotu kullanılmıştır. SMV1247-079 diyotu silikon yapıları bir anlık jonksiyon ayarlamalı varaktör diyottur.

Tasarım Parametreleri

İlk aşamada anten tasarımının önemli parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; antenin giriş empedansı, etkin yüzeyi, duran dalga oranı, ışına gücü ve direnci, polarizasyon, ışına örüntüsü, yönlendiriciliği, kazanç faktörü ve demet genişliği başlıkları altında toplanmıştır.

Antenin zemin yapısı silindriktir. Bu sayede monopul antenler kullanılabilir. Çünkü monopul antenler, zemin yapısının altında sanal bir monopul antene sahipmiş gibi çalıştığından dipol antenlerin işlevini yerine getirir. Böylece dipol antenlere yani zeminin altına da monopul anten eklemeye gerek kalmadan antenin tasarımı gerçekleştirilebilir. Bu yapı antenin besleme ve kontrol devre parçaları için pratiklik, taşıma kolaylığı ve mekanik gürültü sorununun çözümünü sağlar. 7 elemanlı ETPID antenin parametreleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. ETPID anten elemanları ve boyutları (Schlub,2003)

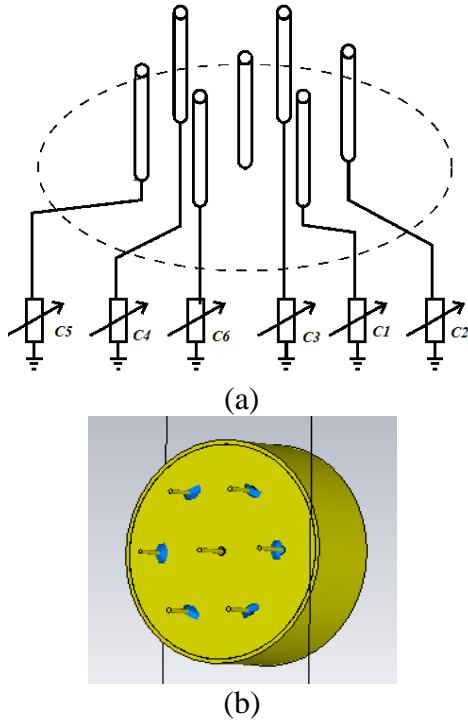
Şekil 2'de zemine dairesel olarak altmış derece aralıklarla simetrik şekilde altı tane h_p uzunluğunda ve zeminin merkezinde de bir tane h_a uzunluğunda olmak üzere yedi tane monopul anten vardır. Bu monopollerden merkezde olanı besleme elemanı iken çevrede bulunanları ise parazit elemanlarıdır. Zeminin etek uzunluğu h_s

ile zeminin yarıçapı r_g ile, parazit elemanların merkeze olan uzaklığı yani parazit yarıçap r_p ile gösterilir. Tablo 1'de tasarım parametreleri verilmiştir.

Tablo 1. Parametre Listesi

DEĞİŞKEN	UZUNLUK (MM)	DEĞİŞKEN	UZUNLUK (MM)
HP	31	HA	16
RP	24	RG	30
RCOP	1	TOPRAK KISMI HS	15

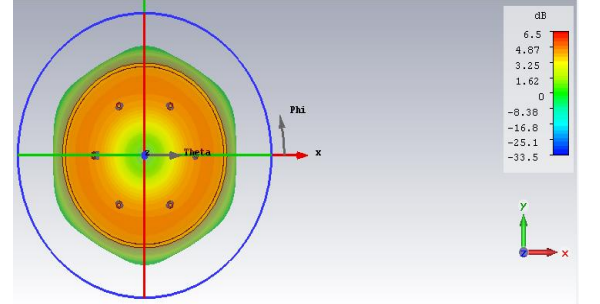
Şekil 3 (a)'da varikap diyotların yerleşimi verilmiştir. Varikap diyotları kapasite değerleri C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 ve C_6 olarak gösterilmiştir. Yedi elemanlı ETPID antenin tasarımı şekil 3 (b)'de gösterilmiştir. Simülasyonda C_1 kapasitesine 0.25 pF, diğer kapasitelerse 10 pF değeri verilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.



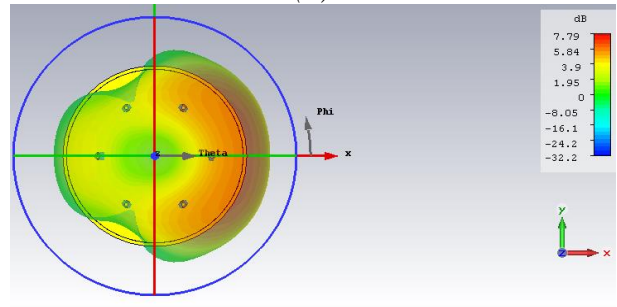
Şekil 3. (a) Varikap diyot yerleşimi, (b) Yedi elemanlı ETPID anten tasarımı

Kapasite değerlerinin hepsinin aynı olduğu durum referans kabul edilerek sadece C_1 kapasitesine farklı değerler verildiğinde bir kapasitenin değişiminin yönlendirmeye olan etkisi incelenmiştir. Şekil 4'te parazitik

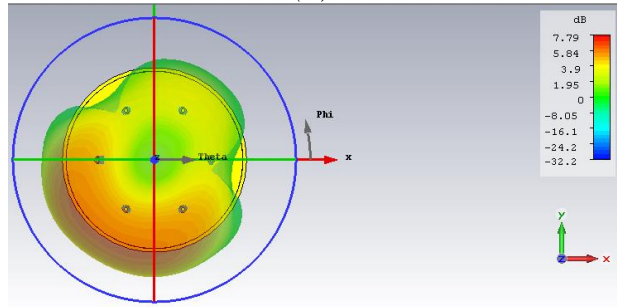
elemanların kapasite değişimleri incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarından anlaşılacağı üzere, aynı kapasite değerinin sırayla uygulanması ile huzme tarama gerçekleştirilirken huzme genişliği ve anten kazancı değişmemektedir.



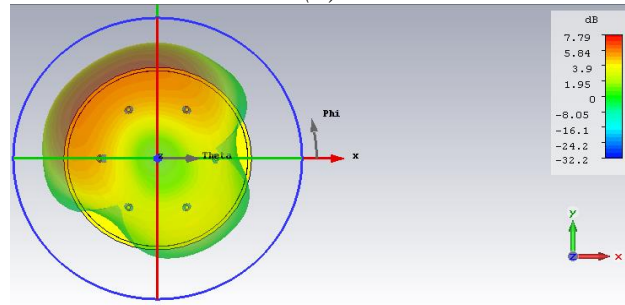
(a)



(b)



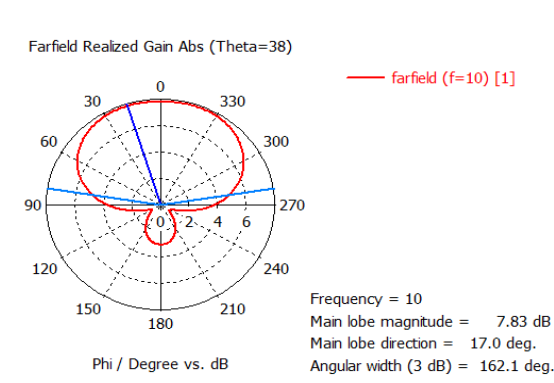
(c)



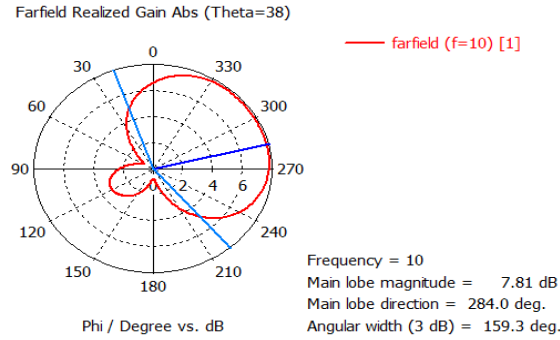
(d)

Şekil 4. a) Tüm kapasiteler 10pF b) $C_1=0.25$ pF c) $C_3=0.25$ pF d) $C_5=0.25$ pF

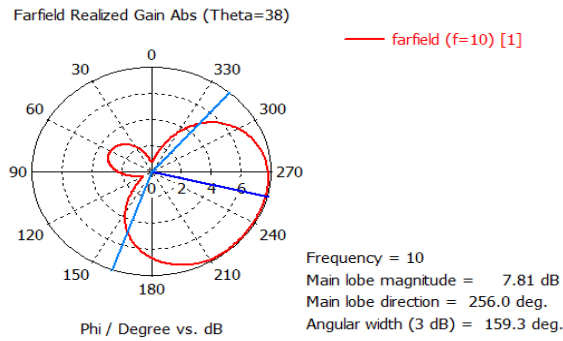
Şekil 5'te antenin polar gösterimi incelenmiştir. 3dB bant genişliği 160° ve ana lob kazancı 7.8dB seviyelerinde elde edilmiştir



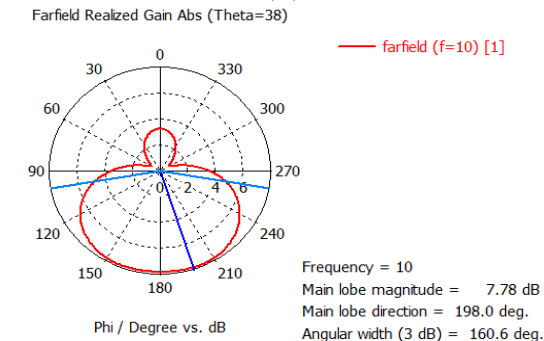
(a)



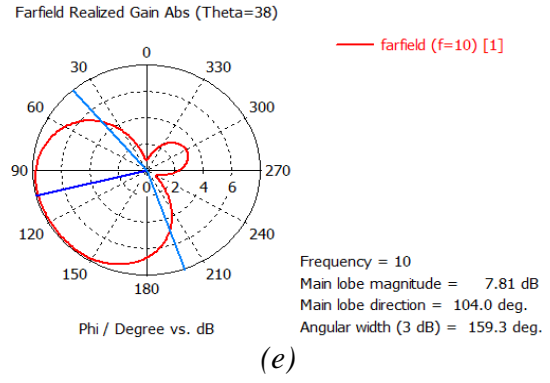
(b)



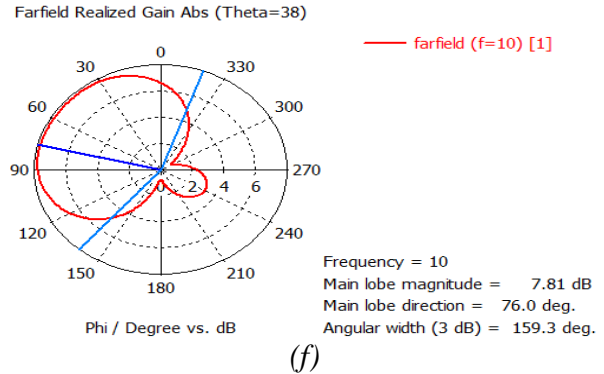
(c)



(d)



(e)



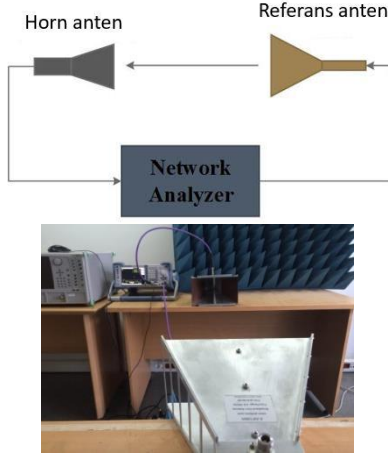
(f)

Şekil 5. Yönlendirici elemanın değer değişiminin yönlendirmeye etkisi (a) $C_1=0.25$ pF b) $C_2=0.25$ pF c) $C_3=0.25$ pF d) $C_4=0.25$ pF e) $C_5=0.25$ pF f) $C_6=0.25$ pF

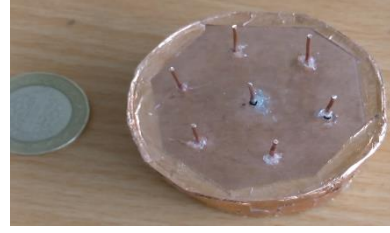
Anten Üretimi ve Ölçümü

Monopol kutup elemanları alüminyum zemin üzerine yerleştirilmiştir. EM dalgaları zeminden yansımaktadır. Yedi tane dipol elemanı kullanmak yerine bir zemin yapısına monte edilmiş yedi monopol eleman kullanılmıştır. Anten tasarımındaki önemli parametreler incelenmiştir; antenin giriş empedansı, etkin yüzeyi, duran dalga oranı, ışınma gücü, polarizasyon, ışınma örüntüsü, kazancı, huzme genişliği. Teorik tasarımlar ve simülasyonlar aracılığıyla mikroşerit anten parametreleri ve besleme şekilleri incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, CST simülasyonu programı ile benzetimleri ve optimizasyonu yapılan anten üretilmiş, ölçümleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Antenin empedans uyumu, geridönüş kaybı S_{11} , ışınma örüntüsü ve kazancı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların benzetimler ile uyumlu ve tutarlı olduğu görülmüştür. Bu bölümde, üretilen ETPID modülünün (şekil 7) geri yansıma katsayısı (S_{11}),

ve ışınma paterni şekil 6'daki ölçüm düzeneği kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümlerde referans anten olarak 0.8-18GHz arasında çalışan dual ridged horn anten kullanılmıştır (A-info, lb8180).



Şekil 6. Ölçüm Düzeneği ve Laboratuvar Ortamında ölçüm kurulumu

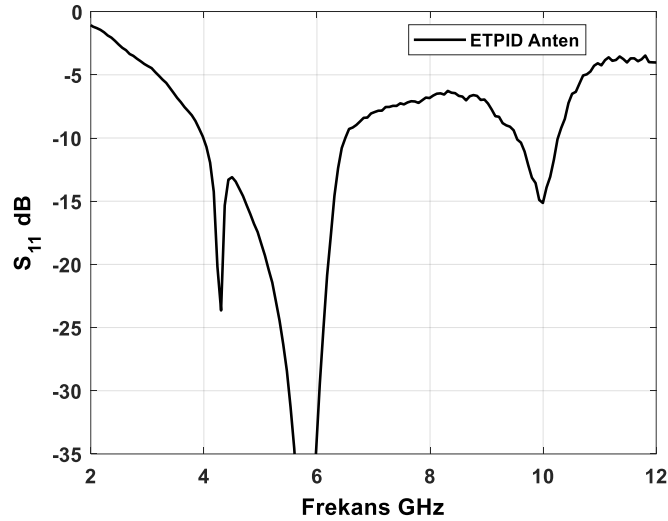


Şekil 7. Tasarlanan yedi elemanlı ETPID anten

Sonuçlar ve Tartışma

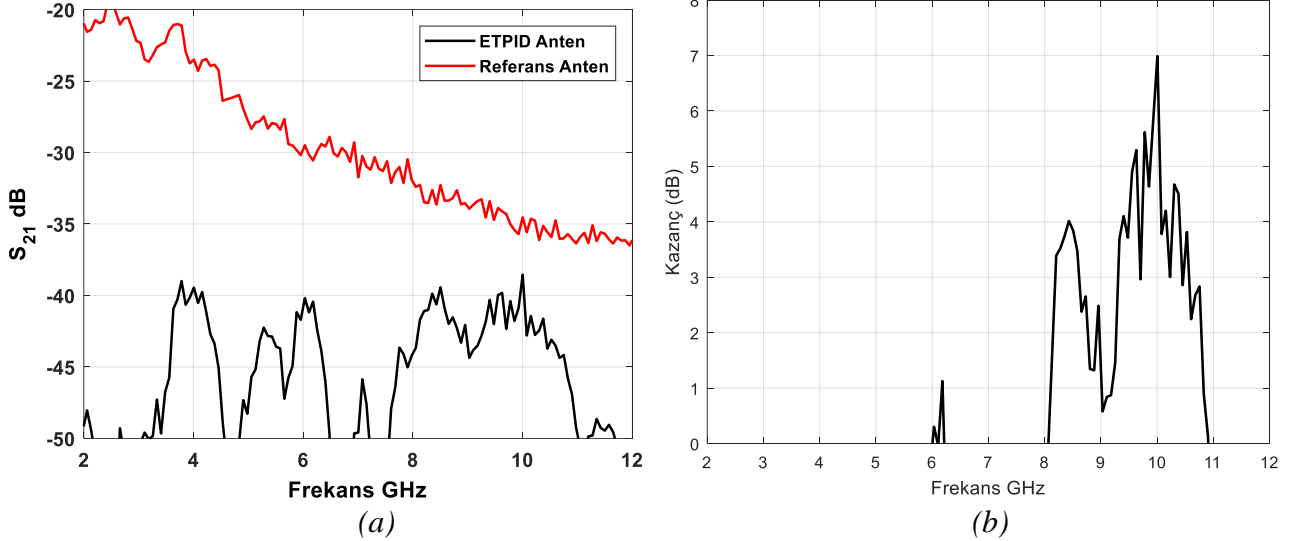
Modern haberleşme sistemlerinin önemli özelliklerinden biri elektronik tarama yeteneğidir. Bu çalışma kapsamında elektronik huzme yönlendirme özelliğine sahip Elektriksel Taramalı Pasif Işımalı Dizi (ETPID) tabanlı akıllı anten tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 8'de üretilen antenin geri dönüş kaybı ölçülmüştür. 10GHz rezonans frekansında S_{11} değeri -15dB ölçülmüştür. Antenin -10dB band genişliği 450MHz olarak ölçülmüştür.



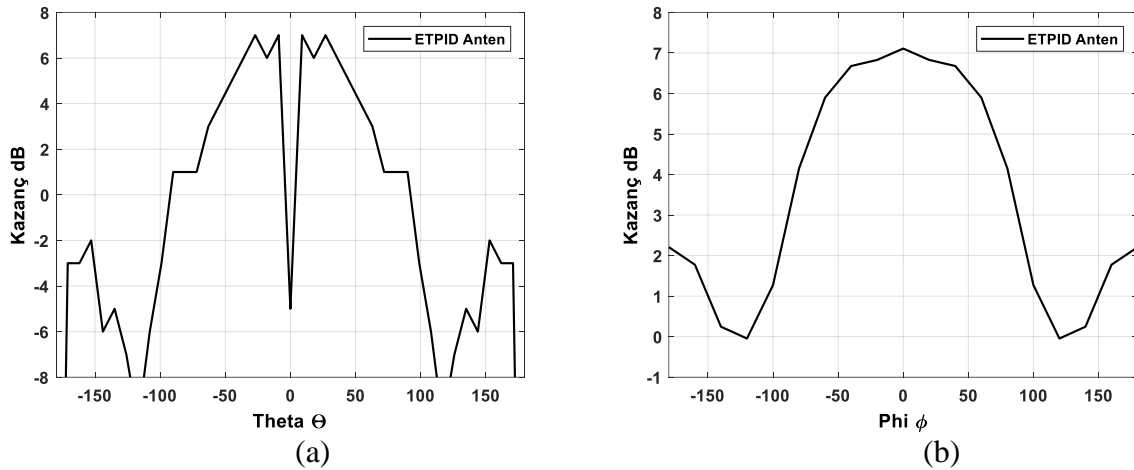
Şekil 8. Geri Dönüş Kaybı (S_{11}) Ölçüm Sonucu

Şekil 9 (a)'da üretilen antenin iletim karakteristiği referans anten ile birlikte verilmiştir. Şekil 9 (b)'de ise reaktif eleman değerleri 0.25pF olarak ayarlanıp referans antene göre maksimum kazanç ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda antenin 7dB kazanç elde edilmiştir.



Şekil 9. ETPID antenin (a) İletim Karakteristiği (S_{21}) (b) Maksimum kazanç (Reaktif Eleman Değerleri Aynı)

Şekil 10'da Theta ve Phi yönlerinde antenin pateni verilmiştir. Theta düzleminde 0^0 yönünde anten ışıma yapmamaktadır. Phi 0^0 yönünde ise 7dB lik kazanç sahiptir.



Şekil 10. ETPID antenin (a) Theta Düzleminde Kazanç Ölçümü (b)Phi Düzleminde Kazanç Ölçümü (Reaktif elemanlar $C1: 0.25pF$, $C2=C3=C4=C5=C6:10pF$)

Sonuç olarak yedi elemanlı ETPID anteni, aktif merkez elemanı ve altı adet pasif eleman ile tasarlanmıştır. Değişken kapasiteler kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda, pasif dipol elemanlarının reaktans yüklerinin değerlerini değiştirerek maksimum yönlendirmeyi değiştirmek üzere kolayca kontrol edilebildiği gözlenmiştir. Theta ve phi'nin belirtilen yönlerinde 7dB kazanç elde edilmiştir. Tasarlanan antenin bant genişliği 450 MHz'dir ve huzmesi 360^0 yönlendirilebilmektedir. Değişken kapasiteler kullanılarak yapılan ölçümler

sonucunda, varaktör diyotların kapasite değişimi ile elektronik huzme tarama gerçekleştirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi BAP 2017.F14.02.01 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Alrabadi, O.N., Perruisseau-Carrier, J., Kalis, A.(2012). MIMO transmission using a single RF source: theory and antenna design, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 60, (2), pp. 654–664.
- Anbaran, A.G., Mohammadi, A., Abdipour, A. (2015). Capacity enhancement of ad hoc networks using a new single-RF compact beamforming scheme, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 63, (11), pp. 5026–503.
- A-info, lb8180, 0.8-18 Ghz broadband horn antenna available at: http://www.ainfoinc.com/en/p_ant_h_brd.asp
- Cheng, J., Hashiguchi, M., Iigusa, K., Ohira, T., (2002). Electronically steerable parasitic array radiator antenna for omnidirectional sector pattern forming applications to wireless ad hoc networks, *IEE Proceedings online*, no. 20030548 doi:10.1049/ipmap: 20030548.
- Dimousios, T. D., Tsitouri, C. I., Panagiotou, S. C., Capsalis, C. N., (2008). Design and Optimization of a Multipurpose Tri-band Electronically Steerable Parasitic Array Radiator (ESPAR) Antenna with Steerable-Beam-Pattern for Maximum Directionality at the Frequencies of 1.8, 1.9 and 2.4 GHz with the Aid of Genetic Algorithms,” *Loughborough Antennas & Propagation Conference*, pp. 253-256.
- Gyoda, K., Ohira,., (2000). Design of Electronically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) Antennas, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 922-925.
- Ilsoo, S., Gwak, D. (2016). Single-RF MIMO-OFDM system with beam switching antenna, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*.
- Islam, M.R., Ali, M.(2010). ‘Elevation plane beam scanning of a novel parasitic array radiator antenna for 1900MHz mobile handheld terminals’, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2010, 58, (10), pp. 3344–3352
- Liberti, J.C., Rappaport, T.S.,(1999). *Smart Antennas for Wireless Communications, IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, P. Hall PTR.
- Liu, H.T., Gao, S., Loh, T.H.(2012). Electrically small and low cost smart antenna for wireless communication, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, , 60, (3), pp. 1540–1549
- Petit, L., Dussopt, L., Laheurte, J.M. (2006). MEMS-switched parasitic-antenna array for radiation pattern diversity, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 54, (9), pp. 2624–2631
- Preston, S.L., Thiel, D.V., Lu, J.W., et al.(1997). Electronic beam steering using switched parasitic patch elements, *IET Electron. Lett.*, 33, (1), pp. 7–8
- Sawaya, T., Iigusa, K., Taromaru, M., et al. (2004). Reactance diversity: proof-of-concept experiments in an indoor multipath-fading environment with a 5-GHz prototype planar ESPAR antenna. *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conf., CCNC*, Jan 2004, pp. 678–680
- Schlub, R., Lu, J., Ohira, T. (2003). Seven-Element Ground Skirt Monopole ESPAR Antenna Design From a Genetic Algorithm and the Finite Element Method, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 51(11),3033-3039.
- Sun, J., Chen, W., Wang, X., Jiang, W., Feng, Z., (2012). Design and preliminary analysis of a pattern reconfigurable terminal MIMO antenna for receiving antenna selection, *ICMMT2012*, pp.1737-1740.
- Yousefbecki, M., Perruisseau-Carrier, J. (2014). Towards compact and frequency-tunable antenna solutions for MIMO transmission with a single RF chain, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2014, 62, (3), pp. 1065–1073
- Zhang, S., Huff, G.H., Feng, J., et al.(2004). A pattern reconfigurable microstrip parasitic array, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 52, (10), pp. 2773–2776

Design of 7 Element ESPAR Antenna for Adaptive Pattern Steering

Extended abstract

Electronically Steering is one of the important specs in modern communication system. In today's modern communication applications the phase scanning, time delay scanning, frequency scanning technique are most commonly used electronically scanning techniques, but also there are many research in this field to find a novel scanning method with less cost. Herein the design and realization of Electrically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) antenna structures had been studied. The work is consisting of antenna design, definition of design parameters simulation and experimental results. The 7 element ESPAR design has six passives and one active element. By using varicap diode the reactance value of the passive dipole elements are changed which allows a change of direction in the maximum propagation direction of the antenna in any frequency within the operation bandwidth without any distortion in the radiation pattern of the antenna. The antenna has a gain of 7 dB in the selected Theta and Phi directions. The antenna designed for 10 GHz applications has an operation bandwidth of 450 MHz with 360 degree steering ability. In Figs. 6-7 the measurement setup and the prototyped 7 element ESPAR antenna are given.

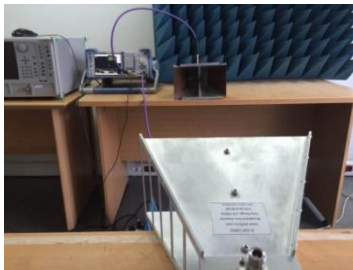


Figure 6. Measurement setup



Figure 7. the proposed prototyped 7 element ESPAR antenna

In Figs 8 & 10 the measurement results of the ESPAR antenna had been given. As it can be seen from the

measurement results of both return loss and gain characteristics of the ESPAR antenna, it is possible to easily steer the main beam of the antenna in any requested direction.

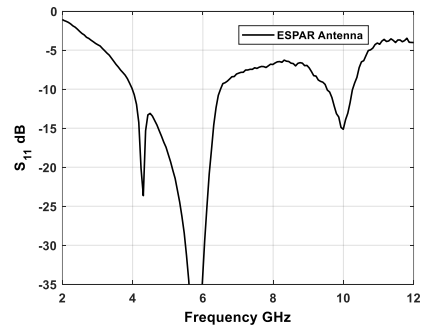


Fig. 8 Measured results of Return Loss (S_{11})

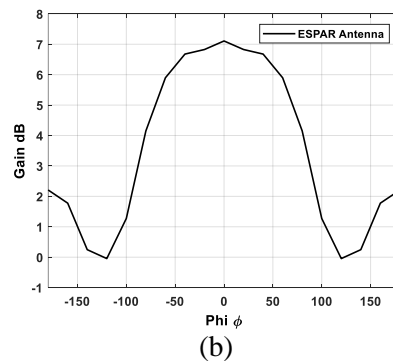
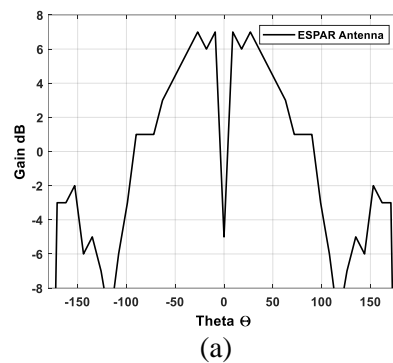


Fig. 10. Measured gain of the 7 element ESPAR antenna (a) at theta axis(b)phi Axis ($C1: 0.25\text{pF}$, $C2=C3=C4=C5=C6: 10\text{pF}$)

As it can be seen from the measurement results the change of reactance of the passive dipole elements allows steering in the maximum gain direction of the design over operation band. The proposed 7 element ESPAR antenna design achieves a performance of 7 dB maximum gain with 360° steerable gain at 10GHz with bandwidth of 450MHz.

Keywords: Array antenna, Pattern steering, Smart antenna, ESPAR