

2.4 GHz'de Yüksek Kazançlı Mikroşerit Yama Anten Tasarım ve Gerçekleştirimi

2.4 GHz High Power Microstrip Patch Antenna Design and Realization

Alper Yıldırım¹, H. Bülent Yağcı², Selçuk Paker²

¹Telenetronics n.p.sh, Mbreti Zog 61, 20000 Prizren, Kosova
alper@telenetronics.com

²İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
bulent.yagci@itu.edu.tr, spaker@itu.edu.tr

Özet

Çalışma, 2.4 GHz frekansında çalışan yüksek kazançlı ve yönlü mikroşerit yama antenin tasarımını sunmaktadır. Mikroşerit antenlerin ucuz üretim maliyeti ve düşük profildeki özelliklerinden dolayı bir çok araştırmacıyı bu tür antenlerin performanslarını farklı yollarla araştırmaları için cazip kılmıştır. Anten tasarımı esnasında yüksek kazancın yanısıra sabit ışınımlı modelin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma üç boyutlu anten modelini, benzetimini, fabrikasyonunu ve Ansoft – HFSS (Yüksek Frekans Yapı Benzetimi) yazılım paketinden elde edilen değişik sonuçları içermektedir. Geniş alan çalışma aralığı ve yüksek kazanç, tasarlanan mikroşerit yama anteninde gözlemlenmiştir.

Abstract

This work presents the design of high-gain directional microstrip patch antenna for operation at 2.4 GHz. Low cost of fabrication and low profile features of microstrip antennas, attract many researchers to investigate the performance of this antenna in various ways. The design requirements for the antennas include a VSWR of less than or equal to 2:1 for 50 Ohm reference impedance, antenna design is aimed to obtain high-gain and fixed-beam radiation pattern. The study includes of the development of a three-dimensional antenna model, antenna simulation, fabrication and analysis of results based on various outputs of the Ansoft–HFSS (High Frequency Structure Simulator) software package. Wideband operation and high gain was observed in designed microstrip patch antenna.

1. Giriş

Haberleşme geniş olarak bilginin bir noktadan diğer bir noktaya aktarımı olarak tanımlanabilir. Haberleşme sistemi içinde bilgi aktarımı, bilgiyi elektromagnetik bir dalgaya module ederek elde edilir ki bu, bilgi sinyalinin taşıyıcı rolünü oynar. Module edilmiş taşıyıcı, istenilen varış noktasına ulaştığında asıl bilgi sinyali demodule edilerek yeniden elde edilir. Günümüzün modern haberleşme endüstrisinde, haberleşme bağlantılarının en önemli bileşenlerini antenler oluşturmaktalar.

Wi-Fi ve Wi-Max gibi yeni teknolojilerde kendi dış alan uygulamalarında mikroşerit yama antenleri üstün olan yönlerinden dolayı çoğu kez tercih etmekte. Ayrıca, mikroşerit antenlerin askeri uçaklarda, füze, roket ve uydular teknolojilerinde kullanıldığı bilinir.[1]

2. Mikroşerit Yama Antenler

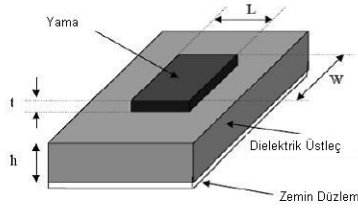
İlk olarak mikroşerit antenlerin kavramı Deschamps[2] tarafından 1953 yılında önerilmiştir, oysa 1955 yılında Fransada Gutton ve Bassinot[3] adına patenti alınmıştır. O zamandan beri aradan yirmi yıl'a yakın bir süre geçtikten sonra ilk pratik mikroşerit anteni 1970 senesinde Munson [4] ve Howell [5] tarafından üretilmiştir. İlk olarak Howell mikroşerit anten tasarımını tanıtırken, Munson düşük profil mikroşerit antenini roketlere ve füzelere monte etmek ile meşguldu. Ek olarak, mikroşerit antenlerin gelişmesindeki araştırma yayınları Bahl ile Bhartia [6] ve James, Hall ile Wood [7] tarafından yayımlanıyordu. Aynı şekilde mikroşerit antenler ile ilgili araştırmalar Dubost tarafından da yürütülüyordu. Doğrusu, tüm bu yayımlamalar halen günümüzde kullanılmaktadır. Ekim 1979 yılında, ilk uluslararası toplantı mikroşerit antenlerin malzemesi, pratik tasarımları, düzen konfigürasyonları ve teorik modelleri hakkında New Mexico State Üniversitesinde ABD Askeri Araştırma Ofisi ve New Mexico State University's Physical Science Laboratory sponsorluğunda düzenlenmiştir[8],[9]. 1980 yılları sadece önemli araştırma yayımlarıyla olmamakla birlikte aynı zamanda pratikte mikroşerit antenlerin gerçekleştirmesinin ve fabrikasyonunun da yapıtışı yılları olmuştur.[10]

2.1 Temel Mikroşerit Yama Anteni

Geleneksel mikroşerit yama anteni temel olarak dielektrik zemin üzerinin tarafındaki ışınan metal yama ile diğer tarafındaki toprak zemin düzleminden oluşmaktadır (Şekil 1). Metal yama genelde bakır, gümüş veya altın olan iletken malzemeden yapılabilmektedir ve çok farklı şekiller alabilmektedir örneğin kare, dikdörtgen, dipol, dairesel, eliptik, üçgen, disk dairesel dilim, dairesel çember, ve çember dilim, ama bizim çalışmamızda kare yama kullanılmıştır çünkü bu analizlerin ve performansın önceden tahminlerini kolaylaştırmaktadır. Yinede, geleneksel kare, dikdörtgen ve dairesel mikroşerit yama antenleri aralarında en ünlü tipler olarak bilinirler çünkü fabrikasyonları kolay olmakla birlikte çapraz polarizasyon gibi ışınım karakteristiği ön planda tutmaktadır. Yamaların bulunduğu dielektrik zemin manyetik değildir. Önemli parametre olarak görelî permitivite bilinmektedir. Bağlı permitivite saçak (kenar) alanlarını çoğaltmaktadır ki bu ışınımı etkilemektedir. Bu tip anten L uzunluğuyla, W genişliğiyle ve H kalınlığıyla karakterize edilir (Şekil 1).

İyi anten performansı yakalamak için, genelde düşük dielektrik sabitine sahip olan kalın dielektrik zemini tercih edilmelidir

çünkü bu daha çok verimlilikle birlikte, daha büyük bant genişliği ve daha güzel ışımaya sağlayacaktır.



Şekil 1. Geleneksel dikdörtgen yama mikroşerit anten yapısı

2.2. Besleme Teknikleri

Antenin güç bağdaştırması, antenin içine veya dışına doğru farklı metodlarla gerçekleştirilebilir, bu metodlar temaslı besleme ve teması olmayan besleme metodu olarak ayrılabilirler[11]. Temaslı metod, mikroşerit hat sayesinde RF gücü ışıyan yamayı doğrudan beslemektedir.

Temassız metotta besleme hattının ve ışıyan yamanın arasında elektromagnetik bağdaştırıcı kullanılmaktadır. En önemli dört tane besleme tekniği bilinmektedir: 1. Eşeksenli sonda ve 2. Mikroşerit hat (her ikisi temaslı metodlar) ile 3. Delik bağdaştırma ve 4. Yakınlık bağdaştırma Teknikleri (her ikisi temassız metodlar).

2.3. Analiz Modelleri

Mikroşerit antenler için bir çok analiz modeli bulunmaktadır. Mikroşerit yama antenlerin analizi için en ünlü modeller olarak: iletme hattı modeli, oyuk modeli ve tam dalga modeli (bu model birincil olarak integral denklemlerini /Moment Metodu'nu içermekte) olarak bilinir.[12]

İletme hattı modeli diğer modeller arasında en basit model olup güzel de fiziksel kavrayışa sahiptir, eksikliği ise çok doğruluk göstermemesidir. Oyuk modeli daha sağlam sonuç verir sadece çok complex doğaya sahiptir. Tam dalga modeli aşırı doğrudur, çok yönlü ve tek elemanlar ile muhatab olur, sonlu ve sonsuz sıraları, yığın elemanlarını ve isteğe göre şekil verilmiş elemanlar ile ilgilidir.

3. Mikroşerit Yama Antenin Tasarımı, Gerçekleştirimi ve Simulasyonu

Mikroşerit yama anten tasarımı için iletme hattı modeli, mikroşerit yama anten boyutları hesaplaması için kullanılmıştır. Bu çalışmanın ana fikrinin yönlü mikroşerit dizi antenin tasarlanmasıdır, ama önceden temel dikdörtgen yama anteni tasarlandıktan sonra, antendeki dikdörtgen yamanın boyutlarını, besleme hatlarını ve diğer parametreleri en iyi tabanı bularak optimize ederek tasarlanacaktır.

3.1. Temel Dikdörtgen Yama Anteni

Mikroşerit yama anteninin rezonans frekansı f_0 2.4-2.45 GHz civarı olması istenir ve bu frekansta rezonansa girmesi için alttaki boyutların alınması gerekiyor:

FR-4 tabakasının kalınlığı	$t = 2.6$ mm
Malzemeye özgü bağlı dielektrik sabiti ϵ_r	$\epsilon_r = 4.4$
Dielektrik tanjan kaybı	$\tan \delta = 0.019 \cong 0.02$
Temel yama boyutları	37mm x 29mm
Zeminden olan yüksekliği	$h = 1.588$ mm

Optimal bantgenişliği 2.45GHz frekansında çalışması için aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$W = \frac{1}{2f_0\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

$$W = \frac{30}{2 \times 2.45} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 6.122 \times 0.608 = 3.72 \text{ cm} \quad (3.2)$$

$$W = 3.72 \text{ cm} \cong 3.7 \text{ cm}$$

Eğer $\frac{W}{h} \geq 1$ ise, efektif dielektrik sabiti ϵ_{reff} (3.3)' ten bulunur.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right] \quad (3.3)$$

$$\epsilon_r = 4.4, \quad h = 1.588 \text{ cm} \text{ ve } W = 3.7 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{reff} = 4.08 \text{ olarak elde edilir.}$$

Eğer alttaki koşul sağlanırsa, ϵ_{reff} -frekans fonksiyonu geçerli olacaktır

$$1 \leq \epsilon_{reff} \leq \epsilon_r$$

L_{eff} - efektif uzunluk (3.4) numaralı formülden bulunur:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.4)$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \quad \epsilon_{reff} = 4.08 \text{ ve } f_0 = 2.45 \text{ GHz}$$

için $L_{eff} = 3.03 \text{ cm}$ olarak bulunur.

ϵ_{reff} değeriyle saçak (kenar) faktor ΔL bulunabilir:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.5)$$

$$\Delta L = 0.073 \text{ cm}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (3.6)$$

$$L = 2.884 \text{ cm} \cong 2.9 \text{ cm}$$

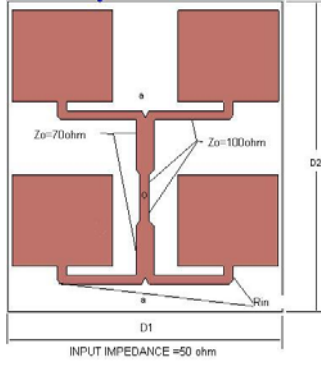
Sonunda temel dikdörtgen yamanın boyutları:

$$W = 37 \text{ mm} \times L = 29 \text{ mm} \text{ olarak alınır.}$$

3.2. Mikroşerit Dizi Anten Tasarım İlkleri

Mikroşerit dizileri, mikroşerit elemanlarının ve mikroşerit besleme ağlarının içerdikleri güç bölücüleri, iletim hatları, faz hatları ve aktif bileşenleriyle bir entegrasyonudur.

Çalışmanın ana hedefi dört tane yama elemanı ikiye-iki dizilişinde olan yüksek kazançlı yönlü anten tasarımıdır, şekil 2'de görüldüğü gibi.



Şekil 2. Yönlü mikroşerit anten

Her elemanın çeyrek-dalga dönüştürücüsüyle giriş empedansı R_{in} 100Ω -a uyumlaştırılmıştır. Girişi 100Ω -luk her çift a noktasında 50Ω sağlaması için kombine edilmiştir. 50Ω -luk empedans 70Ω çeyrek-dalga dönüştürücüsüyle 100Ω -a dönüştürülmüştür. İki tane 100Ω -luk iletim hatları aralarında paralel olarak girişlerinde 50Ω -u sağlamak için 100Ω -luk empedansa sahipler.

Mikroşerit diziler herhangi $2^n - ile - 2^m$ gibi dizilere genişletilebilirler. Birleşik besleme ağları eşit güç ve faz bölünmeyi sağlamak için genişletilmiştir, çünkü simetrik hat uzunlukları mikroşerit elemanlarının girişine tüm elemanlarının fazda beslenmelerini etki eder.

Mikroşerit dizinin en yüksek verimi (3.7)'de verilmiştir:

$$G_{dB} = 10 \log \left(\frac{4\pi A}{\lambda_0^2} \right) - a * (D_1 + D_2) / 2 \quad (3.7)$$

Burada: $A = D_1 * D_2$

$D_1 =$ Düzenli dizi alanının etkili genişliği

$D_2 =$ Düzenli dizi alanının etkili yüksekliği

$a =$ zayıflama, 50Ω -un, birim uzunluk başına dB olarak, (a -nın tipik değeri $12.2dB/cm$, 50Ω mikroşerit hattın ve $0.794mm$ teflon fiberglass için $2.2GHz$ frekansı için alınmıştır).[12]

Mikroşerit yama anteninin rezonans frekansı (f_0) $2.4GHz$ civarında olması istendiği için, yama boyutlarını FR-4 kalınlığıyla birlikte tabanın da yüksekliğini optimize etmek gereklidir. Böylece dört elemanlı mikroşerit dizi anteni için aşağıda belirtildiği gibi yeni boyutlar kullanılmıştır: (Şekil 2)

FR-4 kalınlığı	$t = 0.6 \text{ mm}$
Malzemeye özgü bağıl dielektrik sabiti ϵ_r	$\epsilon_r = 4.4$
Dielektrik tanjant kaybı	$\tan \delta = 0.019 \cong 0.02$
Temel yama boyutu	$55mm \times 50mm$
Taban yüksekliği	$h = 1.588mm \cong 1.6 \text{ mm}$

3.3. Benzetim Kurulumu

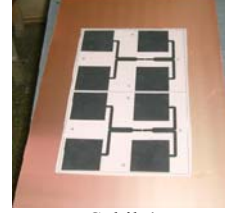
Tasarlanmış antenin modellemesinde ve analizlerinin yapılmasında Ansoft-HFSS v.11 uygulaması kullanılmıştır. İlk aşamada tek dikdörtgen yama antenin benzetimi yapıldıktan sonra yüksek kazançlı yönlü anten parametrelerinin optimizasyonu benzetimi yapılmıştır. Temel dikdörtgen yama anteninin HFSS-te benzetimi yapılmıştır ve aynı şekilde yüksek kazançlı yönlü anteninde benzetimi HFSS-te yapılmıştır. [13]

3.4. Mikroşerit Yama Antenin Fabrikasyon Süreci

Mikroşerit yama antenin fabrikasyonu için sözü edilen prosedür izlendi: Anten çizimi CorelDraw V.14 uygulamasında yapıldı (Şekil 3), çizimden sonra, FR-4 malzemesi çizimini karşılayabilecek şekilde kesilmiştir. (Şekil 4)

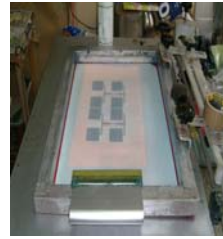


Şekil 3

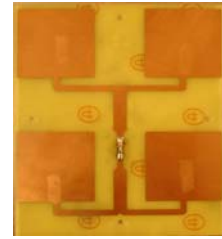


Şekil 4

Şekil 5'te görüldüğü gibi çizimden FR-4 plakasına ipek baskı ile şekil aktarılmıştır. FR-4 plakası baskıdan sonra şeklin dışındaki kalan bakır bölgelerden arınmak için asite konulur. En son olarak FR-4 plakası $1mm$ 'lik zemin alüminyum plakasıyla ve 50 ohm N-dişi şase tipi konektörle birleştirilmek üzere anten tamamlanmış olur. (Şekil 6)



Şekil 5



Şekil 6

Ve son olarak Şekil 7-de görüldüğü gibi anten açık alan uygulamalarında kullanılmak için ABS ve alüminyum kombinasyonu olan kabin içine yerleştirilir..

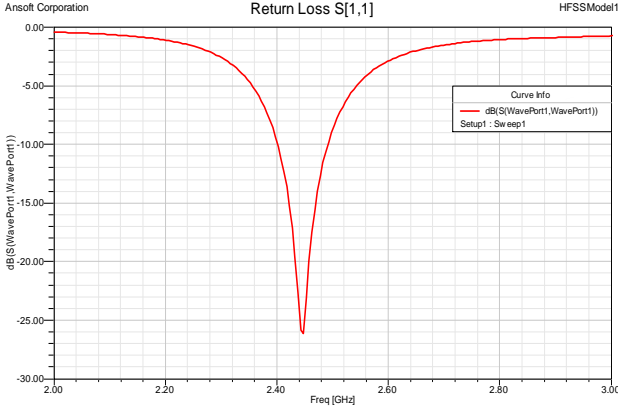


Şekil 7. Dış alan uygulamaları için mikroşerit yama anteni

4. Anten Ölçümleri ve Sonuç Analizi

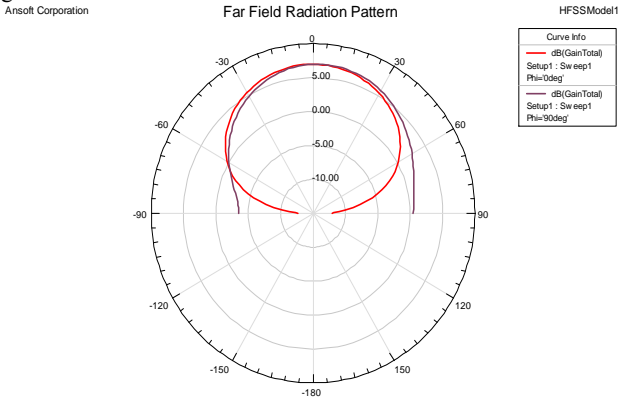
Bu bölümün ilk aşamasında dikdörtgen yama boyutları W ve L , taban ile yansıtıcı arasındaki mesafe, tambur için kullanılmış malzeme ve onun bağıl dielektrik sabiti ϵ_r gibi parametrelerin analizi yapılmıştır. Oysa ikinci aşamada tüm bu parametreler optimize edilerek yüksek kazançlı yönlü antenin analizleri yapılmıştır.

Tek dikdörtgen yama için elde edilen frekans cevabı şekil 8'de gösterilmekte, şekildedeki görüldüğü gibi 2.45 GHz frekansındaki rezonansa girmekte olup geri dönüş kaybı yaklaşık $-26dB$ dir. Geri dönüş kaybının güzel sonuç vermesi için kusursuz yama boyutları ve besleme yollarının empedanslarını uyumlaştırılmasının rolü çok yüksektir.



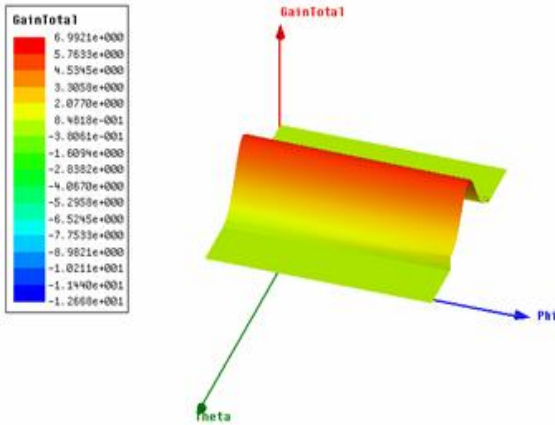
Şekil 8. S_{11} Temel dikdörtgen yama için geri dönüş kaybı

Temel dikdörtgen yama antenin 2.42 GHz'deki (E-düzlem ve H-düzlem) için Uzak alan kutupsal çizimi Şekil 9'da görülebilir



Şekil 9. Temel dikdörtgen yama antenin Uzak alan kutupsal çizimi

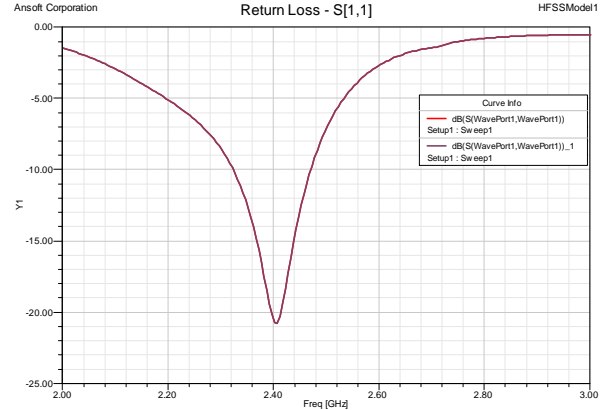
Temel dikdörtgen yama antenin Kartezyen uzak alan çizimi Şekil 10'da görülebilir.



Şekil 10. Temel dikdörtgen yama antenin Uzak alan kartezyen çizimi

Temel dikdörtgen yama anteni, yüksek kazançlı yönlü antenin bir elemanı olduğundan dolayı üstteki simülasyonlar temel dikdörtgen yama anteni için yapıлып asıl bizi ilgilendiren yüksek kazançlı yönlü antenin analizleridir. Yüksek kazançlı yönlü anten için elde edilen frekans cevabı şekil 11'de gösterilmiştir, şekildedeki görüldüğü gibi 2.4 GHz

frekansındaki rezonansa girmekte olup geri dönüş kaybı yaklaşık -21dB dir. Bu sonuca sebep olan güzel empedans uyumlaştırması olarak gösterilebilir. Bununla birlikte, çalışma frekansındaki ince kaymanın kusursuz tabanın veya boyutların seçiminden olabildiğini söyleyebilmek mümkündür.



Şekil 11. S_{11} Yüksek kazançlı yönlü antenin geri dönüş kaybı

S_{11} 'in daha az veya eşit olduğu 10dB frekans aralığında antenin band genişliği tanımlanır. Band genişliği (4.1)' numaralı denklemden hesaplanabilir:

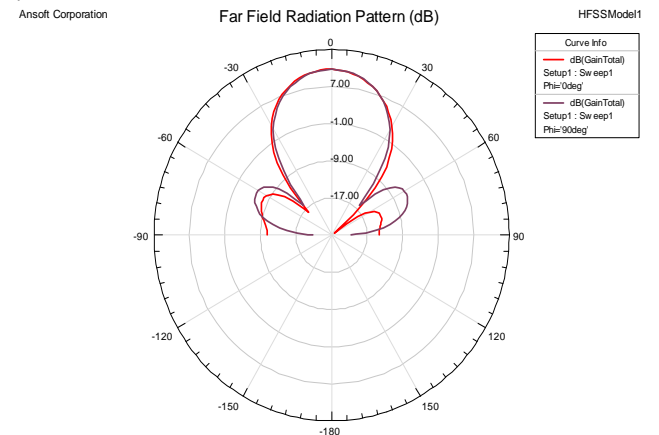
$$BW = \frac{(f_2 - f_1)}{f_0} \times 100\% \quad (4.1)$$

Burada:

f_0 : S_{11} 'in en küçük olduğu durum veya orta frekans

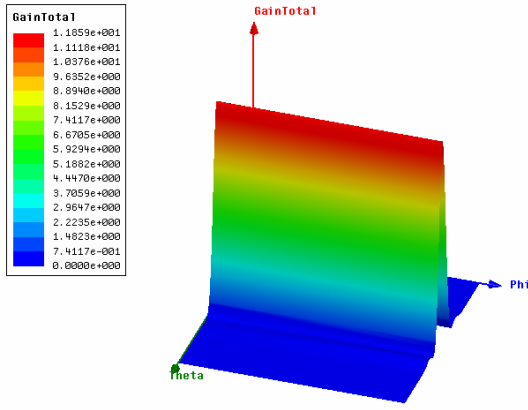
f_1, f_2 : S_{11} 'in -10dB'e eşit oldukları frekanslar

Üstteki denklemi kullanarak yüksek kazançlı yönlü antenin band genişliği yaklaşık olarak 6,7 % olarak elde edilir. Yüksek kazançlı yönlü antenin 2.4 GHz'deki (E-düzlem ve H-düzlem) için Uzak alan kutupsal çizimi Şekil 12'de görülebilir



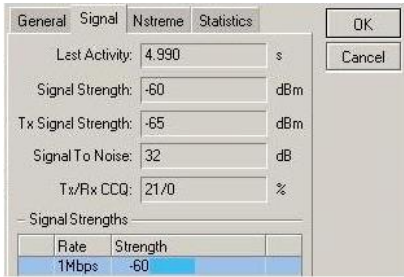
Şekil 12. Yüksek kazançlı yönlü antenin Uzak alan kutupsal çizimi

Yüksek kazançlı yönlü antenin Kartezyen uzak alan çizimi Şekil 13'te görülmektedir

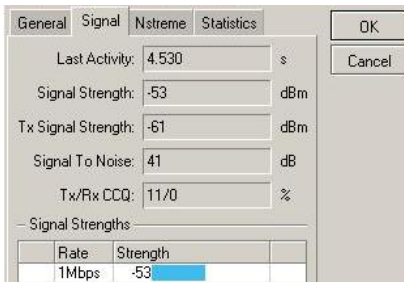


Şekil 13. Yüksek kazançlı yönlü antenin Uzak alan kartezyen çizimi

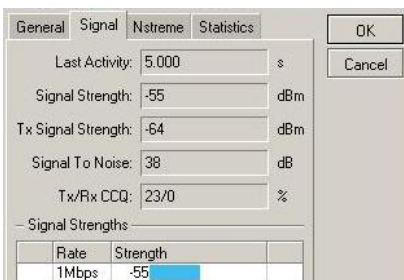
Üretilen yüksek kazançlı yönlü antenin geri dönüş kaybı S_{11} 100Hz-26.5GHz frekans aralıklı Agilent E7405A EMC analizör ile ölçülmüştür. Üretilen anten kıyaslanmak için diğer iki tane farklı mikroşerit yama anten ile birlikte test edildi. Şekil 14'te 12dBi mikroşerit yama anten sonucu görülmektedir, Şekil 15'te ise 18dBi mikroşerit yama anten sonucu verilmiştir ve son olarak Şekil 16'da bu çalışmada konu olan antenin sinyal seviyesi gösterilmiştir.



Şekil 14. 12 dBi yama antenin sinyal seviyesi



Şekil 15. 18 dBi yama antenin sinyal seviyesi



Şekil 16. Yeni üretilen antenin sinyal seviyesi

Sinyal seviye testleri birinci noktada 12dBi panel anten ile 26dBm(400mw) çıkış gücü olan bir (Wi-Fi b/g) radio birimi kullanılıp diğer noktadaysa 20dBm(100mw) çıkış gücü olan radio ile 3 farklı anten kullanılmıştır. Noktalar arasındaki mesafe yaklaşık 1 km olup, gürültülü ve 2.4GHz frekansının çok yoğun olduğu koşullarda test edilmiştir

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmanın ana amacı 2.4 GHz frekansında içinde dört adet dikdörtgen yama bulunduran yüksek kazançlı yönlü anten üretimidir.(Şekil 3) Uygulama benzetiminden elde edilen sonuçlar ile laboratuvardaki spektrum analizör tarafından elde edilen sonuçların birbirlerine çok yakın olmaları gözlemlenmiştir. Üretilmiş olan antenin çalışma frekansı 2.4- 2.45 GHz frekans aralığında olmakla birlikte yaklaşık 6.7%'lik bir bant genişliğe sahiptir.

İlerideki çalışma için $2'' - ile - 2'''$ boyutlarında yeni ve daha farklı mikroşerit anten üretmek mümkündür. Mikroşerit yama antenin tabanını değiştirerek aynı zamanda dielektrik sabiti de değişmiş olduğu için yama boyutlarını küçülebilmemiz mümkün olur ve bu şekilde antenin de boyutları küçülmüş olacaktır. Yama boyutlarındaki değişikliklerle aynı zamanda antenin de farklı frekans aralıklarında çalışması mümkün olabilir.

6. Referanslar

- [1] C.A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*, 2nd ed., Wiley, New York, 1997, p. 4,164.
- [2] G. A. Deschamps, *Microstrip Microwave Antennas*, presented at 3rd USAR Symposium on Antennas, 1953
- [3] H. Gutton and G. Baissinot, "Flat Aerial for Ultra High Frequencies," French Patent No. 703113, 1995.
- [4] R. E. Munson, "Single Slot Cavity Antennas Assembly," U.S. Patent No.3713162, Jan 23, 1973.
- [5] J. Q. Howell, "Microstrip Antennas," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Jan 1975, pp.90-93.
- [6] R.Garg, P.Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Boston-London, 2001, pp 8
- [7] J. R. James et al, "Microstrip Antenna Theory and Design," IEE and Peter Peregrinus, London and New York, 1981.
- [8] *Proc. Workshop on Printed Circuit Antenna Technology*, Paper 31, New Mexico State University, Las Cruces, Oct 1979, pp. 480.
- [9] K. R. Carver and J.W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, Vol. AP-29, No. 1, Jan 1981, pp.24.
- [10] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antennas, Volume 1," Peter Peregrinus Ltd, London, 1989.
- [11] R. Q. Lee and K. F. Lee, "Experimental Study of Two-layer Electromagnetically Coupled Rectangular Patch Antenna," *IEEE Trans. of Antennas and Propagat.*, vol.AP-38, no.8, pp.1298-1302, Aug. 1990.
- [12] K. Chung, Y. Nam, T. Yun, and J. Choi, "Reconfigurable Microstrip Patch Antenna with Switchable Polarization," *ETRI Journal*, Volume 28, Number 3, June 2006
- [13] www.ansoft.com "User's guide – High Frequency Structure Simulator" Version 10, 2005