

ULTRA GENİŞ BANT UYGULAMALARI İÇİN TASARLANMIŞ BİR DÜZLEMSEL ELİPTİK TEK KUTUPLU ANTEN

Göker ŞENER*

Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06790, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 06.10.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 09.01.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1005515

ÖZET

Bu makalede 1-10 GHz ultra geniş bantta ışıma yapabilen bir düzlemsel eliptik tek kutuplu anten tasarlanmıştır. Yapısal olarak düzlemsel tek kutuplu antenler mikro şerit antenlerin kalınlığının artırılarak toprak düzleminin ortadan kaldırılması ile elde edilir. Mikro şerit antenlerin kalınlığının artması ile tüm rezonans frekanslarında oluşan dalga kiplerinin frekans bandı da artmış olur. Böylece ultra geniş bantlı ışıma meydana gelir. Bununla birlikte tek kutuplu antenler, tüm bant boyunca her yönde aynı ışıma özelliği göstermezler. Genelde arzu edilen, tüm bant boyunca tek yönlü doğrusal polarizasyonda ve dik yönde yüksek kazanç verecek bir ışıma karakteristiğidir. Bu makalede bu özelliği sağlamak için farklı boyutta iki eliptik tek kutuplu anten, yansıtıcı bir toprak düzlemi üzerine yerleştirilmiştir. Bu tasarlanan anten bütün bant boyunca tek yönlü doğrusal polarizasyon ile dik yönde 1-10 GHz frekanslarında sırasıyla 4.38-3.22 dB kazanç sağlamaktadır. Elde edilen bu değerler literatürdeki diğer eliptik tek kutuplu antenlerle karşılaştırılmış ve tasarımın bant boyunca aynı ışıma karakteristiği ile 3.22 dB'nin üzerinde kazanç sağladığı gösterilmiştir. Önerilen bu anten, 2.4-5 GHz geniş bant WLAN sistemleri ve anten ölçümleri gibi ultra geniş bant uygulamalarında kullanılmaya uygundur.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit antenler, ultra geniş bantlı antenler, düzlemsel eliptik tek kutuplu antenler

A PLANAR ELLIPTICAL MONOPOLE ANTENNA DESIGNED FOR ULTRA WIDE BAND APPLICATIONS

ABSTRACT

In this article, a planar elliptical monopole antenna is designed that can radiate in 1-10 GHz ultra-wide band. Structurally, planar monopole antennas are obtained by increasing the thickness of microstrip antennas and eliminating the ground plane. As the thickness of microstrip antennas increases, the bandwidth of the wave modes formed at all resonant frequencies also increases. Thus, ultra-wide-band radiation occurs. However, monopole antennas do not show uniform radiation characteristics throughout the entire band. It is generally desirable to have radiation characteristics that give high gain in broadside direction with linear polarization throughout the entire band. In this article, two different sizes of elliptical monopole antennas with a reflective ground plane are used to provide this feature. This antenna provides a gain of 4.38-3.22 dB at 1-10 GHz frequencies in the broadside direction with linear polarization throughout the entire band. These obtained values are compared with other elliptical monopole antennas in the literature and it is shown that the design provides a gain of over 3.22 dB with the same radiation characteristics throughout the band. The proposed antenna is suitable for use in ultra-wideband applications such as 2.4-5 GHz broadband WLAN systems and antenna measurements.

Keywords: Microstrip antennas, ultra wide band antennas, planar elliptical monopole antennas

1. Giriş

Günümüzde birçok kablosuz haberleşme sistemleri geniş bir frekans bandı içinde çalışmaktadır. Örneğin, GSM (global system for mobile communication) sistemleri 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında, WLAN (wireless local area network) sistemleri 2.4-5 GHz bandında ve birçok radar

* e-posta: sener@cankaya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7563-3254> (Sorumlu Yazar),

sinyalleri ise 8-12 GHz bandında haberleşme yapmaktadır [1]. Bu sistemlerin bazıları eşit yönlü (izotropik) anten kullanımı gerektirirken, birçoğu da dik yönde ışınım kabiliyeti olan kazançlı antenler gerektirmektedir. Örneğin anten ölçümünde kullanılacak bir antenin ultra geniş bir bantta çalışmasının yanında yönlü kazançla sahip olması da beklenir [2].

Düzlemsel tek kutuplu antenler bu amaçla sıklıkla kullanılırlar zira ultra geniş bir empedans bandına sahiptirler. Bu antenlerin yapısı mikro şerit antenlere dayanmaktadır. Mikro şerit yama antenler ise genel olarak 5-6 dB kazançında dik yönde ışınım yapan dar bantlı antenlerdir. Bu antenlerin empedans bandını genişletmek için tabaka kalınlığını arttırmak veya tabakada kullanılan yalıtkan maddenin elektrik geçirgenliğini düşürmek gerekir [3].

Tek kutuplu antenler mikro şerit yama antenlerin elektrik geçirgenliği $\epsilon_r=1$ kullanılarak ve tabaka kalınlığının artırılması ile elde edilir. Antenin kalınlığı arttığı için de bant genişlemektedir. Ayrıca yamanın kenardan beslenmesi ile yüzeyde oluşan empedans eşleme problemleri de ortadan kaldırılmış olur. Ayrıca tabaka yüksekliğinin artması ile toprak düzlemi ve iletken yama arasındaki etkileşim de azalır. Böylece birçok tek kutuplu anten toprak düzlemi tamamen ortadan kaldırılarak da kullanılabilir [4-7].

Düzlemsel tek kutuplu antenlerin yama şekilleri dikdörtgen, üçgen, dairesel veya eliptik olabilir [8]. En fazla empedans bandını dairesel yakın boyutta eliptik antenler vermektedir. Yama içinde birçok geniş bantlı yüksek sıralı kip üretilir ve bu kiplerin her biri geniş bantlı olduğu için toplam frekans bandı da artmaktadır. Bununla birlikte düzlemsel tek kutuplu antenlerin en büyük dezavantajı ise yüksek sıralı kiplerin ışınım karakteristiğinin bütün frekans bandında aynı olmamasıdır. Özellikle tek yönde doğrusal polarizasyon ve dik yönde yüksek kazanç veren bir ışınım karakteristiği bandın alt bölümlerinde mevcuttur. Örneğin, [9]'da düzlemsel eliptik tek kutuplu antenlerin üzerinde çalışılmış ve farklı eliptik oranlar için anten ışınım karakteristiği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada 1.5, 4 ve 6 GHz frekanslarında anten ışınım örüntüsü gösterilmiştir. Burada 1.5 ve 4 GHz alt bantlarında hemen hemen eş yönlü olan anten ışınım örüntüsünün 6 GHz'de anten düzlemine dik yönde 15 dB azaldığı ve maksimum ışınımın da $\theta=30^\circ$ 'ye kaydığı görülmektedir. Benzer şekilde [10]'de ultra geniş bantlı eliptik tek kutuplu anten analiz edilmiş ve ışınım düzeni 3.1 GHz, 6.85 GHz ve 10.6 GHz frekanslarında çizdirilmiştir. Burada da 3.1 GHz'de eş yönlü olan ışınım düzeninin frekans arttıkça bozulduğu görülmektedir.

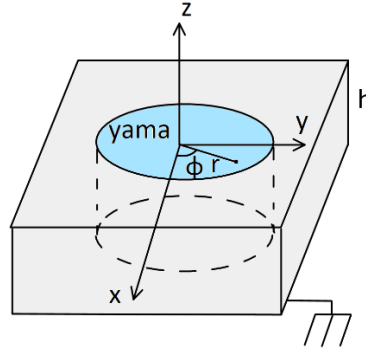
Bu makalede 1-10 GHz ultra geniş bant aralığında VSWR<2 olacak şekilde dik yönde tek yönlü doğrusal polarizasyon ile ışınım yapabilen bir düzlemsel eliptik tek kutuplu anten tasarlanmıştır. Antenin her frekansta dik yönde tek polarizasyonda ışınım yapabilmesi için iki ayrı boyutta eliptik tek kutuplu anten reflektör toprak düzlemi üstünde arka arkaya yerleştirilmiştir. Bu antenlerin beslemeleri eş eksenli T-konektör kullanılarak tek beslemeye çevrilmiştir. Ayrıca, mikro şerit iletim hatları kullanıldığı takdirde beslemeleri teke indirgemek için güç bölücü devreler de kullanılabilir. Tasarlanan anten 1-10 GHz frekans bandı boyunca tek yönlü doğrusal polarizasyon ile dik yönde sırasıyla 4.38-3.22 dB kazanç sağlamaktadır. Elde edilen bu kazanç değerleri literatürdeki diğer eliptik tek kutuplu antenlerle karşılaştırılarak sonuç bölümünde grafik olarak gösterilmiştir.

2. Ultra Geniş Bantlı Tek Kutuplu Anten Tasarımı

Ultra geniş bant uygulamalarında kullanılan eliptik yamanın geometrisi dairesel çok yakın olduğu için eliptik tek kutuplu anten tasarımında dairesel mikro şerit anten analizi kullanılabilir.

2.1. Oyuk Yöntemi (Cavity Method) ile Düzlemsel Dairesel Tek Kutuplu Anten Analizi

Oyuk metoduna göre önce dairesel yama altında oluşan alanlar, yüksek kalınlıkta bir mikro şerit yapı içinde hesaplanarak bulunur. Daha sonra bu alanların oluşturduğu eşdeğer yama akımları hesaplanır. Bu akımların ışınım integralinde kullanılmasıyla da yayılan \vec{E} ve \vec{H} alanları elde edilir.



Şekil 1. Dairesel mikro şerit anten geometrisi

Dairesel mikro şerit antenin geometrisi Şekil 1’de gösterilmiştir. Öncelikle yama altında oluşan alanları bulmak için dalga denklemi

$$(\nabla^2 + k^2) \bar{E} = 0 \quad (1)$$

yama ve toprak düzlemi arasında kalan silindirik yapı (oyuk) içinde kenar yüzeyindeki sınır koşulları kullanılarak çözülür. İfadede dalga sayısı $k=2\pi\sqrt{(\epsilon_r)/\lambda_0}$ olarak tanımlıdır. Denklemin çözümü ile bulunan alanlar aşağıda verilmiştir [11].

$$E_z = E_0 J_n(kr) \cos(n\phi) \quad (2)$$

$$H_r = \frac{-jn}{\omega\mu r} E_0 J_n(kr) \sin(n\phi) \quad (3)$$

$$H_\phi = \frac{-jk}{\omega\mu} E_0 J_n'(kr) \cos(n\phi) \quad (4)$$

şeklindedir. Burada E_0 elektrik alanının genliği, $J_n(kr)$ n dereceden Bessel fonksiyonu, r ve ϕ ise dairesel koordinat değişkenleridir. Dolayısı ile oyuk içinde TM_{mn} alanları oluşmaktadır. Oyuk içinde oluşan alanların diğer bileşenleri ise sıfırdır. Işıma ile oluşan alan hesaplamaları ve denklemleri tasarım için kullanılmadığından burada verilmeyecektir.

2.2. Dairesel Mikro şerit Antenin Işıma Frekansları (Rezonans frekansları)

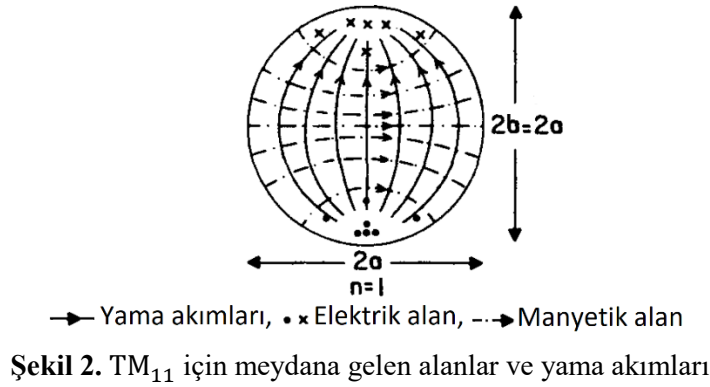
Bir önceki kısımda oyuk içinde bulunan alanları hesaplarken yan yüzeyde kullanılan sınır değeri

$$J_n(r = a) = H_\phi(r = a) = 0 \quad (5)$$

şeklindedir. Burada “a” dairenin yarıçapıdır. (1) ve (4)’ü kullanarak

$$J_n'(ka) = 0 \quad (6)$$

olur. Dolayısı ile her bir “a” yarıçapı için bir ışıma frekansı hesaplanabilir. Örneğin, χ_{mn} sayısı n dereceden Bessel fonksiyonu türevi $J_n'(kr)$ ’nin m dereceden kökü olsun. Burada $n=1, 2, 3, \dots$ ve $m=1, 2, 3, \dots$ olarak tanımlanır ve $n=1$ ve $m=1$ için minimum ışıma frekansı elde edilir. Bu frekansta oluşan TM_{11} alanları (\bar{E} ve \bar{H}) ve yama yüzeyinde oluşan akımlar Şekil 2’de gösterilmiştir.



2.3. Dairesel Yamanın Tasarımı (Yarıçapı)

(6)'nın $n=1$ için çözümünden

$$a_e = \frac{8.794}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \text{ cm } (f_r \text{ in GHz}) \quad (7)$$

bulunur. Burada " a_e ", dairesel yamanın eşdeğer yarıçapıdır ve fiziksel yarıçaptan büyüktür. Eşdeğer yarıçap yama kenarlarından saçılan alanları da hesaba katarak bulunan yarıçaptır. Eşdeğer yarıçap (a_e) ve fiziksel yarıçap (a) arasındaki bağıntı ise

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left\{ \ln \left(\frac{a}{2h} \right) + (1.41 \epsilon_r + 1.77) + \frac{h}{a} (0.268 \epsilon_r + 1.65) \right\} \right]^{1/2} \quad (8)$$

olarak verilmiştir [11].

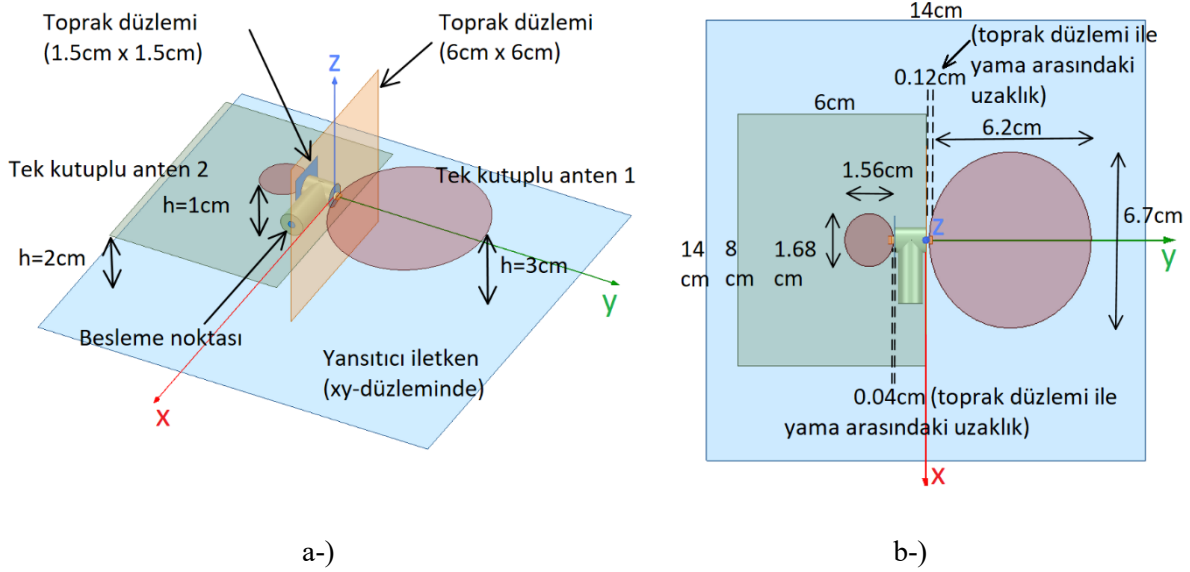
(7) ve (8)'i kullanarak TM_{11} rezonans frekansları 1.41 GHz ve 5.1 GHz olmak üzere yama yarıçapları $a=3.35$ cm ve $a=0.8$ cm olarak bulunur. Bu hesaplar yapılırken tabaka geçirgenliği $\epsilon_r=1$ ve h yüksekliği için sırasıyla 3 cm ve 1 cm kullanılmıştır. Bu yükseklikler yamanın altına yerleştirilen yansıtıcı yüzeylerin yamadan olan yüksekliğidir.

2.4. Eliptik Yamanın Tasarımı

Eliptik yama, dairesel yamanın özel bir durumu olarak düşünülebilir. Böylece iki farklı yarıçap tanımlanır. Bunlar Şekil 2'de gösterildiği gibi x ve y ekseninde tanımlı majör yarıçap (a) ve minör yarıçap (b)'dir. Büyük olan yarıçapa "majör" ve küçük olana da "minör yarıçap" denir. Majör ve minör yarıçapların oranına da "eliptik oran= a/b " denir [12].

Gerek [11]'de gerekse [12]'de eliptik oran için $a/b=1.1$ olarak alındığında optimum bant genişliği elde edilmektedir. Ayrıca bu değer ile anten ışınma örüntüsü frekans bandı boyunca minimum değişiklik gösterir. Dolayısı ile bu makalede de bu oran korunmuştur.

Hangi eksenin majör ve hangi eksenin minör olarak kullanılacağı, ışınımın istenilen yöndeki polarizasyonuna bağlıdır. Örneğin, anten yüzeyine dik yöndeki istenilen polarizasyon yönü y ekseninde ise majör eksen x ekseninde, minör eksen de y ekseninde olmalıdır. Şayet istenilen polarizasyon x yönünde ise majör eksen y yönünde ve minör eksen de x yönünde seçilir. Yani majör eksen istenilen polarizasyona ters yönde ve minör eksen de aynı yönde seçeriz.



Şekil 3. Tasarlanan düzlemsel tek kutuplu eliptik antenin geometrisi ve boyutları a-) 3 boyutlu geometrisi b-) üstten görünüş

2.5. Düzlemsel Eliptik Tek Kutuplu Anten Tasarımı

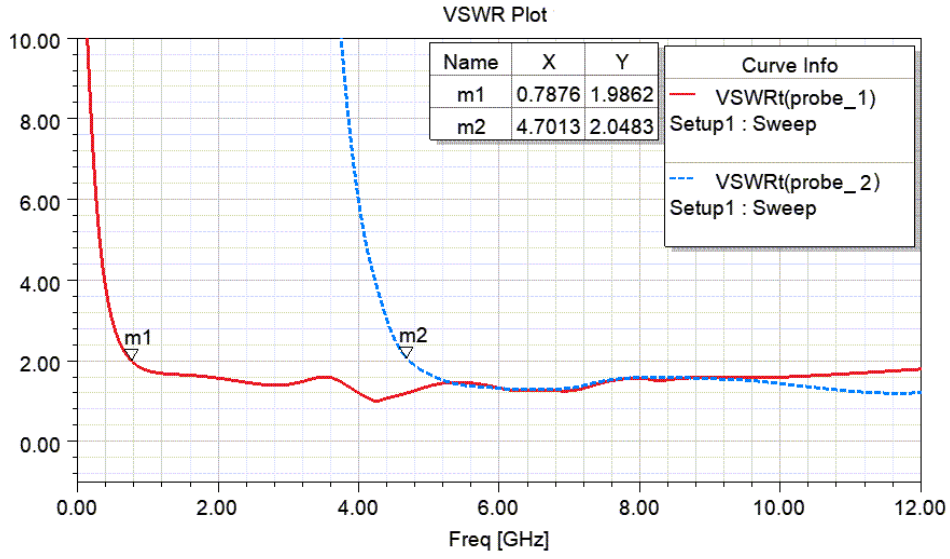
Önceki bölümlerdeki teorik hesaplamalar neticesinde tasarlanan tek kutuplu antenin şekli ve ölçüleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Besleme noktasında T-konektöre bağlı bir eş yönlü (koaksiyel) kablo bulunmaktadır. Bu kablo ile arka arkaya yerleştirilmiş iki eliptik tek kutuplu anten beslenir. Ayrıca farklı iki yansıtıcı iletken düzlem eliptik yamaların altına yerleştirilmiştir. Büyük yamanın toprak düzlemi boyutları $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ ve küçük yamanın ise $1.5\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ olacak şekilde herhangi bir hesaplama olmadan seçilmiştir. Yine benzer şekilde büyük yansıtıcı iletken düzlem $14\text{ cm} \times 14\text{ cm}$ ve küçük düzlem ise $8\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ olarak seçilmiştir. Büyük yama ile bu yamanın toprak düzlemi arasındaki uzunluk 0.12 cm ve küçük yama için bu uzunluk 0.04 cm ’dir. Gerek yamalarda gerekse toprak düzlemindeki tüm iletkenler için alüminyum kullanılmıştır. Ayrıca anten havada duracak şekilde elektrik geçirgenliği $\epsilon_r=1$ olarak tasarlanmıştır.

3. Ultra Geniş Bantlı Tek Kutuplu Anten Analizi

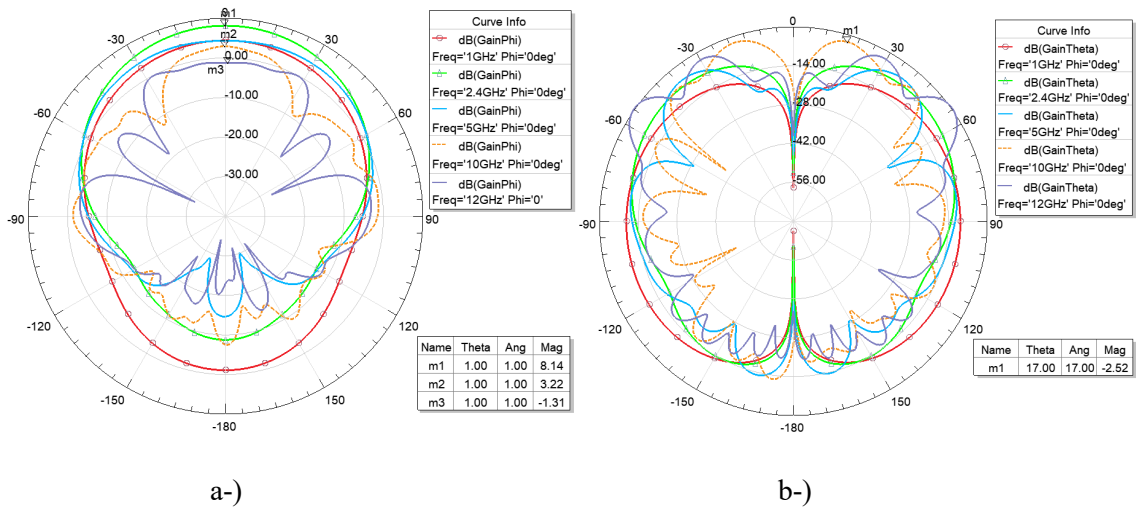
3.1. Empedans Bandı Analizi

Tasarlanan antenin simülasyonu HFSS programı ile yapılırken T-konektör yerine aynı genlik ve fazda $50\ \Omega$ empedansında iki ayrı kaynak iki antenin beslemesinde kullanılmıştır. Böylece T-konektörün işlevi korunmuştur. Ayrıca bu şekilde, eliptik yamaların her birinin toplam ışımaya olan etkisini incelenmek de mümkün olmuştur.

Antenin empedans bandı analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 4’de VSWR değerleri için frekans ekseninde gösterilmiştir. Burada birinci grafik (probe 1) büyük olan yamanın, yani birinci antenin empedans bandını ve ikinci grafik ise (probe 2) küçük olan yamanın, yani ikinci antenin empedans bandını göstermektedir. Görüldüğü gibi birinci anten için rezonans frekansı 0.78 GHz ’de başlamaktadır. Ancak bu frekansta antenin kazancı çok düşük olduğu için (-9.20 dB) ışıma frekansı 1 GHz ’den başlıyor kabul edebiliriz. İkinci anten ise 4.7 GHz frekansında ışıma yapmaya başlamaktadır. İstenilen yöndeki

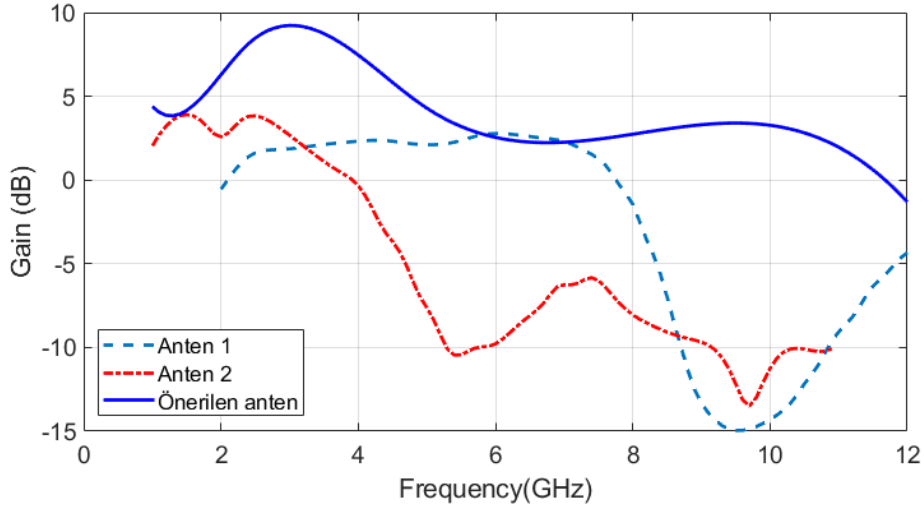


Şekil 4. Düzlemsel tek kutuplu eliptik antenin VSWR grafiği



Şekil 5. Düzlemsel tek kutuplu eliptik antenin xz-düzleminde uzak alanda güç kazancının anten ışınma örüntüsü a-) E_ϕ bileşeni için (istenilen) b-) E_θ bileşeni için (istenmeyen)

ışınma z-ekseni yönünde ve elektrik alan vektörü ise y-ekseni yönünde olacak şekildedir. Başka bir ifadeyle küresel küresel koordinatlarda istenilen elektrik alan vektörü (co-polar) xz-düzleminde ($\varphi=0$ düzlemi) E_ϕ bileşeni ile gösterilirken aynı düzlemde E_θ bileşeni ise istenmeyen bileşendir (cross-polar). Böylece 1-4.7 GHz aralığındaki ışınma örüntüsünü birinci anten, 4.7-10 GHz arasındaki ışınma örüntüsünü ise ikinci anten sağlamaktadır ve 1-10 GHz bandının tümünde istenilen yönde yüksek kazanç ile ışınma yapılabilmektedir. Antenin uzak alandaki ışınma örüntüsü Şekil 5'de güç kazancı olarak xz-düzleminde E_ϕ ve E_θ bileşenleri için ayrı ayrı gösterilmiştir. Buradan görüldüğü üzere 1-10 GHz bandında anten kazancı 4.38-3.22 dB arasında dik yönde istenilen polarizasyonda (E_ϕ) değişmektedir. En yüksek kazanç ise 2.4 GHz'de 8.14 dB olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. Tasarlanan antenin kazanç grafiğinin [13] ve [14]'deki eliptik tek kutuplu antenler ile (sırasıyla Anten 1 ve Anten 2) karşılaştırılması

4. Sonuçlar

Bu makalede 1-10 GHz bandında düzlemsel polarizasyon ile yüksek kazançlı ışınım yapabilen bir düzlemsel tek kutuplu anten tasarlanmıştır. Bu antenin teorik tasarımı ve HFSS bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan aşağıdaki yorumlar çıkarılmıştır:

- Anten istenilen bantta ışınım yapmaktadır.
- Dik yönde ve istenilen polarizasyondaki anten kazancı bant içinde 4.38-3.22 dB arasında değişmektedir (bkz. Şekil 5a). Elde edilen bu kazanç değerleri literatürdeki diğer eliptik tek kutuplu antenlerle karşılaştırılmış ve Şekil 6'da sonuçları gösterilmiştir. Burada, [13]'teki eliptik tek kutuplu antenin boyutları 18.3 mm × 18.8 mm ve [14]'teki antenin boyutları ise 38 mm × 79 mm olarak verilmiştir. Bu çalışmalardaki kazanç grafikleri dijital olarak Matlab'a aktarılarak Şekil 6'daki grafik elde edilmiştir.
- Şekil 5b'de görüldüğü üzere dik yönde ve istenmeyen polarizasyondaki anten kazancı maksimum 10 GHz'de -1.4926 dB olarak elde edilmiştir. Böylece istenilen/istenmeyen polarizasyon oranı (co-polar to cross-polar ratio) $3.22 - (-1.4926) = 4.7$ dB olmaktadır. Diğer frekanslarda bu oran daha da yüksektir.
- Şekil 5a'daki istenilen yöndeki ışınım grafiğinde özellikle 1 GHz'de 3-4 dB seviyesinde olan geri ışınım değeri iletken yansıma düzleminin boyutlarının artması ile azaltılabilir. Bu yöntem ayrıca diz yöndeki kazancı da göreceli olarak artıracaktır.
- Antenin ışınım verimliliği ise tüm bant boyunca 0.98 değerinde ölçülmüştür. Burada metaldeki iletken kayıpların az olması ve di-elektrik olarak havanın kullanılmasıyla yüzey akımlarıyla oluşan kayıpların az olması verimliliğin yüksek olmasındaki önemli etkenlerdir.
- Anten 1-10 GHz arasında yüksek kazançlı geniş bant uygulamaları için kullanılabilir.

Kaynaklar

- [1] Karmokar DK, Morshed KM, Hossain S, Mollah N. A high-gain slot-loaded microstrip patch antenna fed by a half-width microstrip line for 5.5 and 5.8 GHz Wi-Fi/WiMAX applications. Proceedings of International Conference on Electrical Information and Communication Technology, IEEE Proceedings, Khulna, Bangladesh 2015; 359-363.
- [2] Balanis CA, Antenna theory analysis and design. John Wiley and Sons, New York, 1997.
- [3] Khalil HS, Yasser AF. Design aspects of UWB printed elliptical monopole antenna with impedance matching. Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC), IEEE Proceedings, Loughborough, UK, 2012.
- [4] Kumar G, Ray KP. Broadband microstrip antennas. Artech House, Boston, London, 2003.
- [5] Deng C, Li L, Gong Q, Zhan D, Zou Y. Planar printed monopole antennas for ultra-wideband/multi-band wireless system. 4th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, China, 2011.
- [6] Cao P, Huang Y, Zhang J, Lu Y. A comparison of planar monopole antennas for UWB applications. Loughborough Antennas & Propagation Conference, Loughborough, UK, 2011.
- [7] Abbosh AM, Bialkowski ME. Design of ultrawideband planar monopole antennas of circular and elliptical shape. IEEE transactions on Antennas and Propagation 2008; 56: 17-23.
- [8] Ping C, Yi H, Jingwei Z, Yang L. A comparison of planar monopole antennas for UWB applications. Loughborough Antennas & Propagation Conference, IEEE Proceedings, Loughborough, UK, 2011.
- [9] Ray KP, Ranga Y. Ultrawideband printed elliptical monopole antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2007; 55: 1189–1192.
- [10] Bharadwaj ON, Rajakumar K. A novel planar monopole design for UWB applications. IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC), Kolkata, India, 2011.
- [11] Garg R, Bhartia P, Bahl I, Ittipiboon A. Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Boston, London, 2001.
- [12] Wong KL. Compact and Broadband Microstrip Antennas, John Wiley and Sons, New York, USA, 2002.
- [13] Andre VS. Lages, Marcelo N. Kawakatsu, Dmitriev V. Planar elliptical UWB monopole antenna with high efficiency. International Microwave and Optoelectronics Conference, Natal, Brazil, 2011.
- [14] Nazlı H, Bıcağ E, Turetken B, Sezgi M. An improved design of planar elliptical dipole antenna for UWB applications. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 2013; 9: 264-267.