

Konik Dielektrik Rezonatör Halkalar ile Yüklenen Monopol Antenin Ultra Geniş Bant için Tasarım ve Ölçümleri

Cengiz Özzaim, Nevzat Tarım*, Fatih Üstüner**

Dumlupınar Üniversitesi
Elektronik-Elektronik Müh. Bölümü
Kütahya
cozzaim@dpu.edu.tr

*Türk Hava Kuvvetleri
I. Hava İkmal Bakım Komutanlığı
Eskişehir
nvzttarim@gmail.com

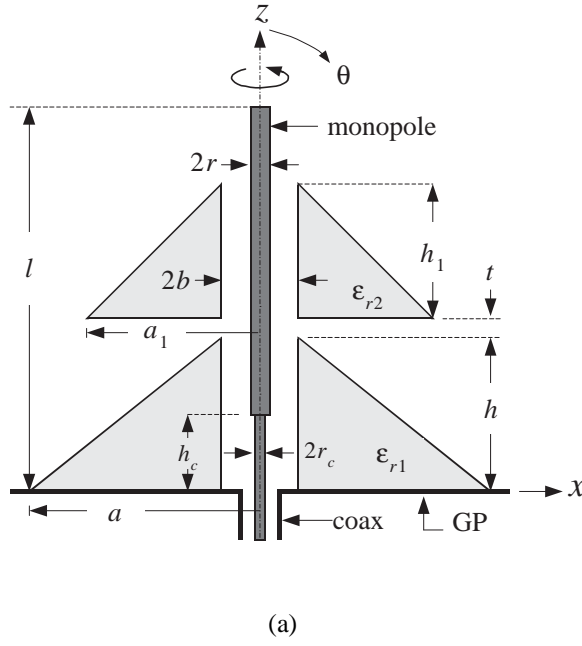
**TUBİTAK UME
Gebze
fatih.ustuner@ume.tubitak.gov.tr

Özet: Koaksiyel bir monopol tarafından uyarılan üst üste konulmuş halka şeklindeki konik dielektrik rezonatör antenler (DRA) geniş frekans bant aralığı elde etmek için sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Frekans bandındaki genişleme, monopol yüksekliğinin tam bir dalga boyu olduğu frekans yakınlarında meydana gelen ilave bir rezonanstan kaynaklanmaktadır. Sayısal verilerin, laboratuvarında modelleri üretilen antenlerin deneysel verileri ile doğrulandığı gözlenmiştir. Bu çalışmadaki hibrit anten ile %140 oranında bir bant genişliği ile birlikte monopole tipi radyasyon elde edilmiştir.

1. Giriş

Silindirik halka şeklinde dielektrik rezonatör anten (DRA) ile yüklenen çeyrek dalga boyundaki monopol antenler, oldukça geniş bant sağlayabildiklerinden ve monopole tipi radyasyon üretebildiklerinden, araştırmacıların çok ilgisini çekmiştir [1]. Bahsedilen hibrit antenin %100 civarında bir frekans bandı sağladığı görülmektedir [2]. Bu hibrit antenin frekans bandındaki ($|S_{11}| < -10$ dB) en düşük rezonans frekansı, çeyrek dalga boyundaki monopol antenin rezonansından kaynaklanmaktadır. En yüksek rezonans frekans TM_{01} modunda uyarılan halka şeklindeki dielektrik rezonatörden kaynaklanır [2]. Daha geniş bant elde etmek için, değişik geometrik yapıya sahip hibrit monopol/DRA antenler araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bunlardan bazıları şöyledir: silindirik halkalı DRA ve şekillendirilmiş monopol [3]-[4], ters çevrilmiş konik halka DRA [5], yan yana veya üst üste konumlandırılmış çift silindirik halka DRA [6], ve dış yarıçapı basamaklı silindirik halka DRA [7]. Bu yapılar ile elde edilen frekans bant genişliği %110 civarındadır. Çok yakın bir zamanda, konik ve yarıküre şeklindeki halka DRA [8] ve bunların üst üste konulmasından elde edilen “piyon” şeklindeki DRA [9] ile %126’ya varan bir frekans bant genişliği elde edilmiştir.

Bu çalışmada, metal plaka üzerinde üst üste konulmuş konik halka şeklinde DRA koaksiyel bir kablo ile beslenen monopole anten tarafından Şekil 1(a)’da görüldüğü gibi uyarılmaktadır. Burada üst üste konulan halka koniler, koaksiyel kablo ve monopol anten aynı dönel eksene (z -ekseni) sahiptir. Şekil 1(b)’de ise dielektrik sabiti $\epsilon_r = 10$ olan Eccostock malzemesi, SMA prob ve yarıçapı 10 cm olan bakır levhadan üretilen prototip görülmektedir. Bu hibrit antenin benzerlerinden daha geniş frekans bandına sahip olabildikleri gösterilmektedir. Frekans bandındaki genişleme daha önceki çalışmalar ile karşılaştırıldığında ilave bir rezonanstan kaynaklanmaktadır [8]-[9]. Önerilen bu anten ile daha önceki araştırmacıların elde ettiği değerlerden %12 civarında daha geniş bir frekans bandı (yaklaşık %140) elde edilmektedir [8]-[9]. Antenin optimum boyutları yoğun bir parametrik çalışma sonucunda elde edilmiştir. Aşağıdaki bölümde bu çalışmaların bazı örnekleri ile birlikte basit tasarım adımları verilmektedir. Son olarak değişik sayısal yöntemlerin kullanıldığı simülasyonlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve bunların arasında mükemmel bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Hibrit konik DRA ve monopol anten. (a) şematik (b) prototip.

2. Analiz ve Tasarım

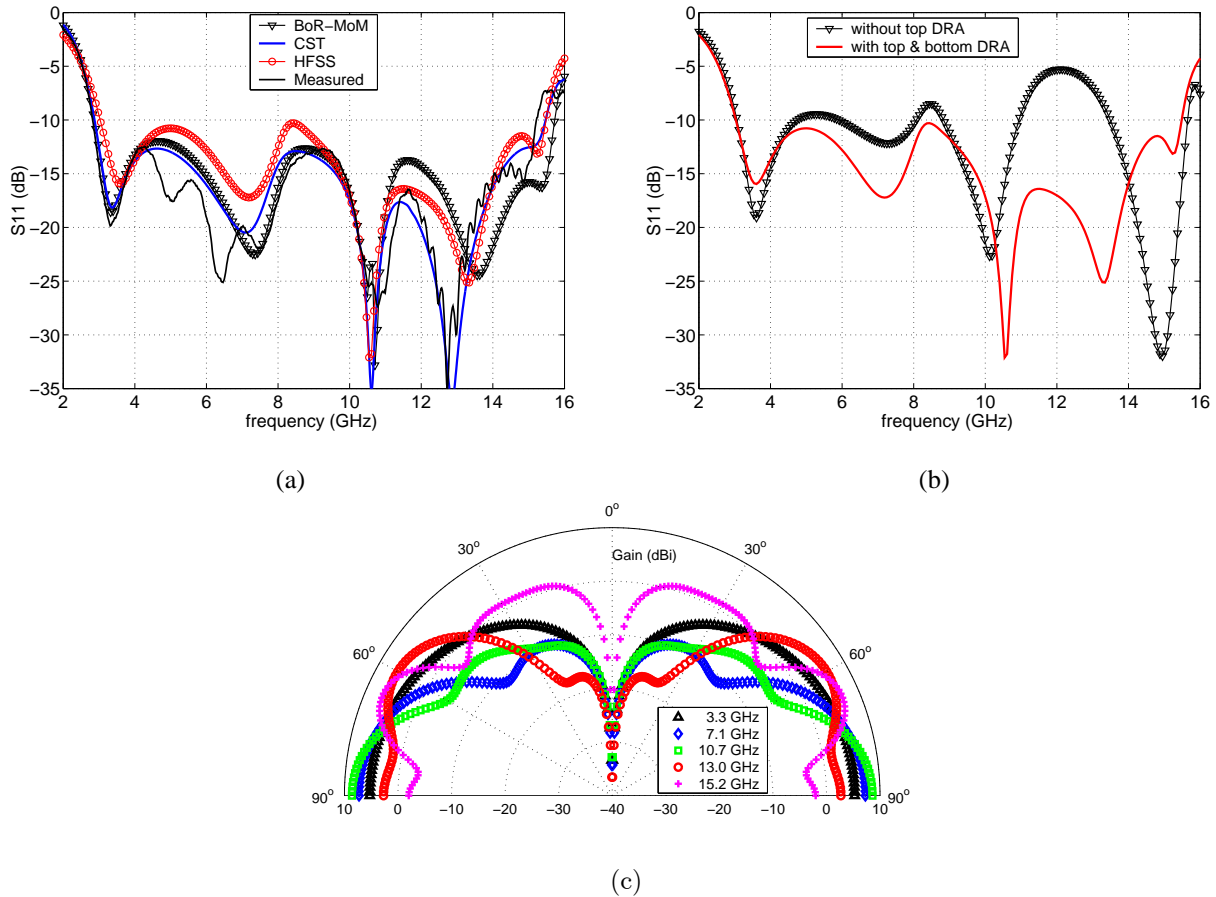
Bu çalışmadaki monopol anten ile dielektrik rezonatör koniler arasındaki etkileşim üç değişik sayısal metot kullanılarak incelenmiştir. Dielektrik rezonatörler ile merkezde bulunan koaksiyel beslemeli monopole anten dairesel simetrik bir yapı oluşturduğundan ilk olarak dönel cisimler (BoR) yüzey integralleri ve moment metodu (MoM) ile analiz edilmiştir. Bu amaçla yakın geçmişte yapılan bir çalışmada kullanılan BoR-MoM metoduna dayanan FORTRAN kodu kullanılmıştır [7]. İkinci ve üçüncü sayısal metot olarak ticari elektromanyetik simülasyon araçları kullanılmıştır (CST ve HFSS). Bahsedilen sayısal simülasyon teknikleri ile elde edilen giriş yansıma katsayısının mutlak değeri $|S_{11}|$, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan frekans bant genişliği 50 ohm koaksiyel iletim hattı varsayılarak $|S_{11}| < -10$ dB koşuluna göre tanımlanmıştır. Önerilen antenin boyutlarında ayrıntılı bir parametrik çalışma yapıldıktan sonra, antenin frekans bant aralığını arttırmak için aşağıdaki tasarım adımlarına ulaşılmıştır. İlk olarak en düşük rezonans frekansında kullanılmak üzere uzunluğu l ve yarıçapı r olan çeyrek dalga boylu bir monopol bir anten seçilir. Sonra konik dielektrik rezonatorlerin iç yarıçapı $2r < b < 3r$ denklemine göre belirlenir. Bu çalışmadaki dielektrik sabiti ise $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 10$ olarak seçilmiştir. Burada daha büyük dielektrik sabiti seçilebilirdi. Fakat yakın zamandaki bir makalede önerildiği üzere, yüksek dielektrik sabitinin antenin frekans bant aralığı ile birlikte ışıma performansını da olumsuz etkilemektedir [9]. Daha sonra alttaki koninin yarıçapı

$$a = 47.713 \times \text{Re}\{k_0 a\} / f_r \quad (1)$$

denklemine göre belirlenmekte olup [9], bu denklemde f_r (GHz) çeyrek dalga boylu monopol antenin temel rezonans frekansı ile ilk yüksek dereceli rezonans frekansının ortalama değeridir. (1) numaralı denklemdeki $k_0 a$ 'nın reel kısmı dielektrik katsayısının fonksiyonu olarak literatürden bulunabilir [9]. Bundan sonra, alttaki dielektrik koninin yüksekliği, bu koni ile aynı boyutlardaki yarıküre yüksekliğinden $h = \sqrt{a^2 - b^2}$ denklemi ile yaklaşık olarak hesaplanabilir. Son olarak üstteki koninin yarıçapı, (1)'deki f_r değerinin %25 artırılmasıyla hesaplanır. Böylece üstteki koninin yarıçapı alttaki konininkine göre $a_1 = 0.8a$ olarak bulunur. Üst koninin yüksekliği ise yukarıdaki köklü ifade de a yerine a_1 kullanılarak hesaplanır. Frekans bant aralığının özellikle orta ve yüksek kesimlerinde giriş yansıma kaybını biraz iyileştirmek amacıyla iki koni arasında bir aralık bırakılabilir. Bu tasarım adımları başlangıç değerleri olarak alındıktan sonra maksimum frekans bant aralığını elde etmek için antenin boyutları manuel olarak optimize edilebilir. Böylece hibrit anten monopol yüksekliğinin yaklaşık bir dalga boyu ($l \approx \lambda$) olduğu frekansta rezonansa zorlanır. Yukarıdaki tasarım adımlarının doğruluğunu göstermek amacıyla Şekil 1'deki anten iki farklı frekans bandında tasarlanıp laboratuvar ortamında ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

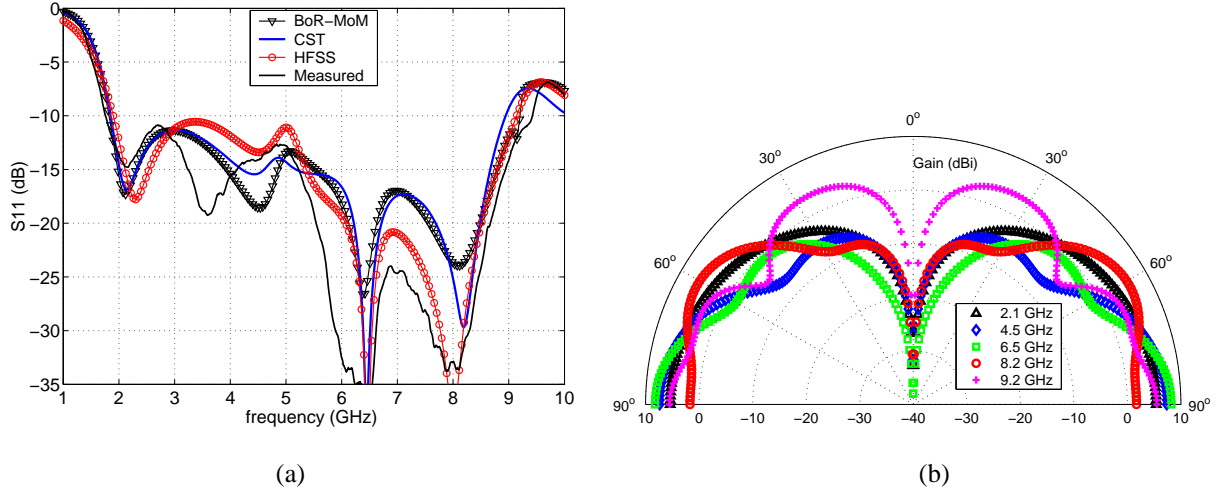
3. Sonuçlar ve Tartışma

Simülasyonlardan elde edilen sonuçların deneysel verilerle doğruluğunu göstermek amacıyla DRA modelleri, pirinçten yapılmış koaksiyel monopole ve toprak tabakası laboratuarda üretilmiştir. Yansımaya katsayıları Agilent E8362B Network Analizör ile ölçülmüştür. Şekil 1’deki modelin boyutları optimize edilerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Aşağıdaki şekillerin tümünde boyutlar milimetre olarak alınmalıdır. İlk anten yüksekliği 22 mm olan monopole ile ultra geniş bant (UWB) için tasarlanmıştır. Şekil 2(a)’da laboratuarda ölçülen $|S_{11}|$ verileri ile simülasyon verilerinin karşılaştırılması görülmektedir. 3.5 GHz ve 10.5 GHz’te görülen rezonanslar sırasıyla monopole antenin çeyrek dalga boyundaki temel ($l=\lambda/4$) ve yüksek dereceli ilk ($l=3\lambda/4$) rezonanslarıdır. 7.5 GHz civarındaki rezonans ise konik dielektriklerin TM_{01} modunun uyarılmasındandır. Bahsedilen üç rezonans tek konik ve yarıküresel DRA ile yüklenen monopole antenin incelendiği bir makaledeki rezonanslar ile aynı özelliklere sahiptir [9]. Şekil 2(a)’de görüldüğü üzere, hibrit anten 13 GHz ve 15 GHz civarında da rezonanslar içermektedir. Bu frekanslarda dielektrik koniler yüksek dereceli modlar barındırmaktadır. Bu rezonanslar, üstteki koninin varlığında ve yokluğunda Şekil 3(b)’deki gibi değışikliğe uğramaktadır. Bu şekilde görüldüğü gibi, rezonanslar temel olarak alttaki DRA ile monopolelün etkileşiminden ortaya çıkar. Fakat üstteki koninin yokluğunda hibrit antenin empedans bant genişliğinin çok iyi bir tepki gösteremediği görülmüştür. Hibrit anten üstteki konik DRA ile yüklendiğinde yüksek rezonanslarda bir kayma meydana gelir ve bant genişliğinde de iyileşme gözlenir. Ölçülen sonuçlara göre Şekil 2(a)’da görüldüğü gibi hibrit anten 2.8–15.2 GHz aralığında %138 civarında deneysel bir bant genişliği sergilemektedir. Şekil 2(c)’de ise yukarıda bahsedilen rezonanslarda monopole tipi kazanç eğrileri xz -düzleminde izlenmektedir. Dikkat edilirse $\theta=\pi/2$ ’de 7.5 ve 10 GHz civarında bir kazanç artışı söz konusudur. Çünkü bu frekanslardaki iki DRA birbirine çok yakın seri beslemeli anten dizisi olarak değerlendirilebilir. Bu frekanslarda DRA’lar aynı fazda uyarılırlar. Bu da anten dizi faktörü nedeniyle xz -düzleminde $\theta=\pi/2$ ’de kazanç artışına neden olur.



Şekil 2. UWB Anten. $l=22$, $r=1.5$, $b=3.5$, $a=10.5$, $h=8.5$, $a_1=8$, $h_1=7$, $r_C=0.65$, $h_C=1.5$, $t=1$. (a) $|S_{11}|$, (b) $|S_{11}|$ karşılaştırma (c) xz -düzlemindeki kazanç.

Şekil 3(a)'da 35 mm uzunluğunda monopol ile elde edilen %136 civarında bir bant genişliği gözlenmektedir. Şekil 3(b)'de ise aynı antenin monopol tipi kazanç grafikleri sunulmaktadır. Burada da daha önce bahsedilen kazan artışları vardır. Sayısal parametik çalışmalara göre alttaki konik DRA yerine yarı küre veya silindir halka kullanmak bant genişliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Fakat üstteki konik DRA aynı malzeme ve boyutlara sahip eşdeğeri yarıküre veya silindir ile değiştirildiğinde frekans bant aralığı ve rezonans özelliklerinin aynı kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 3. Anten 2. $l=35$, $r=2$, $b=4$, $a=17$, $h=14$, $a_1=13$, $h_1=10$, $r_c=0.65$, $h_c=1.5$, $t=1$. (a) $|S_{11}|$, (b) xz -düzlemindeki kazanç.

4. Değerlendirme

Bu makaledeki hibrit monopol anten geometrisi ile %138 varan bir frekans bant genişliği ile birlikte monopol tipi bir radyasyon elde edilmiştir. Bu tip antenler için basit tasarım adımları da verilmektedir. Bant genişliğinin artmasında rol oynayan faktörler tartışılmış olup antenin benzetim ve ölçüm sonuçlarında mükemmel bir uyuma rastlanmıştır. Bu antenler kablosuz haberleşmedeki bir çok uygulamada ultra geniş bant anten olarak kullanılabilirler.

Kaynaklar

- [1]. M. Lapiere, Y. M. M. Antar, A. Ittipiboon, and A. Petosa, "Ultra wideband monopole/dielectric resonator antenna," IEEE Microw. Wireless Comp. Lett., vol. 15, no. 1, pp. 7–9, 2005.
- [2]. D. Guha, Y. M. M. Antar, A. Ittipiboon, A. Petosa, D. Lee, "Improved design guidelines for the ultra wideband monopole-dielectric resonator antenna," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., v.5, s.373-377, 2006.
- [3]. Y. W. Chan, K. M. Luk, "The small UWB hybrid antenna," Microw. Opt. Tech. Lett., vol. 49, no. 9, s. 2157-2159, 2007.
- [4]. S. Ghosh, A. Chakrabarty, "Ultrawideband Performance of Dielectric Loaded T-Shaped Monopole Transmit and Receive Antenna/EMI Sensor," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 7, s. 358-361, 2008.
- [5]. M. N. Jazi, T. A. Denidni, "Design and implementation of an ultrawideband hybrid skirt monopole dielectric resonator antenna," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol.7, s. 493-496, 2008.
- [6]. Y. F. Ruan, Y. X. Guo, X. Q. Shi, "Double annular ring dielectric resonator antenna for ultra-wideband application," Microw. Opt. Tech. Lett., vol. 49, no. 2, s. 362-366, Feb. 2007.
- [7]. C. Ozzaim, "Monopole antenna loaded by a stepped radius dielectric ring resonator for ultrawide bandwidth," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 10, s. 843-845, 2011.
- [8]. D. Guha, B. Gupta, Y. Antar, "New pawn-shaped dielectric ring resonator loaded hybrid monopole antenna for improved ultra-wide bandwidth," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 8, s. 1178-1181, 2009.
- [9]. D. Guha, B. Gupta, Y. Antar, "Hybrid Monopole-DRA's using Hemispherical/Conical-Shaped Dielectric Ring Resonators: Improved Ultra-Wideband Designs," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 60, no. 1, s. 393-398, 2012.