

# DAİRESEL DİZİ ANTENLER İÇİN PRATİK BİR UYUM TEKNİĞİ

Caner Özdemir

Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Böl.

Çiftlikköy 33343 MERSİN/TÜRKİYE

Tel: (324) 358-7011/607, Fax: (324) 361-0032, E-mail: cozdemir@mersin.edu.tr

**Özet:** Dairesel anten dizileri için pratik ve etkili bir uyum tekniği sunuldu. Orijinal 4-elemanlı dairesel anten problemi, Çift-Tek Mod (ÇTM) analiz tekniği sayesinde dört adet 1-elemanlı daha küçük problemlere bölündü. Herhangi bir radyasyon modu için ÇTM tekniğine dayanan bir uyum tekniği geliştirildi. Bir örnek verilerek uyum tekniğinin etkinliği test edildi.

## 1. Giriş:

Dizi antenler için bir uyum devresi tasarlanması, dizi elemanları arasındaki önlenemez elektromagnetik etkileşimden (coupling) dolayı her zaman zor olmuştur. Dizinin herhangi bir elemanın mevcut radyasyon empedansı göz önüne alınarak hesaplanan uyum devresinin diziye uygulanması sonucunda, etkileşimden dolayı baştaki radyasyon empedansı da değişir. Dolayısıyla öngörülen uyum devresi, istenilen rezonans karakteristiğini sağlayamaz ve hiç beklenmedik bir uyumsuzluk oluşur. Anten mühendisleri ve araştırmacılar, bu durumu çözebilmek için bir çeşit iteratif tasarla ve simüle et, yada prototip üret ve ölç tarzında metodlarla probleme yaklaşarak, optimum uyum şebekesini bulmaya çalışırlar. Ancak bu tür bir yaklaşım, tasarımın günlerce sürmesine neden açabilir. Biz bu çalışmada, özellikle dairesel dizi antenleri ele alarak, bu tip antenlerin kısa ve pratik bir şekilde uyum şebeke parametrelerinin hesaplanmasını sağlayan bir metodu öneriyoruz. Bu metod, elektromagnetik araştırmacılar tarafından da iyi tanınan Çift-Tek Mod (ÇTM) analiz tekniğine dayandırılarak geliştirilmiştir [1]. Bu tekniği uygulayarak, çok elemanlı antenleri, tek elemanlı eşdeğer antenlerin birleşimi olarak yazmak mümkündür. Bu tür bir yaklaşım, toplam bilgisayar simüle zamanını da büyük oranda düşürmektedir.

## 2. Problemin ÇTM Eşdeğeri ve Uyum Tekniği:

ÇTM tekniğini uygulayarak 4-elemanlı dairesel bir dizi anteni, Mükemmel Elektrik İletken yada Mükemmel Magnetik İletken duvarlar kullanarak, dört adet 1 elemanlı eşdeğer anten geometrisi olarak göstermek mümkündür. Bu dört değişik durumdaki 1 elemanlı anten geometrilerini çift-çift (ÇÇ), çift-tek (CT), tek-çift (TÇ) ve tek-tek (TT) olarak adlandırıyoruz. Başlangıçtaki 4-elemanlı dizi antenin S-matrisi, ÇTM eşdeğerleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$S = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} S_{ee} + 2S_{eo} + S_{oo} & S_{ee} - S_{oo} & S_{ee} - 2S_{eo} + S_{oo} & S_{ee} - S_{oo} \\ S_{ee} - S_{oo} & S_{ee} + 2S_{eo} + S_{oo} & S_{ee} - S_{oo} & S_{ee} - 2S_{eo} + S_{oo} \\ S_{ee} - 2S_{eo} + S_{oo} & S_{ee} - S_{oo} & S_{ee} + 2S_{eo} + S_{oo} & S_{ee} - S_{oo} \\ S_{ee} - S_{oo} & S_{ee} - 2S_{eo} + S_{oo} & S_{ee} - S_{oo} & S_{ee} + 2S_{eo} + S_{oo} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada  $S_{ee}$ ,  $S_{eo}$ (yada  $S_{oe}$ ) ve  $S_{oo}$  sırasıyla ÇÇ, ÇT ( yada TÇ) ve TT modları için S-parametreleridirler. ÇTM modları birbirinden bağımsız ve birbirlerine diktirler. Bu yüzden bu temel modlar, bağımsız olarak mükemmel uyumlanabilirler. Ayrıca dairesel anten analizlerinde kullanılan Butler Matrix (BM) modlarıyla da kolayca ilişkilendirilebilirler [2].

## 3. Radyasyon Patern modları ve Uyum Algoritması:

Aşağıda gösterildiği gibi herhangi bir  $\mathbf{a} = \frac{1}{2} \cdot [1 \ e^{j\theta_2} \ e^{j\theta_3} \ e^{j\theta_4}]^T$  uyarılma vektörüyle oluşturulmuş bir radyasyon patern modu, ÇTM'lerin doğrusal bileşenleri olarak yazılabilir. Normalize edilmiş Yansıma Güç katsayıları  $\mathbf{b} = \mathbf{S} \mathbf{a}$  ilişkisine göre biraz aritmetik işlem uygulandıktan sonra aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_1 & c_4 & -c_3 \\ c_1 & -c_2 & c_3 \\ c_1 & -c_4 & -c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{ee} \\ S_{eo} \\ S_{oo} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Buradaki  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  and  $c_4$  sabitleri aşağıdaki eşitliklerle belirlenmiştir:

$$\begin{aligned} c_1 &= (1 + e^{j\theta_2} + e^{j\theta_3} + e^{j\theta_4}) / 8 \\ c_2 &= (1 - e^{j\theta_3}) / 4 \\ c_3 &= (1 - e^{j\theta_2} + e^{j\theta_3} - e^{j\theta_4}) / 8 \\ c_4 &= (e^{j\theta_2} - e^{j\theta_4}) / 4 \end{aligned} \quad (3)$$

Eğer toplam yayılan gücü, ÇTM modları cinsinden ifade etmek istersek,

$$P_{rad} = 1 - P_{ref} = 1 - (4|c_1|^2 |S_{ee}|^2 + 2(|c_2|^2 + |c_4|^2) |S_{eo}|^2 + 4|c_3|^2 |S_{oo}|^2) \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemden de görüleceği üzere herhangi bir patern modundan yayılan toplam gücü, temel ÇTM'ler cinsinden elde etmek mümkündür. Aslında ÇTM'ler radyasyon modları için bir vektör uzayı oluştururlar. Bu çalışmada sunduğumuz uyum tekniği de bu gerçeğe dayanmaktadır. Eğer ÇTM'ler ayrı olarak analiz edilebiliyor ve uyumlanabiliyorsa (ki bunu yapabiliyoruz), ÇTM'lerin doğrusal toplamlarından oluşan herhangi bir radyasyon modu da uygun bir optimizasyon yöntemiyle optimum olarak uyumlanabilir. Uyum tekniği devresine karar verdikten sonra, devre parametreleri ÇTM'lerin S-parametreleri cinsinden ilişkilendirilebilir ve anten verimliliğini optimize eden kısa bir bilgisayar kodu sayesinde optimum uyumu sağlayan devre parametreleri hesaplanabilir. Bu tekniği bir örnekle açıklayacağız.

Kullandığımız anten dizilerini bilgisayar ortamında tasarlayabilmek için *Agilent\_HFSS* (High Frequency Structure Simulator) yazılımını kullandık [3]. Şekil 1'de 4-elemanlı "top-hat monopole" (THM) anten dizisi görülmektedir [4-6]. Bu dizi için Şekil.2'de görülen bir yönlü patern  $\mathbf{a} = 0.5 * [e^{j100^\circ} \ 1 \ e^{j270^\circ}]^T$  uyarılma vektörüyle oluşturulmuştur. *Agilent\_HFSS* programı yardımıyla dizi simüle edilmiş ve Şekil.3'de görülen yansıyan güç eğrisi, sözkonusu yönlü patern modu için elde edilmiştir. Bu mod için geliştirdiğimiz uyum algoritmasını aşağıdaki şekilde uyguladık: (i) İlk önce, uyum devresi uygulanmamış diziyi ÇTM eşdeğerlerine çevirerek, 3 adet tek elemanlı ÇTM simülasyonlarını HFSS yardımıyla yaptık. Simülasyon sonunda elde edilen radyasyon empedansları;  $Z_{ee} = 18.94 + j*0.1313 \ \Omega$ ,  $Z_{eo} = 4.695 + j*17.34 \ \Omega$  and  $Z_{oo} = 0.6146 + j*17.29 \ \Omega$  olarak kaydedildi. (ii) ÇTM modlarının radyasyon empedansı ve uyum tekniği olarak seçtiğimiz "Single-Stub Tuning" arasında aşağıdaki ilişki kuruldu:

$$Z_s = Z_o \frac{Z_r + jZ_o \tan(2\pi d)}{Z_o + jZ_r \tan(2\pi d)} \quad Z_p = \frac{jZ_s Z_o \tan(2\pi l)}{Z_s + jZ_o \tan(2\pi l)} \quad (5)$$

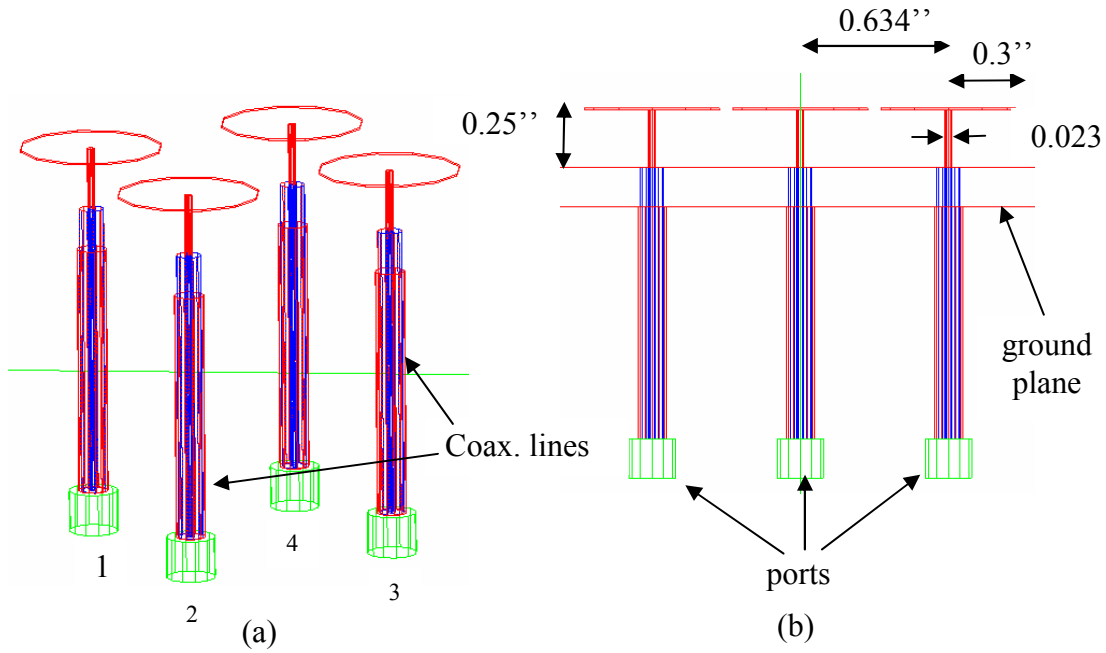
Burada,  $d$  ve  $l$  Şekil 4'de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.  $Z_r$ ,  $Z_s$ , ve  $Z_p$  sırasıyla radyasyon empedansını, stub'tan önceki ve sonraki empedansı belirtmektedir.  $Z_o$  ise iletişim hattının karakteristik empedansını göstermektedir. (iii) Yukarıdaki ilişkileri ve denklem (4)'i kullanarak, toplam yayılan gücü ÇTM'ler cinsinden yazdık. (iv) *Matlab* programında kısa bir optimizasyon kodu yazarak, uyum devresi parametreleri için optimum değerler elde edildi. (v) Elde edilen uyum devresi parametrelerini kullanarak *HFSS*'de simülasyon yapıldı ve tasarım tamamlandı. Elde edilen uyum devresi parametrelerini *Matlab* programında teoriye uygulayarak elde ettiğimiz toplam yansıyan güç eğrisiyle, tasarımılanan anten dizisinin *HFSS* programında simüle edilmesinden sonra elde edilen yansıyan güç eğrisi Şekil 5'de çizilmiştir. Elde edilen uyum devresi parametreleriyle, Şekil 4'deki dizi anten için 3GHz civarında yaklaşık olarak -10dB yansıyan güç katsayısı elde edeceğimiz teorik olarak hesaplanmış, *HFSS* simülatörü de benzer sonucu Şekil 5'de bize göstermiştir.

#### 4. Sonuç

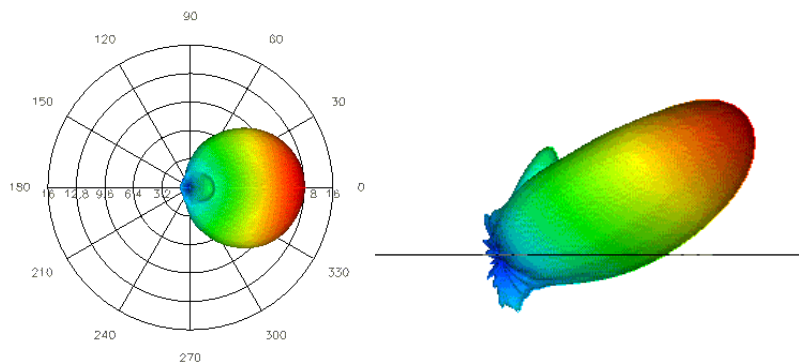
Bu çalışmada 4-elemanlı dairesel dizi antenler için, ÇTM tekniğini kullanarak pratik ve etkili bir uyum algoritması geliştirdik. Dizinin toplam yayılan gücünün, ÇTM radyasyon empedansları cinsinden yazılabileceğini gösterdik. Bu gerçeği kullanan algoritmamızı örnek bir anten dizisine uygulayarak başarılı sonuçlar elde ettik.

## 5. Kaynaklar:

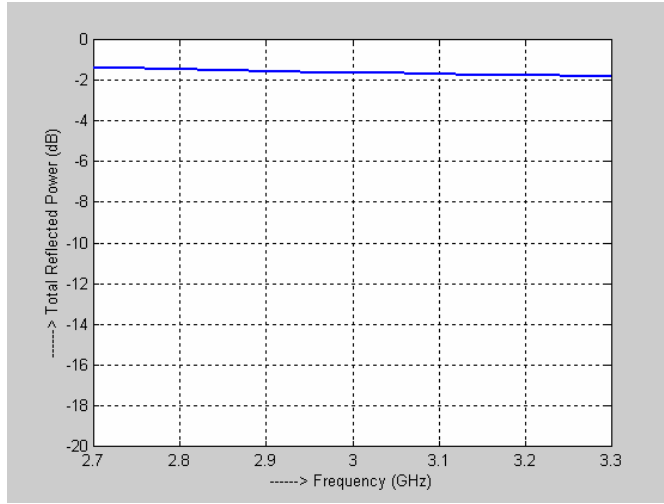
- [1] D. M. Pozar , "Microwave Engineering
- [2] B. Sheleg, "A Matrix-Fed Circular Array for Continuous Scanning," *Proc. IEEE*, vol. 56, No.11, pp. 2016-2027, Nov. 1968.
- [3] User reference for Agilent HFSS (High Frequency Structure Simulator), ver. 5.5, Dec. 1999.
- [4] M. A. Morgan and F. K. Schwering, "Eigenvalue Analysis of Dielectric Loaded Top-Hat Monopole Antennas," *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, Vol. AP-42, 54-61, Jan. 1994.
- [5] L. A. Francavilla, J. S. McLean, H. D. Foltz and G.E. Crook, "Mode-matching analysis of top-hat monopole antennas loaded with radially layered dielectric," *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, Vol. AP-47, 179 - 185, Jan. 1999.
- [6] E. W. Seeley, "An Experimental Study of the Disk-Loaded Folded Monopole," *IRE Trans. on Antennas and Propagat.*, 27-28, Jan. 1956.



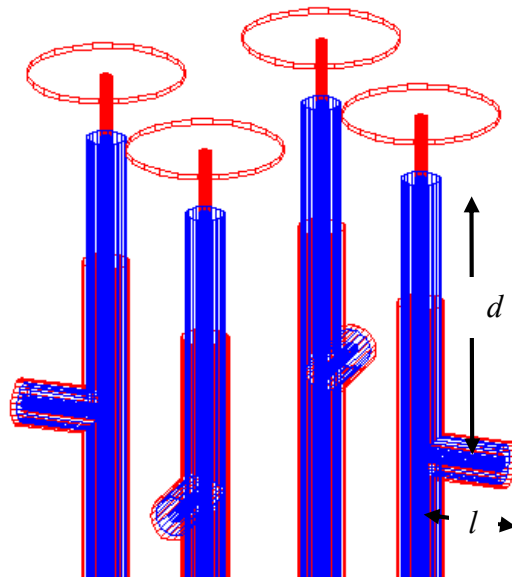
Şekil 1. HFSS’de tasarlanmış THM dizi antenin (a) Eğik, (b) Yan görünüşü



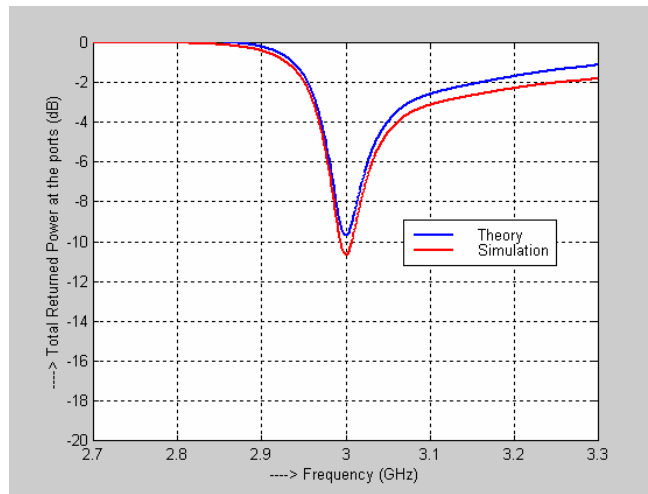
Şekil 2. THM dizi anten için oluşturulmuş yönlü patern modunun üstten ve yandan görünümü.



Şekil 3. Herhangi bir uyum devresi kullanılmadan elde edilen toplam yansıyan güç eğrisi.



Şekil.4. “Single-stub” uyum tekniği uygulanmış 4-elemanlı THM anten dizisi.



Şekil.5. 4-elemanlı THM anten dizisi için uyum devresi uygulandıktan sonra elde edilen toplam yansıyan güç eğrisi. Theori (Mavi) ve simulasyon (Kırmızı).