

Ultra Geniş Bandlı (UWB) Dipol Antenler

Şule (Yener) Çolak
e-mail: syener@cu.edu.tr

Tan. F. Wong*
e-mail: twong@ece.ufl.edu

A. Hamit Serbest
e-mail: serbest@cu.edu.tr

Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 01330, Balcalı, Adana
**Dept of Electrical & Computer Eng., Univ. of Florida, 461 Eng. Building, PO Box 116130*
Gainesville, Florida 32611 USA

Özet: Ultra geniş bandlı (UWB) antenlerin verici antenden yayılma ve alıcı anten tarafından alınma karakteristiğini incelemek üzere frekans domaininde analitik bir yaklaşım kullanılmıştır. Yayılan ve alınan enerji formülleri ve korelasyon katsayısı ifadeleri elde edilmiştir. Bu ifadeler bir bilgisayar programı kullanılarak çözümlenmiş sonuçlar hesaplanmıştır.

1.Giriş

Ultra geniş band haberleşmesi (UWB), son dönemlerde araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmeye başlayan bir teknolojidir. Bu sistemde, iletim ve alımda ultra kısa süreli darbeler kullanılmakta ve karakteristik spektrum çok geniş bir frekans aralığına uzanmaktadır. UWB sistemler düşük güç spektral yoğunlukları nedeniyle diğer haberleşme sistemleri için zaten ayrılmış olan frekans spektrumlarını, diğer sistemlerle minimum düzeyde bir karışma ile veya hiç karışma olmadan kullanabilmekte ve diğer radyo frekans cihazları tarafından beyaz gürültü şeklinde algılanmaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Haberleşme Komisyonu'nun (FCC) 3.1-10.6 GHz'lik band genişliğini ultra geniş bandlı sistemlerin kullanımı için tahsis etmesiyle teknoloji daha büyük bir ilgi ile araştırılmaya ve incelenmeye başlamıştır.

Kısa darbeli sinyallerin kullanıldığı ultra geniş bandlı haberleşme sistemlerinde anten tasarımı önemli bir rol oynamaktadır. Bu kadar geniş bir band genişliğine sahip olmak bir takım sorunları da beraberinde getirmektedir. Tasarım diğer klasik dar bandlı anten tiplerine göre biraz daha karmaşıktır. Bilinen birçok dar bandlı anten parametreleri böyle geniş bir frekans aralığında farklılık gösterebilmektedir. Yayılma paterni hem frekansa hem yöne bağımlı olabilmekte, darbe bozunumu açıyla değişim gösterebilmektedir. Frekans domainindeki sinyal bozunumu iletilen darbe şeklini ve sinyal spektrasını etkilemektedir. Bu da uygulanan darbenin tespit edilmesini daha karmaşık bir hale getirmektedir.

Alıcı tarafına ulaşan darbe dalga biçimi genellikle verici tarafına uygulanan giriş darbe sinyaline benzememektedir. Bu nedenle de, alıcı tarafındaki sinyalin karakteristiği, bütün anten sisteminin performansını anlamada önemli bir rol oynar. Alıcıya ulaşan sinyalin tespiti uygun bir şablon seçilmek suretiyle yapılabilir. Bu sebeplerden dolayı, anten tasarımı, ultra geniş bandlı sinyal yayılımı ve alımı için göz önünde bulundurulması gereken en önemli konulardan biridir ve bu sistemlerde antenler farklı bir yaklaşımla incelenmelidir.

Ultra geniş bandlı antenleri incelemede genellikle zaman domainindeki nümerik yöntemler kullanılmış olsa da son dönemlerde frekans domaininde de uygulamalar başlamıştır. Ultra geniş band sinyal iletimi ile ilgili yapılan çalışmalarda, FDTD ve MoM gibi bir takım nümerik tekniklere başvurulmuş veya deneysel olarak antenlerin davranışı incelenmiştir. [1]-[2].

Bu çalışmada, ultra geniş bandlı antenlerin karakteristiği, enerji ve korelasyon katsayısı bağıntıları kullanılarak frekans domaininde analitik yöntem yardımıyla incelenmiştir. Böylece, elde edilen ifadeler bilgisayar programları yazılarak kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Ayrıca bu yaklaşım aynı mantıkla anten dizileri gibi farklı anten yapılarına uygulanabilir. Ancak diğerlerine örnek teşkil etmesi amacıyla ve matematiksel ifadelerin ve işlemlerin daha az karmaşık olması sebebiyle öncelikle tek dipol ele alınmıştır.

Çalışmada, verici dipolden yayılan enerji ve alıcı dipolun uçlarındaki elde edilen enerji hesaplanmıştır. Ayrıca, alıcı tarafındaki sinyalin algılanabilme yeteneğinin belirlenebilmesi için alıcı ucundaki yük voltajı ve verici tarafındaki kaynak voltajı arasındaki korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bazı parametrelerin değişiminin korelasyon katsayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. Problemin Formülasyonu ve Çözümü

$2l$ uzunluklu a yarıçaplı merkezden beslemeli ince bir dipol Şekil 1.'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Dipol çok ince olarak varsayıldığında, yani $2l \gg a$ olduğunda, dipol üzerindeki akım yoğunluğu frekans domaininde aşağıdaki ifade ile belirtilir

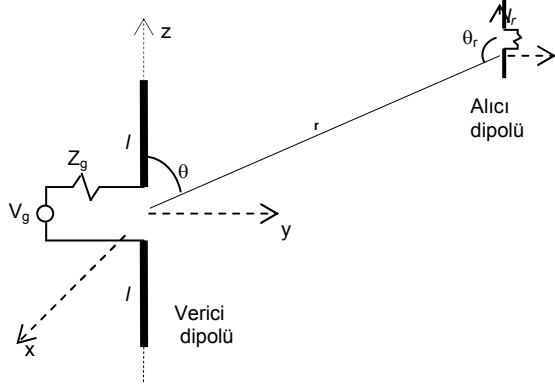


Figure 1. Verici ve alıcı ince dipol antenlerin geometrisi

$$I(z, f) = \frac{2jVg(f)}{Z_0(1+\alpha)} \frac{\sin \frac{2\pi f}{c}(1-|z|)}{1+\Gamma \exp(-j\frac{2\pi f}{c}l)} \exp(-j\frac{2\pi f}{c}l). \quad (1)$$

Bu ifade açık uçlu iletim yolu üzerindeki akım yoğunluğu şeklinde tanımlanabilmektedir [3]-[4]. Burada $Z_0 = \Omega \cdot (\xi_0/2\pi) = (\xi_0/\pi) \ln(2l/a)$ karakteristik empedans olup $\Omega = 2 \ln(2l/a)$ anten parametresidir. ξ_0 ise boşluktaki empedanstır. Kaynak empedansı $Z_g = \alpha Z_0 = (1-\Gamma) Z_0 / (1+\Gamma)$ olup Γ yansımaya katsayısıdır. α reeldir. Uyumlama durumunda $\Gamma=0$ and $\alpha=1$ olur. Böylece akım yoğunluğu

$$I(z, f) = \frac{jVg(f)}{Z_0} \sin \frac{2\pi f}{c}(1-|z|) \exp(-j\frac{2\pi f}{c}l) \quad (2)$$

olarak ifade edilir.

Buna göre, yayılan alan aşağıdaki şekilde bulunur

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, f) = -\mathbf{a}_0 \frac{\xi_0 V_g(f)}{2\pi r Z_0 \sin \theta} \left[\cos \frac{2\pi f l \cos \theta}{c} - \cos \frac{2\pi f l}{c} \right] \times \exp\left(-j\frac{2\pi f}{c}(r+l)\right) \quad (3)$$

Yayıma paterninin gözlenmesi, anten tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. İnce dipolün yayılma paternini elde etmek için yayılma enerjisi

$$W_{\text{rad}} = \frac{1}{\xi_0} \int_{-\infty}^{\infty} |\mathbf{E}(\mathbf{r}, f)|^2 df \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak formüle edilir. Eşitlik 4'deki \mathbf{E} yerine Eşitlik 3'deki ifadesi konulursa

$$W_{\text{rad}} = \frac{4\pi^3 T^4}{[\Gamma \ln(\frac{2l}{a}) \sin \theta]^2} \int_0^\infty f^2 e^{-(2\pi f T)^2} \left[\cos \frac{2\pi f l \cos \theta}{c} - \cos \frac{2\pi f l}{c} \right]^2 df \quad (5)$$

elde edilir. Burada, kaynak voltajı Gaussian darbenin türevi olan tekli darbe (monopulse) olarak alınmıştır. İfadesi

$$V_g(t) = \frac{t}{T} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{T}\right)^2\right) \\ V_g(f) = (2\pi)^{3/2} T^2 f \exp(-2\pi^2 T^2 f^2), \quad (6)$$

şeklinde dir.

Verici antenden yayılan alan $2l_r$ uzunluklu b yarıçaplı alıcı antene geldiğinde (Şekil 1) alıcı dipol tarafındaki yük voltajı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V_L(f) = \frac{\mathbf{E}(f) \cdot \mathbf{h}_{\text{eff}}(f)}{Z_L + Z_{\text{in},r}} Z_L. \quad (7)$$

Burada \mathbf{h}_{eff} , $Z_{\text{in},r}$, and Z_L sırasıyla alıcı dipolün etkin uzunluğu, giriş empedansı ve yük empedansıdır. Bu değerler verici tarafındaki dipol için yapılan aynı akım yoğunluğu ve iletim hattı mantığıyla hesaplanır [5].

Buna göre, alıcı antenin uçlarındaki yük voltajı

$$V_L(f) = \frac{\xi_0 \sqrt{2\pi c} T^2 f e^{-(2\pi f T)^2} Z_L \left[\cos \frac{2\pi f l \cos \theta}{c} - \cos \frac{2\pi f l}{c} \right]}{\pi r \sin \theta \sin \theta_r Z_0 f \sin \frac{2\pi f l_r}{c}} \\ \times \frac{\left[\cos \frac{2\pi f l_r \cos \theta_r}{c} - \cos \frac{2\pi f l_r}{c} \right]}{\left[Z_L - j \frac{\xi_0}{\pi} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \cot \frac{2\pi f l_r}{c} \right]} e^{-\frac{j2\pi f}{c}(r+l)} \quad (8)$$

olarak bulunur.

Alıcıdaki yük tarafından alınan enerji, ultra geniş bantlı antenlerin davranışını incelemek açısından önemli bir diğer parametredir. Buna göre, alıcı antenin uçlarındaki yük tarafından alınan enerji

$$W_{\text{rec}}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|V_L(f)|^2}{Z_L^*} df. \quad (9)$$

bağıntısı kullanılarak

$$W_{rec}(f) = \frac{4\pi Z_L c^2 T^4}{\left[r \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \sin \theta \sin \theta_r\right]^2} \int_0^\infty \frac{e^{-(2\pi T f)^2}}{\sin^2\left(\frac{2\pi f l_r}{c}\right)} \times \frac{\left[\cos\frac{2\pi f l \cos \theta}{c} - \cos\frac{2\pi f l}{c}\right]^2 \left[\cos\frac{2\pi f l_r \cos \theta_r}{c} - \cos\frac{2\pi f l_r}{c}\right]^2}{Z_L^2 + \left[\frac{\xi_0}{\pi} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \cot\frac{2\pi f l_r}{c}\right]^2} df \quad (10)$$

olarak elde edilir. Bu ifade de nümerik olarak bilgisayar programları kullanılarak kolayca hesaplanabilir.

Ultra geniş bantlı haberleşme uygulamalarında, yayılan ve alınan enerji ölçümlerine ek olarak, sinyalin yayılması ve alınması esnasında antenin sinyal şeklini nasıl etkilediğini anlamak da önemlidir. Bu durum da yayılan ve alınan dalga şekli ve seçilen bir şablon arasında bir korelasyon oluşturarak mümkün kılınabilir. Bu amaçla, alıcıdaki yük voltajı ve vericideki kaynak voltajı arasındaki korelasyon katsayısı

$$CC = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} V_g(f) V_L^*(f) df}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_g(f)|^2 df} \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_L(f)|^2 df}} \quad (11)$$

bağıntısı kullanılarak

$$CC = \frac{2(2\pi T)^{3/2}}{\pi^{1/4}} \frac{\int_0^\infty \frac{e^{-(2\pi T f)^2}}{\sin^2\left(\frac{2\pi f l_r}{c}\right)} \left[\cos\frac{2\pi f l \cos \theta}{c} - \cos\frac{2\pi f l}{c}\right] \left[\cos\frac{2\pi f l_r \cos \theta_r}{c} - \cos\frac{2\pi f l_r}{c}\right]}{Z_L^2 + \left[\frac{\xi_0}{\pi} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \cot\frac{2\pi f l_r}{c}\right]^2} \times \left[Z_L \cos\frac{2\pi f}{c}(r+l) + \frac{\xi_0}{\pi} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \cot\frac{2\pi f l_r}{c} \sin\frac{2\pi f}{c}(r+l) \right] df}{\int_0^\infty \frac{e^{-(2\pi T f)^2}}{\sin^2\left(\frac{2\pi f l}{c}\right)} \left[\cos\frac{2\pi f l \cos \theta}{c} - \cos\frac{2\pi f l}{c}\right]^2 \left[\cos\frac{2\pi f l_r \cos \theta_r}{c} - \cos\frac{2\pi f l_r}{c}\right]^2}{Z_L^2 + \left[\frac{\xi_0}{\pi} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \cot\frac{2\pi f l_r}{c}\right]^2} df} \quad (12)$$

şeklinde elde edilir.

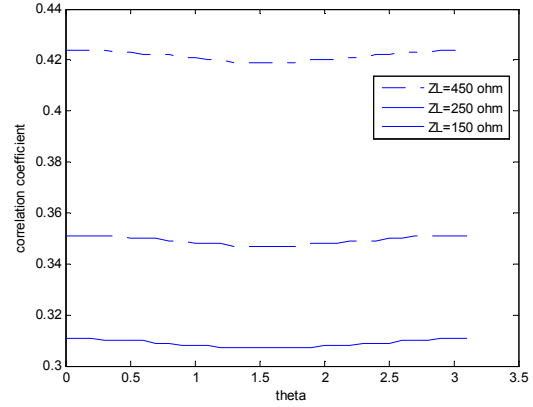
3. Nümerik Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen ifadeler, bilgisayarda nümerik bir program yardımıyla hesaplanıp sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir.

Alıcı ve verici dipol boyları $\lambda_c/2$ olarak seçilmiştir. Burada λ_c 3.1–10.6 GHz ultra geniş band aralığının merkez frekansı olan f_c 'deki dalga boyudur. Her iki dipol için de uzunluk/yarıçap oranı 100 alınmıştır. Ayrıca darbe süresi $T=1/f_c$ 'dir.

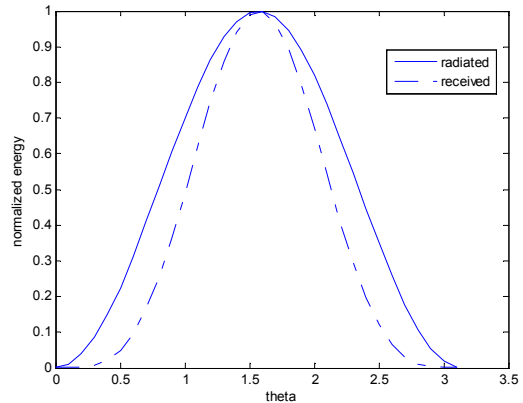
Şekil 2'de yük voltajı ve kaynak voltajı arasındaki korelasyon katsayısı farklı Z_L değerleri için gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi Z_L arttıkça, korelasyon katsayısı da artmaktadır. Ancak Z_L artışı korelasyon katsayısı eğrisinin şeklini

değiştirmemektedir. Her Z_L değeri için korelasyon katsayısı yöne göre yeknesak bir davranış göstermektedir.



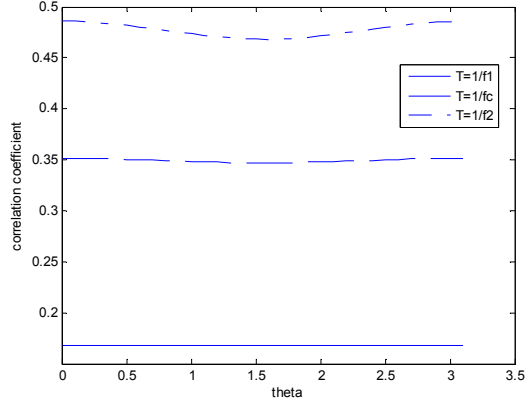
Şekil2. V_L ve V_g arasındaki korelasyon katsayısı
— $Z_L=150 \Omega$, --- $Z_L=250 \Omega$, -.- $Z_L=450 \Omega$

Şekil 3'de normalize edilmiş yayılan ve alınan enerjiler gözlem açısına göre çizdirilmiştir. Normalizasyon işlemi maksimum değer olan $\theta=\pi/2$ yönündeki (broadside) enerji değerine göre yapılmıştır. Alınan enerjinin hüzmeye genişliği yayılan enerjinin hüzmeye genişliğine göre daha dardır. Bu, UWB dipol antenin filtreleyici etkisini göstermektedir.



Şekil3. —Yayılan ve -.-.alınan normalize enerjiler
($Z_L=150 \Omega$).

En son olarak da, Şekil 4'de, farklı T değerleri için yük voltajı ve kaynak voltajı arasındaki korelasyon katsayısı gösterilmiştir. Burada $f1=3.1$ GHz, $f2 = 10.6$ GHz'dir. Şekilden görüldüğü üzere, darbe süresi kısaltıldıkça, iki sinyal arasındaki korelasyon katsayısı artmaktadır. Ancak, T değıştikçe korelasyon katsayısı θ açısına göre aynı davranışı göstermektedir.



Şekil 4. V_L ve V_g arasındaki korelasyon katsayısı
 — $T=1/f1$, - - - $T=1/fc$, - . - $T=1/f2$

4. Sonuç

Bu çalışmada, ultra geniş bantlı haberleşme sistemlerde alıcı ve verici dipol antenlerin davranışı incelenmiştir. Verici antenden yayılan ve alıcı anten tarafından alınan enerjilerin formülleri frekans domaininde hesaplanmıştır. Ayrıca, gelen sinyalin ne derece etkili bir şekilde alındığını görmek için sinyalin alıcı dipol tarafından tespit edilebilirliği incelenmiştir. Bu amaçla verici antene uygulanan kaynak voltajı ve alıcı dipol tarafındaki yük voltajı arasındaki korelasyon katsayısı frekans domaininde hesaplanmıştır. Frekans domaini yaklaşımıyla, daha az karmaşık olan matematiksel işlemler kullanılıp analitik olarak çözüme gidilebilmiş ve elde edilen ifadeler kolaylıkla bilgisayarlarda nümerik olarak hesaplanabilmiştir.

Referanslar

- [1] J. S. McLean, H. Foltz, and R. Sutton "Pattern Descriptors for UWB Antennas," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 53, no. 1, pp.553-559, January 2005.
- [2] Z. N. Chen, X. H. Wu, N. Yang, and M. Y. W. Chia, "Design considerations for antennas in UWB wireless communication systems," *Proc. IEEE Int. Symp. Ant. Propag.*, vol. 1, pp. 822-825, June 2003.
- [3] G. Franceschetti, and C. H. Papas, "Pulsed Antennas," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 22, no. 5, pp. 651-661, September 1974.
- [4] S. N. Samaddar, "Transient radiation of a single-cycle sinusoidal pulse from a thin dipole," *J. Franklin Inst.*, vol. 329, no. 2, pp. 259-272, 1992.
- [5] S. N. Samaddar, "Behavior of a received pulse radiated by halfwave dipole excited by a single-cycle sinusoidal voltage," *J. Franklin Inst.*, vol. 330, no. 1, pp. 17-28, 1993.