

DAİRESEL MİKROŞERİT ANTENİN BESLEME KABLOSUNA GÖSTERDİĞİ EMPEDANSININ YENİ BİR YÖNTEMLE İFADESİ

Serkan ŞİMŞEK¹ Necmi Serkan TEZEL² İnci AKKAYA³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

İstanbul Üniversitesi, 34850, Avcılar, İstanbul

^{2,3}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul

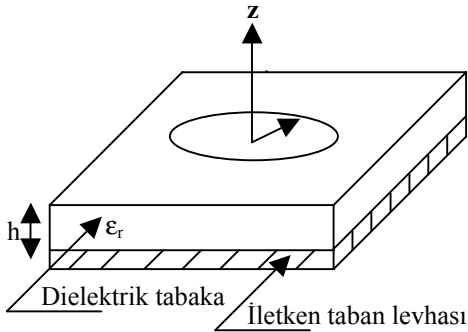
¹e-posta: ssimsek@istanbul.edu.tr ²e-posta: necmi@ehb.itu.edu.tr
³e-posta: akkaya@ehb.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Dairesel Mikroşerit Anten

ABSTRACT

This paper presents a new method that expresses load impedance of feeding cable for circular microstrip antenna. In order to obtain total power of microstrip antenna, dielectric and skin losses are added to the radiated power which is found by using Love's equivalent surface currents. In this new method, the current which is supplied from the feeding cable is expressed with nearly exact formulas by using electrical field expression in the coaxial cable. The load impedance of feeding cable of circular microstrip antenna is obtained with this new method, by using the total power and square of the modul of the current which is supplied from the feeding cable.

1. GİRİŞ



Şekil 1. Dairesel bir mikroşerit anten

Şekil 1'de dairesel yamalı bir mikroşerit anten görülmektedir. Dairenin yarıçapı a ve dielektrik tabakanın yüksekliği h 'dir. Bu yamanın taban levhasına olan uzaklığı $h \ll \lambda$ olduğu için

mikroşerit yamanın altında bu yamaya dik bir \mathbf{E} alanı oluşur. Bu \mathbf{E} alanının h boyunca değişimi olmaz. Dairesel mikroşerit antenin kendisi ile alt iletkeni arasında oluşan \mathbf{E} alan çizgileri düzgün yapıda olmayıp uçlarda dağılıma vardır. Bu nedenle etkin yarıçap a 'dan biraz daha büyük olarak $a_{\text{eff}} = a + \Delta a$ alınır. Etkin yarıçap

$$a_{\text{eff}} = a \sqrt{1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1,7726 \right]} \quad (1)$$

(1) denkleminde hesaplanır [1].

2. BASKIN MODDA ALAN ÇÖZÜMÜ

Baskın modda $h \ll \lambda$ ve $\frac{\partial}{\partial z} = 0$ koşullarıyla yamaya dik doğrultuda \mathbf{E} alanı vardır. $\mathbf{E} = E_z \mathbf{u}_z$ alınırsa dalga denklemi,

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -j\omega \mu_0 \cdot j\omega \epsilon \mathbf{E} \quad (2)$$

olur. Bu denklemin silindirik koordinatlardaki ifadesini kullanıp çözümünü yaparsak,

$$E_z = E_{z0} \cos(n\phi) J_n(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \quad (3)$$

elde ederiz. (3) ifadesinden yararlanarak magnetik alanı,

$$\mathbf{H} = \frac{jE_{z0}}{\omega \mu_0} \times \begin{bmatrix} -\mathbf{u}_\rho \frac{n}{\rho} \sin(n\phi) J_n(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \\ -\mathbf{u}_\phi \cos(n\phi) \frac{\partial}{\partial \rho} J_n(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \end{bmatrix} \quad (4)$$

(4) olarak bulunur. $\rho=a$ silindir yüzeyinde $H_\varphi = 0$ olması gerektiğinden,

$$\left. \frac{\partial}{\partial \rho} J_n(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}\rho) \right|_{\rho=a} = 0 \quad (5)$$

koşulunu buluruz. Bunu sağlayan en küçük $\omega_r = 2\pi f_r$ değeri rezonans frekansını vermektedir.

$$\frac{dJ_n(t)}{dt} = 0 \quad (6)$$

denklemini sağlayan $t = \omega\sqrt{\epsilon\mu_0}a$ köklerinden sıfır olmayan en küçük değerlisi, $n=1$ için $t = 1,84118$ 'dir. O halde baskın modda $n=1$ 'dir.

3. IŞIMA ALANININ VE IŞINLANAN GÜCÜN ELDE EDİLMESİ

Şekil 1'deki a yarıçaplı dairesel yama ve $z=-h$ düzlemindeki yamanın taban iletkenine göre görüntüsü ele alındığında, dairesel mikroşerit antenin uzak alanda herhangi bir noktada oluşturacağı alan magnetik vektörel potansiyelden yararlanarak elde edilebilir. Magnetik vektörel potansiyel uzak alan için

$$\mathbf{B}_{uzak}(\mathbf{r}) = \frac{e^{-jk_r}}{4\pi r} \iint_S \mathbf{J}(\mathbf{r}') e^{+jk_u \cdot \mathbf{r}'} ds' \quad (7)$$

yazılır. (7) denklemindeki eşdeğer magnetik akımlar

$$\mathbf{J}(\mathbf{r}') = -\mathbf{u}_n(\mathbf{r}') \times \mathbf{E}(\mathbf{r}') \quad (8)$$

olarak ifade edilir, burada $\mathbf{u}_n(\mathbf{r}')$, \mathbf{r}' noktasındaki yüzeyden dışarı doğru normal vektördür. (8) denklemini hesaplamışında

$$\mathbf{J}(\mathbf{r}') = \mathbf{u}_\varphi \cdot E_{z0} \cos(n\varphi') J_n(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}a) \quad (9)$$

olarak bulunur. Bulunan eşdeğer yüzey akım değeri (7) denkleminde yerine yazıldığında ve

$$\mathbf{E}_{uzak} = jk_0 \mathbf{u}_r \times \mathbf{B}_{uzak} \quad (10)$$

ifadesi kullanılırsa, $n=1$ yani baskın modda çalışırken $ka = k_0 \sqrt{\epsilon_r} a \cong 1,84$ olmak üzere alan

$$E_\theta \cong -\frac{e^{-jk_0 r}}{r} jk_0 a \cos(\varphi) \times \left[J_1'(1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r}) E_{z0} h J_1(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}a) \right] \quad (11)$$

$$E_\varphi \cong \frac{e^{-jk_0 r}}{r} jk_0 a \sin(\varphi) \frac{J_1(1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r})}{1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r}} \times \left[\cos(\theta) E_{z0} h J_1(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}a) \right] \quad (12)$$

bileşenleri (11) ve (12) olarak elde edilir. Elektrik alan

$$\mathbf{E}_{uzak} = E_\theta \mathbf{u}_\theta + E_\varphi \mathbf{u}_\varphi \quad (13)$$

(13) şeklindedir. Dairesel mikroşerit antenden ışınlanan güç, poynting vektörünü kullanarak,

$$W_{ışın} = \int_{\theta=0}^{\pi/2} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{|\mathbf{E}_{uzak}|^2}{120\pi} r^2 \sin\theta d\theta d\varphi \quad (14)$$

denklemini ile hesaplandığında

$$W_{ışın} = \frac{k_0^2 a^2 h^2 E_{z0}^2 |J_1(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}a)|^2}{120} \times \int_{\theta=0}^{\pi/2} \left[|J_1'(1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r})|^2 + \frac{|J_1(1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r})|^2}{1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r}} \cos^2(\theta) \right] \times \sin\theta d\theta \quad (15)$$

olarak bulunur.

4. ANTENİN DİELEKTRİK VE DERİ KAYIPLARININ BULUNMASI

Dairesel mikroşerit antenlerin kayıpları içi dielektrik dolu alt ve üst yüzeyleri iletken olan rezonatörün içindeki kayıplardır. Bunlar dielektriğin mükemmel dielektrik olmamasından kaynaklanan dielektrik kayıpları, yamanın ve taban levhasının mükemmel iletken olmamalarından doğan deri kayıplarıdır. Baskın modda dielektrikteki kayıp güç

$$W_{dielektrik} = \omega W_{depomax} \text{tg}\delta \quad (16)$$

(16) denklemini ile ifade edilir. Baskın modda rezonansa gelen dairesel rezonatörde depo edilen maksimum enerji

$$W_{depomax} = \int_V \epsilon |\mathbf{E}|^2 dV = \epsilon E_{z0}^2 \pi h \times \left[\int_{\rho=0}^{a_{eff}} |J_1(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}\rho)|^2 \rho d\rho \right] \quad (17)$$

olarak hesaplanarak dielektrikteki kayıp güç

$$W_{dielektrik} = \omega \epsilon E_{z0}^2 \pi h \text{tg}\delta \int_{\rho=0}^{a_{eff}} |J_1(\omega\sqrt{\epsilon\mu_0}\rho)|^2 \rho d\rho \quad (18)$$

bulunur. Rezonatörün deri kayıpları

$$W_{deri} = \iint_{S_{alt}} |H_t|^2 ds \sqrt{\frac{\mu_{alt}\omega}{2\sigma_{alt}}} + \iint_{S_{üst}} |H_t|^2 ds \sqrt{\frac{\mu_{üst}\omega}{2\sigma_{üst}}} \quad (19)$$

integralleriyle hesaplanır. Baskın modda dairesel rezonatörün H alanı olan (4) denklemini kullanarak

$$W_{\text{deri}} = \frac{E_{z0}^2}{\omega^2 \mu_0^2} \left(\sqrt{\frac{\mu_{\text{yama}} \omega}{2\sigma_{\text{yama}}}} + \sqrt{\frac{\mu_{\text{taban}} \omega}{2\sigma_{\text{taban}}}} \right) \pi \times \int_{\rho=0}^{a_{\text{eff}}} \left[\frac{1}{\rho^2} \left| J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \right|^2 + \left| \frac{\partial}{\partial \rho} J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \right|^2 \right] \rho d\rho \quad (20)$$

deri kaybı (20) elde edilir.

5. ANTENİN BESLEME KABLOSUNA GÖSTERDİĞİ EMPEDANSININ YENİ BİR YÖNTEMLE İFADESİ

Antene uygulanan toplam güç ışınlanan gücün ve kayıp güçlerin toplamı olarak,

$$W_{\text{yük}} = W_{\text{ışın}} + W_{\text{dielektrik}} + W_{\text{deri}} \quad (21)$$

şeklinde ifade edilir. Eşeksenel kablo içerisindeki alan

$$E_z = A J_0(k_t \rho) \quad (22)$$

(22) şeklindedir [2]. Alan ifadesinden yararlanarak akımın ifadesi

$$I = 2\pi \sigma A \int_{\rho=0}^R J_0(k_t \rho) \rho d\rho \quad (23)$$

şeklindedir. $x^n J_{n-1}(x) = d[x^n J_n(x)]$ tam diferansiyel bağıntısının kullanılması gerektiğinden (23) denkleminde

$$I = 2\pi \sigma A \int_{\rho=0}^R \frac{J_0(k_t \rho) k_t \rho d(k_t \rho)}{k_t^2} \quad (24)$$

elde edilir. R eşeksenel kablonun içteki iletkeninin yarıçapı olmak üzere A katsayısı E alanların sürekliliğinden

$$A = \frac{E(R)}{J_0(k_t R)} = \frac{E_{z0} \cos(\varphi') J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho')}{J_0(k_t R)} \quad (25)$$

bulunur. (25) olarak bulunan A katsayısı (24) denkleminde yerine yazılıp integral alındığında

$$I = \frac{2\pi \sigma E_{z0} \cos(\varphi') J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho') k_t R J_1(k_t R)}{k_t^2 J_0(k_t R)} \quad (26)$$

çekilen akım ifadesi elde edilir. $k_t R \gg 1$ koşulu ile (27) Bessel fonksiyonu yaklaşıklığını [3] ve (28) denklemini kullanarak

$$J_p(\rho) \cong \sqrt{\frac{2}{\pi \rho}} \cos \left[\rho - \frac{(2p+1)\pi}{4} \right] \quad |\rho| \gg 1 \text{ ve } |\rho| \gg p \quad (27)$$

$$k_t \cong \sqrt{-j\sigma\omega\mu} = (1-j) \sqrt{\frac{\sigma\omega\mu}{2}} = \frac{1-j}{d_0} \quad (28)$$

$$I = \pi(1-j) E_{z0} \cos(\varphi') J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho') \sqrt{\frac{2\sigma}{\omega\mu}} R \quad (29)$$

akım formülü elde edilir. Akımın modül karesi

$$|I|^2 = \frac{E_{z0}^2 \cos^2(\varphi') \sigma R^2 10^7 \left| J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho') \right|^2}{2f} \quad (30)$$

bulunur. Toplam güç ve akımın modül karesi kullanılarak

$$Z_{\text{yük}} = \frac{W_{\text{yük}}}{|I|^2} \quad (31)$$

$$Z_{\text{yük}} = \frac{2f 10^{-7}}{\sigma R^2 \cos^2(\varphi') \left| J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho') \right|^2}$$

$$\left[\begin{aligned} & \frac{k_0^2 a^2 h^2 \left| J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} a) \right|^2}{120} \\ & \times \int_{\theta=0}^{\pi/2} \left[\left| J_1(1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r}) \right|^2 + \frac{\left| J_1(1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r}) \right|^2}{1,84 \sin\theta / \sqrt{\epsilon_r}} \cos^2(\theta) \right] \sin\theta d\theta \\ & \times \omega \epsilon \pi h t g \delta \int_{\rho=0}^{a_{\text{eff}}} \left| J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \right|^2 \rho d\rho \\ & + \frac{1}{\omega^2 \mu_0^2} \left(\sqrt{\frac{\mu_{\text{yama}} \omega}{2\sigma_{\text{yama}}}} + \sqrt{\frac{\mu_{\text{taban}} \omega}{2\sigma_{\text{taban}}}} \right) \pi \\ & \times \int_{\rho=0}^{a_{\text{eff}}} \left[\frac{1}{\rho^2} \left| J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \right|^2 + \left| \frac{\partial}{\partial \rho} J_1(\omega \sqrt{\epsilon \mu_0} \rho) \right|^2 \right] \rho d\rho \end{aligned} \right] \quad (32)$$

besleyici kablonun gördüğü yük empedansı bulunur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada dairesel mikroşerit antenin besleme kablosuna gösterdiği empedansı yeni bir yöntemle ifade edildi. Eşdeğer yüzeysel akımlarıyla bulunan ışınlanan güce dielektrik ve deri kayıpları eklenerek toplam güç elde edildi. Bu yöntemde antenin besleyici kablodan çektiği akım kesin sayılabilecek formüllerle ifade edildi. Hesaplanan toplam güç ve besleyici

kablodan çekilen akımın modül karesi kullanılarak yük empedansı bu yeni yöntemle (32) denklemi ile elde edildi.

KAYNAKLAR

- [1] C. A. Balanis, "Antenna Theory-Analysis and Design", Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., pp. 755, 1997.
- [2] İnci Akkaya, "Analysis of the Circular Cylindrical Dipole of Any Material, In Any Medium", Bulletin of the Technical University of Istanbul, Vol.34, No:1, pp. 34, 1981.
- [3] J. A. Stratton, "Electromagnetic Theory", First Edition, McGraw Hill Book Company, Inc., pp. 359, 1941.