

DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENİN İŞIMA ALANININ VE BESLEME KABLOSUNA GÖSTERDİĞİ EMPEDANSININ YENİ BİR YÖNTEMLE İFADELERİ

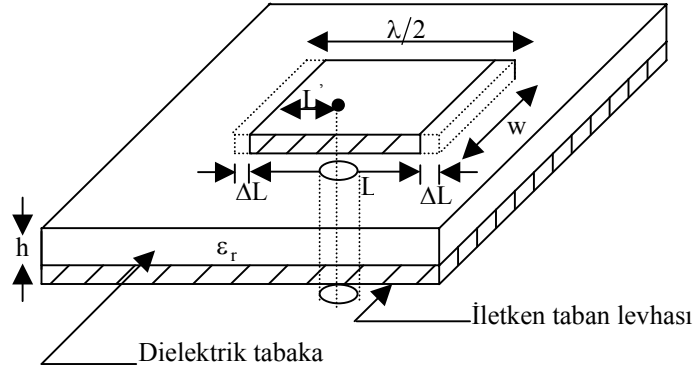
Serkan Şimşek, Necmi Serkan Tezel, İnci Akkaya
İstanbul Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Avcılar, İstanbul
ssimsek@istanbul.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Maslak, İstanbul
necmi@ehb.itu.edu.tr, akkaya@ehb.itu.edu.tr

ÖZET

Dikdörtgen mikroşerit antenin ışıma alanı dört yan yüzey için hesaplandı. Güç hesaplamada antenin gücü, parça parça hesaplanmayıp, alanların süperpozisyonunu kullanarak hesaplandı. Böylece ortak admitans kavramına yer vermeye gerek kalmadı. Antene iletim hattı modeli uygulanmadan, besleyici hattan çektiği akım kesin sayılabilecek formüllerle ifade edildi. Besleyici kablunun gördüğü yük empedansı daha doğru yeni bir yöntemle ifade edildi. Ayrıca yük empedansı hesaplanırken dielektrik ve deri kayıpları da göz önüne alındı.

1. GİRİŞ



Şekil 1. Dikdörtgen mikroşerit antenin eşeksenli kablo ile beslenişi

Şekil 1’de eşeksenli kablo ile beslenen dikdörtgen yamalı mikroşerit anten görülmektedir. Bu yamanın taban levhasına olan uzaklığı $h \ll \lambda$ olduğu için mikroşerit yamanın altında, bu yamaya dik bir E alanı oluşur. Bu E alanın h boyunca değişimi olmaz. E alan çizgileri yalnız dielektrik ortam içinden değil, havanın da içinden geçmektedir. Bu nedenle etkin dielektrik sabiti tanımlanır. (1) ve (2) ile ifade edilir [1].

$$\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_0 \epsilon_{\text{reff}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \quad (2)$$

$L \times w$ boyutlu dikdörtgen yamanın kendisi ile alt iletken arasında oluşan E alan çizgileri

düzgün yapıda olmayıp uçlarda dağılıma vardır. Bu nedenle etkin uzunluk $L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L$ olarak alınır.

$$\Delta L = h \cdot 0,412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8\right)} \quad (3)$$

(3) bağıntısı ile hesaplanır [1]. Baskın modda

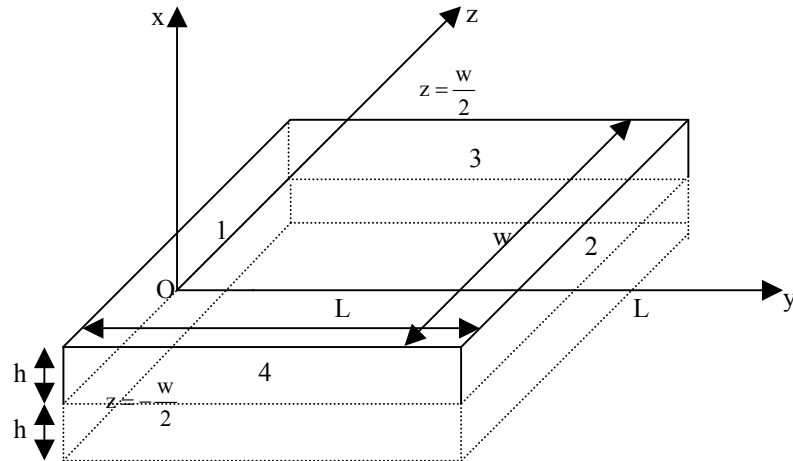
$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon_{\text{reff}} \epsilon_0 \mu_0} \quad (4)$$

dır. L_{eff} uzunluğu genellikle $\lambda_g/2$ yani

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L = \frac{\lambda_g}{2} = \frac{\pi}{\omega \sqrt{\epsilon_{\text{reff}} \epsilon_0 \mu_0}} \quad (5)$$

dir.

2. DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENİN İŞİMA ALANININ ELDE EDİLMESİ



Şekil 2. $L \times w$ boyutlu bir dikdörtgen yama ve $x=-h$ düzleminde yamanın taban iletkenine göre görüntüsü.

Şekil 2'de $L \times w$ boyutlu bir dikdörtgen yama görülmektedir. Bu yama $Oxyz$ eksen sistemine göre Oyz düzlemi içindedir. Yamanın taban iletkenine göre görüntüsü $x=-h$ düzlemi içindedir. Mikroşerit rezonatörlerde

$$\frac{\partial}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

olacaktır. Ayrıca baskın mod için

$$\frac{\partial}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

alınır. Sınır şartları $x=h$ ve $x=0$ 'da $E_y = E_z = 0$, $y=0$ ve $y=L$ 'de $H_x = H_z = 0$, $z = \pm \frac{w}{2}$ 'de $H_y = H_x = 0$ 'dır. Bu şartlar altında

$$\nabla^2 \mathbf{E}_x + \omega^2 \epsilon_{\text{reff}} \epsilon_0 \mu_0 \mathbf{E}_x = 0 \quad (8)$$

denklemini elde edilir. (8) denkleminin çözümünden (9) alan ifadesi

$$\mathbf{E} = \mathbf{u}_x E_0 \cos \beta y \quad (9)$$

bulunur. Eşdeğer yüzey akımları

$$\mathbf{J} = -\mathbf{u}_n \times \mathbf{E} \quad (10)$$

bağıntısından görüntüleriyle birlikte yazılırsa

$$\mathbf{J}_1 = -\mathbf{u}_z E_0 \quad (11)$$

$$\mathbf{J}_2 = -\mathbf{u}_z E_0 \quad (12)$$

$$\mathbf{J}_3 = -\mathbf{u}_y E_0 \cos \beta y \quad (13)$$

$$\mathbf{J}_4 = \mathbf{u}_y E_0 \cos \beta y \quad (14)$$

(11), (12), (13) ve (14) elde edilir. Bu durumda magnetik vektörel potansiyel \mathbf{B} $r \gg \lambda$ için

$$\mathbf{B} = \frac{e^{-jk_r r}}{4\pi r} \int \mathbf{J}(\mathbf{r}') e^{+jk_{\mathbf{u}_r} \cdot \mathbf{r}'} ds' \quad (15)$$

olarak alınır. \mathbf{E}' de

$$\mathbf{E} = jk_0 \mathbf{u}_r \times \mathbf{B} \quad (16)$$

(16) ile hesaplanır. Bulunan (11), (12), (13), (14) denklemleri (15) denkleminde yerine konduğunda ve elde edilen sonuç (16)'da kullanıldığında (17) ifadesi elde edilir.

$$\mathbf{E} = \frac{jhw^2}{\lambda r} E_0 e^{-jk_0 r} e^{\frac{j\pi \sin \theta \sin \varphi}{2\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}} \cos\left(\frac{\pi \sin \theta \sin \varphi}{2\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}\right) \frac{\sin\left(\frac{\pi w}{\lambda} \cos \theta\right)}{\frac{\pi w}{\lambda} \cos \theta} \left[\mathbf{u}_\varphi \sin \theta + (-\mathbf{u}_\varphi \cos \theta \sin \varphi - \mathbf{u}_\theta \cos \varphi) \frac{\cos \theta \sin \theta \sin \varphi}{\epsilon_{\text{reff}} - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi} \right] \quad (17)$$

(17)'de $\frac{\sin\left(\frac{\pi w}{\lambda} \cos \theta\right)}{\frac{\pi w}{\lambda} \cos \theta}$ çarpanı $\theta = 90^\circ$ 'de maksimum değerini alır ve 1'e eşit olur. Bu θ değeri için

$\cos\left(\frac{\pi \sin \theta \sin \varphi}{2\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}\right)$ 'in maksimum genlikte olması için de $\varphi = 0^\circ$ olmalıdır. $\varphi = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ ile belirlenen

doğrultu yamaya dik olan $+\mathbf{u}_x$ doğrultusudur. $\varphi = 0^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ de ise $\frac{\cos \theta \sin \theta \sin \varphi}{\epsilon_{\text{reff}} - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi} = 0$ olur. Yani (17)

ifadesindeki köşeli parantez içindeki ikinci terimin katkısı sıfıra gider. Bu terim ise mikroşerit yamanın

$z' = -\frac{w}{2}$ ve $z' = \frac{w}{2}$ düzlemlerindeki yan yüzlerin katkısıdır. Bu nedenle $\varphi \neq 0^\circ$ ve $\theta \neq 90^\circ$ ise yan yüzlerin

katkısı ışıma diyagramını, kazanç fonksiyonunu ve ışıma direncinin değerlerine etki ederek sonucu değiştirir.

3. DİK DÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENİN İŞIMA DİRENCİNİN ELDE EDİLMESİ

$V_0 = hE_0$ olsun. Işınlanan gücü elde etmek için poynting vektöründen yararlanırsak

$$W_{ışın} = \int_{\theta=0}^{\pi/2} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{|E_{uzak}|^2}{120\pi} r^2 \sin\theta d\theta d\varphi \quad (18)$$

elde edilir. Işıma direnci ile ışınlanan güç arasındaki (19) bağıntısından yararlanarak

$$W_{ışın} = V_0^2 G_{ışın} \quad (19)$$

$$G_{ışın} = \frac{w^2}{30\lambda^2} \int_{\theta=0}^{\pi/2} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \left[\cos^2\left(\frac{\pi \sin\theta \sin\varphi}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}}\right) \frac{\sin^2\left(\frac{\pi w}{\lambda} \cos\theta\right)}{\frac{\pi^2 w^2}{\lambda^2} \cos^2\theta} \left[\frac{(\sin^3\theta + \cos^2\theta \sin\theta \sin^2\varphi)}{\epsilon_{reff} - \sin^2\theta \sin^2\varphi} \right] \right] d\theta d\varphi \quad (20)$$

$$R_{ışın} = \frac{1}{G_{ışın}} \quad (21)$$

elde edilir.

4. BESLEME KABLOSUNA GÖSTERDİĞİ EMPEDANSININ ELDE EDİLMESİ

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 dielektrik ve deri kayıp güçleri

$$W_{dielektrik} = \frac{\omega \epsilon h w L_{eff} \operatorname{tg}\delta}{2} E_0^2 = \frac{\omega \epsilon w L_{eff} \operatorname{tg}\delta}{2h} V_0^2 \quad (22)$$

$$W_{deri} = \sqrt{\frac{\omega}{2}} \left(\sqrt{\frac{\mu_{yama}}{\sigma_{yama}}} + \sqrt{\frac{\mu_{taban}}{\sigma_{taban}}} \right) \frac{V_0^2 \pi^2 w}{2\omega^2 \mu_0^2 L_{eff} h^2} \quad (23)$$

şeklinde bulunur. Toplam güç

$$W_{yük} = W_{ışın} + W_{dielektrik} + W_{deri} \quad (24)$$

olarak ifade edilir. Eşksenel kablo içerisindeki alan

$$E_z' = A J_0(k_t \rho') \quad (25)$$

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

$$I = 2\pi\sigma A \int_{\rho'=0}^R J_0(k_t \rho') \rho' d\rho' = 2\pi\sigma A \int_{\rho'=0}^R \frac{J_0(k_t \rho') k_t \rho' d(k_t \rho')}{k_t^2} \quad (26)$$

bulunur. A katsayısını E alanların sürekliliğinden yararlanarak

$$A = \frac{E(R)}{J_0(k_t R)} = \frac{V_0 \cos(\beta L')}{h J_0(k_t R)} \quad (27)$$

bulunur. (28) bessel fonksiyonu yaklaşıklığını kullandığımızda [3]

$$J_p(\rho) \cong \sqrt{\frac{2}{\pi\rho}} \cos\left[\rho - \frac{(2p+1)\pi}{4}\right] \quad |\rho| \gg 1 \text{ ve } |\rho| \gg p \quad (28)$$

$$I = k_t R \frac{\cos(k_t R - \frac{3\pi}{4}) 2\pi\sigma V_0 \cos(\beta L')}{\cos(k_t R - \frac{\pi}{4}) k_t^2 h} \quad (29)$$

(29) bulunur. (30) denklemini kullanarak

$$k_t \cong \sqrt{-j\sigma\omega\mu} = (1-j)\sqrt{\frac{\sigma\omega\mu}{2}} = \frac{1-j}{d_0} \quad (30)$$

$$|I|^2 = 2\pi^2 R^2 \frac{V_0^2 2\sigma}{h^2 \omega\mu_0} \cos^2(\beta L') = \frac{R^2 V_0^2 \sigma 10^7}{2h^2 f} \cos^2(\beta L') \quad (31)$$

akımın modül karesi elde edilir. (31) denkleminde yararlanarak

$$Z_{yük} = \frac{W_{yük}}{|I|^2} \quad (32)$$

$$Z_{yük} = \frac{2h^2 f}{R^2 \sigma 10^7 \cos^2(\beta L')} \left[\frac{w^2}{30\lambda^2} \int_{\theta=0}^{\pi/2} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \left[\cos^2\left(\frac{\pi \sin\theta \sin\varphi}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}}\right) \frac{\sin^2\left(\frac{\pi w}{\lambda} \cos\theta\right)}{\frac{\pi^2 w^2}{\lambda^2} \cos^2\theta} \left[\frac{(\sin^3\theta + \cos^2\theta \sin\theta \sin^2\varphi)}{\epsilon_{reff} - \sin^2\theta \sin^2\varphi} \right] \right] d\theta d\varphi \right. \\ \left. + \frac{\omega\epsilon w L_{eff} \text{tg}\delta}{2h} + \sqrt{\frac{\omega}{2}} \left(\sqrt{\frac{\mu_{yama}}{\sigma_{yama}}} + \sqrt{\frac{\mu_{taban}}{\sigma_{taban}}} \right) \frac{\pi^2 w}{2\omega^2 \mu_0^2 L_{eff} h^2} \right] \quad (33)$$

besleyici kablunun gördüğü yük empedansı bulunur.

5. SONUÇLAR

Dikdörtgen mikroşerit antenin ışınım alanı dört yan yüzey için hesaplanarak 3 ve 4 yan yüzeylerinin ışınım direncine katkısı (17) denkleminde gösterildi. Güç hesaplamada antenin gücü parça parça hesaplanmayıp, her bir yan yüzey üzerinde akan eşdeğer yüzey akımları yardımıyla alanların süperpozisyonu ilkesini kullanarak hesaplandı. Işınlanan güç hesabına bulunan dielektrik ve deri kayıpları eklenerek toplam güç elde edildi. Antene iletim hattı modeli uygulanmadan, besleyici hattan çektiği akım kesin sayılabilecek formüllerle ifade edildi. Hesaplanan toplam güç ve besleyici hattan çekilen akımın modülünü kullanarak besleyici kablunun gördüğü yük empedansı bu yeni bir yöntemle (33) denklemi ile ifade edildi.

KAYNAKLAR

- [1]. C. A. Balanis, "Antenna Theory-Analysis and Design", Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., sf. 728-729, 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, sf. 34, 1981.
- [3]. J. A. Stratton, "Electromagnetic Theory", First Edition, McGraw Hill Book Company, Inc., sf. 359, 1941.