

DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK ANALİZİ

Kerim GÜNEY

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

Key Words : Rectangular microstrip antennas, uncertainty analysis.

ÖZET

Dikdörtgen mikroşerit antenlerin bilgisayar yardımıyla tasarımında, belirsizlik analizi önemli bir basamaktır. İmal edilen anten uzunluğundaki küçük değişimlerin sebep olduğu efektif elektriksel boyutlardaki sapmalar, taban malzemenin bağıl permitivitesindeki değişimler, taban kalınlığındaki uniformsuzluklar, gerçek ve tasarım rezonans frekansları arasında farklılıklara yol açar. Bu tür farklılıklar, mikroşerit antenler dar band genişliğine sahip oldukları için çok önemlidir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak, rezonans frekansı üzerindeki bütün fabrikasyon belirsizliklerinin ve imalatçı toleranslarının etkisi, belirsizlik analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Toleranslar ve fabrikasyon limitleri yüzünden rezonans frekansındaki yüzde değişimin, dikdörtgen mikroşerit antenlerin bilgisayar yardımıyla tasarımında mutlaka hesaba katılması gerektiği belirlenmiştir.

UNCERTAINTY ANALYSIS FOR RECTANGULAR MICROSTRIP ANTENNAS

SUMMARY

An important step in the computer-aided design of rectangular microstrip antennas is the uncertainty analysis. Deviations in effective electrical dimensions caused by slight variations in finished antenna length, variations in the relative permittivity of the substrate material, and nonuniformity in the substrate thickness lead to discrepancies between the designed and actual resonant frequencies. This sort of discrepancy is especially significant because of the narrow bandwidth of such antennas.

K. GÜNEY/DIKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

In this study different from literature, the effect of all fabrication uncertainties and manufacturer's tolerances on the resonant frequency has been computed by using the uncertainty analysis. It has been determined that the percent change in resonance frequency values due to tolerances and fabrication limits must be considered in the computer-aided design of rectangular microstrip antennas.

1. GİRİŞ

Dikdörtgen mikroşerit antenlerin bilgisayar yardımıyla tasarımında en önemli basamaklardan biri de, tolerans analizidir. Tasarım edilecek olan antenin istenen performansı sağlayabilmesi için, anten performansı üzerindeki belirsizliklerin bilinmesi gerekir. Bu belirsizliklere fabrika toleransları, model yaklaşımları ve ölçme hataları sebep olur. İmal edilen antenin yama uzunluğundaki ve genişliğindeki küçük değişimler, taban maddenin bağıl dielektrik sabitindeki değişimler, taban kalınlığındaki üniformsuzluklar, tasarım ve gerçek rezonans frekansları arasında farklılıklara yol açar. Rezonans frekansında etkili olan imalatçı toleransları, genellikle dielektrik taban kalınlığına ve relative dielektrik sabitine aittir. Tipik olarak polyolefin, polistiren, reksolit vb. gibi düşük bağıl dielektrik sabitli ($2.1 < \epsilon_r < 2.6$) tabanlar bağıl dielektrik sabitinde \pm % 1'lik toleransa, taban kalınlığında \pm % 5 'lik toleransa sahiptirler. Alumina gibi yüksek bağıl dielektrik sabitli tabanlar ise, bağıl dielektrik sabitinde \pm % 2'lik, taban kalınlığında ise \pm % 4'lük toleransa sahiptirler.

Literatürde dikdörtgen mikroşerit antenin belirsizlik analizi yapılırken, dielektrik taban kalınlığına, relative dielektrik sabitine ve yama uzunluğuna ait belirsizlikler hesaba dahil edilmektedir [1]. Yama genişliği W ve yama

K. GÜNEY/DIKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

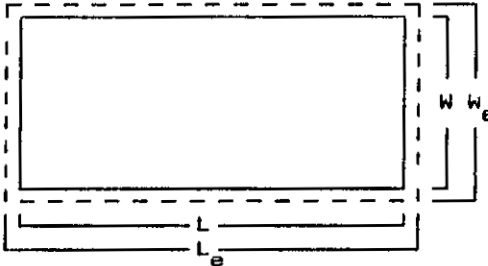
iletkeninin t kalınlığı üzerindeki belirsizlikler ise, ihmal edilmektedir [1]. Bu tür antenler dar band genişliğine sahip olduklarından dolayı özellikle uydu haberleşmesinde ve biomedikal uygulamalarda kullanılan hassas mikroşerit anten tasarımlarında, yama genişliği W ve yama iletkeninin t kalınlığı üzerindeki belirsizlikler ihmal edilmemelidir. Bu sebepten dolayı bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bütün anten parametreleri üzerindeki belirsizlikler hesaba dahil edilmiş ve böylece dikdörtgen mikroşerit antenlerin belirsizlik analizi yapılmıştır.

2. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Şekil-1'de gösterilen, yama uzunluğu L ve genişliği W olan dikdörtgen mikroşerit antenin rezonans frekansı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [2].

$$f_{mn} = \frac{c}{2(\epsilon_e)^{1/2}} \sqrt{(m/L_e)^2 + (n/W_e)^2} \quad (1)$$

Burada, c boşluktaki ışık hızı, ϵ_e efektif dielektrik sabiti, W_e ve L_e kenar alanlarda depolanan enerjiyi hesaba dahil eden efektif boyutlardır.



Şekil-1 : Dikdörtgen mikroşerit anten geometrisi.

K. GÜNEY/DIKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

Hakim TM_{10} modu için denklem (1)'den,

$$f_r = \frac{c}{2(\epsilon_e)^{1/2}L_e} \quad (2)$$

elde edilir. (2) denkleminde L_e ,

$$L_e = L + 2\Delta L \quad (3)$$

ile verilir. Burada ΔL , kenar uzamasıdır. ΔL için, aşağıdaki denklem kullanılabilir [3].

$$\Delta L/h = \epsilon_1 \epsilon_3 \epsilon_5 / \epsilon_4 \quad (4)$$

Burada,

$$\epsilon_1 = 0.434907 \frac{\epsilon_e^{0.81} + 0.26}{\epsilon_e^{0.81} - 0.189} \frac{(W/h)^{0.8544} + 0.236}{(W/h)^{0.8544} + 0.87} \quad (5)$$

$$\epsilon_2 = 1 + \frac{(W/h)^{0.371}}{2.358\epsilon_r + 1} \quad (6)$$

$$\epsilon_3 = 1 + \frac{0.5274 \arctan \left(0.084(W/h)^{1.9413/\epsilon_2} \right)}{\epsilon_e^{0.9236}} \quad (7)$$

$$\epsilon_4 = 1 + 0.0377 \arctan \left(0.067(W/h)^{1.456} \right) \left\{ 6 - 5 \exp[0.036(1 - \epsilon_r)] \right\} \quad (8)$$

K. GÜNEY/DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

$$\epsilon_s = 1 - 0.218 \exp\{-7.5 (W/h)\} \quad (9)$$

ile verilir. Yukarıdaki denklemlerde h , dielektrik tabanın yüksekliğidir. Yine bu denklemlerde ϵ_s için, yama iletkeni kalınlığı t 'yide hesaba dahil eden aşağıdaki denklem kullanılabilir [4].

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} F(W/h) - CC \quad (10)$$

Burada,

$$CC = \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} (t/h) (W/h)^{-1/2} \quad (11)$$

$$F(W/h) = \begin{cases} (1 + 10h/W)^{-1/2} + 0.04(1-W/h)^2, & W/h \leq 1 \\ (1 + 10h/W)^{-1/2} & , \quad W/h \geq 1 \end{cases} \quad (12)$$

ile verilir.

h kalınlığındaki dielektrik taban için optimum genişlik,

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (13)$$

şeklinde ifade edilebilir [5]. Yama uzunluğu ise, (3) denkleminin (2) denkleminde yerine konulmasıyla,

K. GÜNEY/DIKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (14)$$

olarak elde edilir.

Rezonans frekansındaki değişme belirsizlik analizi [1] kullanılarak elde edilir;

$$|\Delta f_r| = \left[\left(\frac{\partial f_r}{\partial L} \Delta L \right)^2 + \left(\frac{\partial f_r}{\partial \epsilon_e} \Delta \epsilon_e \right)^2 \right]^{1/2} \quad (15)$$

Burada, $\Delta \epsilon_e$ yamanın fabrikasyonunda belirsizlikten dolayı efektif bağıl permitivitedeki değişmedir. Denklem (15)'de, denklem (3)'ün denklem (2)'de kullanılmasıyla elde edilen f_r ifadesi kullanılırsa,

$$\frac{\partial f_r}{\partial L} = - \frac{c}{2(L + 2\Delta L)^2 \sqrt{\epsilon_e}} \quad (16)$$

$$\frac{\partial f_r}{\partial \epsilon_e} = - \frac{c}{4(L + 2\Delta L)\epsilon_e \sqrt{\epsilon_e}} \quad (17)$$

bulunur. Yine denklem (15)'de,

$$|\Delta \epsilon_e| = \left[\left(\frac{\partial \epsilon_e}{\partial W} \Delta W \right)^2 + \left(\frac{\partial \epsilon_e}{\partial \epsilon_r} \Delta \epsilon_r \right)^2 + \left(\frac{\partial \epsilon_e}{\partial h} \Delta h \right)^2 + \left(\frac{\partial \epsilon_e}{\partial t} \Delta t \right)^2 \right]^{1/2} \quad (18)$$

K. GÜNEY/DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

ile verilir. Burada, ΔW , Δh , Δt , $\Delta \epsilon_r$ ve Δl mikroşerit antenin fabrikasyonundaki belirsizliklerdir. Denklem (18)'de, (11)-(12) denklemleriyle birlikte denklem (10) kullanılırsa,

$$\frac{\partial \epsilon_e}{\partial t} = - \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} \frac{1}{\sqrt{Wh}} \quad (19)$$

$$\frac{\partial \epsilon_e}{\partial W} = \frac{\epsilon_r - 1}{W} \left[\frac{2.5h}{W} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-3/2} + \frac{t}{9.2 \sqrt{Wh}} \right] \quad (20)$$

$$\frac{\partial \epsilon_e}{\partial h} = - (\epsilon_r - 1) \left[\frac{2.5}{W} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-3/2} - \frac{t}{9.2h \sqrt{Wh}} \right] \quad (21)$$

$$\frac{\partial \epsilon_e}{\partial \epsilon_r} = 0.5 \left[1 + \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-1/2} \right] - \frac{t}{4.6 \sqrt{Wh}} \quad (22)$$

elde edilir.

3. SONUÇLAR

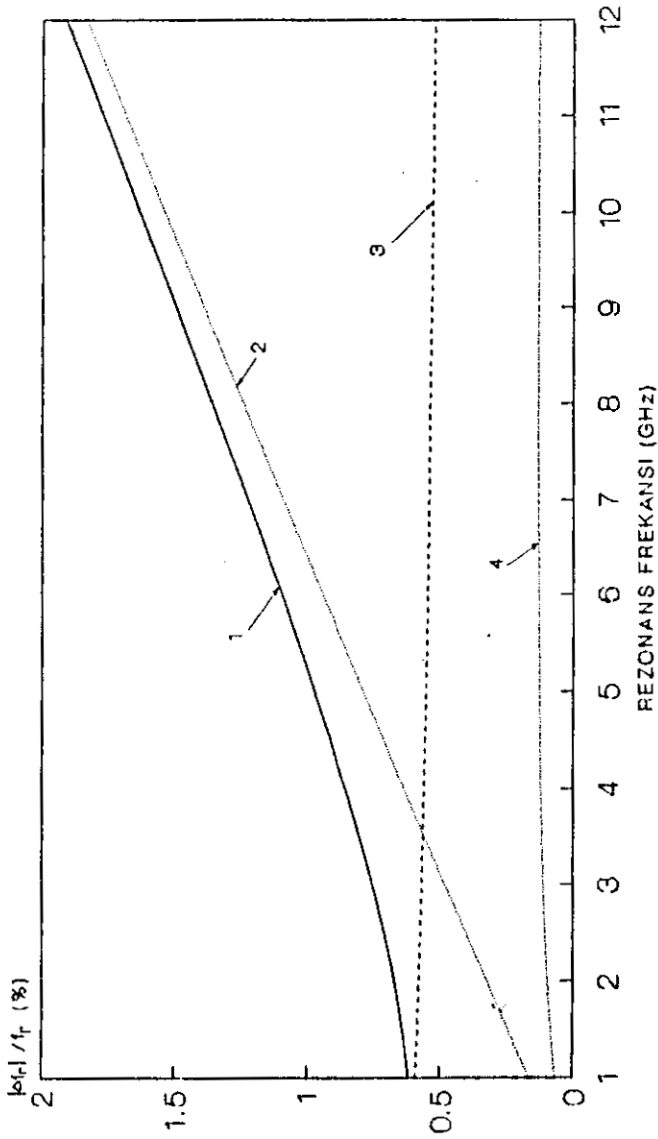
Şekil-2. ve Şekil-3., (2)-(22) denklemleri kullanılarak anten parametrelerine ait farklı imalatçı toleransları ve farklı boyutlardaki dikdörtgen mikroşerit antenler için elde edilen rezonans frekansındaki yüzde değişimin, rezonans frekansına göre değişimini gösterir. Bu

K. GÜNEY/DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

şekillerdeki grafikler elde edilirken, L için (14) denklemi, W için (13) denklemi, ΔL için (5)-(9) denklemleriyle birlikte (4) denklemi kullanılmıştır. Bu iki şekilden de açıkça görüldüğü gibi, düşük relative dielektrik sabitine sahip tabanlı mikroşerit antenler için rezonans frekansını etkileyen kritik parametre anten uzunluğuna ait ΔL toleransıdır. Yüksek permitiviteye sahip tabanlar için ise, bağıl dielektrik sabiti ϵ_r kritik parametredir. Yani rezonans frekansındaki hataya daha çok ϵ_r üzerindeki tolerans sebep olmaktadır. Şerit iletken kalınlığı t 'ye, yama genişliği W 'ya ve dielektrik taban kalınlığı h 'a ait olan toleranslar da, rezonans frekansında az da olsa yüzde değişime sebep olmaktadır. Bu değişimler, hassas olması gereken mikroşerit anten tasarımlarında çok önemlidir [3]. Dikdörtgen mikroşerit antenler dar band genişliğine sahip olduklarından dolayı, bu tür küçük değişimler anten performansını kötü yönde etkilemekte antenin band genişliğinde, kalite faktöründe, veriminde, ışıma diyagramında, yönelticiliğinde ve kazancında önemli değişikliklere sebep olabilmektedir [3]. Ayrıca fabrikasyon limitleri ve toleransları yüzünden rezonans frekansındaki kısmi değişimler, teorik tahmin edilen sonuçlarla ölçülen sonuçları karşılaştırmada da önemlidir.

Sonuç olarak; mikroşerit antenlerin tasarımında en düşük toleransa sahip malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmeli ve hassas olması gereken mikroşerit anten tasarımlarında anten performansı üzerindeki bütün belirsizlikleri kapsayacak şekilde yukarıda sunulan belirsizlik analizi mutlaka yapılmalıdır.

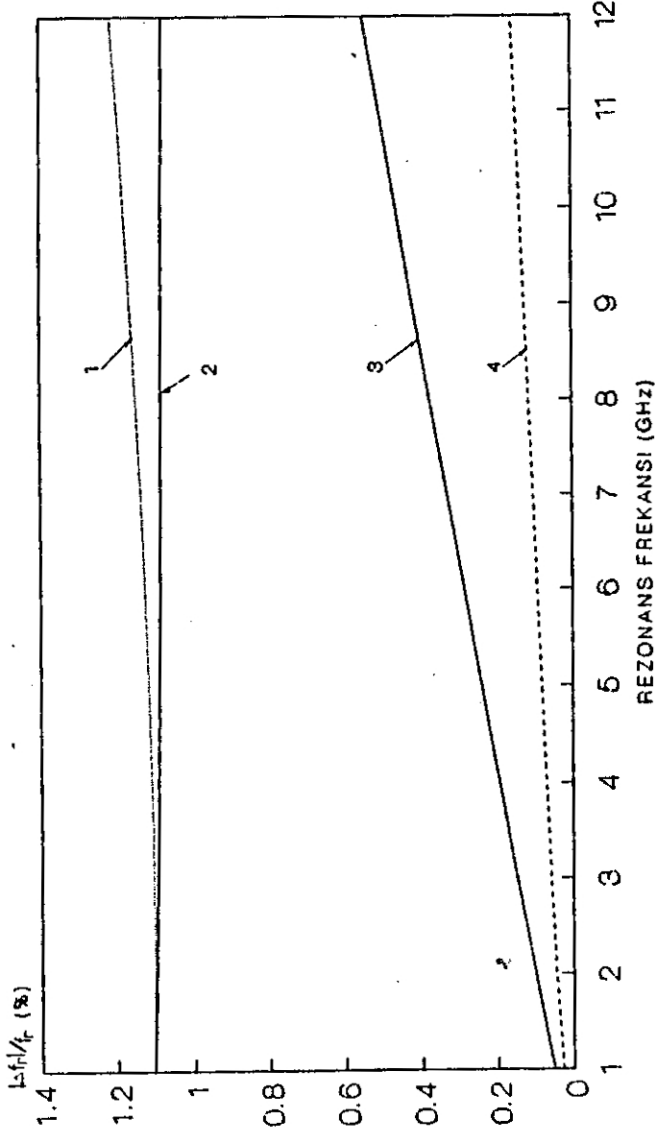
K. GÜNEY/DIKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK



| | ϵ_r | h (m) | t (m) | Δh (m) | ΔW (m) | Δt (m) | $\Delta \epsilon_r$ | Δl (m) |
|----------|--------------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|
| 1 eğrisi | 2.47 | 0.0037 | 0.0003 | 0.00015 | 0.00012 | 0.00001 | 0.03 | 0.00016 |
| 2 eğrisi | 2.47 | 0.0037 | 0.0003 | 0 | 0.00012 | 0.00001 | 0 | 0.00016 |
| 3 eğrisi | 2.47 | 0.0037 | 0.0003 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0 |
| 4 eğrisi | 2.47 | 0.0037 | 0.0003 | 0.00015 | 0.00012 | 0.00001 | 0 | 0 |

Şekil-2 Farklı boyutlara sahip dikdörtgen mikroşerit antenler için, imalatçı toleransları yüzünden kısmi rezonans frekansındaki değişme.

K. GÜNEY/DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK



| | ϵ_r | h (m) | t (m) | Δh (m) | ΔW (m) | Δt (m) | $\Delta \epsilon_r$ | Δl (m) |
|----------|--------------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|
| 1 egrisi | 9 | 0.0013 | 0.0003 | 0.00002 | 0.00012 | 0.00001 | 0.2 | 0.000026 |
| 2 egrisi | 9 | 0.0013 | 0.0003 | 0 | 0.00012 | 0.00001 | 0.2 | 0 |
| 3 egrisi | 9 | 0.0013 | 0.0003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.000026 |
| 4 egrisi | 9 | 0.0013 | 0.0003 | 0.00002 | 0.00012 | 0.00001 | 0 | 0 |

Şekil-3 Farklı boyutlara sahip dikdörtgen mikroşerit antenler için, imalatçı toleransları yüzünden kısmi rezonans frekansındaki değişme.

K. GÜNEY/DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER İÇİN BELİRSİZLİK

KAYNAKLAR

- [1] I.J. Bahl and P. Bhartia, Microstrip Antenna, Dedham MA, Artech House, 1980.
- [2] R.W. Dearnley, A.R.F. Barel, "A Comparison of Models to Determine The Resonant Frequencies of a Rectangular Microstrip Antenna", IEEE Trans. on Antennas and Propagat., Vol. 37, No. 1, January 1989, pp. 114-118.
- [3] J.R. James, P.S. Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Volume 1 and Volume 2, Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1989.
- [4] I.J. Bahl and R. Garg, "Simple and Accurate Formulas for Microstrip with Finite Strip Thickness", Proc. IEEE, Vol. 65, 1977, pp. 1611-1612.
- [5] K.G. Schroeder, "Miniature Slotted-Cylinder Antennas," Microwaves, Vol. 3, DEC. 1984, pp. 28-37.