

## MİKROŞERİT ANTENLER

Doç. Dr. Erdem YAĞGAN  
Hacettepe Üniv. Elektrik ve Elektronik  
Müh. Böl., Beytepe • ANKARA

Son yıllarda mikroşerit antenlerin uzay araçları, uçaklar, radarlar uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda kolaylıkla kullanılabilir yapısı ve baskı devre teknoloji ile üretilmesi gibi kolay üretim tekniği ile mikrodalga antenleri içinde başlı başına bir konu biçimine gelmiştir.

Bu yazıda, okuyucuya mikroşerit antenlerin avantaj, dezavantaj tipleri, parametreleri, modellenmesi hakkında genel bir bilgi verilmeye çalışılacaktır.

### MİKROŞERİT, ANTENLERİN ÜSTÜNLÜK VE DEZAVANTAJLARI

Yaklaşık olarak 100 MHz'den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre üstünlüklerini aşağıdaki biçimde sıralayabiliriz.

- Hafifliği, küçük hacimli olması.
- Düşük üretim maliyeti.
- Düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması,
- Çok ince biçimli yapılabilmesi nedeniyle uzay araçlarının aerodinamik vasısını bozmazlar.
- Bu tip antenler güdümlü mermiler, roketler ve uydular üzerine önemli değişikliklere neden olmaksızın yerleştirilebilirler.
- Düşük saçılma ara kesitine (scattering cross section) sahiptirler.
- Besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışıma yapabilirler.
- İkili frekans antenlerinin kolaylıkla yapılabilir olması,
- Boşluk desteği gerekmez.
- Osilator, yükselteç, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modulatörler, karıştırıcılar, faz değiştiricileri v.s. gibi katihal araçları mikroşerit antenlerin alt tabasına ilave edilerek, bileşik sistemler geliştirilebilir.
- Besleyici hatları ve uyumlandırma devreleri, antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimdedir.

Mikroşerit antenlerin yukarıdaki üstünlüklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da şöyle sıralanabilir;

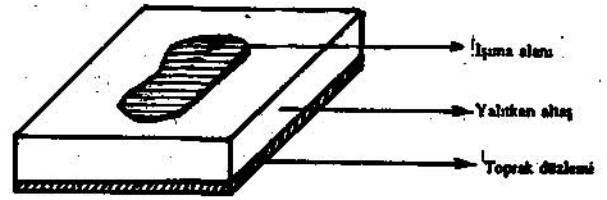
- Dar band genişliği.
- Çeşitli kayıplar sonucu; düşük kazançlı olmaları.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışırlar.
- 20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde pratik güçlükler olması.
- Düşük endfire ışıma performansı.
- Besleyici ve ışıma elemanı arasındaki zayıf yalıtım.
- Yüzey dalgaları uyarımının mümkün olabilmesi,
- Düşük güç kapasitesi olması.

Yukarıda belirtilen dezavantajlardan bazıları tasarım ve üretimde en düşük düzeye indirilebilirler.

### MİKROŞERİT ANTENYAPISI

En basit biçimde bir mikroşerit anten yapısı Şekil 1'de görüldüğü gibi bir toprak düzlemi üzerinde aynı taban al-

anına sahip bir yalıtıcıdan olan alttaş ve onun üzerinde bulunan ışıma alanından (iletken) meydana gelir.

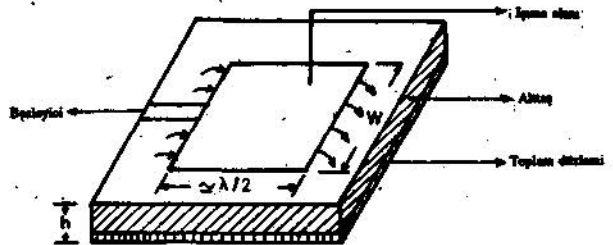


ŞEKİL 1. Mikroşerit anten yapısı

Mikroşerit antenin performansının yüksek olabilmesi için yalıtıcı altına ilişkin  $\epsilon_r$ 'in 10'tan küçük olması istenir. Işıma alanı ideal iletken olup, bakır veya altından yapılmıştır ve herhangi bir şekilde olabilmekle beraber, genellikle çözümlenmeyi kolaylaştıracak ve performans beklentilerine cevap verebilecek tipler seçilir.  $\epsilon_r$ 'nin 2.5 dolayında seçilmesi ile ışıma ilgili olan kenar alanların artırılabilmesi sonucu yalıtıcı sabitinin 5'den büyük seçilmesi zorunluluğunu ortaya koyar.

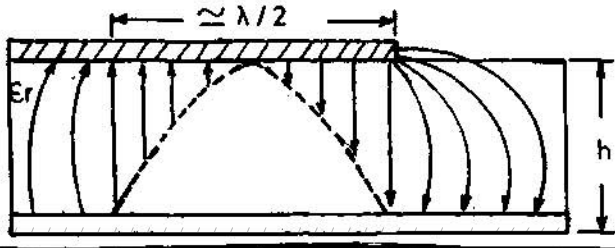
### MİKROŞERİT ANTENLERDE İŞİMA

Mikroşerit antenlerden ışıma mikroşerit anten iletkeninin kenarları ve toprak düzlemi arasındaki kenar alanlardan oluşur. Bu yayılma Şekil 2'de görülen dikdörtgen biçimli ve dalga boyundan çok küçük boyutlu mikroşerit alanına sahip bir anten üzerinde kolayca anlaşılabilir.



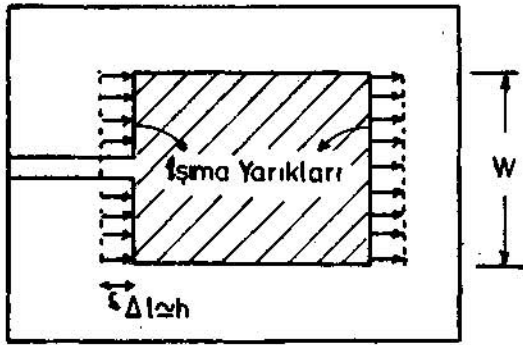
ŞEKİL 2. Dikdörtgen biçimli mikroşerit anten

Elektrik alanın genişlik ve kalınlık boyunca değişmediği kabul edilerek elektrik alan dağılımı Şekil 3'deki gibi çizil-



ŞEKİL 3. Mikroşerit anten yan görünüşü ve elektrik alan dağılımı

lebilir. Işıma en çok üstteki parçanın açık-devre edilmiş kenarlarındaki kenar alanlarından oluşur. Uçlardaki bu alanlar toprak düzlemine aöre dik ve teğet iki bileşene ayrılabilir. Dikbileşenler, üstteki iletkenin  $\sim 7J2$  uzunluğunda olmasından dolayı aynı fazda değildirlir, bu nedenle uzak alanda birbirlerini yok ederler. Teğet bileşenler ise aynı fazdadırlar ve uzak alanda en yüksek ışıma alan değerini (anten yüzeyine dik) verecek biçimde toplanırlar. Böylece anteni  $\lambda/2$  uzaklığında yerleştirilmiş, eş fazda uyarılmış ve toprak düzleminin üst kısmına ışıma yapan iki yarık olarak gösterebiliriz (Bkz. Şekil 4).

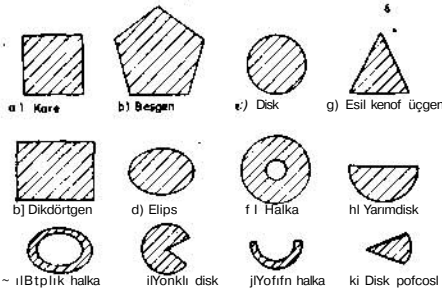


ŞEKİL 4. Dikdörtgen biçimli mikroşerit anten üst görünüşü

Elektrik alanın üstteki iletken boyunca değiştiği düşünürse, yukarıdaki mikroşerit anten üst iletken kenarlarına yerleştirilmiş dört yarık olarak düşünülebilir. Diğer tipteki mikroşerit antenlerde benzer biçimde eşdeğer yarıklarla gösterilebilir.

#### fd KROS ERİ T ANTEN TİPLERİ

Mikroşerit antenlere ilişkin fiziksel parametreler bilinen mikrodalga antenlerine oranla daha çoktur. Herhangi bir



ŞEKİL 5. Pratikte kullanılan mikroşerit anten geometrileri

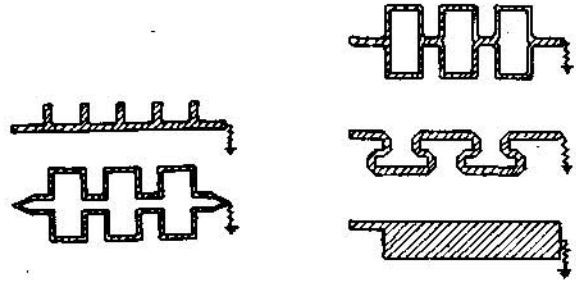
geometri ve boyutlara sahip olabilirler. Bununla beraber mikroşerit antenler üç grupta toplanabilirler: Mikroşerit parçalı antenler, mikroşerit yürüyen dalga antenler ve mikroşerit yarık antenler. Bunlara ilişkin yapılar aşağıda özetlenmiştir:

#### a- Mikroşerit Parçalı Antenler

Bu tip antenlerde dielektrik alttasın bir yanı toprak düzlemi ile kaplanmış, diğer yanında ise herhangi bir geometriye sahip, düzlemsel ince bir iletken parça bulunmaktadır. Literatürde ışıma örüntüleri hesap edilmiş olanları Şekil 5. a-h de görülmektedir.

#### b- Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenleri

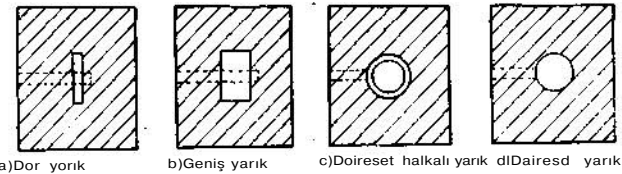
Bu tip mikroşerit antenleri, zincir biçimli yinelimli iletkenler veya TE modu taşıyan bilinen uzun bir TEM hattında açık uç uyumlu bir direnç ile sonlandırılmıştır (Bkz. Şek. 6). Anten yapısındaki değişiklikle ana huzmenin yatay veya düşey konum arasında herhangi bir yönde oluşması sağlanabilir.



ŞEKİL 6. Mikroşerit Yürüyen Dalga Anten Geometrileri

#### c- Mikroşerit Yarıklı Antenler

Mikroşerit yarık antenleri Şekil 7'de görüldüğü gibi toprak düzleminde herhangi bir biçimde olan ve bir mikroşerit hat ile beslenen bir yarıktan meydana gelir.



ŞEKİL 7. Mikroşerit yarıklı antenler

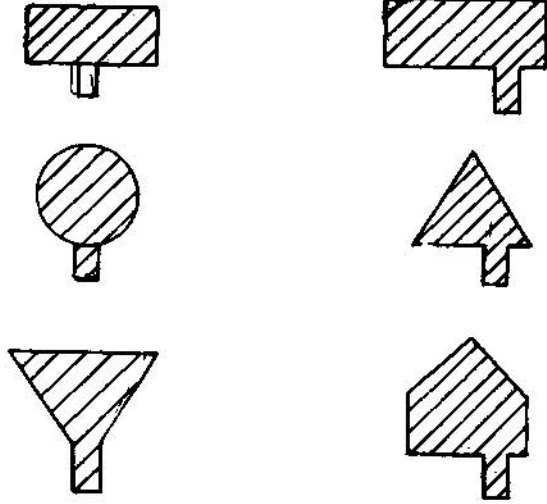
#### UYARIMTEKNİKLERİ

Mikroşerit veya eşeksensli hatlarla besleme olarak iki şekilde beslenir. Besleyici hattı ve anten arasına, antenin giriş empedansının 50  $\Omega$  hat empedansından farklı olması nedeniyle bir uyumlandırıcı konması gerekir.

#### a- Mikroşerit Besleme

Bu tip besleme merkez besleme ve merkez dışı besleme olmak üzere ikiye ayrılır. (Bkz. Şek. 8). Besleyici konumu uyarılan modu da belirler. Anten empedansı ve besleyici hat empedansı arasında uyumlandırma yapmak için araya uyumlandırıcı dönüştürgeç konulabildiği gibi, antende yalnızca ana mod yayımlanmakta ise besleyici hattı bir köşeye kaydırılarak da iyi bir uyumlama elde edilebilir.

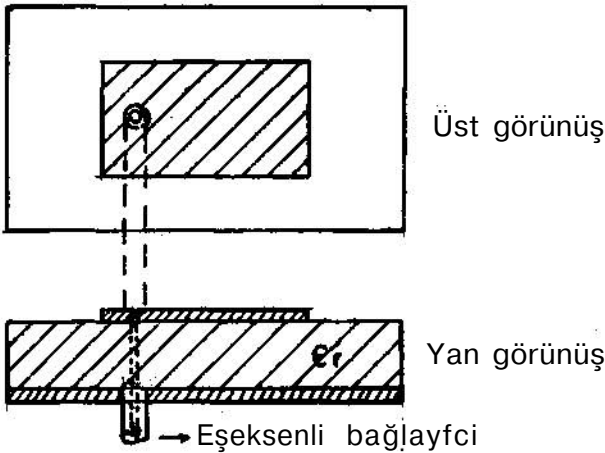
Şekil 8'de görülen mikroşerit beslemeli antenlerden simetrik olanlar merkezi beslenmiş ve simetrik olmayanlar merkez dışı beslenmiş olarak isimlendirilmiştir. Besleyicinin konumunun değişmesiyle rezonans frekansında hafif bir kayma gözlenirse de, ışına örüntüsü bu değişiklikten etkilenmez. Rezonans frekansındaki kayma da antenin ya da üstteki iletken parçanın boyutlarını hafifçe değiştirerek önlenir.



ŞEKİL 8. Mikroşerit beslemeli antenler

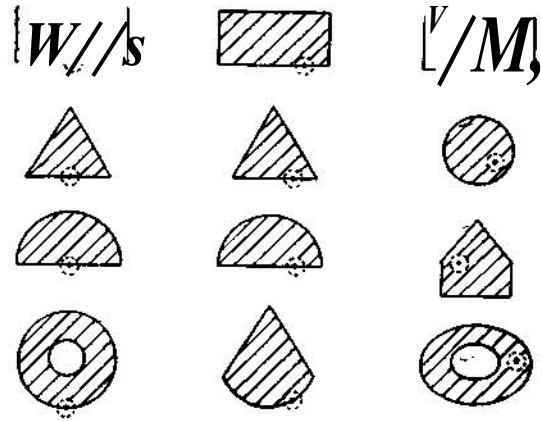
#### b- Eşeksenli Besleme

Eşeksenli beslemede, Şekil 9'da görüldüğü gibi eşeksenli bağlayıcı toprak düzleminin altında bulunur ve ek-senel iletken anten üzerindeki iletken parçaya bağlanmıştır.



ŞEKİL 9. Eşeksenli hat ile beslenmiş mikroşerit anten

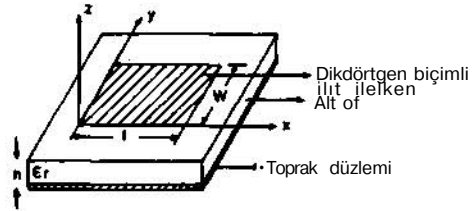
Şekil 10'da görüldüğü gibi eşeksenli ile beslenmiş mikroşerit antenlerde eğer eşeksenli bağlayıcı üst iletkenin kenarında ve simetriyi bozmuyorsa merkez beslemeli, eğer üst iletkenin kenarında ve simetriyi bozuyorsa merkez dışı beslemeli, eğer üst iletkenin iç kısmında ise değişik beslemeli olarak tanımlanırlar.



ŞEKİL 10. Eşeksenli beslenmiş mikroşerit antenler

#### DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLERİN ANALİZİ

Mikroşerit antenlerden, dikdörtgen biçiminde üst iletkene sahip olan dikdörtgen mikroşerit anten yapısının getirdiği kolaylık nedeniyle araştırmacılar tarafından en çok ilgilendirilen mikroşerit anten olmuştur (Şekil 11). Işıma örüntüsünün hesap edilebilmesi için basit modeller geliştirilmekle beraber tam bir çözüme ulaşılabildiği söylenemez. Elde edilecek modelin antene ilişkin ışına örüntüsü, giriş empedansı, kazanç, band genişliği, huzme genişliği, verimlilik, kayıplar ve Q faktörü gibi parametreleri deneylerle uyumluluk içinde olacak biçimde vermesi beklenir. Bu parametrelerin bulunması için çeşitli metodlar vardır. Burada mühendislik açısından en uygunlarından olan iletim hattı modeli üzerinde durulacaktır.



ŞEKİL 11. Dikdörtgen mikroşerit anten geometrisi

#### İletim Hattı Modeli

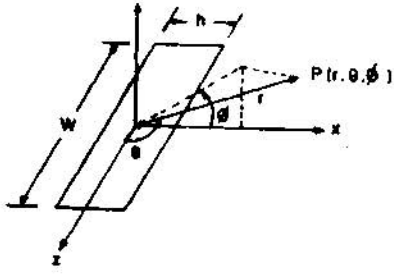
Bu modelde anten elemanı hat rezonator olarak düşünülür ve alanların  $\sim X/2$  uzunluğunda değişimi olduğu kabul edilir. Işıma açığıçlardaki kenar alanlardan meydana gelir. Anten önceden de belirtildiği gibi x-y düzleminde L uzaklığına yerleştirilmiş iki yarıç olarak düşünülebilir. Yarıçklar, Şekil 12'deki gibi olup, aşağıda verilen magnetik akıma sahip bir magnetik dipol gibi ışına yapmaktadır.

$$\vec{M} = 2 \frac{V_0}{h} \hat{z} \quad (1)$$

Burada  $V_0$  yarıç uçlarındaki gerilimdir. Tek bir yarıçığa ilişkin uzak alan ifadesi

$$E_{\phi} = -j2V_0 W k_0 \frac{e^{jk_0 r}}{4\pi r} F(e, \kappa w) \quad (2)$$

$$E_{\theta} = 0 \quad (3)$$



ŞEKİL 12. Mikroşerit antene ilişkin yarıkların geometrisi

Burada,

$$F(\theta, \phi) = \frac{\sin\left(\frac{k_0 h}{2} \sin\theta \cos\phi\right)}{\frac{k_0 h}{2} \sin\theta \cos\phi} \frac{\sin\left(\frac{k_0 h}{2} \cos\theta\right)}{\frac{k_0 w}{2} \cos\theta} \quad \text{sine} \quad (4)$$

biçiminde olup ışınım örüntüsünün şeklini tayin eder. Uzak alanda herhangi bir noktadaki elektrik ve manyetik alan iki yarıktaki alanların toplamıdır. E düzlemi ( $\theta = \pi/2$ ) ışınım örüntüsü değişimi

$$F_{TE}(\phi) = \frac{\sin\left(\frac{k_0 y}{2} \cos\phi\right)}{\frac{k_0 h}{2} \cos\phi} \cos\left(\frac{k_0 x}{2} \cos\phi\right) \quad (5)$$

ve H-düzlemi ( $\theta = \pi/2$ ) ışınım örüntüsü değişimi

$$F_{TH}(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{k_0 y}{2} \cos\theta\right)}{\frac{k_0 w}{2} \cos\theta} \quad \text{sine} \quad (6)$$

biçimindedir.

Işınım gücü:

$$P_r = \frac{V_0^2}{240 \cdot \pi^2} \cdot J_0 \sin^2\left(\frac{k_0 y}{2} \cos\theta\right) \tan^2\theta \sin^6\theta \quad (7)$$

Işınım direnci:

$$R_r = \frac{V_0^2}{2P_r} \quad (8)$$

olarak hesap edilebilir. Işınım direnci kısaca

$$R_r = \frac{90 \lambda_0^2}{W^2} \quad W \ll \lambda_0 \quad (8a)$$

$$R_r = \frac{120 \lambda_0}{W} \quad W \gg \lambda_0 \quad (8b)$$

ve

$$R_r = \frac{120 \lambda_0}{1 - \frac{(k_0 h)^2}{24}} \quad h \ll \lambda_0 \quad (8c)$$

biçiminde ifade edilebilir.

Giriş empedansı:

$$Y_{in} = G + jB + Y_0 \frac{G + j(B + Y_0 \tan\beta L)}{Y_0 + j(G + jB) \tan\beta L} \quad (9)$$

olarak yazılabilir. Burada

$$G = 1/R_r \quad (9a)$$

$$B = \frac{k_0 \Delta \sqrt{\epsilon_0}}{Z_0} \quad (9b)$$

$$= \frac{2\lambda \sqrt{\epsilon_0}}{\lambda_0} \quad (9c)$$

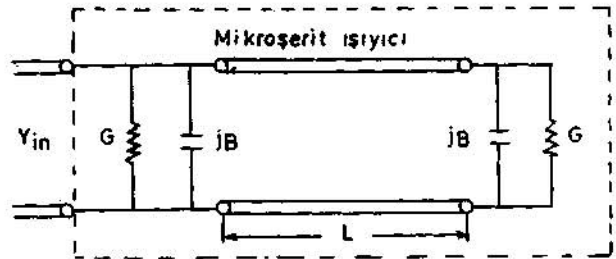
$$Y_0 = 1/Z_0 \quad (9d)$$

$$\epsilon_0 = \frac{\epsilon_r + 1}{2} - \frac{\epsilon_r - 1}{2} + \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-1/2} \quad (9e)$$

ve

$$A_1 = 0.412h \frac{(\epsilon_0 + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_0 - 0.258)(w/h + 0.8)} \quad (9f)$$

biçimindedir. Eşdeğer devre Şekil 13'deki gibidir.



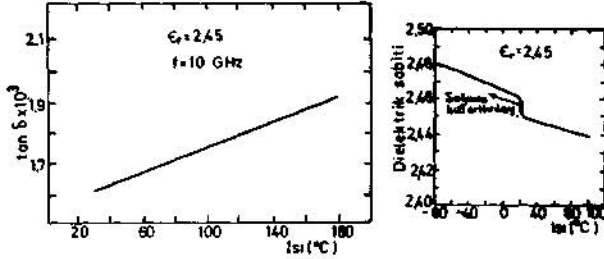
ŞEKİL 13. Mikroşerit ısıyıcı eleman için eşdeğer devre

### DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

#### a) Mikroşerit Anten Tasarımı İçin Alttaşı Özellikleri

Tasarımda ilk adım uygun bir alttaşı seçimidir. Çok sayıda bir alttaşı maddesi, bakır, alüminyum veya altınla kaplı olarak bulunabilir. Plakalar genellikle 1/3", 1/16" veya 1/8" kalınlığında olabildiği gibi son zamanlarda 10,25,50, 75,100 mil kalınlığında veya 5 milik kalınlıklarla artan biçimde olmaktadır. Tasarımda yapılacak anten tipine göre kabaca uyumlu tipteki mikroşerit antenler için esnek alttaşı, düşük frekanstaki antenler için boyutu küçük tutabilmek amacı ile yüksek yalıtkan sabitli alttaşlara, mikro-

şerit iletken parçalı antenler için düşük yalıtkan sabitli alttaşlara ve değişik kesitli mikroşerit antenler için yüksek yalıtkan sabitli alttaşlara gereksinim vardır. Tasarımda yalıtkan sabitesinin ve kayıp tanjantının (tan S) önemi kadar, bunların ısı ve frekans ile değişimi, homojenlik, isotropluk, ısıl katsayısının ısı dayanıklılığına, işlemedeki hacimsel kararlılığına, ısısına, nemliliğine, kalınlıktaki bir biçimliliğine ve fiziksel özelliklerine bağlı. Bunlardan alttasın boyutları ve yalıtkan sabiti ısısının bir işlevi olması nedeniyle çalışma ısı limiti tasarımda göz önüne alınmalıdır. Şekil 14'de örnek olarak PTFE destekli cuclad GX-060-45'in dielektrik sabitesinin ve kayıp tanjantının (tan S) sıcaklıkla değişimi görülmektedir.



ŞEKİL 14. Dielektrik sabitesinin ve kayıp tanjantının sıcaklıkla değişimi.

Yukarıdaki şekiller göstermektedir ki eğer tasarımda Er ve tan S'in antenin çalışma ısı limitleri arasındaki frekansın değişimleri göz önüne alınmaz ise band genişliğinin küçülmesi, giriş empedansının değişmesi gibi antenin performansı düşecektir. Antenin kararlılığı titreme, ısıl yıpranma, nem emişi, mor ötesi ışımaya alması gibi çevresel etkenler tarafından da etkilendiği tasarımda göz önüne alınmalıdır. Bu konularda hazırlanmış tablolar tasarımcıya büyük kolaylık sağlarlar.

b) Eleman Genişliği

Kalınlığı h olan bir yalıtkan alttaş için çalışma frekansı f<sub>r</sub> olarak düşünülürse, antenin genişliği aşağıdaki biçimde bulunabilir.

$$W = \frac{C}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (10)$$

Burada C ışık hızıdır. Eğer kalınlıklar (10)'de verileden daha düşük seçilecek olursa anten verimliliği düşer, kalınlık daha yüksek seçilirse verimlilik artar, bunun yanı sıra daha yüksek dereceden modlar yayılıp alan dağılımında bozulmalara neden olurlar.

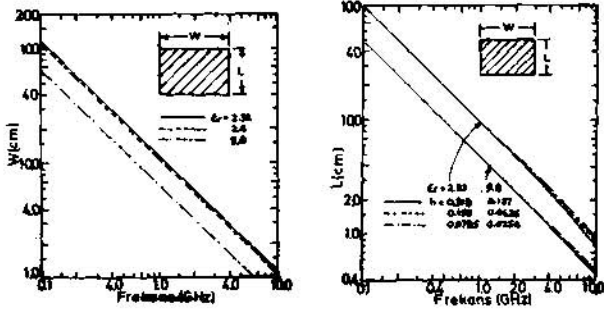
c) Eleman Uzunluğu

Rezonant elemanın uzunluğu da

$$L = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_0}} - 2Z \quad (11)$$

bağıntısından bulunabilir. Burada f<sub>r</sub> rezonans frekansı, ε<sub>0</sub> etkin yalıtkan sabiti (Eş. 9e) ve AI hat genişliğini (Eş. 9f) tanımlar.

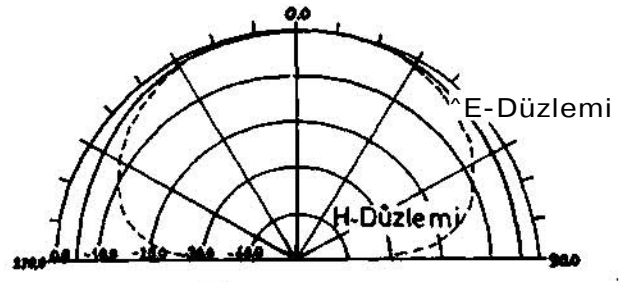
Şekil 15'de değişik yalıtkanlar için W ve L'in f<sub>r</sub> ile değişimi görülmektedir.



ŞEKİL 15. Değişik yalıtkan için eleman genişliği ve uzunluğunun frekansa göre değişimi.

d) Işıma Örüntüsü

Işıma örüntüleri üstteki iletken parçanın, antenin boyutları ve kullanılan malzemeye göre değişiklikler gösterir. Mikroşerit antenin iletim hattı modelinden elde edilen F-TE ve FTH (Eşitlik 5, 6) değişimleri çizildiğinde E ve H düzlemindeki ışımaya örüntüleri Şekil 16'daki gibi elde edilir.



ŞEKİL 16. Mikroşerit antenin E- ve H-düzlemleri ışımaya örüntüleri

e) Giriş Admittansı

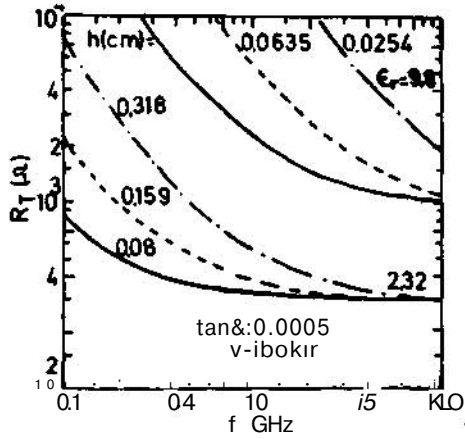
Anten ve besleyici arasındaki empedans uyumunun sağlanabilmesi için, giriş empedans veya admittansının bilinmesi gereklidir. Değişik besleme noktaları için giriş admittans:

$$Y_{in}(z) = 2G \left[ \cos^2(pz) + \frac{G^2 + B^2}{Y_0} \sin^2(pz) - \frac{B}{Y_0} \sin(2\beta z) \right]^{-1} \quad (12)$$

biçiminde tanımlanır.

f) Işıma Direnci

Anten elemanı genişliğine bağımlı olarak, anten ışımaya direnci Eşitlik 8-8c'den kolaylıkla bulunabilir. Şekil 17'de değişik yalıtkan sabitelerine göre anten ışımaya direncinin frekans ile değişimi görülmektedir.



ŞEKİL 17. Değişik yalıtkan sabitli alttaş için ışıma direncinin frekansı ile değişimi.

g) Q Çarpanı

ışıma direncine ilişkin Q çarpanı

$$Q_r = \frac{C\sqrt{\epsilon_0}}{4f_r h} \quad (13)$$

biçiminde bulunur. Buradan da bakır kaybına ilişkin eşdeğer direnç

$$R_e = 0.00027 V_f \frac{L}{W} Q_r^2 \quad (14)$$

ve yalıtkan kaybına ilişkin eşdeğer direnç

$$R_d = \frac{30 \tan \delta}{\epsilon_r} \frac{h X_0}{LW} \cdot Q_r^2 \quad (15)$$

biçiminde bulunur, toplam Q<sub>r</sub>- çarpanı

$$Q_T = \frac{Q_r \cdot R_c}{R_c \cdot R_d} \quad (16)$$

şeklindedir.

h) Bant Genişliği

Mikroşerit antenlerin bant genişliklerinin limitli olması bir dezavantaj durumunda olmakla beraber ışıyıcının endüktansını artırmak ile, içinde yarıklar veya delikler yapmakla veya reaktif eleman ilavesi ile bant genişliğini artırmak olasıdır. Bant genişliği

$$BW = \frac{s-1}{0, -Vs} \quad (17)$$

biçiminde tanımlanabilir.

i) Direktivite ve Kazanç

Anahüzmedeki maksimum güç yoğunluğunun ortalama ışıma güç yoğunluğuna oranı olarak tanımlanan direktivite aşağıdaki biçimde bulunur.

$$D = \frac{4W_e \pi^2}{\lambda_0^2 I_1} \quad (18)$$

Burada 11 Eş. ^deki integralli kısımdır. Etkin kazancı da basit bir biçimde

$$G_e = \frac{2D}{1+g} \quad (19)$$

olarak tanımlamak mümkündür.

1) Huzme Genişliği

ışıyan alanın en yüksek değerinin 1/2 katı kadar azaldığı noktalar arasındaki açı olarak tanımlanan huzme genişliği H ve E düzlemleri için

$$90^\circ - \theta_{BE} = 2 \cos^{-1} \left( \frac{1}{2 + K_0 W} \right)^{1/2} \quad (20 a)$$

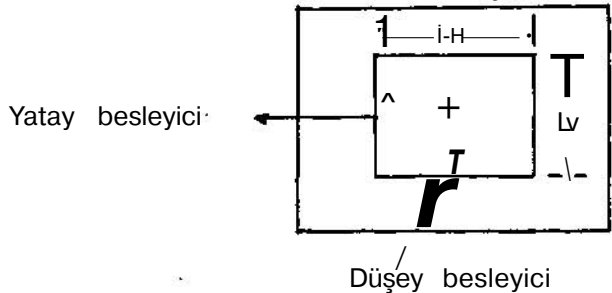
ve

$$\theta_{BE} = 2 \cos^{-1} \left( \frac{7.03}{K_0^2 (3L^2 + h^2)} \right)^{1/2} \quad (20 b)$$

olarak tanımlanmaktadır. Anten boyutlarını küçültmekle, büyük yalıtkan sabitli alttaşlar seçmekle huzme genişliğinin artırılması mümkündür.

DAİRESEL KUTUPLAMA ELDE ETMEK İÇİN BAZI TEKNİKLER

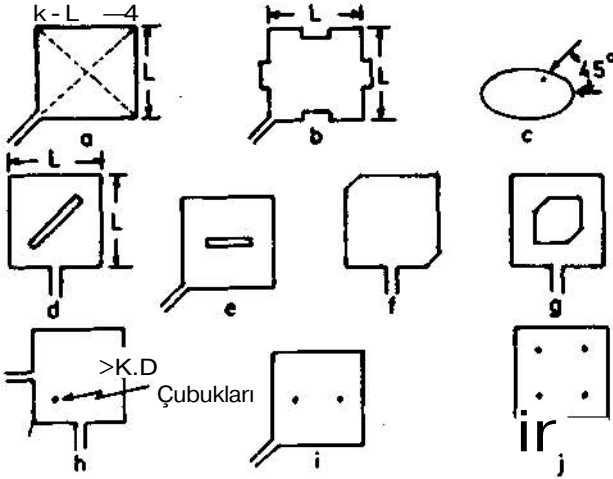
Önceden bahsedildiği gibi bir mikroşerit anten birbirine dik iki yönde rezonans olabilir. Eğer anten kare ise, iki rezonans frekansı da aynı olur. Yatay mod için bir besleyici, düşey mod için de başka bir besleyici kullanarak, iki bağımsız polarizasyon elde edilebilir (Bkz. Şek. 18).



ŞEKİL 18. Farklı frekanslarda düşey ve yatay kutuplanmaya ilişkin besleyici konumlan

iki besleme modelinde yatay ve dikey modların simetrik olmasından dolayı meydana gelen giriş empedansları aynıdır ve dairesel polarizasyon tüm çalışma bandında elde edilebilir. Dar bant genişliğinde de tek dairesel polarizasyon elde etmek mümkündür. Bu teknikler genellikle üstteki iletken parçayı bir noktadan besleyip, simetrisini bozarak, yatay ve düşey modların çok farklı frekanslarda uyarılmasını sağlar. Sonra, iki rezonans frekansının ortasındaki bir frekansta, rezonansın altındaki mod, indüktif empedans oluşturur, diğeri ise rezonansın üstündeki frekanstadır ve eşdeğer kapasitif empedans oluşturur. Rezonans frekanslarının dağılımı

uygun seçilerek, mod akımları arasındaki 90°'lik bağıl bir faz kayması mümkün olur ve iki mod arasında yayılan güç eşitliğini sağlayarak dairesel mod elde edimi sağlanmış olur. Tek girişin kolaylığı, bu tekniği dar bantda dairesel polarizasyon gerektiğinde kullanışlı duruma sokar. Şekil 19'da bu tip besleme örnekleri görülmektedir. Şekil 19'da anten parçasının bir yanı diğerinden biraz daha uzun ve aynı değerlerde her iki modu uyarmak için bir köşesinden beslenir. İstenilen giriş empedansının



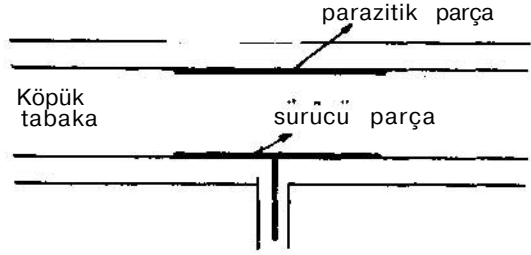
ŞEKİL 19. Tek girişli dairesel polarizasyonu için anten geometrisi

elde edilebilmesi için parçanın diyagonalı boyunca herhangi bir yere eşeksenli bir besleme probu yerleştirilebilir. Besleyicinin diğer köşegene hareket etmesiyle ters polarizasyon meydana gelir. Şekil 19c'de de ana ekseninden 45°'lik eğim yapan bir hat üzerindeki bir noktadan beslenen eliptik mikroşerit antende yine dairesel polarizasyon meydana gelir. Şekil 19d'de ise kare metalik iletken üzerine açılmış köşegen yarık görülmektedir. Bu yarık ile besleyici hattı ile uyarılan düşey moddan yatay moda güç iletirilir. Şekil 19h-j'de anten üstündeki iletken parça ile toprak düzlemini birleştiren küçük direkler görülmektedir. Böylece anten rezonans frekansı değişimlik ve bir moddan diğer dik moda güç iletimi sağlanabilmektedir.

#### ÇALIŞAN BAND GENİŞLİĞİNİ ARTIRMAK İÇİN TEKNİKLER

Araştırmalar göstermiştir ki, bir mikroşerit antene ilişkin band genişliği yalpaşık olarak  $X_p$  cinsinden ölçülen hacmine orantılıdır. Bu yüzden mikroşerit antenlerin band genişliği, antenin uzunluk, genişlik ve alttasına ilişkin kalınlığını artırmakla band genişliğini büyütmek mümkün olabilir. Antenin boyu yaklaşık olarak yalıtıkandaki dalga boyunun bir buçuk katı olması nedeniyle, uzunluk yalıtık katsayısını düşünerek artırılabilir. Yalnız bu durumda besleyici hat ve probu daha çok enerji yayacağından, bu teknik çapraz polarizasyon ve yan kulakçık seviyelerinin önemli olduğu durumlarda çok dikkatle uygulanması gerekir. Antenin genişliğini artırmak kolay olmasına rağmen bir veya iki dalga boyuna ulaşıldığında boşlukta yüksek dereceden modlar uyarılabilir. Alttaşın kalınlığı-

nın artırılması ile de band genişliği artar, bu durumda da yüzey dalgaları ve kayıplar artar. Bununla birlikte alttaş üzerine parazitik elemanlar konulmaktadır (Bkz. Şekil 20).



ŞEKİL 20. Band genişliği artırılmış anten yapısı

#### KAYNAKLAR

- (1) Bahl, J.J., Barta, P., Microstrip Antennas, Artech House, 1982.
- (2) Deschamps, G.A., "Microstrip Microwave Antennas", 3. USAF Symp. on Antennas 1953.
- (3) Munson, R.E., Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-22, s. 74-7, 1978.
- (4) Schaubert, D.H., "Printed Circuit Antenna Technology" Microwave Antennas for Avionics Agard Lecture Series 151, s. 8.1-8.15, Nisan 1987.
- (5) Lo, Y.T., Soloman, D., Richards, W.F., "Theory and Experiments on Microstrip Antennas", IEEE Trans. Antennas and Prop. Vol. AP-27, s. 137-145, March 1979.
- (6) Corver, K.R., Mink, W.J., "Microstrip Antenna Technology", IEEE Trans. Ant. and Prop. Vol. AP-29, s. 2-24, Jan. 1981.
- (7) Richards, W.F., Long, S.A., "Reactively Loaded Microstrip Antennas", IEEE Ant. and Prop. Soc. Newsletter, s. 11-17, October, 1986.
- (8) Pozar, D.M., "A Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstripline", Elec. Letters, Vol. 21, s. 49-50, Jan. 1985.
- (9) Howell, J.Q., "Microstrip Antennas", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-23, s. 90-93, 1975.
- (10) Derneryd, A.G., "Linearly Polarized Microstrip Antennas", IEEE Trans. on Ant. and Prop. Vol. AP-24, s. 846-851, 1976.
- (11) Agrawal, P.K., Bailey, M.C., "An Analysis Technique for Microstrip Antennas", IEEE Trans. on Ant. and Prop. Vol. AP-25, s. 756-759, 1977.
- (12) Derneryd, A.G. and Lind, A.G., "Extended Analysis of Rectangular Microstrip Antennas", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-27, s. 846-849, 1979.
- (13) Hammer, P., "A Model for Calculating the Radiation Field of Microstrip Antennas", IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol. AP-27, s. 267-270, 1979.
- (14) Schaubert, D.H., Farrar, F.G., Sindoris, A.R., Hages, S.T., "Microstrip Antennas with Frequency Agility and Polarization Diversity", IEEE Trans. and Ant. Prop. Vol. AP-29, 118-123, Jan. 1981.
- (15) Deo, Naresh, C., "Integrate Antennas Into Planar Designs", Microwaves, 60-64, Dec. 1979.
- (16) Liao, S.Y., Microwave Devices and Circuits, Prentice-Hall, 1985.
- (17) Henderson, A., James, J.R., Hail, C.M., "Bandwidth Extension Techniques in Printed Conformal Antennas", Proc. Military Microwaves, 86, 329-334, England 1986.