

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERBEST- ORTAM ÖLÇÜM TEKNİĞİ  
KULLANILARAK EMC SOĞURUCU MALZEMELERİN  
MİKRODALGA ETKİLEŞİMİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Yüksek Mühendis Mehmet Atilla BÜYÜKGÜÇLÜ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bekir AKTAŞ**

**Haziran 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SERBEST- ORTAM ÖLÇÜM TEKNİĞİ  
KULLANILARAK EMC SOĞURUCU MALZEMELERİN  
MİKRODALGA ETKİLEŞİMİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Yüksek Mühendis Mehmet Atilla BÜYÜKGÜÇLÜ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Bu tez 15/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr. Bekir  
AKTAŞ  
Jüri Başkanı**

**Pof. Dr. Osman  
ÇEREZCİ  
Üye**

**Prof. Dr Abdullah  
FERİKOĞLU  
Üye**

**Prof. Dr İsmail  
ERCAN  
Üye**

**Prof. Dr.  
İbrahim AVGIN  
Üye**

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıőmamda bana destek veren ve teővik eden baőta tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Bekir AKTAŞ Beye çok teşekkür ederim.

Her zaman beni teővik eden meslektaőım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR ve GYTE de ölçümler sırasında güler yüzleriyle her zaman bana yardımcı olan Araő. Gör. Ali Cemil BAŐARAN ve Araő. Gör. Ali ZERENTÜRK' e teşekkür ederim.

Umutsuzluğa düőtüėüm zamanlarda her zaman yanımda olan, maddi manevi beni teővik eden aileme teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

<u>TEŞEKKÜR</u> .....	ii
<u>İÇİNDEKİLER</u> .....	iii
<u>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ</u> .....	v
<u>ŞEKİLLER LİSTESİ</u> .....	vii
<u>TABLolar LİSTESİ</u> .....	x
<u>ÖZET</u> .....	xi
<u>SUMMARY</u> .....	xii
<u>BÖLÜM 1.</u>	
<u>GİRİŞ</u> .....	1
<u>1.1 Genel Bilgi</u> .....	1
<u>1.2 Ölçüm teknikleri</u> .....	2
<u>BÖLÜM 2.</u>	
<u>ANALİTİK TEMELLER</u> .....	5
<u>2.1. Dalga Denklemi ve Yayılma</u> .....	5
<u>2.2. Dalga Denkleminin Çözümü</u> .....	6
<u>2.3. Yayılma Sabiti</u> .....	9
<u>2.4. Dalga Kılavuzunda TE Modunda Yayılan Dalgalar</u> .....	11
<u>2.5. Dalga Kavitesinde Rezonans Durumu</u> .....	12
<u>2.6. Mikrodalga Anten Tasarımı</u> .....	13
<u>BÖLÜM 3.</u>	
<u>YAPILAN MODELLEMELER</u> .....	15
<u>3.1. Düzlemsel Tabakanın Elektromagnetik Dalga İle Etkileşimin</u> <u>Modellenmesi:</u> .....	15
<u>3.2. Çoklu Katmanlarda İletim Katsayısının Belirlenmesi</u> .....	21

<u>3.3. Çoklu Katmanlarda Yansıma Katsayısının Belirlenmesi</u> .....	24
<u>3.4. S Parametrelerinin Tanımı:</u> .....	25
<u>3.5. NWR Denkleminin Çözümü</u> .....	27
<u>BÖLÜM 4.</u>	
<u>ÖLÇÜMLER</u> .....	34
<u>4.1. Scaler Network Analizör İçin Yazılım</u> .....	34
<u>4.2. Horn Anten Yapımı</u> .....	35
<u>4.3. Ölçüm Düzeneği</u> .....	37
<u>4.4. Sisteminin Kalibrasyonu</u> .....	40
<u>4.5. Ölçüm Sonuçları</u> .....	42
<u>4.6. Verilerin Analizi</u> .....	46
<u>4.7. Çoklu Katman İletim katsayısı Ölçümleri</u> .....	55
<u>4.8. Kırılma İndisinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem</u> .....	65
<u>BÖLÜM 5.</u>	
<u>SONUÇ</u> .....	68
<u>BÖLÜM 6.</u>	
<u>TARTIŞMA VE ÖNERİLER</u> .....	70
<u>6.1. Tartışma</u> .....	70
<u>6.2. Hata Kaynakları</u> .....	74
<u>6.3. Öneriler</u> .....	74
<u>KAYNAKLAR</u> .....	76
<u>EKLER</u> .....	80
<u>ÖZGEÇMİŞ</u> .....	117

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\alpha$	:Dalga sönüm katsayısı
$a$	:Dalga kılavuzu genişliği
$\beta$	:Dalga sayısı
$b$	:Dalga kılavuzu yüksekliği
$c$	:Işık hızı
$d_i$	:Kullanılan malzeme kalınlığı
$E$	:Elektromagnetik dalganın elektrik alan genliği
$\epsilon^*$	:Kompleks dielektrik değeri
$\epsilon'$	:Dielektrik değerinin reel kısmı
$\epsilon''$	:Dielektrik değerinin sanal kısmı
$E_2^+$	:1. bölgeden 2. bölgeye geçen elektrik alan genliği
$\epsilon_0$	:Boşluğun dielektrik değeri
$E_2^-$	:2. bölgeden 1. bölgeye yansıyan elektrik alan genliği
$E^i$	:Normalize edilmiş gelen dalganın elektrik alan genliği
$\epsilon_r$	:Bağıl dielektrik değeri
$E_r$	:Yansıyan dalganın elektrik alan genliği
$E_t$	:Geçen dalganın elektrik alan genliği
$\phi$	:Yayıma sabitinin üstel formda faz açısı
$f_c$	:Dalga kılavuzu kesim frekansı
$\gamma$	:Yayıma sabiti
$\Gamma$	:Yüzey yansıma katsayısı
$\Gamma^b$	:Katmandan yansıyan toplam yansıma katsayısı
$H$	:Elektromagnetik dalganın magnetik alan genliği
$H_2^+$	:1. bölgeden 2. bölgeye geçen magnetik alan genliği
$H_2^-$	:2. bölgeden 1. bölgeye yansıyan magnetik alan genliği
$H^i$	:Normalize edilmiş gelen dalganın magnetik alan genliği
$H_r$	:Yansıyan dalganın magnetik alan genliği

$H_t$	: Geçen dalğanın magnetik alan genliği
$\varphi$	:Dalga fonksiyonu
$k$	:Dalga kılavuzu yayılma sabiti
$k_i$	:Malzemenin kırılma indisi
$\mu^*$	:Kompleks magnetik geçirgenlik değeri
$m, n$	:Ardışık tam sayı
$\mu'$	:Magnetik geçirgenlik değerinin reel kısmı
$\mu''$	:Magnetik geçirgenlik değerinin sanal kısmı
$\mu_0$	:Boşluğun bağıl magnetik geçirgenlik değeri
$\mu_r$	:Bağıl magnetik geçirgenlik değeri
$N$	:Ardışık tam sayı.
NWR	: Nicolson-Ross-Weir Denklemi
$\eta_0$	:Boşluğun karakteristik empedansı
$\eta_1$	:Malzemenin karakteristik empedansı
$\sigma$	:Elektriksel iletkenlik
$S_{11}$	:VNA dan okunan toplam yansıma katsayısı değeri
$S_{21}$	:VNA dan okunan toplam iletim katsayısı değeri
$T$	: $e^{\gamma d}$
$T^b$	:Katmandan geçen toplam iletim katsayısı
$T_N^b$	:N adet katman için toplam iletim katsayısı
$\omega$	:Açısal hız
VNA	:Vektörel Network Analizör

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<a href="#">Şekil 2.1. Dalga kılavuzunda rezonans durumu</a>	12
<a href="#">Şekil 2.2. Mikrodalga horn anten tiplerine örnekler</a>	13
<a href="#">Şekil 2.3. Dalga kılavuzunda uyarılma yöntemleri</a>	14
<a href="#">Şekil 3.1. Tek bir dielektrik katmandan gelen, yansıyan ve geçen dalgalar</a>	15
<a href="#">Şekil 3.2. Çoklu katman geometrisi</a>	21
<a href="#">Şekil 3.3. Çoklu katman yansıma katsayısı şekli</a>	24
<a href="#">Şekil 3.4. S parametreleri katsayılarını tanımlama</a>	25
<a href="#">Şekil 4.1. Geliştirilen programın ekran görüntüsü</a>	34
<a href="#">Şekil 4.2. Yapılan antenin genlik frekans grafiği</a>	35
<a href="#">Şekil 4.3. Yapılan antenlerin teknik resmi</a>	36
<a href="#">Şekil 4.4. Yapılan antenin perspektif görünüşü</a>	36
<a href="#">Şekil 4.5. Yapılan antenlerin fotoğrafı</a>	37
<a href="#">Şekil 4.6. Ölçüm sistemi</a>	38
<a href="#">Şekil 4.7. Ölçümlerde kullanılan malzeme resmi</a>	39
<a href="#">Şekil 4.8. Raylı sistemin görünüşü</a>	39
<a href="#">Şekil 4.9. TRL kalibrasyonun da anten yerleri</a>	41
<a href="#">Şekil 4.10. Kalibrasyon değerleri</a>	42
<a href="#">Şekil 4.11. Camın S11 grafiği</a>	43
<a href="#">Şekil 4.12. Camın S21 grafiği</a>	43
<a href="#">Şekil 4.13. Camın S21 faz değişim grafiği</a>	43
<a href="#">Şekil 4.14. Delrinin S11 grafiği</a>	44
<a href="#">Şekil 4.15. Delrinin S21 grafiği</a>	44
<a href="#">Şekil 4.16. Delrinin S21 faz grafiği</a>	44
<a href="#">Şekil 4.17. Ferrit S11 grafiği</a>	45
<a href="#">Şekil 4.18. Ferritin S21 grafiği</a>	45
<a href="#">Şekil 4.19. Ferritin S21 faz grafiği</a>	45
<a href="#">Şekil 4.20. <math>\Gamma</math> yansıma katsayısı grafiği (Cam)</a>	46



Şekil 4.21. $\eta$ karakteristik empedans grafiği (Cam) .....	47
Şekil 4.22. $\beta$ dalga sayısı grafiği(Cam) .....	47
Şekil 4.23. Faz değişimi ve n değerleri grafiği(Cam) .....	48
Şekil 4.24. $\beta$ ve $\beta_0$ dalga sayısı değerleri grafiği(Cam).....	48
Şekil 4.25. Kırılma indisi grafiği Cam (reel) .....	49
Şekil 4.26. $\epsilon_r$ dielektrik grafiği (Cam) .....	49
Şekil 4.27. $\Gamma$ yansımaya katsayısı grafiği (Delrin) .....	50
Şekil 4.28. $\eta$ karakteristik empedans grafiği(Delrin).....	50
Şekil 4.29. $\beta$ dalga sayısı grafiği(Delrin).....	51
Şekil 4.30. Faz değişimi ve n değerleri grafiği (Delrin).....	51
Şekil 4.31. $\beta$ , $\beta_0$ dalga sayısı değerleri (Delrin).....	51
Şekil 4.32. Kırılma indisi grafiği (Delrin) .....	52
Şekil 4.33. $\epsilon_r$ dielektrik grafiği(Delrin).....	52
Şekil 4.34. $\Gamma$ yansımaya katsayısı grafiği(Ferrit) .....	53
Şekil 4.35. $\eta$ karakteristik empedans grafiği (Ferrit) .....	53
Şekil 4.36. $\beta$ dalga sayısı grafiği (Ferrit).....	53
Şekil 4.37. Faz değişimi ve n değerleri grafiği (Ferit) .....	54
Şekil 4.38. $\beta$ , $\beta_0$ dalga sayısı değerleri(Ferrit) .....	54
Şekil 4.39. Kırılma indisi grafiği(Ferrit) .....	55
Şekil 4.40. $\epsilon_r$ dielektrik grafiği(Ferrit).....	55
Şekil 4.41. $\mu_r$ magnetik geçirgenlik grafiği (Ferrit).....	55
Şekil 4.42. Cam için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Reel) .....	56
Şekil 4.43. Cam için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Sanal).....	56
Şekil 4.44. Delrin için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Reel) .....	56
Şekil 4.45. Delrin için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Sanal) .....	57
Şekil 4.46. Ferrit için çoklu katman iletim katsayısı grafiği(Reel).....	57
Şekil 4.47. Ferrit için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Sanal).....	57
Şekil 4.48. Cam için katman sayısına göre iletim katsayısı grafiği .....	59
Şekil 4.49. Delrin için katman sayısına göre iletim katsayısı grafiği.....	59
Şekil 4.50. Ferrit için katman sayısına göre iletim katsayısı grafiği .....	60
Şekil 4.51. Cam için 6 GHz te uyuşmada elde edilen değerlerin grafik örneği.....	60
Şekil 4.52. Cam için çoklu katman kırılma indisi grafiği.....	64

<a href="#">Şekil 4.53. Delrin için çoklu katman kırılma indisi grafiği .....</a>	<a href="#">64</a>
<a href="#">Şekil 4.54. Ferrit için çoklu katman kırılma indisi grafiği .....</a>	<a href="#">64</a>
<a href="#">Şekil 4.55. Farklı katman kalınlığı ile bulunan kırılma indisi (d1=3mm d2=10mm) .....</a>	<a href="#">66</a>
<a href="#">Şekil 4.56. Farklı katman kalınlığı ile bulunan <math>\epsilon_r</math> değerleri (d1=3mm d2=10mm).....</a>	<a href="#">66</a>
<a href="#">Şekil 4.57. Farklı katman kalınlığı ile bulunan <math>\epsilon_r</math> değerleri (d1=6mm d2=10mm).....</a>	<a href="#">67</a>
<a href="#">Şekil 4.58. Farklı katman kalınlığı ile bulunan <math>\epsilon_r</math> değerleri (d1=6mm d2=10mm).....</a>	<a href="#">67</a>
<a href="#">Şekil 6.1. Nano parçacık içeren malzemelerinin iletim katsayısı grafiği .....</a>	<a href="#">70</a>
<a href="#">Şekil 6.2. Açığa bağlı ölçüm sistemi .....</a>	<a href="#">71</a>
<a href="#">Şekil 6.3. Açığa bağlı ölçüm sistemi şekli.....</a>	<a href="#">71</a>
<a href="#">Şekil 6.4. Katman sayısına göre geçen sinyal gücü grafiği .....</a>	<a href="#">72</a>
<a href="#">Şekil 6.5. Ferrit için fit etme çalışma grafiği .....</a>	<a href="#">72</a>
<a href="#">Şekil 6.6. Koaksiyel hat resmi 1.....</a>	<a href="#">73</a>
<a href="#">Şekil 6.7. Koaksiyel hat resmi 2.....</a>	<a href="#">73</a>

## TABLolar LİSTESİ

<a href="#">Tablo 1.1. Ölçüm tekniklerinin karşılaştırılması.....</a>	3
<a href="#">Tablo 4.1. Cam iletim katsayısı değerleri (reel).....</a>	58
<a href="#">Tablo 4.2. Delrin iletim katsayısı değerleri(reel).....</a>	58
<a href="#">Tablo 4.3. Ferrit iletim katsayısı değerleri(reel).....</a>	58
<a href="#">Tablo 4.4. Cam için uyuşma katsayı değerleri.....</a>	61
<a href="#">Tablo 4.5. Delrin için uyuşma katsayı değerleri.....</a>	61
<a href="#">Tablo 4.6. Ferrit için uyuşma katsayı değerleri.....</a>	61
<a href="#">Tablo 4.7. Cam için bulunan dalga boyu ve kırılma indisi değerleri.....</a>	62
<a href="#">Tablo 4.8. Delrin için bulunan dalga boyu ve kırılma indisi değerleri.....</a>	63
<a href="#">Tablo 4.9. Ferrit için bulunan dalga boyu ve kırılma indisi değerleri.....</a>	63

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Serbest-Ortam Ölçüm Tekniği, S Parametreleri, Yansıma katsayısı, İletim katsayısı, TRL Kalibrasyonu, Dielektrik

Bu çalışmada, düşük frekans bölgesinde (DC- 100 MHz) elektromagnetik dalga soğurucu olarak kullanılan ferrit tabakaların, 5-15 GHz frekans bandında elektriksel ve magnetik özellikleri belirlenmeye çalışıldı. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin tutarlılığı, aynı ölçülerdeki magnetik özellikleri olmayan cam ve delrin tabakalarının özellikleriyle test edildi. Ölçümlerde Serbest-Ortam Ölçüm Tekniği kullanıldı. Yansıma(reflection) ve iletim (transmission) katsayısına karşılık gelen  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri Vektörel Network Analizör (VNA) dan okundu. Kompleks S parametreleri ile cam, delrin ve ferrit malzemelerinin dielektrik özellikleri hesaplama yoluyla belirlendi. Dielektrik özelliklerinin belirlenmesinde

- 1) Yansıma/İletim katsayısı ölçümü,
  - 2) Çoklu katman iletim katsayısı ölçümü,
  - 3) Farklı kalınlıktaki malzemelerin iletim katsayısı ölçümü,
- yöntemleri kullanıldı. 3. yöntemin ilk defa bu ölçümlerde kullanıldığı tespit edildi..

Kullanılan frekans bandında, malzemelerin kalınlığı dalga boyu mertebesinde olması sebebi ile  $\beta$  dalga sayısı değerlerinde çoklu faz geçişleri kaçınılmaz olmaktadır. Bu zorluğu aşmak için  $\beta$  değerinin belirlenmesi için yeni bir algoritma geliştirildi.

Her üç yöntemle belirlenen kırılma indisi değerlerinin birbirleriyle ve literatürle iyi bir uyum içerisinde olduğu görüldü. Ancak yansıyan ve geçen toplam sinyal şiddetinde, malzeme tabakalarının kalınlığı (özellikle  $\lambda/4$  olduğu değerlerde) iç özelliklere göre daha baskın olduğu görüldü.

Ayrıca 5-15 GHz frekans bandında mikrodalga soğurucu olarak kullanılan ferritin yarı saydam bir malzeme gibi davrandığı tespit edildi.

# **INVESTIGATION OF MICROWAVE INTERACTION OF EMC ABSORBER MATERIAL BY FREE-SPACES MEASUREMENT TECHNIQUE**

## **SUMMARY**

Keyword: Free-spaces measurement technique, S Parameters, Reflection Transmission TRL calibration, Dielectric

In the study it was tried to determine the electrical properties of ferrite slab as microwave absorber at low frequency rate (DC- 100 MHz) between 5-15GHz frequency. Values which were measured and calculated were tested with nonmagnetic glass and delrin slab. Free-spaces measurement technique was used for all the measurements. Reflection ( $S_{11}$ ) and transmission ( $S_{21}$ ) coefficient values were read from Vector Network Analyzer. Dielectric properties of ferrite, glass and delrin were determined by calculating with complex S parameters. For determining the dielectric properties:

- 1) Measurement of reflection/transmission coefficient,
- 2) Measurement of multi layer transmission coefficient,
- 3) Measurement of different thickness slab transmission coefficient

methods were used. It was fixed that the 3.rd method was used firstly in this study.

In the used frequency range, multi phase transition is inevitable for  $\beta$  wave number, because of the similarity of thickness of the material and the wave length. For this reason a new algorithm was developed to determine the  $\beta$  wave number values.

It was recognized that all the refraction index values taken by these three methods were congenial with each other and literature. On the other hand, it was determined that the thickness of the materials was (especially slab thickness equal  $\lambda/4$ ) more oppressive than inner properties for the total signal intensity which were reflected and transmitted.

At the same time, it was recognized that ferrite acts as half transparent material between 5-15GH frequency ranges.

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel Bilgi

Son yıllarda Radyo ve Mikrodalga frekanslarında, malzemelerin kompleks dielektrik özelliklerinin ölçülmesi, malzeme biliminde, biyolojik araştırmalarda, mikro devre tasarımında büyük önem kazanmaktadır. Malzemelerin kompleks özelliklerinin ölçümü zaman yada frekans ekseninde yapılmakta, tek-uç ve iki-uç yöntemlerinden biri kullanılmaktadır. Her teknikte malzeme ve uygulamaların özelliklerinden kaynaklanan kısıtlamalar vardır. Günümüzde yansıma ve iletim katsayısı (transmission) parametreleri Vektörel Network Analizör (VNA) ile ölçülür, bilgisayara aktarılır. Güncel yazılımlarla malzemelerin kompleks dielektrik özellikleri belirlenir.

Malzemelerin elektriksel özellikleri denildiğinde kastedilen  $\epsilon_r$ , malzemenin kompleks bağıl dielektrik sabiti ve  $\mu_r$  kompleks bağıl magnetik geçirgenliğidir. Ölçülen malzemelerin elektriksel özellikleri, kompleks bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  ve kompleks bağıl magnetik geçirgenliği  $\mu_r$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_{\delta}}{\epsilon_0} \text{ ve } \mu_r = \frac{\mu_{\delta}}{\mu_0} \text{ şeklinde ifade edilir. Burada } \epsilon_0 \text{ boşluğun dielektrik}$$

sabitini ve  $\mu_0$  boşluğun magnetik geçirgenliğini göstermektedir. Değerleri  $\epsilon_0=8,52 \times 10^{-12}$  F/m ve  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  H/m dir. Dielektrik ve magnetik geçirgenlik değerleri reel ve sanal bileşenlere sahiptir.  $\epsilon$  nın reel bileşeni aynı zamanda malzemenin dielektrik sabiti olarak bilinir.

Bağıl  $\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  değerleri:

$$\epsilon_r = \epsilon_0 \epsilon' + j \epsilon_0 \epsilon'' \quad \mu_r = \mu_0 \mu' + j \mu_0 \mu'' \text{ şeklinde ifade edilirler}$$

Sanal dielektrik bileşeni  $\epsilon''$ , eğer sifıra eşit ise malzeme, elektromagnetik dalgaya karşı kayıpsız davranır.  $\epsilon''$  değeri ayrıca kayıp faktörü olarak adlandırılır. Dış elektrik alana karşı depolanan enerji miktarının kaybı olan  $\tan\delta = \epsilon''/\epsilon'$  kayıp tanjanı, bozulma faktörü veya kayıp faktörü olarak adlandırılır.

$\mu_r$  kompleks magnetik geçirgenliğinin reel bileşeni dış magnetik alanın depolanma ölçüsü, sanal bileşeni de depolanmış magnetik enerjinin kayıp ölçüsüdür

## 1.2. Ölçüm Teknikleri

Maddeler dış magnetik alana tepki gösterir. Bu tepki sonucuna göre maddeler üç ayrı biçimde sınıflandırılır. Bunlar diamagnetik, paramagnetik ve ferromagnetikdir.

a) Diamagnetik malzemeler: Dış magnetik alandan zayıf bir şekilde etkilenirler. Bağlı magnetik geçirgenlikleri  $\mu_r < 1$  olan maddeler bu gruba girerler.

b) Paramagnetik malzemeler: Dış magnetik alandan az etkilenirler. Bağlı magnetik geçirgenlikleri  $\mu_r > 1$  olan maddeler bu gruba girer.

c) Ferromagnetik malzemeler: Kuvvetli bir şekilde magnetik alandan etkilenen maddelerdir. Bağlı magnetik geçirgenlikleri  $\mu_r \gg 1$  dir.

Malzemelerin çoğunun mıknatıslanma özellikleri yoktur Diamagnetik ve paramagnetik malzemelerin  $\mu_r$  magnetik geçirgenlikleri boşluğun magnetik geçirgenliğine yakındır. Bağlı değerleri de yaklaşık 1 dir. Bu nedenle sadece magnetik malzemelerin kompleks magnetik geçirgenliği ölçülür.

$\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  değerlerinin ölçümünde çeşitli yöntemler kullanılır. Malzemelerin özellikleri ve çalışılan frekans bandı kullanılacak yöntemi belirler. Yaygın kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır..

- İletim /Yansıma hat tekniği
- Açık- sonlandırılmış koaksiyel prob tekniği
- Açık ortam tekniği
- Rezonans tekniği

Tablo 1 de, ölçüm tekniklerine göre, ölçülen malzeme tipi, ölçülen değerler ile incelenecek olan elektriksel özellik değerleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Ölçüm tekniklerinin karşılaştırılması.

Ölçüm Teknikleri	Malzeme	S-Parametresi (ölçülen değer)	Elektriksel parametreler (ölçülen)
İletim /Yansıma hat tekniği	Koaksiyel hat, dalga kılavuzu	$S_{11}, S_{21}$	$\epsilon_r \mu_r$
Açık-kapalı koaksiyel prob tekniği	Sıvılar,Biyolojik malzemeler,Yoğun akışkanlar	$S_{11}$	$\epsilon_r$
Açık ortam tekniği	Yüksek sıcaklıklı malzemeler,Geniş yüzeyli malzemeler	$S_{11}, S_{21}$	$\epsilon_r \mu_r$
Rezonans tekniği	Katılar, Sıvılar Düzgün geometrili katılar, dalga kılavuzu ve sıvılar	Frekans ve Q faktörü	$\epsilon_r \mu_r$

**İletim /Yansıma tekniği:** Geniş band ölçümlerinde yaygın kullanılır. Bu teknikte, dalga kılavuzunun TEM modu ve koaksiyel hat da ise TE modu kullanılır.

**Açık-kapalı koaksiyel prob tekniği:** Elektromagnetik dalganın TEM ve TE modu kullanılır.

**Rezonans tekniği:** Yüksek geçirgenlikle ölçüm yapmakla birlikte yine EM dalganın TEM veya TE modu kullanılır.



**Serbest Ortam tekniği:** Bu teknikte geniş band frekans uygulamalarında elektro magnetik dalğanın TEM modu kullanılır.

Serbest ortam ölçüm tekniği, her türlü dış ortam şartlarında, geniş band frekans ölçümlerinde kullanılır. Ölçülecek malzemeyi tahrip etmez. Bu teknikte ölçülecek malzeme geniş ve düz bir yüzeyi olmalıdır. Network Analizöre bağlı iki horn anten arasına ölçülecek malzeme konularak ölçüm yapılır. Ölçüme başlamadan önce VNA mutlaka kalibre edilmelidir. Bu teknikte kompleks yansıma  $S_{11}$  ve iletim katsayısı parametresi  $S_{21}$  ölçülür. Ölçülen  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  parametreleri, malzemenin kompleks dielektrik ve magnetik geçirgenlik değerleri olan  $\epsilon$  ve  $\mu$  ile ilişkilidir. Okunan  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri bir bilgisayar yazılımıyla analiz edilerek  $\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  değerleri belirlenir.

Bu çalışmada Serbest-Ortam İletim/Yansıma yöntemi kullanılmıştır. Diğer yöntemlerle ilgili daha geniş bilgi referans [27] vardır.

## BÖLÜM 2. ANALİTİK TEMELLER

### 2.1. Dalga Denklemi ve Yayılma

Kaynağın bulunmadığı lineer homojen bir ortamda elektromagnetik alanlarla ilgili Maxwell denklemleri:

$$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.1.a)$$

$$\nabla \times H = \sigma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2.1.b)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (2.1.c)$$

$$\nabla \cdot E = 0$$

şeklinde verilir. Bu denklemlerin çözümü olabilecek elektrik ve magnetik alan vektörleri  $H=H(x,y,z)e^{j\omega t}$  ve  $E=E(x,y,z)e^{j\omega t}$  şeklinde olduğu için:

$\frac{\partial H}{\partial t} = j\omega H$  ve  $\frac{\partial E}{\partial t} = j\omega E$  elde edilir. Buna göre zamandan bağımsız kısım için

(2.1.a) ve (2.1.b) denklemi yeniden yazıldığında:

$$\nabla \times E = -j\omega\mu H \quad \text{ve} \quad (2.2)$$

$$\nabla \times H = (\sigma + j\omega\varepsilon)E \quad (2.3)$$

elde edilir. (2.2) denklemin yeniden rotasyonu alındığında:

$$\nabla_x \nabla_x E = j\omega\mu \nabla_x H \quad (2.4.a)$$

olur. Burada denklem(2.3) kullanıldığında

$$\nabla_x \nabla_x E = j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)E \quad (2.4.b)$$

elde edilir. Denklem(2.4.a) de vektör özellikleri kullanılarak

$$-\nabla^2 E = j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)E \quad (2.4.c)$$

bağıntısına ulaşılır. (Burada  $\nabla_x \nabla_x E = \nabla(\nabla \cdot E) - \nabla^2 E$  özdeşliği ile birlikte denklem (2.1.c) kullanıldı). Denklem (2.4.c) ifadesinde

$$\gamma^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon) \quad (2.5)$$

tanımlaması yapılırsa:

$$\nabla^2 E - \gamma^2 E = 0 \quad (2.6)$$

biçiminde dalga denklemi bulunur. Aynı işlemler H magnetik alanı için de yapılırsa:

$$\nabla^2 H - \gamma^2 H = 0 \quad (2.7)$$

bulunur [22,30]. Burada  $\gamma$  yayılma sabitidir.  $\gamma$  İfadesinde  $\sigma=0$  alınırsa (yani ortam yalıtkan ise):

$\gamma^2 = -\omega^2 \mu \epsilon$  bulunur. Buradan  $\gamma = \pm j\omega\sqrt{\mu\epsilon}$  olur. Eğer ortam kayıplı yani iletken ise:

$$\gamma = \pm \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} \quad (2.8)$$

olur. Buradan  $\gamma$ ' anın reel ve sanal bileşeni olduğu görülür. Kısaca

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.9)$$

şeklinde yeniden tanımla bilir. Burada  $\alpha$  yayılan dalga için sönüm sabitini  $\beta$  ise dalga hareketini ifade eder.[17,23]

## 2.2. Dalga Denkleminin Çözümü

Boşukta, kaynaksız ortamda yayılan elektrik ve magnetik alan için dalga denklemleri (2.6 ve 2,7):

$$\nabla^2 E = \gamma^2 E \quad (2.10.a)$$

$$\nabla^2 H = \gamma^2 H \quad (2.10.b)$$

$$\gamma^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon) \quad (2.11)$$

şeklinindedir. Yalıtkan ortam için  $\sigma = 0$  alındığında  $\gamma = \pm j\omega\sqrt{\mu\epsilon}$  olduğu hatırlanmalıdır Her iki alan vektörü çözmek için Helmholtz skaler ve kompleks dalga denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\nabla^2 \varphi = \gamma^2 \varphi \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = \gamma \varphi \quad (2.13)$$

Bu denklemin  $\varphi(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z)$  şeklinde çözümü olsun.

Burada

$X(x)$  sadece  $x$  in fonksiyonu,

$Y(y)$  sadece  $y$  'nin fonksiyonu,

$Z(z)$  sadece  $z$  'nin fonksiyonudur.

Bu çözüm fonksiyonu (2.13) de yerine konulursa:

$$\frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} + \frac{1}{Z} \frac{d^2 Z}{dz^2} = \gamma^2 \quad (2.14)$$

olur. Böylece denklem (2.13) bileşenlerine ayrılırsa, her bir ifade için:

$$\frac{d^2 X}{dx^2} = -k_x^2 X \quad \frac{d^2 Y}{dy^2} = -k_y^2 Y \quad \frac{d^2 Z}{dz^2} = -k_z^2 Z \quad (2.15)$$

şekline gelir. Her bir ifadenin bağımsız çözümü ise:

$$X = A \sin(k_x x) + B \cos(k_x x)$$

$$Y = C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y) \quad (2.2.5)$$

$$Z = E \sin(k_z z) + F \cos(k_z z)$$

olur. Bu değerler (2.14) de yerine konulursa:

$$-k_x^2 - k_y^2 - k_z^2 = \gamma^2 \quad (2.17)$$

bulunur. Önerilen çözüm fonksiyonu, denklem (2.17) yi sağlarsa çözüm olacağı görülür. Bu ifadelerle göre  $\varphi$  fonksiyonu yeniden yazıldığında:

$$\varphi = [A \sin(k_x x) + B \cos(k_x x)][C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y)][E \sin(k_z z) + F \cos(k_z z)] \quad (2.18)$$

şeklinde olur. Dalga kılavuzu içerisindeki  $k_z$  yayılma sabitinin serbest uzay için geçerli olan  $\gamma$  dan farklı olacağı açıktır.

$k_z = \gamma_g$  yeniden olarak tanımlanırsa:

$$-\gamma_g^2 = \gamma^2 + k_x^2 + k_y^2 \quad (2.19)$$

$$-\gamma_g^2 = \gamma^2 + k_c^2 \quad (2.20)$$

elde edilir. Burada  $k_c^2 = k_x^2 + k_y^2$  biçiminde bir değer olup dalda kılavuzu için kesim frekansını gösterir. Kayıpsız bir ortam için:

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu \epsilon \quad (2.21)$$

olduğundan.

$$\gamma_g = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - k_c^2} \quad (2.22)$$

biçiminde yazılır.  $k_c = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$  ifadesi ise kesim dalga sayısı olarak isimlendirilir. Böylece dalga kılavuzunda yayılma sabiti:

$$\gamma_g = \pm \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - k_c^2} \quad \text{olur.} \quad (2.23)$$

Denklem (2.22) değişik şartlara göre analiz edildiğinde:

1.  $k_c^2 = \omega^2 \mu \epsilon$  olursa:

$$4\pi^2 f_c^2 \mu \epsilon = k_x^2 + k_y^2 \quad (2.24)$$

$$f_c^2 = \frac{k_x^2 + k_y^2}{4\pi^2 \mu \epsilon} \quad (2.25)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (2.26)$$

olarak bulunur. Burada  $f_c$  dalga kılavuzu kesim frekansıdır.

2.  $k_c^2 < \omega^2 \mu \epsilon$  olursa:

$$\gamma_g^2 = -\omega^2 \mu \epsilon + \omega_c^2 \mu \epsilon \quad (2.27)$$

$$\gamma_g^2 = -\omega^2 \mu \epsilon \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}\right) \quad (2.28)$$

$\gamma_g = \pm j\beta_g$  olur. Burada  $\beta_g = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \sqrt{\left(1 - \frac{f_c^2}{f^2}\right)}$  dır.

Bunun anlamı ise: çalışma frekansı kesim frekansının üzerinde olduğundan dalga kılavuzunda yayılma olur.

3.  $k_c^2 > \omega^2 \mu \epsilon$  olursa:

$$\gamma_g = \pm \alpha \quad \text{ve burada} \quad \alpha = \pm \omega \sqrt{\mu \epsilon} \sqrt{\left(\frac{f_c^2}{f^2} - 1\right)} \quad (2.29)$$

olur. Bu ifade bize kılavuz içerisine giren dalganın  $-\alpha z$  faktörüyle üstel olarak azalarak söneceğini söyler.

Bütün bunlar dikkate alındığında Helmholtz dalga denkleminin çözümü olan  $\phi$  fonksiyonu:

$$\varphi = [A \sin(k_x x) + B \cos(k_x x)]. [C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y)] e^{j\beta_g z} \quad (2.30)$$

şeklinde yazılır.

### 2.3. Yayılma Sabiti

Yayımla sabiti  $\gamma$  denklem(2.8) de:

$$\gamma = \pm \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} \quad (2.31)$$

şeklinde bulunmuştur. Bu ifade kompleks bileşene sahiptir.

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad (2.32)$$

olmak üzere  $\gamma$  nın reel ve sanal kısımları için :

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (1/m) \quad (2.33)$$

yazılır. Zayıflama sabiti  $\alpha$  birimi neper/m dır. Dalga özelliğini veren  $\beta$  nin birimi ise radyan/metre dır.

Böylece  $\gamma$  yayılma sabitinin denklem(2.32) verilen ifadesinde  $x = -j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$

tanımlayıp ve  $|x| < 1$  için binom açılımı yapılırsa :

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \left( -j\frac{\sigma}{2\omega\epsilon} + \frac{1}{8} \left( \frac{\sigma}{\omega\epsilon} \right)^2 + \dots \right) \quad (2.34)$$

elde edilir.. Buradan faydalanılarak yayılma sabitinin reel ve sanal bileşenleri için

$$\alpha = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \left( -j\frac{\sigma}{2\omega\epsilon} \right) \quad , \quad \beta = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.35)$$

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon} \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{\sigma}{\omega\epsilon} \right)^2 \right] \quad (2.36)$$

yaklaşık ifadeleri bulunur. Burada  $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} < 1$  ise malzeme düşük kayıplı,

$\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \gg 1$  ise malzeme yüksek kayıplı olarak adlandırılır.

Diğer yandan denklem (2.32) nolu ifadesi yüksek kayıplı malzeme için analiz

edildiğinde  $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \gg 1$  şartı dikkate alınarak

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad (2.37.a)$$

$\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \gg 1$  için :

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{-j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad (2.37.b)$$

$$\gamma = j\sqrt{\omega\mu\sigma} \sqrt{-j} = j\sqrt{\omega\mu\sigma} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} - j\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (2.37.c)$$

bulunur. Burada

$$-j = 1 < -90^\circ \text{ ve } \sqrt{1 < -90^\circ} = 1 < -45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} - j\frac{1}{\sqrt{2}}$$

özdeşliği kullanıldı. Gerekli işlemler yapıldığında

$$\gamma = (1 + j)\sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (2.38)$$

bulunur. Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri :

$$\alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu \sigma} . \quad (2.39)$$

şeklinde yazılır.[17]

## 2.4. Dalga Kılavuzunda TE Modunda Yayılan Dalgalar

Şekil 2.1 görüldüğü üzere; Dalga kılavuzunda elektromagnetik dalganın TE modunda yayılması için yayılan dalgada  $E_z=0$  olmalı ve ayrıca sınır değerlerini de sağlamalıdır.

$$1) E \parallel x \text{ ise } \frac{\partial H_z}{\partial x} = 0 \quad (E_y=0) \quad x=0 \text{ için} \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = 0 \quad (E_y=0) \quad x=a \quad (2.41)$$

$$2) E \parallel y \text{ yönünde } \frac{\partial H_z}{\partial y} = 0 \quad (E_x=0) \quad y=0 \text{ için} \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} = 0 \quad (E_x=0) \quad y=b \quad (2.43)$$

Şeklinde sınır şartlarını sağlamak zorundadır. Bu şartlara göre çözüm fonksiyonu  $\phi$  olan (2.30) denkleminin sınır şartlarında değerlendirilecektir.

$$H(x, y, z) = [A \sin(k_x x) + B \cos(k_x x)] [C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y)] e^{j\beta_s z} \quad (2.44)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = [A k_x \cos(k_x x) - B k_x \sin(k_x x)] [C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y)] e^{j\beta_s z} \quad (2.45)$$

yazılabilir.  $x=0$  için A katsayısı 0 olmalıdır. Aynı ifade de  $x=a$  için ise:  $B k_x \sin(k_x a) = 0$  olmalıdır. Bu ifade de ancak:

$$k_x a = m\pi, \quad k_x = \frac{m\pi}{a} \quad m=0,1,2,3, \quad (2.46)$$

eşitliği ile sağlanabilir. Aynı işlemi ikinci durum için yapıldığında

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} = 0 \quad (E_x=0) \quad y=0 \text{ için} \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} = 0 \quad (E_x=0) \quad y=b$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} = [A_x \sin(k_x x) - B k_x \cos(k_x x)] [C k_y \cos(k_y y) - D k_y \sin(k_y y)] e^{j\beta_s z}$$

$$\text{elde edilir. O halde } y=0 \text{ için } C = 0 \text{ ve } k_y b = n\pi \quad k_y = \frac{n\pi}{b} \quad n=0,1,2,3, \quad (2.48)$$

ifadelerine ulaşılır.



Bu özel çözümle birlikte magnetik alan fonksiyonu :

$$H(xyz) = BCos(k_x x)DCos(k_y y)e^{j\beta z} \text{ olur.}$$

$$B.D=H_0 \quad (2,49)$$

dönüşümü ile birlikte son magnetik alan fonksiyonu

$$H(xyz) = H_0 Cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right)Cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right)e^{j\beta z} \quad (2.50)$$

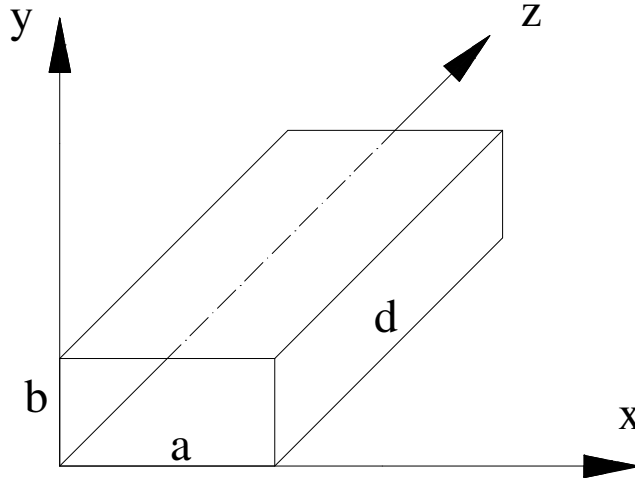
olur. (2.46 ve 2.48) ile belirlenen  $k_x$  ve  $k_y$  değerleri (2.19) nolu denklemde yerine koyulursa:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (2.51)$$

bulunur.  $TE_{10}$  modu için  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$  ve  $n=0$   $m=1$  alınarak

$$f_c = \frac{c}{2a} \text{ bulunur.} \quad (2.52)$$

## 2.5. Dalga Kavitesinde Rezonans Durumu



Şekil 2.1. Dalga kılavuzunda rezonans durumu

Kılavuzun boyu da sınırlı olduğunda (  $d$  uzunluğunda ) dalga kavitesi elde edilir.

Bir kavite için (2.45) dalga denkleminde  $E \parallel z$  ekseni içinde sınır şartları kullanılmalıdır. Yani  $z=0$  ve  $z=d$  durumunda denklem(2.45) ifadesi

$$H_z = H_{0z} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cdot \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \cdot \sin\left(\frac{p\pi z}{d}\right) \quad (2.53)$$

biçiminde yazılabilir. Böylece  $TE_{mnp}$  modu için yayılma frekansı,

$$k^2 = \left(\frac{m\pi x}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi y}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi z}{d}\right)^2 \quad (2.54)$$

olur. Daha özel bir durum olan  $TE_{101}$  modu için kavitenin rezonans frekansı,

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2} \quad (2.55)$$

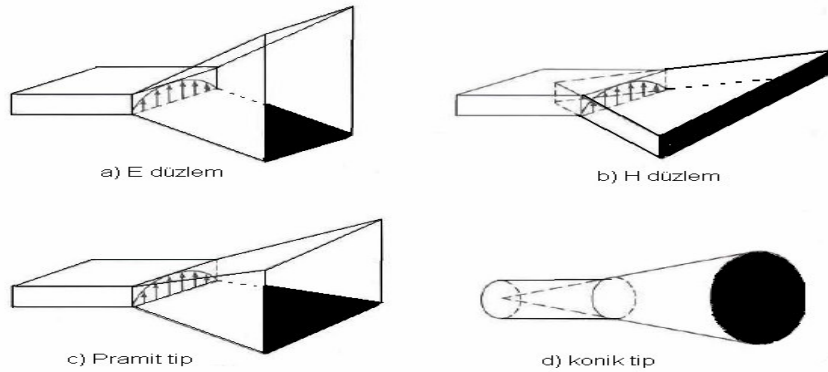
biçiminde elde edilir.

$$f_r = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{d^2}} \quad (2.56)$$

Burada  $a < b < d$  şartı etkin mod için geçerlidir.

## 2.6. Mikrodalga Anten Tasarımı

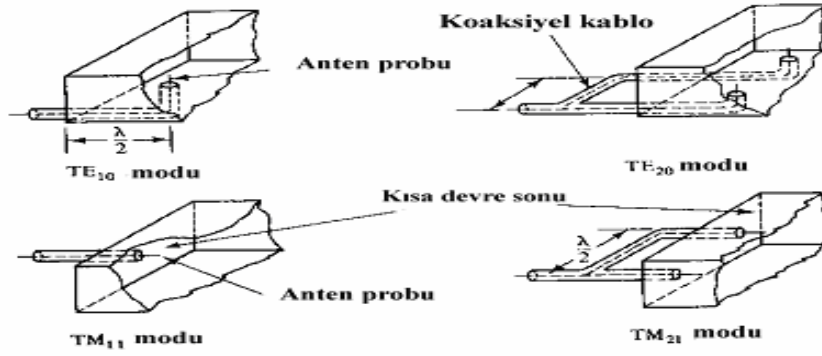
Bu çalışmada kullanılmak üzere horn anten tasarlandı. Tipik olarak 4 çeşit horn anten vardır. Bunların şekilleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.2. Mikrodalga horn anten tiplerine örnekler

Dikdörtgen tip dalga kılavuzunun uyarılmasında TE ve TM modu kullanılır (TE, Transverse Electric, TM Transverse Magnetic) Dikdörtgensel dalga kılavuzunun  $TE_{mn}$  ve  $TM_{mn}$  modunda tasarımı yapılır. Burada  $m=0,1,2,3,4\dots$   $n=0,1,2,3,4$  şeklinde tamsayılardır.  $m$ , X yönündeki ve  $n$ , Y yönündeki dalga numarasıdır. Kılavuz içerisindeki dalga ise Z yönünde yayılmaktadır..

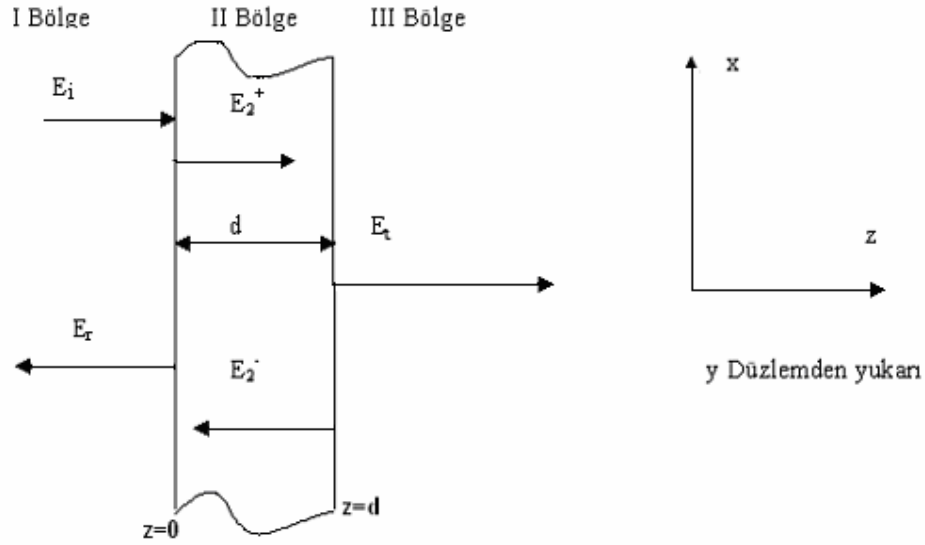
Dikdörtgensel dalga kılavuzlarının uyarılma modları aşağıda şekil 2.4 de gösterilmiştir[17].



Şekil 2.3. Dalga kılavuzunda uyarılma yöntemleri

## BÖLÜM 3. YAPILAN MODELLEMELER

### 3.1. Düzlemsel Tabakanın Elektromagnetik Dalga İle Etkileşimin Modellenmesi



Şekil 3.1. Tek bir dielektrik katmandan gelen, yansıyan ve geçen dalgalar

Hava ortamında yeterince büyük ve kalınlığı  $d$  olan dielektrik bir katman için modelleme yapıldığında, Şekil 3.1 görüldüğü gibi,  $E_i$  gelen  $E_r$  yansıyan ve  $E_t$  geçen  $E_2^+$  düzlem içerisinde gelen  $E_2^-$  ise düzlem içerisinde yansıyan dalgaları göstermektedir.

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

olmak üzere polarize edilmiş bir düzlem dalga için elektrik alan ve magnetik alan ifadeleri:

I. bölge için

$$E_1 = E_i + E_r = (E_i e^{-\gamma_0 z} + E_r e^{\gamma_0 z}) a_x \quad z \leq 0 \text{ için} \quad (3.1)$$

$$H_1 = H_i + H_r;$$

II. bölge için :

$$E_2 = E_2^+ + E_2^- = (E_2^+ e^{-\gamma_2 z} + E_2^- e^{\gamma_2 z}) a_x$$

$$H_2 = H_2^+ + H_2^-; \quad 0 \leq z \leq d \quad (3.2)$$

III. bölge için

$$E_3 = E_t = E_t e^{-\gamma_0(z-d)} a_x \quad z > d \quad (3.3)$$

şeklinde yazılır.

III bölgede yansıyan dalga yoktur.

Maxwell denklemlerinden (2.1.a) ve (2.1.b) denklemlerinden yöne ve zamana bağlı olarak değişen magnetik ve elektrik alan bileşenleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad \nabla \times H = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_y}{\partial t}, \quad \frac{\partial E_y}{\partial z} = \mu \frac{\partial H_x}{\partial t} \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t}, \quad \frac{\partial H_x}{\partial z} = \varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} \quad (3.6)$$

Bu denklemlerden :

$$E_x^+ = \eta_1 H_y^+ \quad (3.7)$$

$$E_x^- = -\eta_1 H_x$$

$$E_y^+ = -\eta_1 H_x \quad (3.8)$$

$$E_y^- = \eta_1 H_x$$

yazılır. Burada

$$\eta_1 = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanan  $\eta_1$  ortamın karakteristik empedansıdır.

Boşluk için  $\mu_0$  ve  $\epsilon_0$  değerleri kullanıldığında boşluğun empedansı:

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \Omega \quad (3.10)$$

olarak bulunur.

(3.7) ve (3.8) denklemdeki H değerleri (3.1,3.2 ve 3.3 ) denkleminde yerine konursa:

$$E_1 = E_i + E_r = (E_i e^{-\gamma_0 z} + E_r e^{\gamma_0 z}) a_x \quad (3.11)$$

$$H_1 = H_i + H_r = \left( \frac{E_i}{\eta_0} e^{-\gamma_0 z} - \frac{E_r}{\eta_0} e^{\gamma_0 z} \right) a_y \quad (3.12)$$

$$E_2 = E_2^+ + E_2^- = (E_2^+ e^{-\gamma_2 z} + E_2^- e^{\gamma_2 z}) a_x \quad (3.13)$$

$$H_2 = H_2^+ + H_2^- = \left( \frac{E_2^+}{\eta_2} e^{-\gamma_2 z} - \frac{E_2^-}{\eta_2} e^{\gamma_2 z} \right) a_y \quad (3.14)$$

$$E_3 = E_t = E_t e^{-\gamma_0(z-d)} a_x \quad (3.15)$$

$$H_3 = H_t = \frac{E_t}{\eta_0} e^{-\gamma_0(z-d)} a_y \quad (3.16)$$

şeklinde yazılır.

(1) ve (2) sınır bölgelerinde dalgaların sürekli olması gerekir. Buna göre 1 bölgede  $z=0$  alınır (3.11), (3.12), (3.13) ve (3.14) denklemleri:

$$E_i + E_r = E_2^+ + E_2^- \quad (3.17)$$

$$E_i - E_r = \frac{\eta_0}{\eta_1} (E_2^+ - E_2^-) \quad (3.18)$$

şeklinde yazılır. Tabaka içerisindeki alan vektörlerini sadeleştirmek için (3.17). ve (3.18) . denklemleri taraf tarafa toplanıp ve çıkartıldığında

$$E_i = E_2^+ \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_1} \right) + E_2^- \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_1} \right) \quad (3.19)$$

ve

$$E_r = E_2^+ \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_1} \right) + E_2^- \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_1} \right) \quad (3.20)$$

olur. İkinci durum için  $z=d$  konulursa (3.13),(3.14),(3.15) ve (3.16) denklemleri:

$$E_2^+ e^{-\gamma d} + E_2^- e^{+\gamma d} = E_t \quad (3.21)$$

$$E_2^+ e^{-\gamma d} - E_2^- e^{+\gamma d} = \left( \frac{\eta_1}{\eta_0} \right) E_t \quad (3.22)$$

şeklinde olur. (3.21) ve (3.22) denklem birlikte çözümlerse

$$E_2^+ = E_t e^{\gamma d} \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_0} \right) \quad (3.23)$$

$$E_2^- = E_t e^{-\gamma d} \left( \frac{\eta_0 - \eta_1}{2\eta_0} \right) = -E_t e^{-\gamma d} \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_0} \right) \quad (3.24)$$

elde edilir. . (3.23) ve (3.24) denklemi, denklem (3.19) da yerine konulursa:

$$E_i = E_t e^{\gamma d} \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_0} \right) \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_1} \right) - E_t e^{-\gamma d} \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_0} \right) \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_1} \right) \quad (3.25)$$

elde edilir. Gerekli sadeleştirmeler yapıldığında

$$E_i = \frac{E_t e^{\gamma d}}{\eta_1 \eta_0} \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_0} \right)^2 - \frac{E_t e^{-\gamma d}}{\eta_1 \eta_0} \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_0} \right)^2 \quad (3.26)$$

$$E_i = \frac{E_t}{4\eta_1\eta_0} e^{\gamma d} \left( (\eta_1 + \eta_0)^2 - e^{-2\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2 \right) \quad (3.27)$$

ifadeleri elde edilir. Böylece gelen dalga ile geçen dalga genlikleri arasında bir ilişki kurulmuş olur. Toplam iletim katsayısı

$$T^b = \frac{E_t}{E_i} \text{ şeklinde tanımlandığında;}$$

$$T^b = \frac{4\eta_0\eta_1 e^{-\gamma d}}{(\eta_1 + \eta_0)^2 - (\eta_1 - \eta_0)^2 e^{-2\gamma d}} \quad (3.28)$$

olarak bulunur. Yansıma katsayısını bulmak için de:Denklem (3.20) :

$$E_r = E_t e^{\gamma d} \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_0} \right) \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_1} \right) - E_t e^{-\gamma d} \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{2\eta_0} \right) \left( \frac{\eta_1 + \eta_0}{2\eta_1} \right) \quad (3.29)$$

$$E_r = \frac{E_t e^{\gamma d}}{4\eta_0\eta_1} (\eta_1^2 - \eta_0^2) - \frac{E_t e^{-\gamma d}}{4\eta_0\eta_1} (\eta_1^2 - \eta_0^2) \quad (3.30)$$

$$E_r = \frac{E_t e^{\gamma d}}{4\eta_0\eta_1} \left( (\eta_1^2 - \eta_0^2) - e^{-2\gamma d} (\eta_1^2 - \eta_0^2) \right) \quad (3.31)$$

yazılabilir. Yansıma katsayısı  $\Gamma^b = \frac{E_r}{E_i}$  şeklinde tanımlandığından denklem (3.31)

denklem(3.26) ya oranlanırsa toplam yansıma katsayısı

$$\Gamma^b = \frac{E_r = \frac{E_t e^{\gamma d}}{4\eta_0\eta_1} \left( (\eta_1^2 - \eta_0^2) - e^{-2\gamma d} (\eta_1^2 - \eta_0^2) \right)}{E_i = \frac{E_t}{4\eta_1\eta_0} e^{\gamma d} \left( (\eta_1 + \eta_0)^2 - e^{-\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2 \right)} \quad (3.32)$$

biçiminde elde edilir. Denklem (3.32) de gerekli sadeleştirmeler yapıldığında

$$\Gamma^b = \frac{\left( (\eta_1^2 - \eta_0^2) - e^{-2\gamma d} (\eta_1^2 - \eta_0^2) \right)}{\left( (\eta_1 + \eta_0)^2 - e^{-\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2 \right)} = \frac{(\eta_1^2 - \eta_0^2)(1 - e^{-2\gamma d})}{(\eta_1 + \eta_0)^2 - e^{-\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2}$$

katmandan yansıyan toplam yansıma katsayısı :



$$\Gamma^b = \frac{(\eta_1 + \eta_0)(\eta_1 - \eta_0) (1 - e^{-2\gamma d})}{(\eta_1 + \eta_0)^2 - e^{-2\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2} \quad (3.33)$$

olarak bulunur.

Denklem (3.28) ve (3.33)'ü daha da sadeleştirmek için :

$$T^b = \frac{4\eta_0\eta_1 e^{-\gamma d}}{(\eta_1 + \eta_0)^2 - (\eta_1 - \eta_0)^2 e^{-2\gamma d}} = \frac{\frac{4\eta_0\eta_1 e^{-\gamma d}}{(\eta_1 + \eta_0)^2}}{1 - \frac{(\eta_1 - \eta_0)^2 e^{-2\gamma d}}{(\eta_1 + \eta_0)^2}}$$

$$\text{ifadeleri yeniden yazılıp } \Gamma = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0}, \quad 1 - \Gamma^2 = \frac{4\eta_1\eta_0}{(\eta_1 + \eta_0)^2} \quad \text{ve } T = e^{-\gamma d}$$

şeklinde tanımlamalar yapıldığında denklem (3.28)

$$T^b = \frac{(1 - \Gamma^2)T}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.34)$$

halini alır. Aynı işlemler denklem (3.33) için de yapıldığında :

$$\Gamma^b = \frac{(\eta_1 + \eta_0)(\eta_1 - \eta_0) (1 - e^{-2\gamma d})}{(\eta_1 + \eta_0)^2 - e^{-2\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2} = \frac{\frac{(\eta_1 + \eta_0)(\eta_1 - \eta_0) (1 - e^{-2\gamma d})}{(\eta_1 + \eta_0)^2}}{1 - \frac{e^{-2\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2}{(\eta_1 + \eta_0)^2}}$$

gerekli sadeleştirmeler yapılır ve  $\Gamma$  ile  $T$  değerleri yerine konulduğunda :

$$\Gamma^b = \frac{\frac{(\eta_1 - \eta_0) (1 - e^{-2\gamma d})}{(\eta_1 + \eta_0)}}{1 - \frac{e^{-2\gamma d} (\eta_1 - \eta_0)^2}{(\eta_1 + \eta_0)^2}} = \frac{\Gamma(1 - T^2)}{1 - \Gamma^2 T^2} \text{ şeklini alır.} \quad (3.35)$$

Özetle toplam yansıma ve iletim katsayısı ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

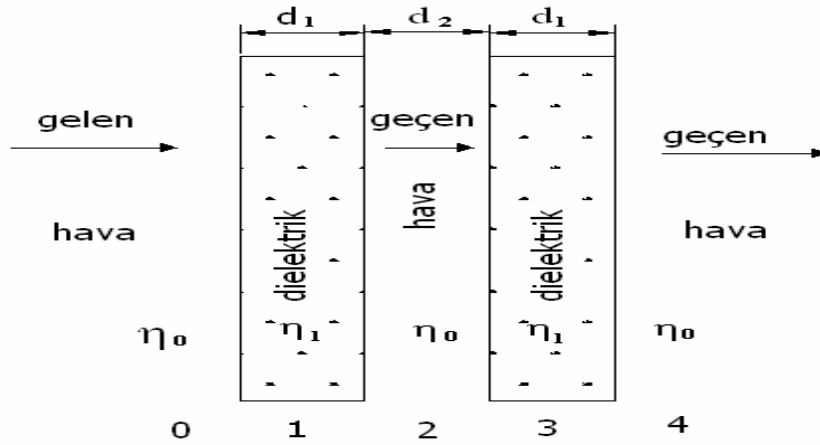
$$\Gamma^b = \frac{\Gamma(1-\Gamma^2)}{1-\Gamma^2\Gamma^2} \quad (3.34)$$

$$T^b = \frac{(1-\Gamma^2)\Gamma}{1-\Gamma^2\Gamma^2} \quad (3.35)$$

Eğer yansımaya katsayısı  $\Gamma$  'nın büyüklüğü 1 'in yanda küçük olduğu kabul edildiğinde (ikincil iç yansımaların ihmal edilebilir düzeyde olduğu kabul edildiğinde) toplam yansımaya ve iletim katsayısı ifadesi denklem (3.36) gibi yazılabilir[11,13].

$$\Gamma^b = (1-e^{-2\gamma d})\Gamma \quad \text{ve} \quad T^b = (1-\Gamma^2)e^{-\gamma d} \quad (3.36)$$

### 3.2 . Çoklu Katmanlarda İletim Katsayısının Belirlenmesi



Şekil 3.2. Çoklu katman geometrisi

Burada  $d_1$  dielektrik malzemenin kalınlığını,  $d_2$  ise iki dielektrik malzeme arasındaki hava katmanının kalınlığıdır. Gelen sinyal normalize edilmiş ise tek bir dielektrik katman için, 2 ortama geçen sinyal şiddeti

$$T^b = \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma d_1}}{1-\Gamma_2^2e^{-2\gamma d_1}} \quad (3.35)$$

olduğu gösterilmiştir. Yine aynı yöntemle 3. ortamın ilk yüzeyinde ise:

$$T^b = \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \cdot \frac{(1-\Gamma_1^2)e^{-\gamma_2 d_2}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_2 d_2}} \quad (3.37)$$

4. ortamın ilk yüzeyinde ise

$$T^b = \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \cdot \frac{(1-\Gamma_1^2)e^{-\gamma_2 d_2}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_2 d_2}} \cdot \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \quad (3.38)$$

şeklinde yazılır.

Eğer iki dielektrik malzeme arasındaki boşluk ( $d_2$  kalınlığı) sıfır olacak kadar birbirlerine yaklaştırılırsa veya düzgün şekilde birbirlerine temas ettirildiğinde  $d_2$  kalınlığı sıfır kabul edilebilir. Bu yaklaşımla yukarıda verilen denklem

$$T^b = \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \cdot \frac{(1-\Gamma_1^2) \cdot 1}{1-\Gamma_2^2 \cdot 1} \cdot \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \quad (3.39)$$

şeklini alır. Gerekli sadeleştirmeler yapıldığında:

$$T_2^b = \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \cdot \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} = \left[ \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \right]^2 \quad (3.40)$$

şeklinde yazılır. Aynı işlem 3. dielektrik malzeme için yapıldığında ise:

$$T_3^b = \left[ \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \right]^3 \quad (3.41)$$

olur. Böylece bu işlemler  $N$  adet katman için genelleştirildiğinde

$$T_N^b = \left[ \frac{(1-\Gamma_2^2)e^{-\gamma_1 d_1}}{1-\Gamma_2^2 e^{-2\gamma_1 d_1}} \right]^N \quad (3.42)$$

şeklini alır. [10,32]

(3.42) denklemi, payda yaklaşık 1 olarak alındığında (3.36) denklemi yeniden yazıldığında :

$$T_N^b = (1-\Gamma_2^2)^N e^{-\gamma_1 N d_1} \quad (3.43.a)$$

$\gamma=\alpha+j\beta$  olduğundan bu ifade

$$T_N^b = (1-\Gamma_2^2)^N e^{-\alpha Nd+i\beta Nd} \quad (3.43.b)$$

olur. Başka bir yazım biçimi ile

$$T_N^b = (1-\Gamma_2^2)^N e^{-\alpha Nd} [\text{Cos}(N\beta d + i\text{Sin}(N\beta d))] \quad (3.44)$$

elde edilir.. İfadenin reel ve sanal değerleri ayrı ayrı dikkate alındığında:

$$\text{Reel}(T_N^b) = (1-\Gamma_2^2)^N e^{-\alpha Nd} [\text{Cos}(N\beta d)] \quad (3.45)$$

$$\text{Sanal}(T_N^b) = (1-\Gamma_2^2)^N e^{-\alpha Nd} [\text{Sin}(N\beta d)]$$

şeklinde yazılır.

Denklem (3.34) açık şekilde yazıldığında

$$\Gamma^b = \frac{\Gamma(1-\Gamma^2)}{1-\Gamma^2\Gamma^2} = \frac{\Gamma(1-e^{-2\gamma d})}{1-\Gamma^2 e^{-2\gamma d}} = \frac{\Gamma(1-e^{-2\alpha d} [\text{Cos}(2\beta d + i\text{sin}(2\beta d))])}{1-\Gamma^2 e^{-2\alpha d} [\text{Cos}(2\beta d + i\text{sin}(2\beta d))]} \quad (3.46)$$

şeklini alır. Bu ifade sanal bileşeni sıfır olduğu özel durumlar için analiz edildiğinde

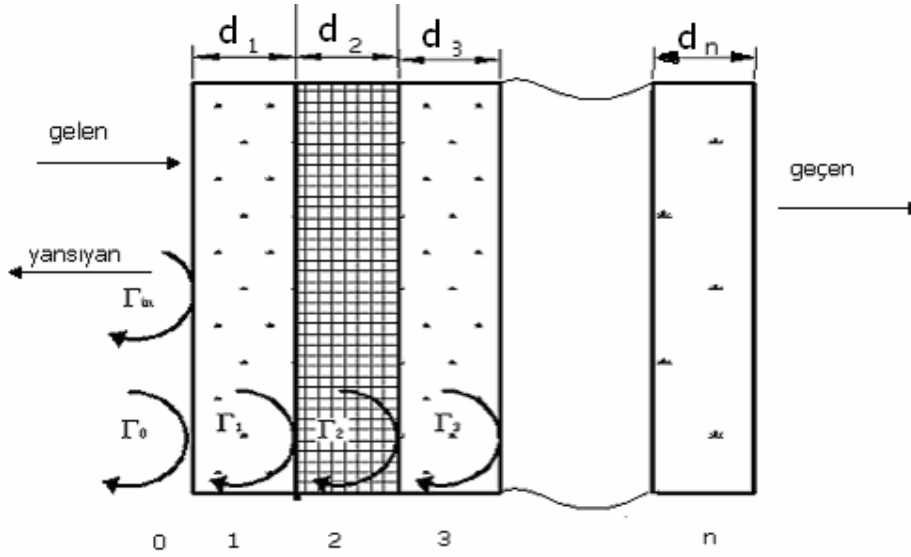
$$2\beta d = n\pi \quad n=0,1,2,3,4,\dots \quad (3.47)$$

$$2\beta d = n\pi \Rightarrow \frac{4\pi d}{\lambda} = n\pi \quad (3.48)$$

$$n = \frac{4d}{\lambda} \Rightarrow d = \frac{n\lambda}{4}$$

bulunur. Sanal bileşeni 0 yapan n değerinin tek veya çift olması durumunda Cosinuslu ifade -1 veya +1 değerini alır. Cosinuslu ifade, n nin çift değerlerinde +1 değerini dolayısı ile (3.46) ifadesinin pay değeri sıfır veya sıfıra yakın bir değer alması durumunda yansıma katsayısı değeri sıfır değerini alır. Bu durumda ise malzeme gelen sinyal için minimum, n değerinin tek olması durumunda ise maksimum empedans gösterir[9,23].

### 3.3. Çoklu Katmanlarda Yansıma Katsayısının Belirlenmesi



Şekil 3.3. Çoklu katman yansıma katsayısı şekli

Çoklu katmanlarda yansıma katsayısı, çoklu iç yansımaların çok küçük olduğu yaklaşımı ile :

$$\Gamma_{in} = \Gamma_0 + \Gamma_1 e^{-j\gamma_1 d_1} + \Gamma_2 e^{-j\gamma_2 d_2} + \Gamma_3 e^{-j\gamma_3 d_3} + \dots + \Gamma_N e^{-j\gamma_N d_N} \quad (3.49)$$

şeklinde yazılır. burada ;

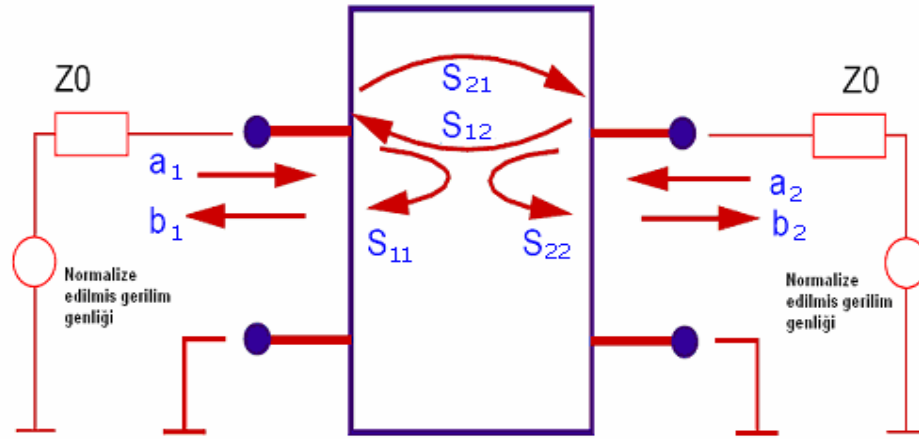
$$\Gamma_0 = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0}, \Gamma_1 = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}, \Gamma_2 = \frac{\eta_3 - \eta_2}{\eta_3 + \eta_2} \dots \text{dır.} \quad (3.50)$$

Genel yazılımla yukarıdaki ifade daha düzenli biçimde

$$\Gamma_{in} = \sum_{n=1}^N \Gamma_n e^{-j2n\gamma d} \quad (3.51)$$

şeklinde yazılır [13].

### 3.4. S Parametrelerinin Tanımı:



Şekil 3.4. S parametreleri katsayılarını tanımı

Lineer iki uçlu aygıtlar, admittans matrisi, empedans matrisi, transfer matrisi, S matrisi (saçılma matrisi) ile karakterize edilebilirler. S parametreleri, diğer iki uçlu parametrelerine göre, yüksek frekanslarda ölçümleri daha kolay olduğundan, mikro devre tasarımlarında çok daha kullanışlıdır.

S parametreleri aşağıdaki denklem çiftiyle tanımlanır.

$$b_1 = S_{11} \cdot a_1 + S_{12} \cdot a_2$$

$$b_2 = S_{21} \cdot a_1 + S_{22} \cdot a_2$$

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

S parametreleri  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$  ve  $S_{12}$  :

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad \text{Giriş yansımaya katsayısı}$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad \text{Çıkış yansıma katsayısı}$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_2=0} \quad \text{İleri yönde iletim katsayısı}$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad \text{Geri yönde iletim katsayısı}$$

şeklinde tanımlanır.

Bu çalışmada kompleks S parametreleri, bölüm (3.1) de toplam yansıma ve iletim katsayısı için türetilen

$$\Gamma^b = \frac{\Gamma(1-T^2)}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (3.34)$$

$$T^b = \frac{(1-\Gamma^2)\Gamma}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (3.35)$$

ifadelerinde toplam yansıma katsayısı  $\Gamma^b$ ,  $S_{11}$  parametresine ve toplam iletim katsayısı  $T^b$  de  $S_{21}$  değerine karşılık gelmektedir.

Bu ifadeye göre yansıma ve iletim katsayısı ifadesi yeniden yazılırsa;

$$S_{11} = \frac{(1-T^2)\Gamma}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (3.52.a)$$

$$S_{21} = \frac{(1-\Gamma^2).T}{1-\Gamma^2T^2} \quad (3.52.b)$$

bağlantıları elde edilir. Burada  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  denklem çifti: Nicolson-Ross-Weir denklemi olarak adlandırılır. Nicolson-Ross-Weir (NRW) denkleminin çözülmesi, özelliği bilinmeyen malzemenin kompleks dielektrik  $\epsilon^*$  ve magnetik geçirgenlik  $\mu^*$  değerlerinin hesap yoluyla belirlenmesinde yardımcı olur. NRW denkleminin çözülmesi için farklı birçok yöntem vardır [9,12,25,30,34].

### 3.5. NRW Denkleminin Çözümü

Toplam iletim katsayısı ve yansıma katsayısı:

$$S_{11} = \frac{(1-T^2).\Gamma}{1-\Gamma^2T^2} \quad (3.52.a)$$

$$S_{21} = \frac{(1-\Gamma^2).T}{1-\Gamma^2T^2} \quad (3.52.b)$$

şeklinde gösterilmişti. Burada yüzey yansıma katsayısı  $\Gamma = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0}$  biçiminde

boşluğun ve malzemenin karakteristik empedansına bağlıdır. Yine aynı ifadelerdeki T değeri  $T = e^{-\gamma d}$  biçiminde tanımlandığı hatırlanmalıdır. Burada  $\eta_1$  malzemenin,  $\eta_0$  boşluğun karakteristik empedansı,  $\gamma$  da yayılma sabitidir.  $V_1$ ,  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerlerinin toplamı  $V_2$  de  $S_{21}$  ile  $S_{11}$  in farkı olarak aşağıdaki şekilde tanımlandığında;

$$V_1 = S_{11} + S_{21} \quad (3.53)$$

$$V_2 = S_{21} - S_{11} \quad (3.54)$$



şeklinde yazılır.  $V1-V2$  farkı alındığında

$$V1-V2 = 2S_{11} = \frac{2(1-T^2).\Gamma}{1-\Gamma^2T^2}$$

(3.55)

ve  $V1.V2$  çarpımı alındığında ise;

$$V1.V2 = S_{21}^2 - S_{11}^2 \quad (3.56)$$

biçiminde yazılabilir.  $V1.V2$  ifadesinde  $S_{21}$  ve  $S_{11}$  değerleri yerine konulduğunda

$$V1.V2 = \frac{(1-\Gamma^2)^2.T^2}{(1-\Gamma^2T^2)^2} - \frac{(1-T^2)^2.\Gamma^2}{(1-\Gamma^2T^2)^2} = \frac{(1-\Gamma^2)^2.T^2 - (1-T^2)^2.\Gamma^2}{(1-\Gamma^2T^2)^2} \quad (3.57)$$

gerekli işlemler yapıp sadeleştirmeler yapıldığında

$$V1.V2 = \frac{(1-2\Gamma^2+\Gamma^4)T^2 - (1-2\Gamma^2+\Gamma^4)\Gamma^2}{(1-\Gamma^2T^2)^2}$$

$$V1.V2 = \frac{T^2 - \cancel{2\Gamma^2T^2} + \Gamma^4T^2 - \Gamma^2 + \cancel{2\Gamma^2\Gamma^2} - \Gamma^2\Gamma^4}{(1-\Gamma^2T^2)^2} \quad (3.58)$$

$$V1.V2 = \frac{T^2 + \Gamma^4T^2 - \Gamma^2 - \Gamma^2\Gamma^4}{(1-\Gamma^2T^2)^2} = \frac{(T^2 - \Gamma^2)(\cancel{1 - \Gamma^2T^2})}{(1-\Gamma^2T^2)^2}$$

$$V1.V2 = \frac{(T^2 - \Gamma^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad (3.59)$$

bulunur.

$$X = \frac{1-V1.V2}{V1-V2} \quad (3.60)$$

şeklinde yeni bir tanımlama yapıp  $V1.V2$  ve  $V1-V2$  değerleri  $X$  tanımında yerine konurlursa ;

$$X = \frac{1 - \frac{(\Gamma^2 - \Gamma^2)}{(1 - \Gamma^2 \Gamma^2)}}{2(1 - \Gamma^2) \cdot \Gamma} = \frac{1 - \Gamma^2 \Gamma^2 - \Gamma^2 + \Gamma^2}{2(1 - \Gamma^2) \cdot \Gamma} \quad (3.61)$$

$$X = \frac{1 - \Gamma^2 \Gamma^2 - \Gamma^2 + \Gamma^2}{2(1 - \Gamma^2) \cdot \Gamma} = \frac{(1 + \Gamma^2)(1 - \Gamma^2)}{2\Gamma(1 - \Gamma^2)} \quad (3.62)$$

$$X = \frac{(1 + \Gamma^2)}{2\Gamma} \quad (3.63)$$

olarak bulunur. Yeni bir işlem olarak  $X^2 - 1$  ifadesi yazılırsa;

$$X^2 - 1 = \left[ \frac{(1 + \Gamma^2)}{2\Gamma} \right]^2 - 1 \quad (3.64)$$

$$X^2 - 1 = \frac{(1 + \Gamma^2) - 4\Gamma^2}{4\Gamma^2} = \frac{1 - 2\Gamma^2 - 4\Gamma^2}{4\Gamma^2} = \frac{(1 - \Gamma^2)^2}{4\Gamma^2}$$

olur Her iki tarafın karekökü alındığında;

$$\sqrt{X^2 - 1} = \pm \frac{1 - \Gamma^2}{2\Gamma} \quad (3.65)$$

yazılır. Buradan malzeme yüzeyinden yansıma katsayısı  $\Gamma$  değeri, basit matematiksel işlemler sonucu

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (3.66)$$

çözümünü verir. Bu iki çözümden birisi fizikseldir. Yani kök içerisinde çıkan değer öyle seçilmelidir ki;

$|\Gamma| \leq 1$  olduğu değerler dikkate alınmalıdır ( $\Gamma$  yüzey yansımaya katsayısı 1 den küçük olmalıdır). Denklem (3.60) kullanılarak  $X$  değeri  $S$  parametreleri cinsinden :

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (3.67)$$

yazılır. Yine aynı yöntemle yeni bir tanımlama yapılarak :

$$Y = \frac{1 + V_1 V_2}{V_1 + V_2} \quad (3.68)$$

yazılabilir.  $Y$  değeri için aynı işlem basamakları yapılırsa ;

$$T = Y \pm \sqrt{Y^2 - 1} \quad (3.69)$$

biçiminde yazılabilir.  $Y$  değerleri  $S$  parametreleri cinsinden

$$Y = \frac{S_{21}^2 - S_{11}^2 + 1}{2S_{21}} \quad (3.70)$$

şeklinde yazılır. Kök içerisinde çıkan değer in işareti ise:

$|T| \leq 1$  olacak şekilde seçilmelidir.

$T = e^{\gamma d}$  ve  $\Gamma = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0}$  şeklinde tanımlanmıştır.  $\gamma$  değeri

$\gamma = \alpha + j\beta$  şeklinde idi. Burada  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_1}$  dır Boşluğun karakteristik empedansı  $\eta_0 = 1$

olduğu kabul edildiğinden;

$$\eta_1 = \frac{\Gamma+1}{\Gamma-1} \quad (3.71a)$$

olur. Ayrıca

$$\eta_1 = \frac{\sqrt{\mu^*}}{\sqrt{\varepsilon^*}} \quad (3.71b)$$

eşittir. Ayrıca ölçülen malzeme içerisindeki yayılma sabiti:

$$\gamma = \gamma_0 \sqrt{\varepsilon^* \mu^*} \quad (3.71c)$$

şeklinde dir Malzeme içerisindeki dalganın kırılma indisi ise

$$k_i = \frac{\gamma}{\gamma_0} = \sqrt{\varepsilon^* \mu^*} \quad (3.72)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Karakteristik empedans  $\eta_1$  ve  $k_i$  kırılma indisi değerleri birlikte çözüldüğünde;

$$\mu^* = k_i \eta_1 = \sqrt{\mu^* \varepsilon^*} \sqrt{\frac{\mu^*}{\varepsilon^*}} \quad (3.73)$$

$$\varepsilon^* = \frac{k_i}{\eta_1} = \frac{\sqrt{\mu^* \varepsilon^*}}{\sqrt{\frac{\mu^*}{\varepsilon^*}}}$$

şeklinde elde edilir. Reel ve sanal bileşenleri cinsinden

$$\mu^* = \mu' + j\mu'' \quad (3.74)$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + j\varepsilon''$$

yazılır. Boşulğun yayılma sabiti  $\gamma_0 = \frac{j2\pi}{\lambda_0}$  şeklindedir.  $\lambda_0$  değeri kullanılan sinyalin boş uzaydaki dalda boyudur. Malzeme içerisindeki  $\gamma$  yayılma sabitini de belirlemek için

$$T = e^{-\gamma d} \Rightarrow T = \frac{1}{e^{\gamma d}} \quad (3.75.a)$$

biçimindeki tanımlaması hatırlanmalıdır. Basit matematiksel işlemler sonucu;

$$e^{\gamma d} = \frac{1}{T} \Rightarrow \gamma = \log e \left( \frac{1}{T} \right) / d$$

(3.75.b)

biçiminde elde edilir. Burada T kompleks bir değere sahiptir. T değeri polar koordinat sisteminde

$$T = |T| e^{j\phi} \quad (3.76)$$

biçiminde yazılabilir. Polar koordinat sisteminden dikdörgensel koordinat sistemine dönüşüm yapılırsa

$$\gamma = \log e \left( \frac{1}{|T|} \right) / d + j(2\pi n \pm \phi) / d \quad n=0,1,2,3\dots \quad (3.77)$$

biçiminde yazılabilir. Diğer yandan

$$\frac{d}{\lambda} = n \pm \frac{\phi}{2\pi} \quad (3.78)$$

olmak üzere:

$$\beta = \frac{2\pi d}{\lambda} \pm 2\pi n \quad (3.79)$$

halini alır[9].

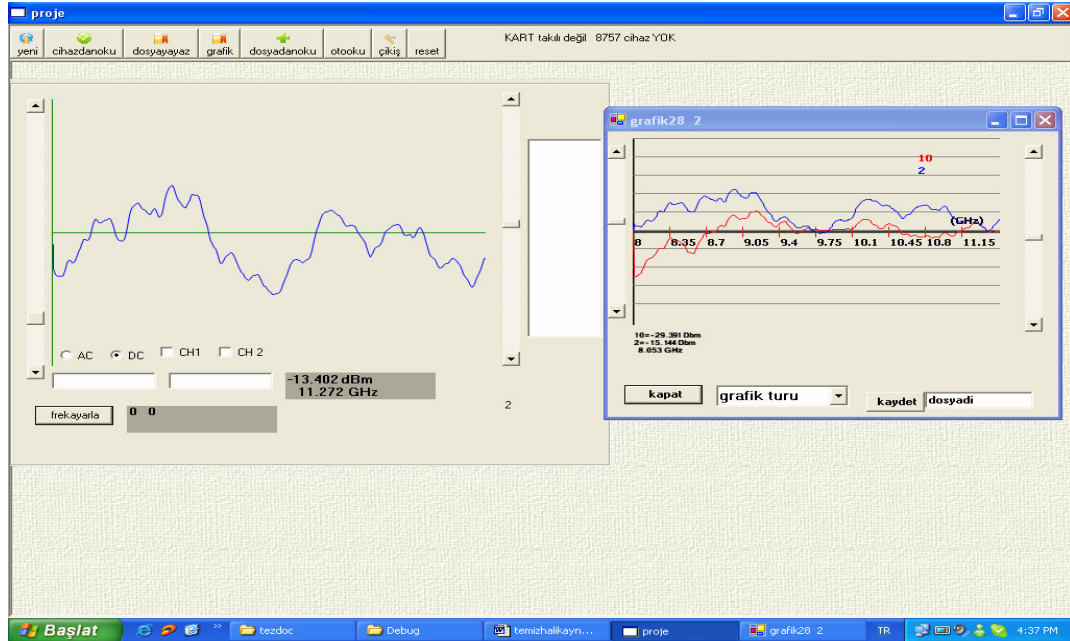
Yukarıdaki bulgulardan çıkarılacak sonuçlar kısaca;  
 $n=0$  için  $\beta$  değeri  $0 - 2\pi$  arasındadır. Eğer kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığı  $d$ ,  $\lambda$  dan küçükse  $\mu_r$  ve  $\epsilon_r$  değerleri tek olarak belirlenir. Eğer  $d/\lambda$  değeri birden büyükse,  $n$  için uygun değer seçilmelidir. Eğer ölçülen frekans aralığında  $d/\lambda$  birkaç defa birin katlarına eşitleniyorsa uygun  $n$  değerini bulmak daha da zor olacaktır[1,3,25].

## BÖLÜM 4. ÖLÇÜMLER

### 4.1. Scaler Network Analizör İçin Yazılım

Çalışmaya Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü laboratuvar imkanları kullanılarak başlandı. 0.1GHz - 20 GHz aralığında, -40 dBm hassasiyetle ve her okumada 200 -1600 adet veri okuyabilen HP 8757A Skaler Network Analizör cihazı ile ölçümler yapıldı.

HP 8767A Skaler Network Analizör un IEEE.488 kartı ile PC bağlandı. PC üzerinde C.Net ortamında yazılım geliştirildi. Bu yazılımla HP8757A cihazının iç komutları C.Net programı ile kontrol edilerek, PC ile HP8757A arasında iletişim kuruldu. PC ile okunan verilerin grafikleri ise, yine geliştirilen program üzerinde gösterildi. .



Şekil 4.1. Geliştirilen programın ekran görüntüsü

Geliştirilen bu yazılımda en fazla 15 veri dizisi okutulmakta, metin (text) dosya olarak kayıt edilmekte ve grafiği çizilmektedir.

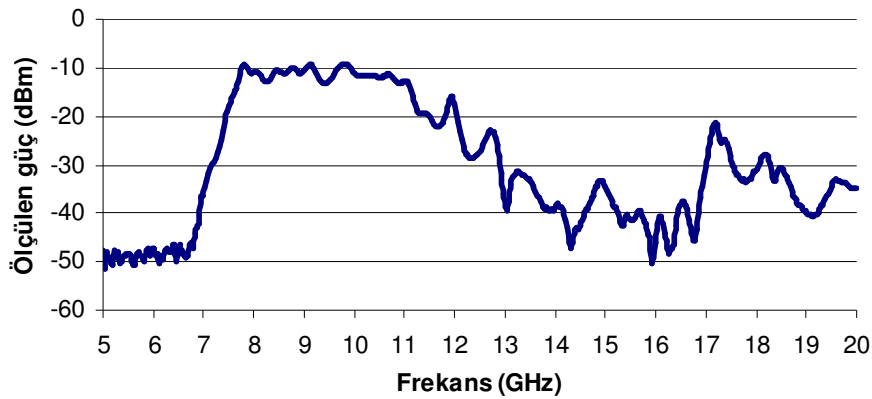
Kontrol yazılımı için HP 8757A cihazının kendi iç komutları, uygun zamanda ve şartlarda verilerek iki yönlü olarak cihaz kontrol edilmiştir. Bu yazılım için IEEE488 kartının ve HP8757A cihazının referans kitapçığı (manual) kullanılmıştır.

Yapılan deney ve analizlerde SNA ile okunan değerlerle, ölçülen malzemenin dielektrik özelliklerinin belirlenememesi nedeniyle Agilent Networks Analizör (VNA) kullanılmıştır. SNA için C.NET de geliştirilen programın kaynak kodları EK5 de verilmiştir.

#### 4.2. Horn Anten Yapımı

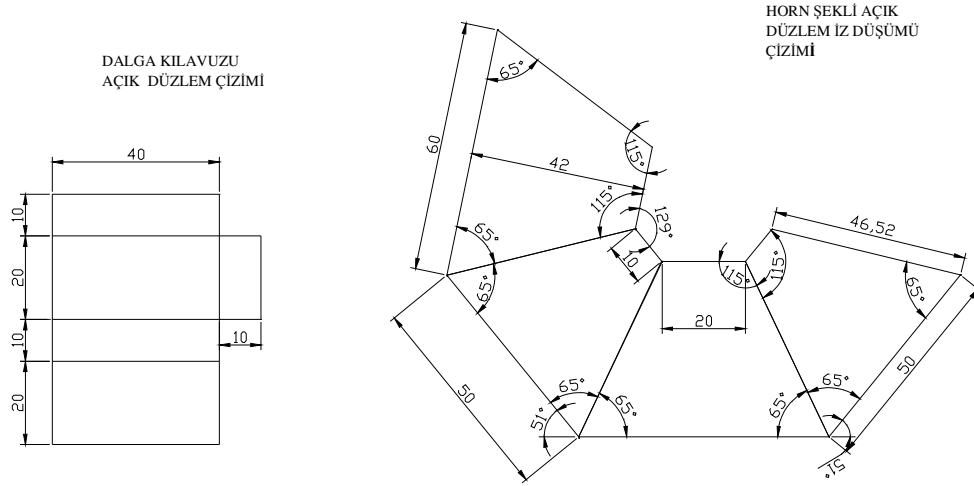
Ölçüm yapmak amacıyla horn anten tasarlandı. Tasarlan horn anten için:  $a=2\text{cm}$   $b=1\text{cm}$  ve  $d=4\text{cm}$  olarak belirlendi. Denklem (2.52) kullanılarak kesim frekansı:  $f_c= 7.5\text{ GHz}$  olarak bulunur. Rezonans frekansı ise denklem (2.56) kullanılarak  $f_r= 8.38\text{ GHz}$  olarak bulunur.

Tasarlanan antenin frekans karakteristiği bu değerlere uymaktadır.

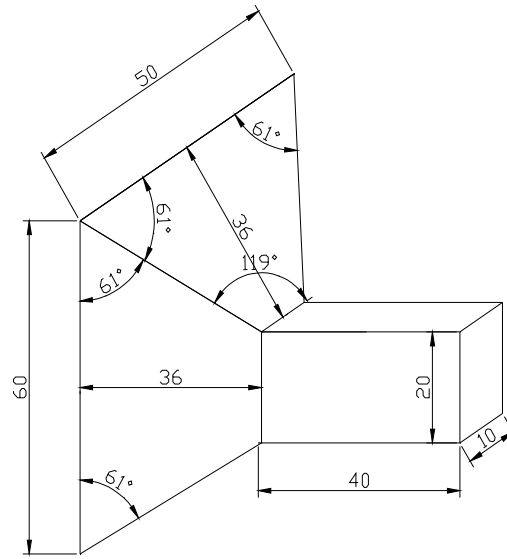


Şekil 4.2. Yapılan antenin genlik frekans grafiği

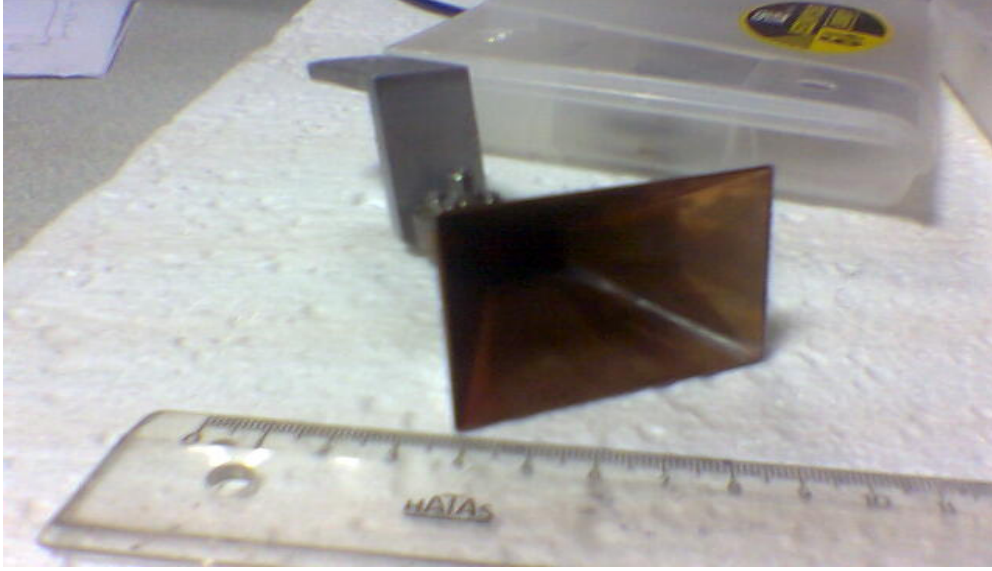




Şekil 4.3. Yapılan antenlerin teknik resmi



Şekil 4.4. Yapılan antenin perspektif görünüşü

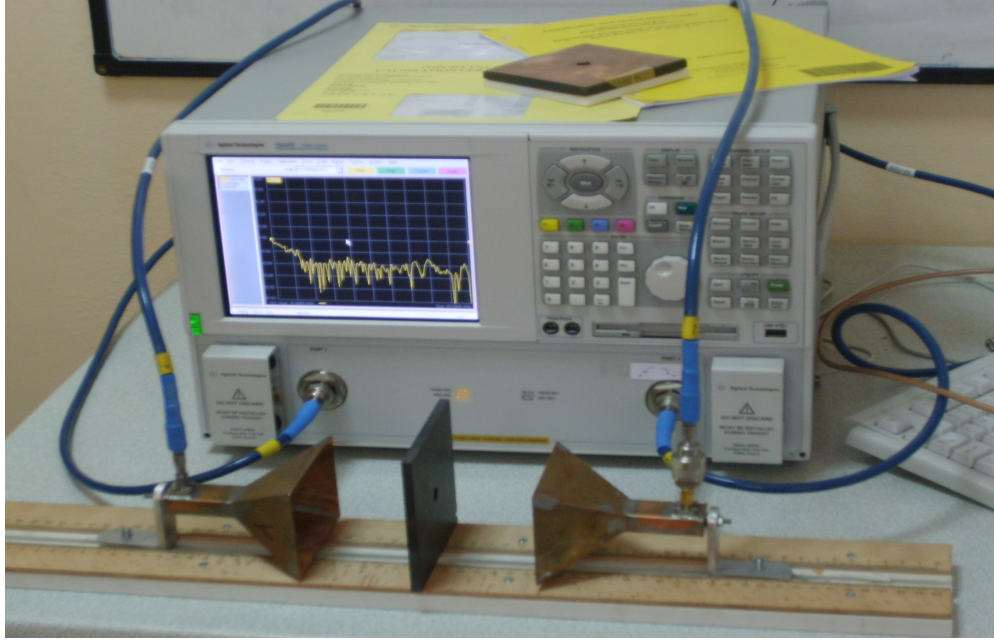


Şekil 4.5. Yapılan antenlerin fotoğrafı

Yapılan antenlerin frekans tepkisinin teorik hesaplarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Ölçülen sinyallerin genliğindeki dalgalanmaların sebebi, antenler arasındaki açıklıktan dolayı gelen sinyallerin tekrar alıcı anten tarafından yansıtılmasıdır. Buda çoklu yansımalara sebep olmaktadır.

### 4.3. Ölçüm Düzenegi

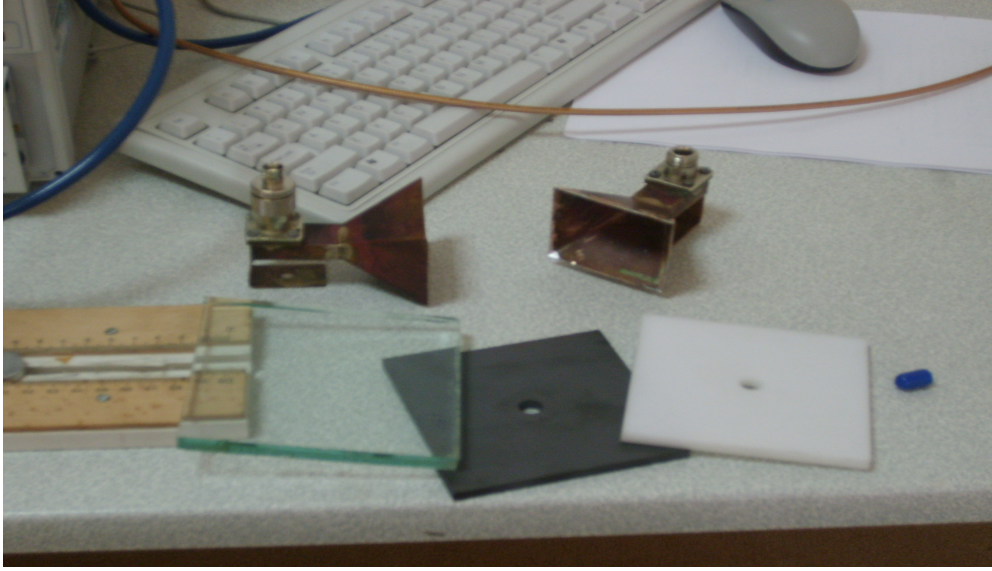
Deneylerde, Agilent E8364B Vektörel Network Analizör, 6-12 Ghz ve 12-18Ghz arasında çalışan iki çift horn anten, gerekli konnektörler ve RF kablolar kullanıldı. Ölçüm sistemi resmi Şekil 4.6. verilmiştir.



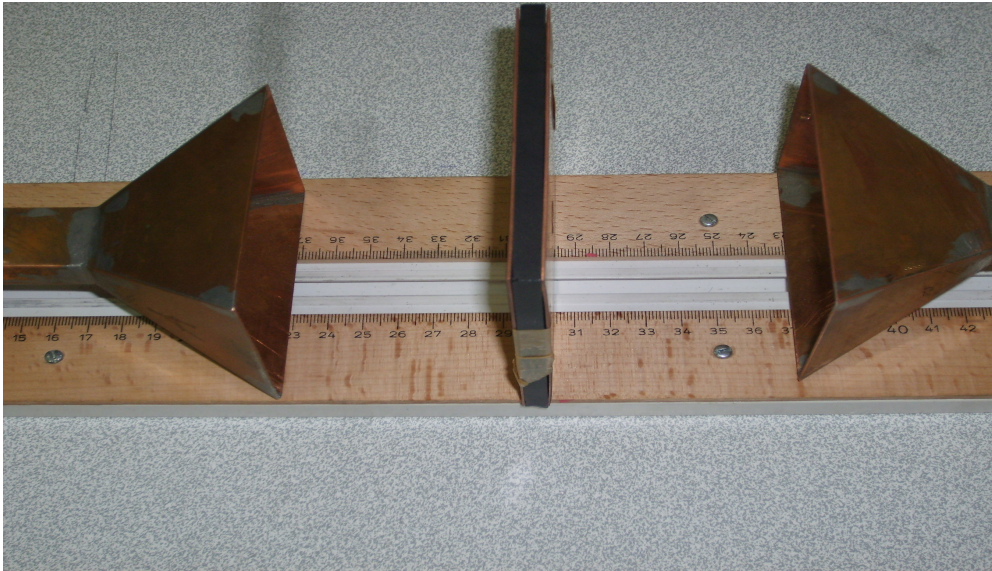
Şekil 4.6. Ölçüm sistemi

Ölçümlerde 100x100x6.3 mm ferrit tabaka ile birlikte 10x10x0.6 cm ölçülerinde cam ve delrin malzemeleri kullanıldı. Ferrit magnetik, cam ve delrin ise magnetik olmayan malzemelerdir. Yapılan araştırmalarda, ferritin magnetik bağıl geçirgenliği  $\mu_r$  değeri DC -100 Mhz arasında yüksek değerlerde (1000 mertebelerinde olduğu), daha yüksek frekans değerlerine gidildiğinde ise üstel bir şekilde hızla azaldığı tespit edildi. Yine yapılan kaynak taramalarında, ferritin 5 GHz ten yüksek frekanslar için yayınlanmış  $\mu_r$  değerine rastlanamadı. Ferritin hesap yoluyla bulunan  $\mu_r$  ve  $\epsilon_r$  değerlerini kıyaslamak için magnetik özeliği olmayan cam ve delrin kullanıldı. Ferritin boyutlarını değiştirmek imkanı olmadığından, piyasadan cam ve delrin temin edilerek ferrit boyutlarında kestirildi.

İki anten arasındaki malzemenin konumunu daha iyi tespit edebilmek amacıyla, korniş rayının üzerine bir cetvel monte edildi. Antenlerin birbirlerine ve malzemeye göre konumları  $\pm 1$  mm hassasiyetle ayarlanmaya çalışıldı. Raylı sistemin fotoğrafı Şekil 4.8 verilmiştir.



Şekil 4.7 Ölçümlerde kullanılan malzeme resmi



Şekil 4.8 Raylı sistemin görünüşü

VNA dan ölçülen veriler, text formatında cihazın diskine kayıt edildi. Ölçümler sona erdikten sonra, alınan veriler bir flash Ram aracılığıyla PC ye aktarıldı. Text formatındaki veriler Excel programı ile tablo haline getirildi. Tablo halindeki veriler matlab programına aktarıldı. Matlab programı ile bölüm 3.5 de verilen NWR denklem çifti çözümlerini hesaplatılarak kompleks  $\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  değerleri

bulundu. Hazırlanan Matlab program kodu EK 1 de verilmiştir. Yazılan Matlab kodunda, denklem (3.79) de belirtilen  $n$  ve  $\beta$  değerlerini hesaplamada, yeni bir algoritma geliştirildi. Geliştirilen algoritmanın ölçümü yapılan her üç malzeme için de tutarlı sonuçlar verdiği görüldü.

#### 4.4. Sisteminin Kalibrasyonu

Serbest ortam ölçüm tekniğinde pek çok kalibrasyon yöntemi vardır. Bunlardan bazıları:

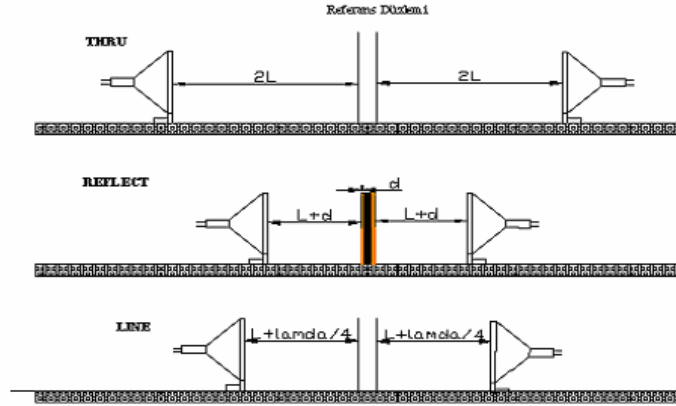
- a) TRM (Thru-Reflect Mach)
- b) TRL (Thru-Reflect- line)
- c) GRL (Gated Reflect-Line)

şeklindedir. Yapılan ölçümlerde TRL kalibrasyon yöntemi kullanıldı. Diğer yöntemlerle ayrıntılı bilgi kaynakça [30] de vardır.

VNA da kalibrasyon yapılırken bazı parametreler;

- a) Anten gücü 6 dBm,
- b) Örnekleme frekansı 1 KHz,
- c) Verileri gürültüden arındırmak için yuvarlama (smoot değeri %10),
- d) Her bir ölçüm için veri sayısı (Data point) 801-1601,
- e) Frekans aralığı ise 5- 15 GHz ve 8 – 20 GHz,

olarak set edildi. TRL kalibrasyonu, cihaz üzerinde var olan HP 85058C SOLT/TRL kalibrasyon kiti modifiye edilerek yapıldı. TRL kalibrasyonu yapılırken anten konumlarının durumları Şekil 4.9 da verilmiştir.



Sekil 4.9. TRL kalibrasyonunun da anten yerleri

Geçirgenlik (Thru ) kalibrasyonu için: Her iki antende referans düzleminde  $2L$  mesafeye kaydırılarak set edildi. Deneysel de  $L$  uzaklığı  $6\text{ cm}$  olarak alındı.

Yansıma (Reflect ) için: Referans düzleminin arasına ferrit tabakasının her iki yüzeyine de iyice sulu zımpara kağıdıyla silinerek parlatılmış  $1\text{mm}$  kalınlığında bakır levha konularak set edildi.

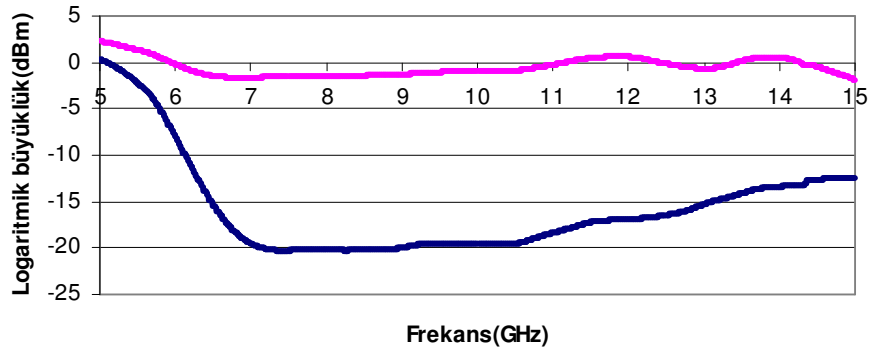
Hat için ise, her iki anten de referans düzleminde, kullanılan frekans bandının orta değerinin çeyrek dalga boyu  $(L + \lambda/4)$  kaydırılarak ayarlandı Her bir set değerinde sonra antenler tekrar eski konumlarına getirildi. [1,2]

Sistemin kalibrasyon yapıldıktan sonra, antenler arasında hiçbir örnek yok iken:  $S_{21}$  in logaritmik büyüklük değeri  $0\text{ Dbm}$  ve  $S_{11}$  in de logaritmik büyüklük değeri yaklaşık  $-20\text{ dBm}$  olarak gözlemlendi.

---- $S_{11}$  Logmag

---- $S_{21}$  Logmag





Şekil 4.10. Kalibrasyon değerleri

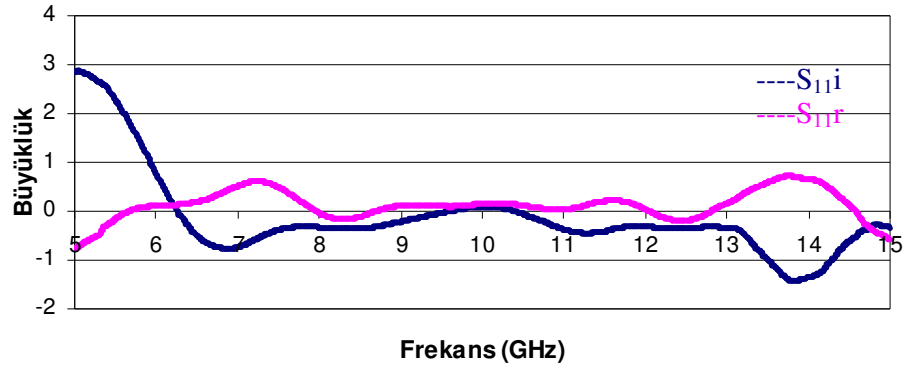
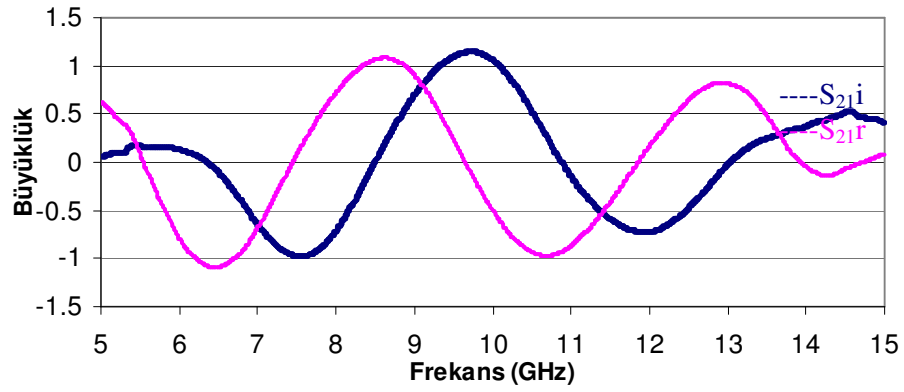
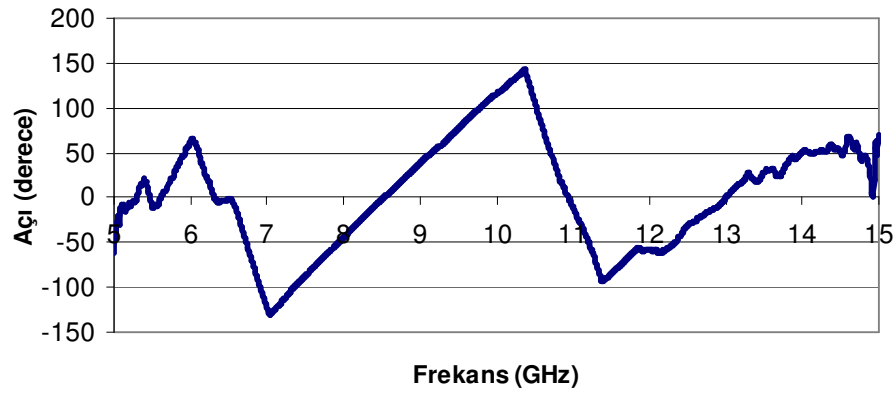
#### 4.5. Ölçüm Sonuçları

Sistemin kalibrasyonu yapıldıktan sonra, anten konumları ve çevre şartları değiştirilmeden, referans düzleminin ortasına, cam, delrin ve ferrit yerleştirildi. Deney verileri her üç malzeme içinde aynı şartlarda alındı.

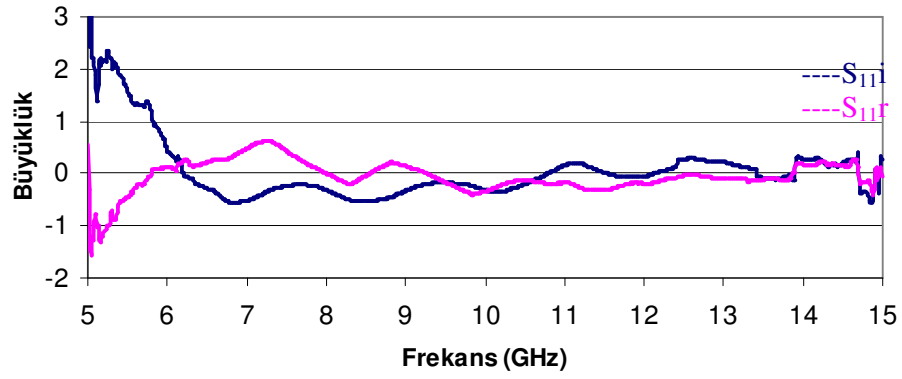
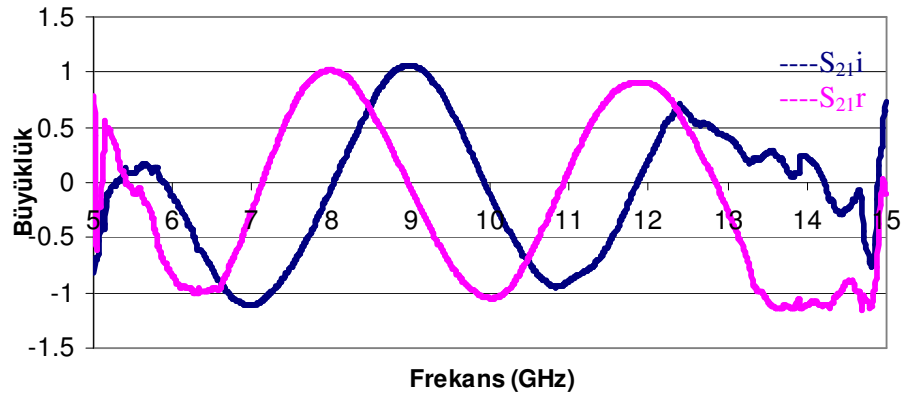
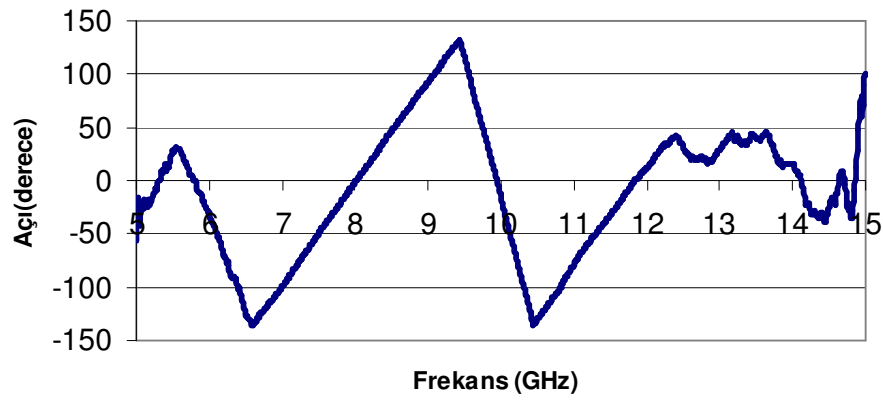
VNA dan okunan veriler:

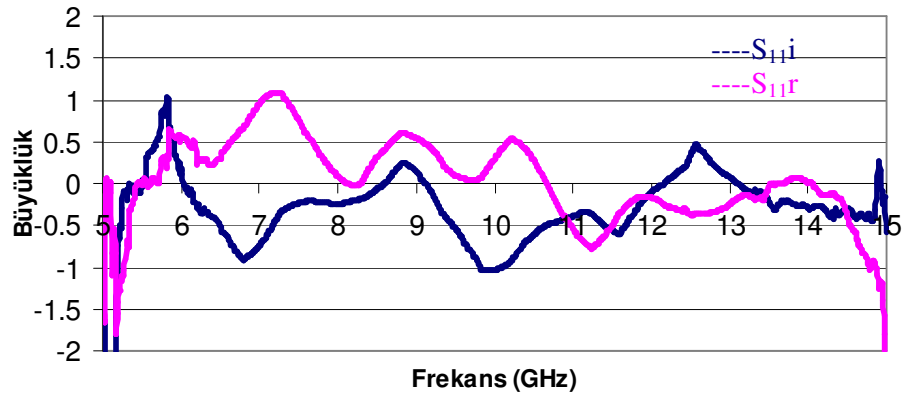
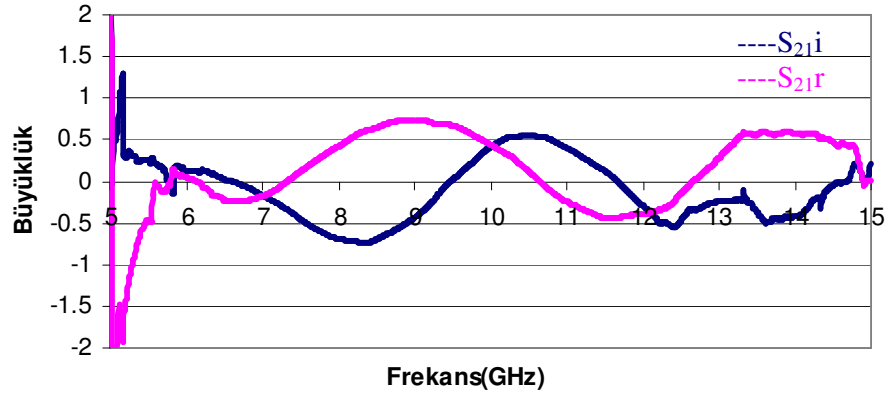
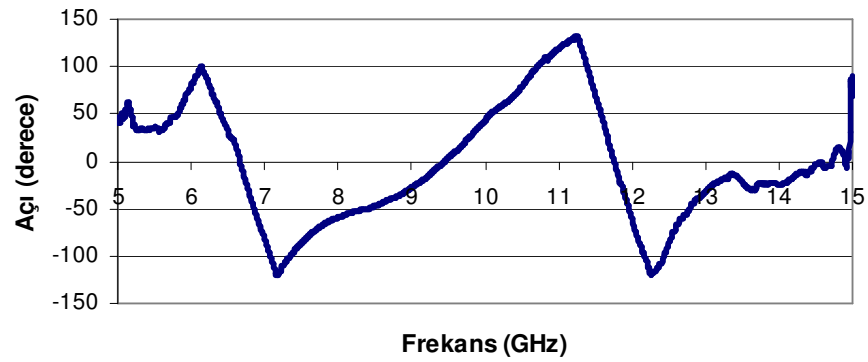
1.  $S_{11i}$ :  $S_{11}$  parametresinin sanal (imaginer) değeri
2.  $S_{11r}$ :  $S_{11}$  parametresinin gerçel (reel) değeri
3.  $S_{11f}$ :  $S_{11}$  parametresinin faz açısı (derece)
4.  $S_{11d}$ :  $S_{11}$  parametresinin grup gecikmesi(sn)
5.  $S_{11m}$ :  $S_{11}$  parametresinin logaritmik büyüklüğü
6.  $S_{11l}$ :  $S_{11}$  parametresinin lineer büyüklüğü
7.  $S_{11p}$ :  $S_{11}$  parametresinin polar karşılığı
8.  $S_{11swr}$ :  $S_{11}$  parametresinin duran dalga oranı

$S_{11}$  parametresi için bunlar okunduğu gibi  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  değerleri içinde, bu değerler okunabilmektedir.. NWR denklem çözümü için  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  parametresi gerekli olduğundan, sadece bu veriler okunmuştur.  $S_{11i}$ ,  $S_{11r}$  ve  $s_{21r}$   $S_{21i}$  grafikleri şekil 4.11 ve şekil 4.19 arasında verilmiştir.

Şekil 4.11. Camın  $S_{11}$  grafiğiŞekil 4.12. Camın  $S_{21}$  grafiğiŞekil 4.13. Camın  $S_{21}$  faz değişim grafiği



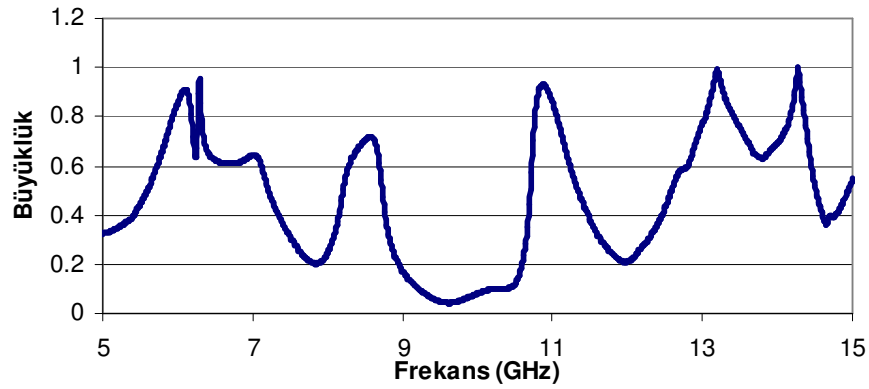
Şekil 4.14. Delrinin  $S_{11}$  grafiğiŞekil 4.15. Delrinin  $S_{21}$  grafiğiŞekil 4.16. Delrinin  $S_{21}$  faz grafiği

Şekil 4.17. Ferrit  $S_{11}$  grafiğiŞekil 4.18. Ferritin  $S_{21}$  grafiğiŞekil 4.19. Ferritin  $S_{21}$  faz grafiği

#### 4.6. Verilerin Analizi

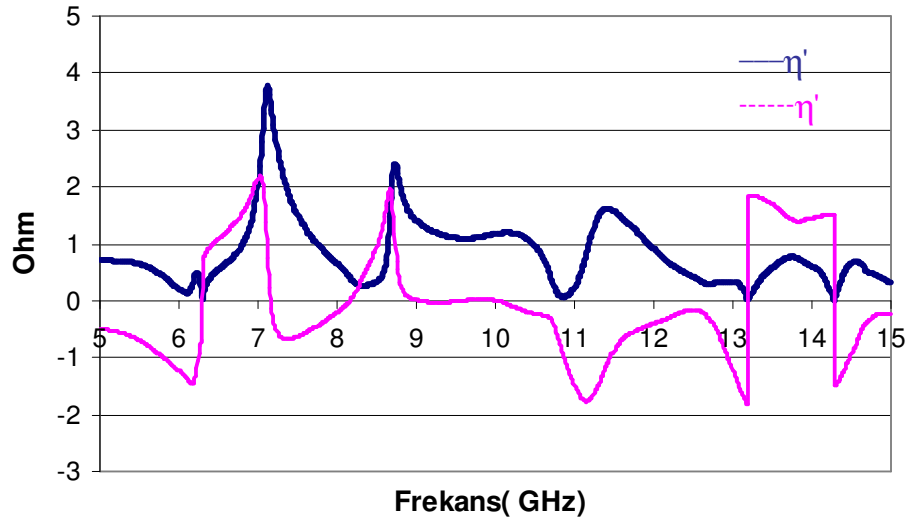
Verilerin analiz ve NWR denkleminin çözümü için Matlab ortamında program geliştirildi. Yazılan algoritmanın basit kodlarla yazılmış hali EK 1 de verilmiştir. Denklem (3.69) ile  $\Gamma$  değeri hesaplatıldı.

$|\Gamma| \leq 1$  şartına göre yüzey yansımaya katsayısı değerinin frekansa göre elde edilen (EK1 12 satır) grafiği şekil 4.20 de verilmiştir.



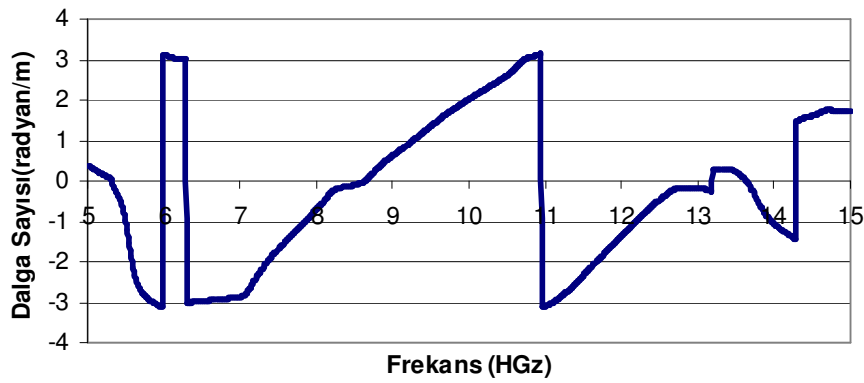
Şekil 4.20.  $\Gamma$  yansımaya katsayısı grafiği (Cam)

Belirlenen  $\Gamma$  değerinden  $\eta_1$  karakteristik empedans değerleri denklem (3.71) bağıntıları vasıtasıyla bulunur. Elde edilen bu karakteristik empedansın frekansa göre değişim şekil 4.21 gösterilmiştir (EK1 14. satır).



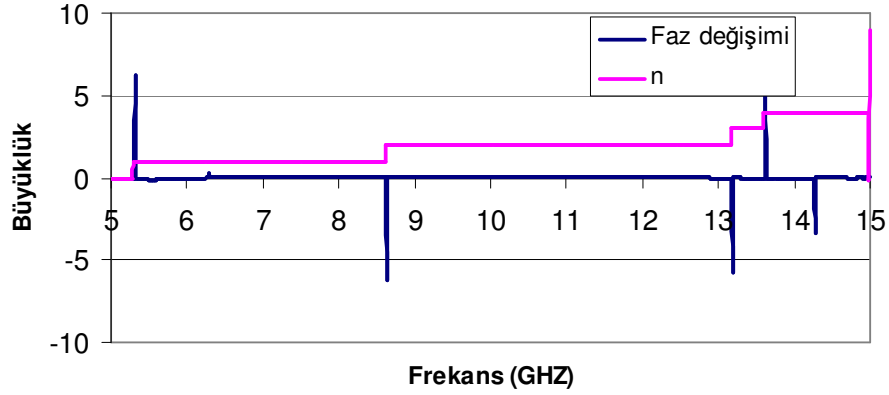
Şekil 4.21.  $\eta$  karakteristik empedans grafiği (Cam)

Denklem (3.79) da verilen  $\beta$  nın  $2\pi n$  düzeltme faktörü ( $n=0,1,2,3,\dots$ ) eklenmemiş halinin grafiği aşağıdadır(EK1 17 satır).



Şekil 4.22.  $\beta$  dalga sayısı grafiği(Cam)

Geliştirilen algoritma ile faz açısının türevi alındı. Türev değerinin değişiminde  $\beta$  değerine  $2\pi$  değerleri eklendi. Türev değeri ile eklenen  $n$  değerleri grafiği aşağıdadır(EK1 22,23 satır).

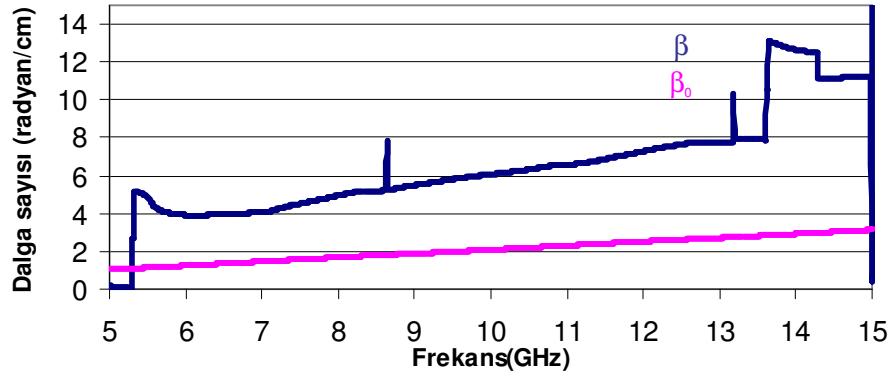


Şekil 4.23. Faz değişimi ve n değerleri grafiği(Cam)

Matlab programı ile bulunan. n değerleri, frekansa bağlı olarak dalga sayısı  $\beta'$  ya  $2\pi$  ile çarpılarak eklendi.  $\frac{\beta}{d}$  değerine n adet  $2\pi$  eklendiğinden, n' e bölünerek

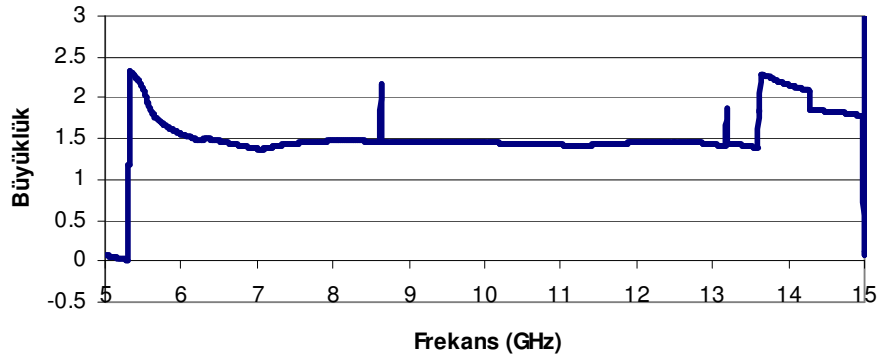
$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ değeri hesaplandı.}$$

Hava ortamı içinde  $\beta_0 = \frac{2\pi f}{c}$  şeklindedir. Frekansa göre  $\beta_0$  ve  $\beta$  Grafiği aşağıdadır(EK1 26,31 satır).



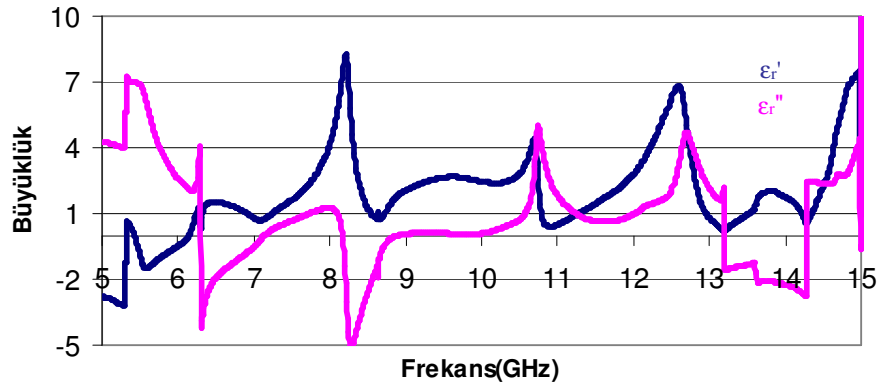
Şekil 4.24.  $\beta$  ve  $\beta_0$  dalga sayısı değerleri grafiği(Cam)

Malzemenin kırılma indisi  $ki = \frac{\beta}{\beta_0}$  şeklinde tanımlanmıştır.  $\beta_0$  ve  $\beta$  reel olduğundan kırılma indisi reel olarak bulunur. Grafiği aşağıdadır(EK1 32 satır).



Şekil 4.25. Kırılma indisi grafiği Cam (reel)

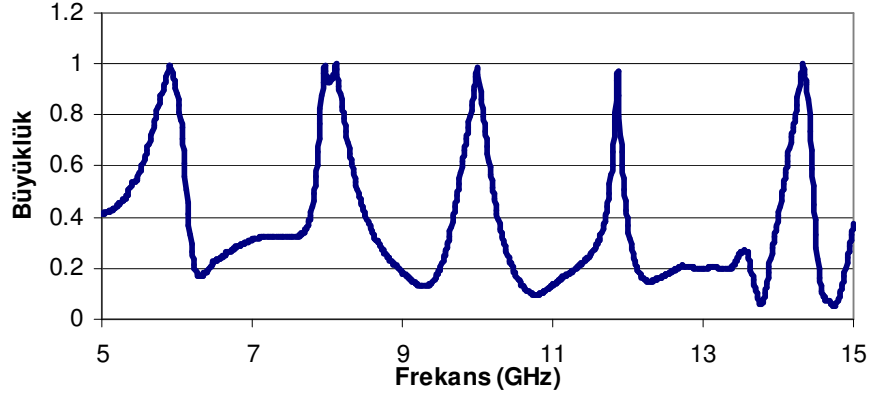
Cam için bulunan kırılma indisi değerinin literatürle uyum içerisinde olduğu görüldü. Kırılma indisi ve karakteristik empedans değerleri belli olduğundan camın bağıl dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  değerleri denklem (3.73) vasıtasıyla hesaplatıldı, Grafiği şekil 4.26 verilmiştir(EK1 33 satır).



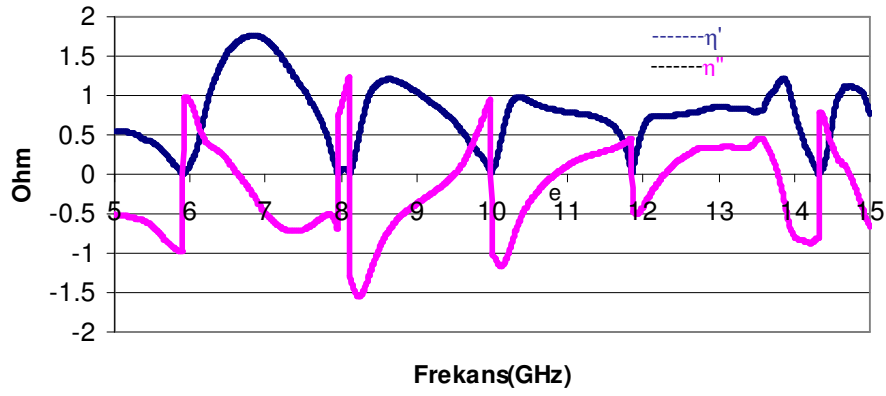
Şekil 4.26.  $\epsilon_r$  dielektrik grafiği (Cam)

$\epsilon$  değerinin frekansa göre değişimde esas etken malzemenin  $d=n\lambda/4$  değerinin kullanılan frekans aralığında bir birkaç kez faz kaymasına uğramasından kaynaklanmaktadır. Görüldüğü üzere kırılma indisi değeri frekansa göre fazla bir değişiklik göstermemektedir. Buna karşılık  $\Gamma$  yüzey yansıma katsayısı değeri frekansa bağlı olarak değişim göstermektedir ( Şekil 4.20).

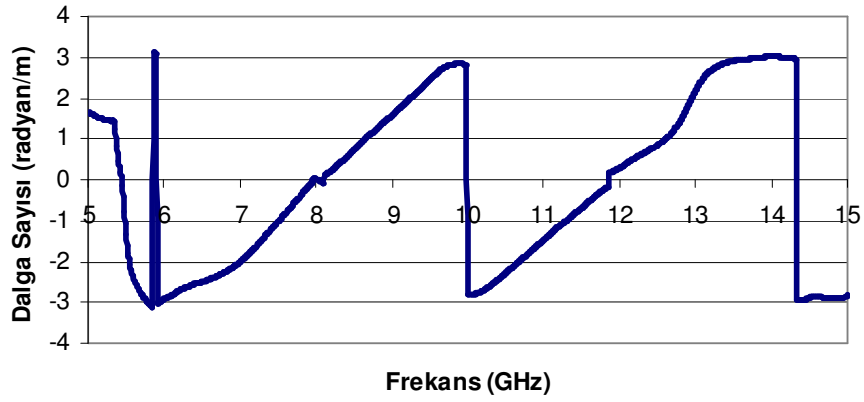
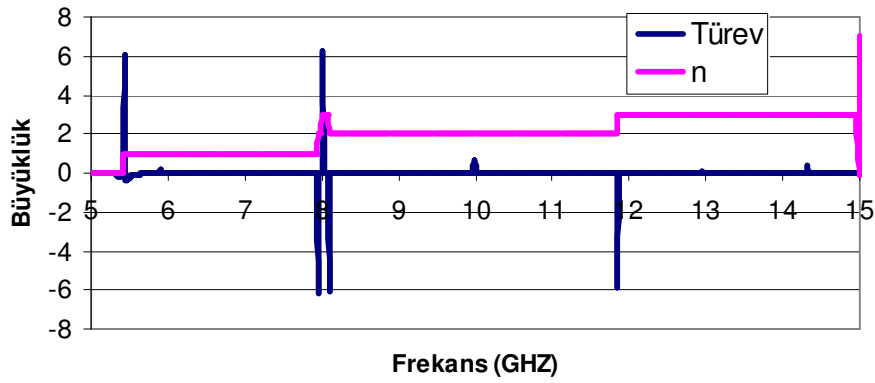
Cam için yapılan ölçme ve analiz aynı şartlarda delrin için yapıldı. Grafikleri şekil 4.27 , şekil 4.33 arasında verilmiştir.



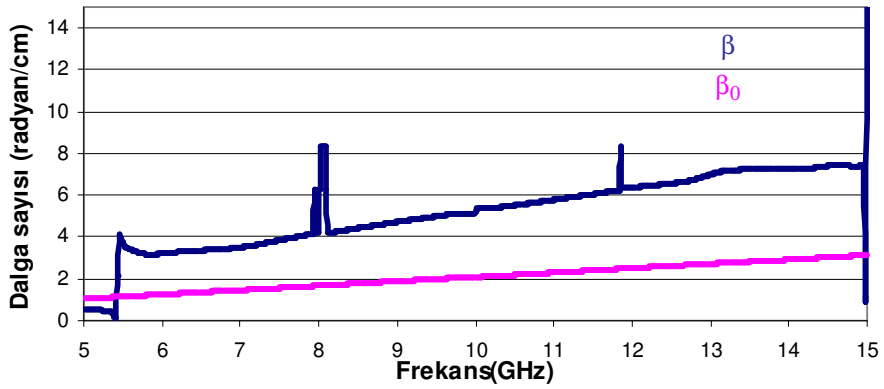
Şekil 4.27.  $\Gamma$  yansımaya katsayısı grafiği (Delrin)



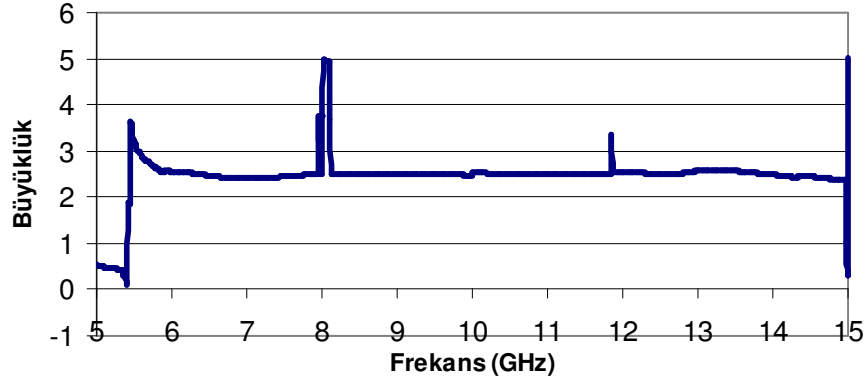
Şekil 4.28.  $\eta$  karakteristik empedans grafiği(Delrin)

Şekil 4.29.  $\beta$  dalga sayısı grafiği(Delrin)

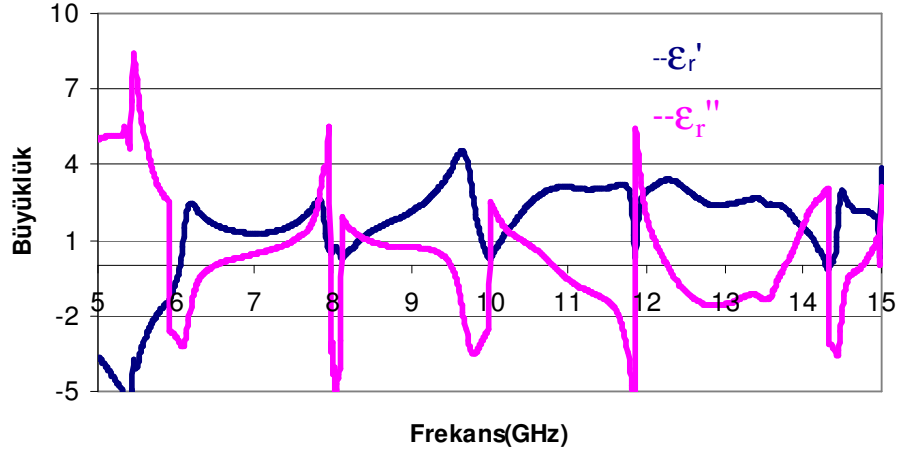
Şekil 4.30. Faz değişimi ve n değerleri grafiği (Delrin)

Şekil 4.31.  $\beta$ ,  $\beta_0$  dalga sayısı değerleri (Delrin)





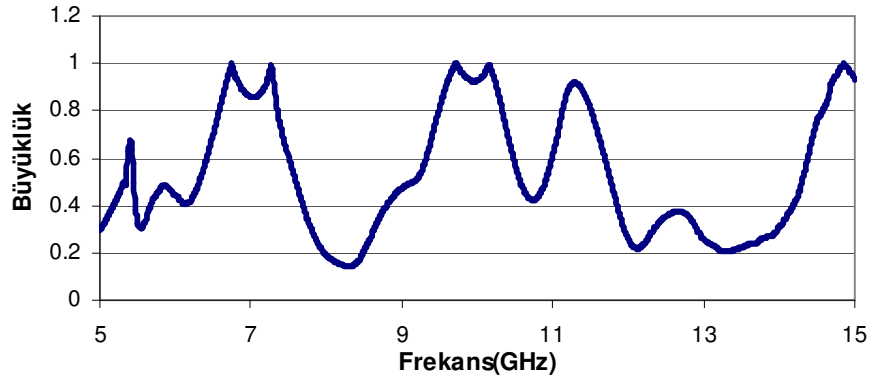
Şekil 4.32. Kırılma indisi grafiği (Delrin)



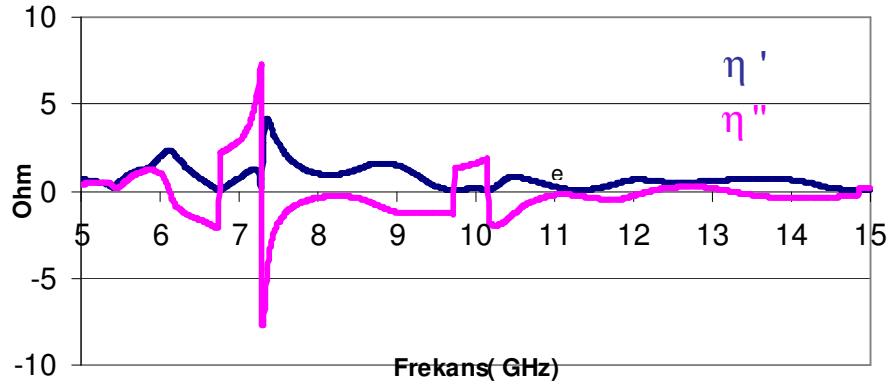
Şekil 4.33.  $\epsilon_r$  dielektrik grafiği(Delrin)

Delrin için bulunan kırılma indisi değeri literatür ile uyum içerisinde.

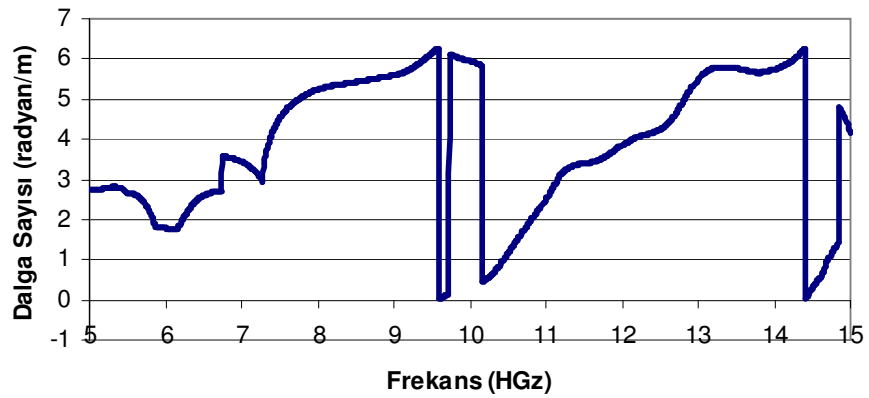
Aynı deneyler ve değerlendirmeler ferrit için de yapıldı. Grafikleri şekil 4.34 ile şekil 4.41 arasında verilmiştir.



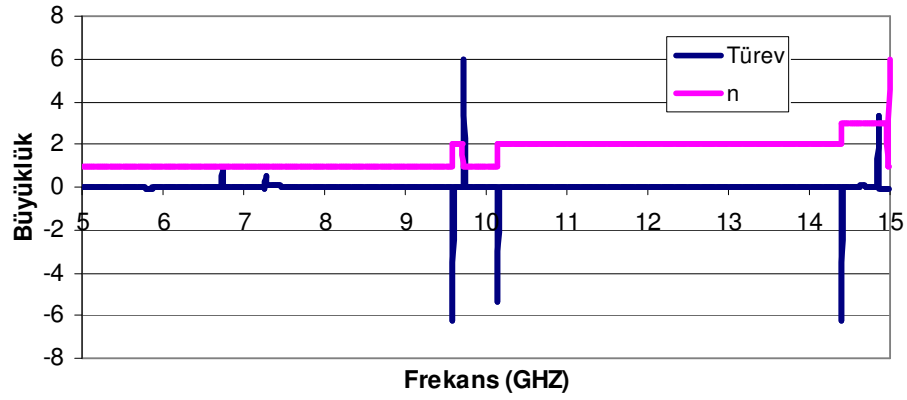
Şekil 4.34.  $\Gamma$  yansımaya katsayısı grafiği(Ferrit)



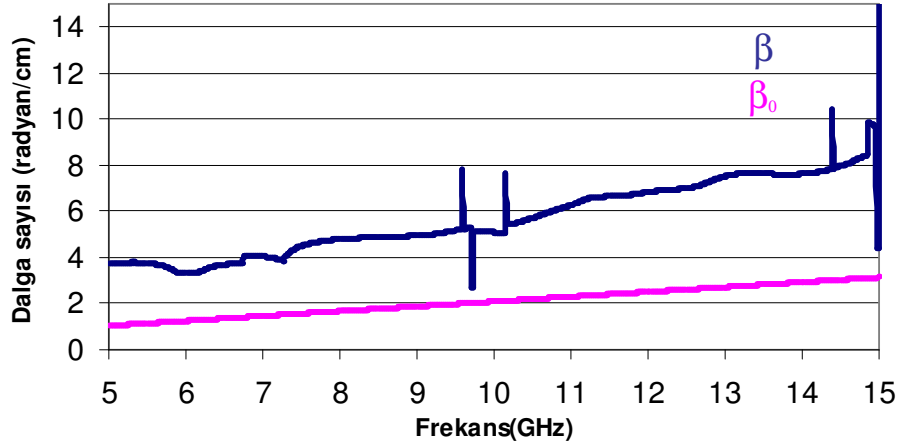
Şekil 4.35.  $\eta$  karakteristik empedans grafiği (Ferrit)



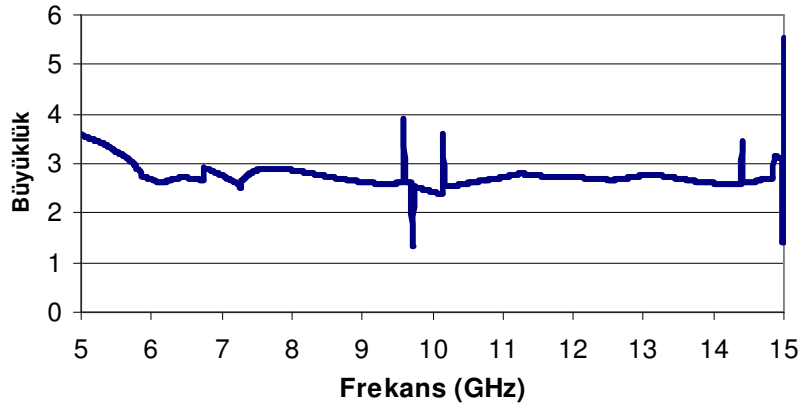
Şekil 4.36.  $\beta$  dalga sayısı grafiği (Ferrit)



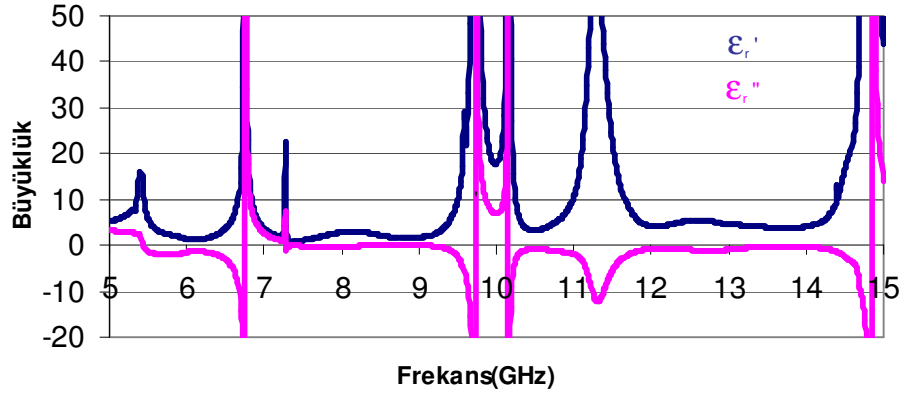
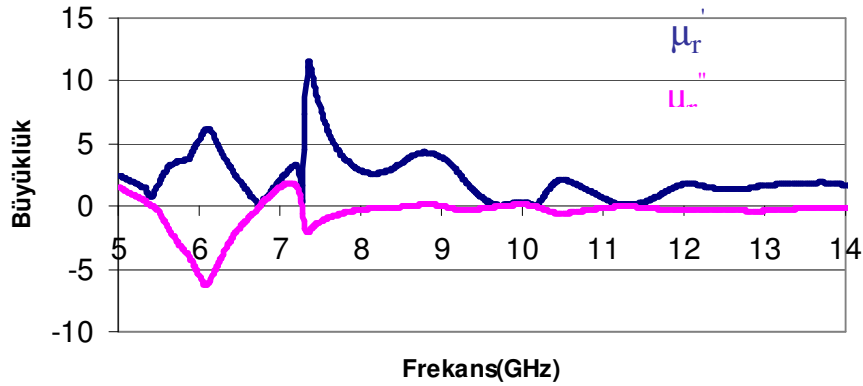
Şekil 4.37. Faz değişimi ve n değerleri grafiği (Ferit)



Şekil 4.38.  $\beta$ ,  $\beta_0$  dalga sayısı değerleri(Ferit)

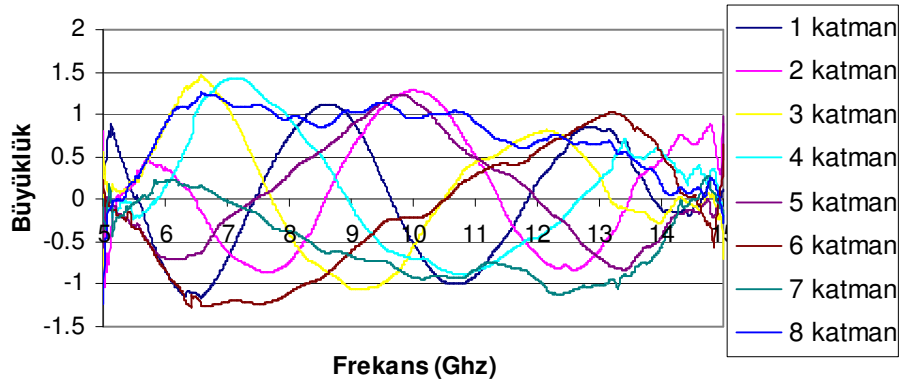


Şekil 4.39. Kırılma indisi grafiği(Ferrit)

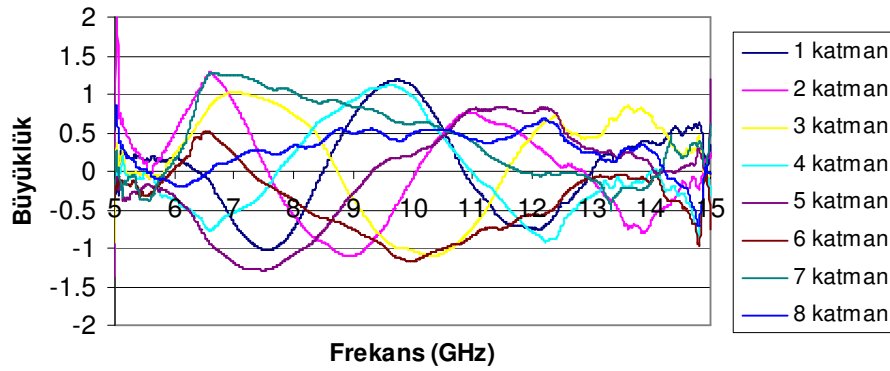
Şekil 4.40.  $\epsilon_r$  dielektrik grafiği(Ferrit)Şekil 4.41.  $\mu_r$  magnetik geçirgenlik grafiği (Ferrit)

#### 4.7. Çoklu Katman İletim katsayısı Ölçümleri

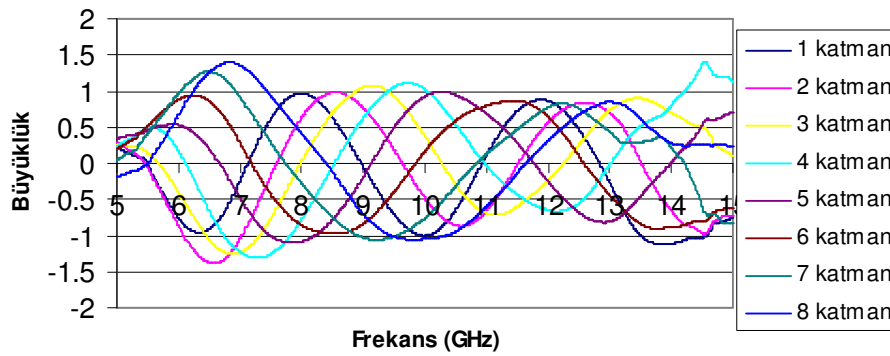
Çoklu katman iletim katsayısı ölçümü için iki anten arasına, ölçümü yapılacak malzemeler arka arkaya konularak (toplam 8 katman) iletim katsayısı olan  $S_{21}$  değerinin reel ve sanal büyüklükleri VNA dan okundu. Malzemeler arka arkaya konulur iken , iki antenin tam ortasına yerleştirilmeye çalışıldı. Bu yöntem de, kullanılan her üç malzeme (cam, delrin, ferrit) ayrı ayrı yapıldı. Ölçülen  $S_{21}$  'in reel ve sanal bileşeninin frekansa göre grafikleri şekil 4.42 ile şekil 4.47 arasında verilmiştir.



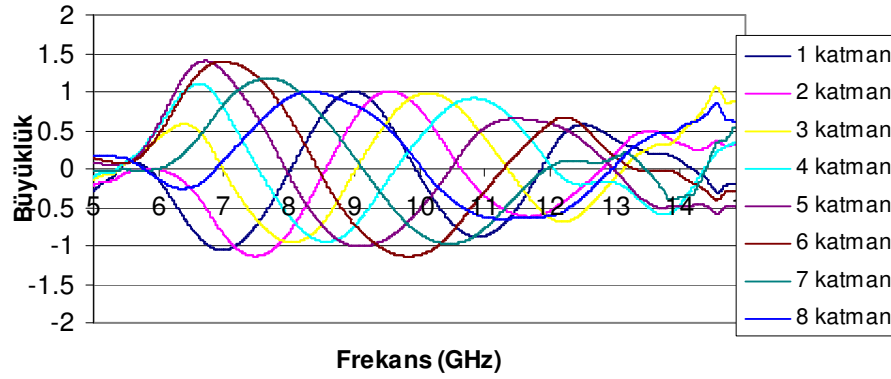
Şekil 4.42. Cam için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Reel)



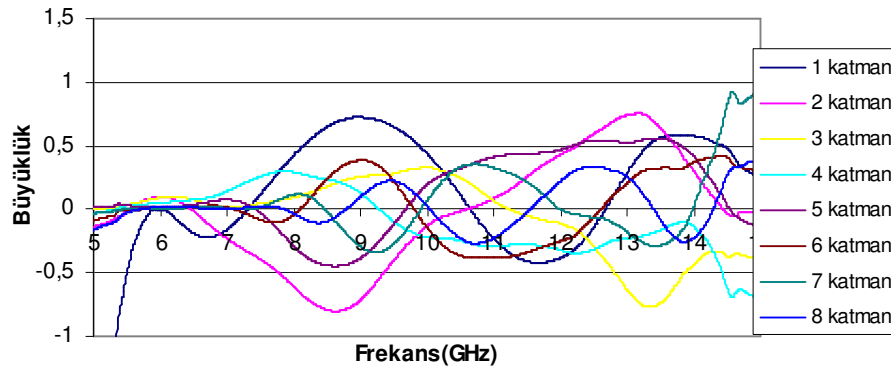
Şekil 4.43. Cam için çoklu katman iletim katsayısı grafiği Sanal)



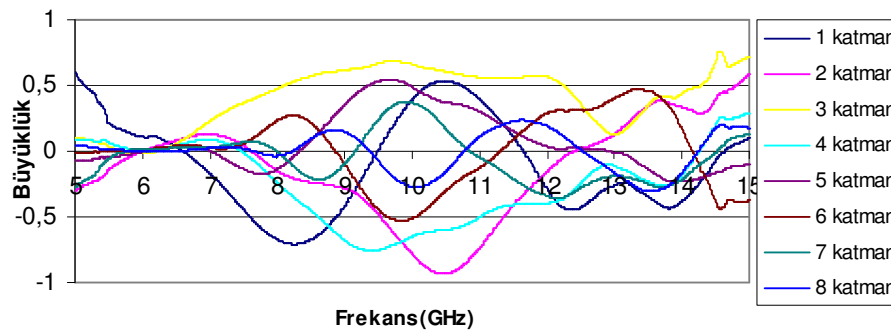
Şekil 4.44. Delrin için çoklu katman iletim katsayısı grafiği Reel)



Şekil 4.45. Delrin için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Sanal)



Şekil 4.46. Ferrit için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Reel)



Şekil 4.47. Ferrit için çoklu katman iletim katsayısı grafiği (Sanal)

Frekans değeri 1Ghz aralıklarla katman sayısına göre iletim katsayısı değerleri okunan verilerden süzüldü. Veriler tablo halinde Tablo 4.1 ile tablo 4.3 arasında verilmiştir. Tablo 4.1 Cam iletim katsayısı değerleri (reel)

Tablo 4.1. Cam iletim katsayısı değerleri(reel)

Katman/Frekans	5GHz	6Ghz	7GHz	8ghz	9ghz	10ghz	11ghz	12ghz	13ghz	14ghz	15ghz
1	0.5661	-0.8374	-0.7085	0.7408	0.9423	-0.5193	-0.9039	0.2012	0.8207	-0.1231	0.1226
2	0.6973	0.3754	-0.6135	-0.7442	0.5852	1.2828	0.5172	-0.6537	-0.6079	0.4628	0.8659
3	-0.9482	0.8653	1.0896	-0.3948	-1.0537	-0.5626	0.4345	0.7785	0.2784	-0.2663	-0.6965
4	-0.2585	0.1453	1.4099	0.9544	-0.071	-0.6981	-0.8359	-0.4537	0.2193	0.5652	-0.2148
5	-0.257	-0.6961	-0.2258	0.2916	0.8697	1.1597	0.4911	-0.0097	-0.6896	-0.4433	0.9718
6	0.0622	-0.8302	-1.203	-1.1032	-0.6189	-0.2221	0.2814	0.5635	0.9706	0.5489	0.6447
7	0.0026	0.208	-0.0244	-0.3737	-0.6671	-0.9203	-0.8308	-0.9417	-1.0161	-0.559	-0.2766
8	-1.0381	0.873	1.138	0.9552	1.0289	0.958	0.9054	0.6777	0.6525	0.1772	-0.2863

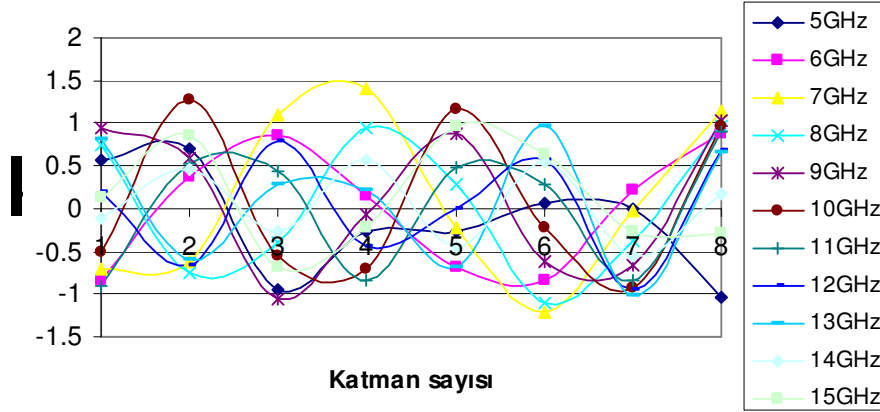
Tablo 4.2. Delrin iletim katsayısı değerleri(reel)

Katman Frekans	5Ghz	6Ghz	7Ghz	8Ghz	9Ghz	10Ghz	11Ghz	12Ghz	13Ghz	14Ghz	15Ghz
1	0.2045	-0.7571	-0.2494	0.9677	-0.0469	-1.0013	0.1045	0.8635	-0.2683	-1.1119	-0.7353
2	0.291	-0.8689	-1.0496	0.6268	0.766	-0.4791	-0.6568	0.5615	0.6956	-0.659	-0.7231
3	0.2635	-0.3964	-1.2365	0.023	1.0523	0.3758	-0.691	-0.2375	0.7324	0.6943	0.0917
4	0.2071	0.1772	-1.2297	-0.7813	0.6236	1.0231	-0.0364	-0.6472	-0.0238	0.7968	1.1214
5	0.342	0.5313	-0.4774	-1.0854	-0.1899	0.9273	0.6867	-0.2515	-0.8091	0.0107	0.7068
6	0.1958	0.8855	0.2831	-0.8587	-0.8395	0.1617	0.795	0.6436	-0.4436	-0.8888	-0.6126
7	0.0382	0.9696	0.9081	-0.2849	-1.0328	-0.7603	0.126	0.7746	0.4319	0.218	-0.8184
8	-0.1749	0.6664	1.3572	0.4046	-0.7064	-1.0472	-0.6046	0.3139	0.8513	0.2761	0.223

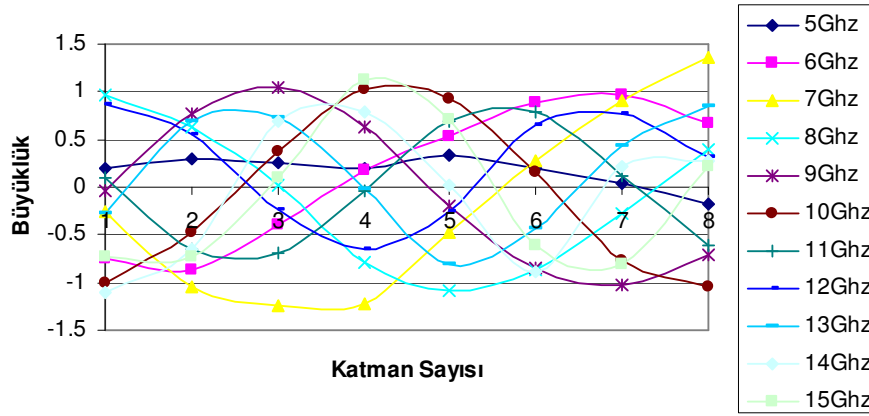
Tablo 4.3. Ferrit iletim katsayısı değerleri(reel)

Katman Frekans	5Ghz	6Ghz	7Ghz	8Ghz	9Ghz	10Ghz	11Ghz	12Ghz	13Ghz	14Ghz	15Ghz
1	-1.6468	-0.0044	-0.1616	0.4221	0.725	0.4381	-0.2305	-0.3846	0.2826	0.5759	0.2167
2	-0.1397	0.0968	-0.2323	-0.6084	-0.72	-0.1307	0.0844	0.4309	0.741	0.2992	-0.0177
3	0.0004	0.0893	0.0154	0.0922	0.2561	0.3268	0.0652	-0.1107	-0.6332	-0.4351	-0.3837
4	-0.0377	0.051	0.141	0.2928	0.1279	-0.2204	-0.296	-0.3195	-0.2298	-0.1392	-0.6739
5	0.0197	0.0128	0.0753	-0.2923	-0.3871	0.192	0.411	0.4695	0.5242	0.4141	-0.1522
6	-0.0905	0.0041	0.0168	-0.0456	0.3852	-0.1437	-0.382	-0.2527	0.2012	0.3728	0.2662
7	-0.0349	0.013	0.0098	0.1138	-0.292	0.0669	0.3241	-0.0021	-0.178	0.0203	0.9036
8	-0.1675	0.0189	0.0032	-0.0351	0.0961	0.0249	-0.2286	0.2189	0.2564	-0.2277	0.3713

Tablolardaki verilere göre, her bir frekans için katman sayısına göre iletim katsayısı grafikleri çizildi. Grafiklerde, katman sayısına göre sinusoidal bir değişim gözlemlendi.

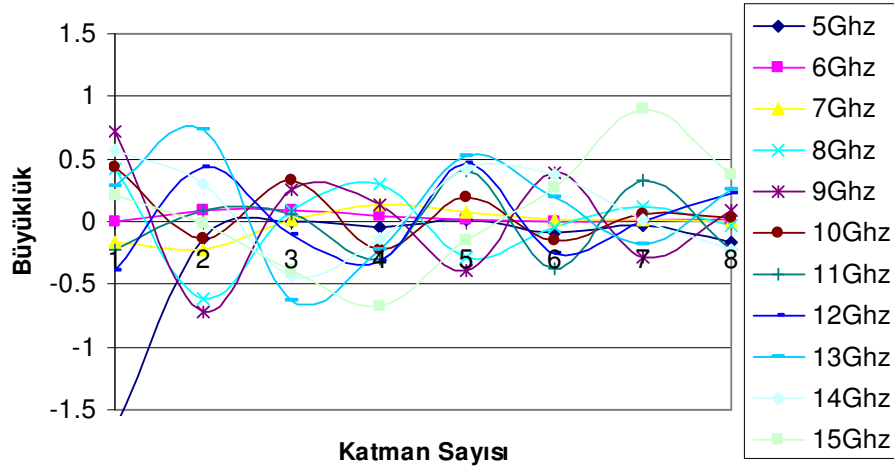


Şekil 4.48. Cam için katman sayısına göre iletim katsayısı grafiği



Şekil 4.49. Delrin için katman sayısına göre iletim katsayısı grafiği



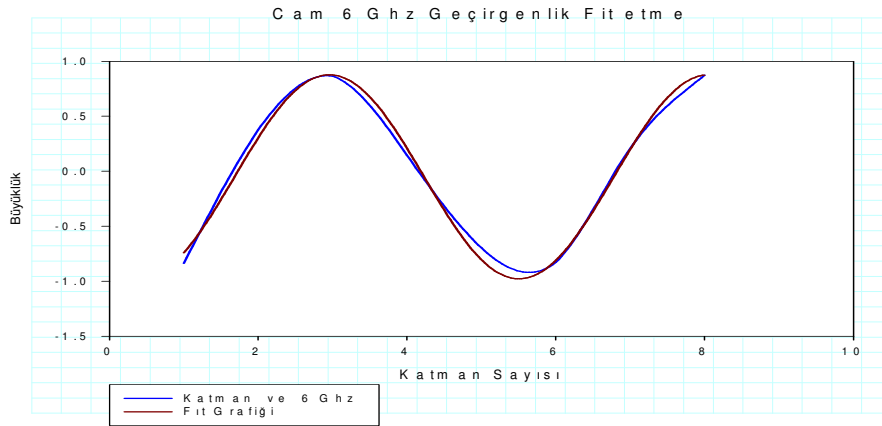


Şekil 4.50. Ferrit için katman sayısına göre iletim katsayısı grafiği

Her bir malzeme ve frekans için ayrı ayrı katman sayısına göre iletim katsayısı grafikleri Sigma Plot programı ile:

$$f=y_0+a*\sin(2*3.14159265359*x/b+c)$$

fonksiyonuna uyuşma katsayı değerleri belirlendi. Grafiklerden periyot belirlenerek  $\lambda$  değerleri bulundu. Her bir malzeme için  $\lambda$  değerlerinden kırılma indisi belirlenmeye çalışıldı.



Şekil 4.51. Cam için 6 GHz te uyuşmada elde edilen değerlerin grafik örneği

Her bir malzeme ve frekans için fit katsayıları tablo halinde tablo 4.4 ile 4.7 arasında verilmiştir.

Tablo 4.4. Cam için uyuşma katsayı değerleri

frekans	Rkare	a	b	c	y0
5GHz	0.66473	0.65	4.597	6.0075	-0.184
6GHz	0.99145	0.9273	5.0973	4.2098	-0.0509
7GHz	0.97841	1.2403	4.6165	2.8641	0.1852
8 GHz	0.98203	1.0277	3.82	0.8109	-0.0071
9 GHz	0.98457	1.0865	3.4086	-1.0337	0.0016
10 GHz	0.99615	1.1881	3.1326	3.8668	0.0041
11 GHz	0.98863	0.9198	2.8937	2.4334	0.0384
12 GHz	0.99209	0.8283	2.6048	0.4691	-0.0031
13 GHz	0.99382	0.958	2.3875	-1.376	-0.0168
14 GHz	0.93978	0.5344	2.2327	3.1579	0.0379
15 GHz	0.82957	0.7786	3.7556	5.0457	0.1409

Tablo 4.5. Delrin için uyuşma katsayı değerleri

frekans	Rkare	a	b	c	y0
5GHz	0.833753	0.3033	13.9793	6.28	0.0216
6Ghz	0.996254	0.8989	10.4577	3.8951	0.0716
7GHz	0.995773	1.3305	10.1305	2.748	0.0148
8 GHz	0.998807	1.0213	8.5581	0.9148	-0.0598
9 GHz	0.9987	1.0544	7.8349	5.5117	-0.04
10 GHz	0.999554	1.061	7.0834	3.9895	0.0212
11 GHz	0.99978	0.8164	6.0494	2.0349	0.0375
12 GHz	0.978445	0.7977	5.6047	0.2093	0.1017
13 GHz	0.998655	0.8344	5.2669	4.7567	0.0264
14 GHz	0.914638	0.84	4.6855	3.0012	-0.032
15 GHz	0.992772	1.0365	5.042	2.6691	0.1017

Tablo 4.6. Ferrit için uyuşma katsayı değerleri

frekans	Rkare	a	b	c	d
5GHz					
6Ghz					
7GHz	0.965163	0.5141	4.9137	2.3721	2.6175
7.8GHz	0.925947	0.6413	2.9917	6.28	4.6644
8 GHz	0.959326	0.7951	2.9412	6.28	4.6409

9 GHz	0.996391	0.9095	2.5621	-0.5772	7.8114
10 GHz					
11 GHz	0.995968	0.4039	2.3472	1.126	-0.0032
12 GHz	0.983838	0.4284	2.718	2.6965	1.00E-03
13 GHz	0.912283	0.5648	3.5249	4.894	0.0973
14 GHz	0.969147	0.4335	4.4457	6.28	0.1136
15 GHz					

Ferit için uyuşma katsayıları belirleme işleminde bazı frekans değerleri için uygun katsayılar belirlenemedi.

$$\frac{d}{\lambda n} = \frac{1}{b} \Rightarrow \lambda = \frac{bd}{n} \rightarrow n = 1, 2, 3, \dots$$

ifadesinde uygun n değerleri belirlenerek  $\lambda$  değeri ve kırılma indisi belirlendi .  
Bulunan değerler tablo 4.7 ile tablo 4.9 arasında verilmiştir.

Tablo 4.7. Cam için bulunan dalga boyu ve kırılma indisi değerleri

frekans	b	d	n	$\lambda$ cm	V X10 <sup>9</sup> (cm/sn)	k <sub>i</sub>
5GHz	4.597	0.6	1	2.7582	13.791	2.175332
6Ghz	5.0973	0.6	1	3.05838	18.35028	1.634852
7GHz	4.6165	0.6	1	2.7699	19.3893	1.547245
8 GHz	3.82	0.6	1	2.292	18.336	1.636126
9 GHz	3.4086	0.6	1	2.04516	18.40644	1.629864
10 GHz	3.1326	0.6	1	1.87956	18.7956	1.596118
11 GHz	2.8937	0.6	1	1.73622	19.09842	1.570811
12 GHz	2.6048	0.6	1	1.56288	18.75456	1.599611
13 GHz	2.3875	0.6	1	1.4325	18.6225	1.610954
14 GHz	2.2327	0.6	1	1.33962	18.75468	1.599601
15 GHz	3.7556	0.6	2	1.12668	16.9002	1.775127

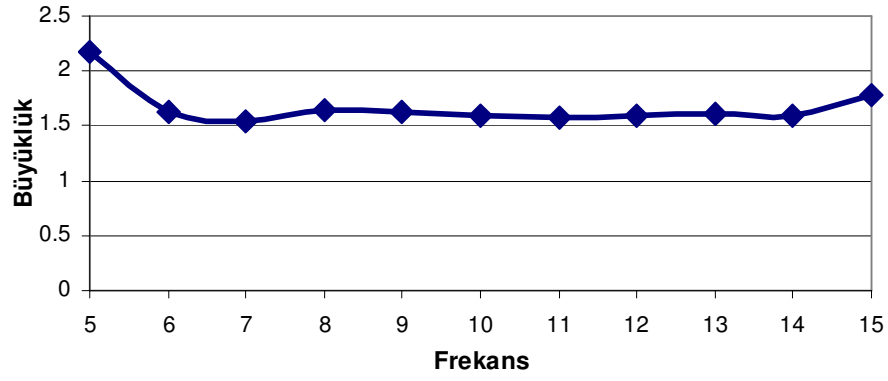
Tablo 4.8. Delrin için bulunan dalga boyu ve kırılma indisi değerleri

frekans	b	d	n	$\lambda$ cm	V X10 <sup>9</sup> (cm/sn)	k <sub>i</sub>
5GHz	13.9793	0.6	4	2.096895	10.484475	2.861374
6Ghz	10.4577	0.6	4	1.568655	9.41193	3.187444
7GHz	10.1305	0.6	4	1.519575	10.637025	2.820337
8ghz	8.5581	0.6	4	1.283715	10.26972	2.921209
9ghz	7.8349	0.6	4	1.175235	10.577115	2.836312
10ghz	7.0834	0.6	4	1.06251	10.6251	2.823503
11ghz	6.0494	0.6	4	0.90741	9.98151	3.005557
12ghz	5.6047	0.6	4	0.840705	10.08846	2.973695
13ghz	5.2669	0.6	4	0.790035	10.270455	2.921
14ghz	4.6855	0.6	4	0.702825	9.83955	3.04892
15ghz	5.042	0.6	4	0.7563	11.3445	2.644453

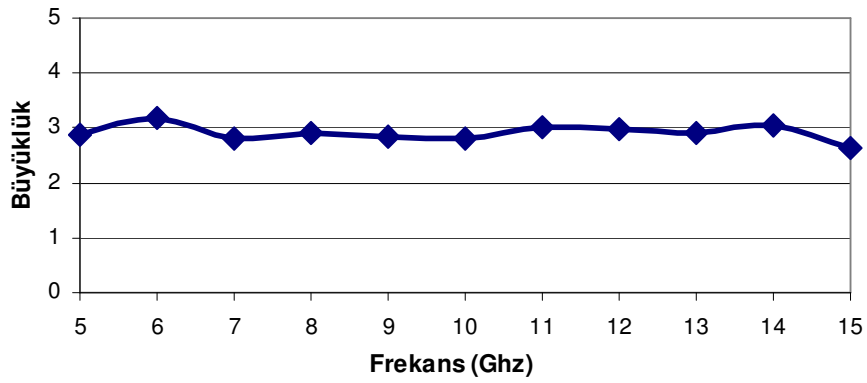
Tablo 4.9. Ferrit için bulunan dalga boyu ve kırılma indisi değerleri

frekans	b	d	n	$\lambda$ cm	V X10 <sup>9</sup> (cm/sn)	k <sub>i</sub>
5GHz		0.63	2			
6Ghz		0.63	2			
7GHz	4.9137	0.63	2	1.547816	10.8347085	2.768879
7.8GHz	2.9917	0.63	1	1.884771	14.7012138	2.040648
8 GHz	2.9412	0.63	1	1.852956	14.823648	2.023793
9 GHz	2.5621	0.63	1	1.614123	14.527107	2.065105
10 GHz		0.63	2	1.552	15.256	1.95825
11 GHz	2.3472	0.63	1	1.478736	16.266096	1.844327
12 GHz	2.718	0.63	2	0.85617	10.27404	2.919981
13 GHz	3.5249	0.63	2	1.110344	14.4344655	2.078359
14 GHz	4.4457	0.63	3	0.933597	13.070358	2.29527
15 GHz		0.63				

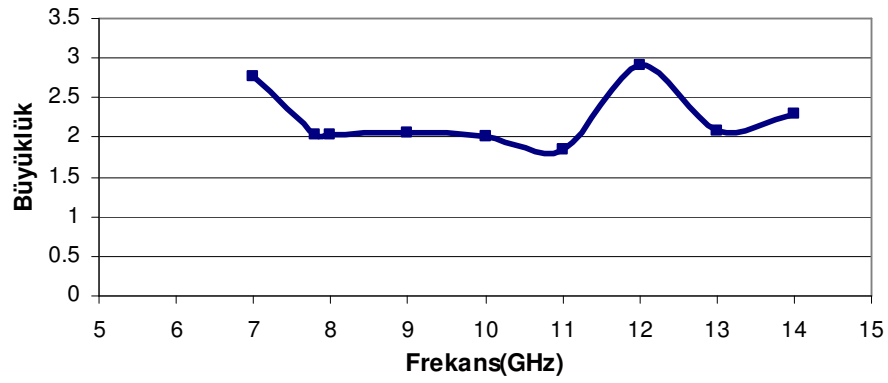
Verilerden elde edilen kırılma indislerinin frekansa göre grafikeri şekil 4.52 ile şekil 4.55 arasında verilmiştir.



Şekil 4.52. Cam için çoklu katman kırılma indisi grafiği



Şekil 4.53. Delrin için çoklu katman kırılma indisi grafiği



Şekil 4.54. Ferrit için çoklu katman kırılma indisi grafiği

Bulunan kırılma indisi değerleri bölüm 4.6 da bulunan kırılma indisi değerleriyle uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

#### 4.8. Kırılma İndisinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem

Bölüm 3.1 de yapılan yaklaşımlarla denklem (3.36) verildiği gibi toplam iletim katsayısı:

$$S_{21} = T^b = (1 - \Gamma^2) e^{-\gamma d} \quad (4.1)$$

şeklinde verilmişti. Farklı kalınlıktaki cam değerleri için (3mm, 6mm ve 10mm)  $S_{21}$  değerleri okundu.

$$\begin{aligned} S_{211} &= (1 - \Gamma^2) e^{-\gamma d_1} \\ S_{212} &= (1 - \Gamma^2) e^{-\gamma d_2} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Farklı kalınlık için bulunan  $S_{21}$  değerleri birbirlerine oranlanırsa

$$\frac{S_{211}}{S_{212}} = \frac{(1 - \Gamma^2) e^{-\gamma d_1}}{(1 - \Gamma^2) e^{-\gamma d_2}} \quad (4.3.a)$$

$$\frac{S_{211}}{S_{212}} = e^{-\gamma d_1} e^{\gamma d_2} = e^{\gamma(d_2 - d_1)} \quad (4.3.b)$$

bulunur. Her iki tarafın doğal logaritması alınır;

$$\gamma = \log_e \frac{S_{211}}{S_{212}} / (d_2 - d_1) \quad (4.4)$$

şeklinde  $\gamma$  değeri bulunur. Belirlenen  $\gamma$  değeri (4.2) denkleminde yerine konularak  $\Gamma$  değeri bulundu.

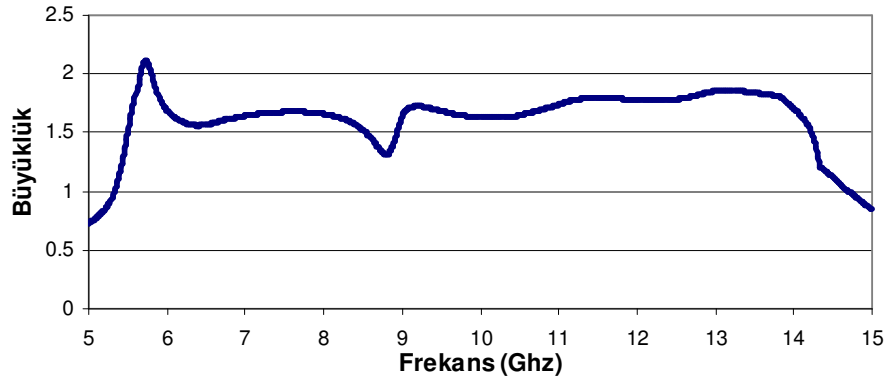
$$S_{21} = (1 - \Gamma^2) e^{-\gamma d_2} \quad (4.5)$$

$$1 - \Gamma^2 = \frac{S_{212}}{e^{-\gamma d_2}} \quad (4.6)$$

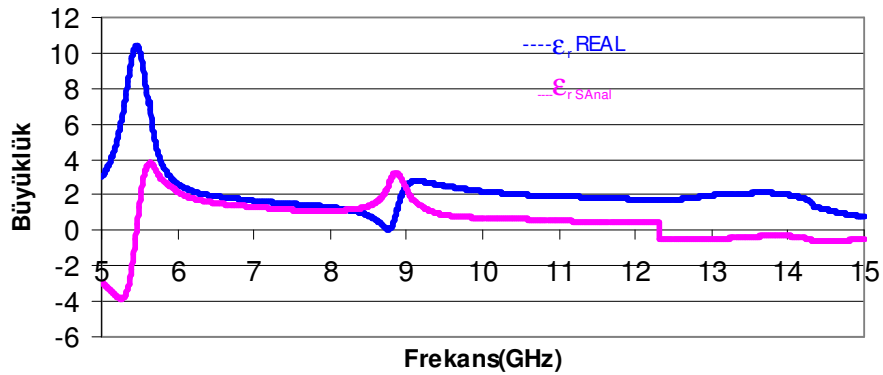
$$\Gamma = \pm \sqrt{\left(1 - \frac{S_{212}}{e^{-\gamma d_2}}\right)} \quad (4.7)$$

Denklem (4.7) de  $|\Gamma| < 1$  şartı aranmalıdır.  $\Gamma$  ve  $\gamma$  değerlerinden, denklem (3.71 3.72. 3.73) yardımı ile kırılma indisi ve  $\epsilon_r$  dielektrik değerleri bulunur.

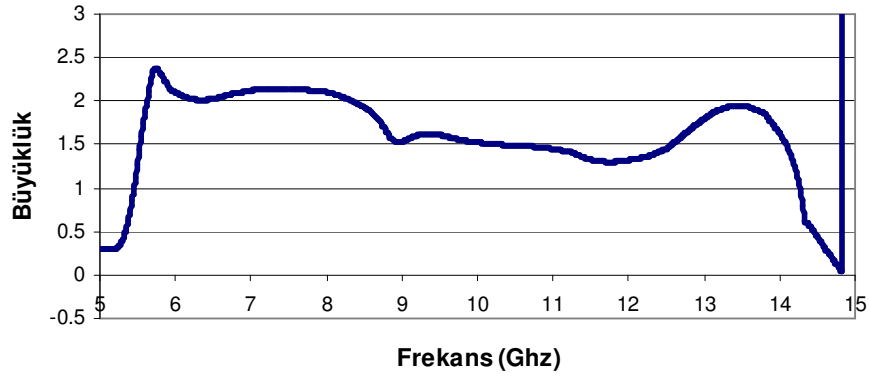
Camın iki farklı kalınlıktaki  $d_1$  ve  $d_2$  değeri için ( $d_1=3\text{mm}$   $d_2=10\text{ mm}$ )  $S_{21}$  değerleri okundu. Denklem (4.3) (4.4) ve (4.7) göre analiz edildi. Grafikleri aşağıda verilmiştir.



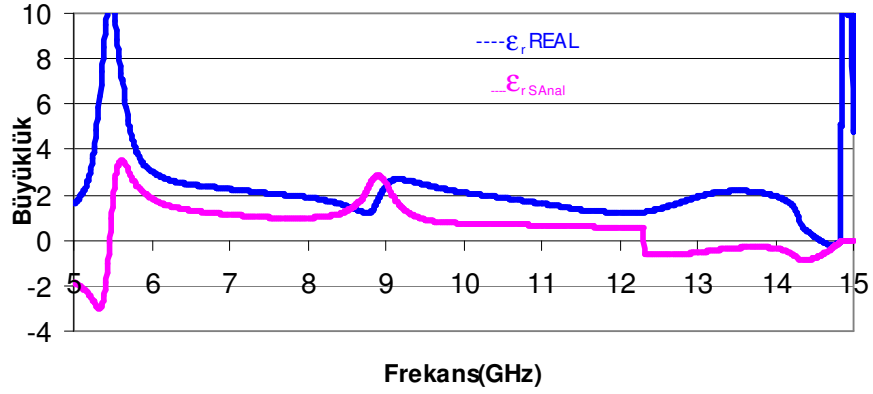
Şekil 4.55. Farklı katman kalınlığı ile bulunan kırılma indisi ( $d_1=3\text{mm}$   $d_2=10\text{mm}$ )



Şekil 4.56. Farklı katman kalınlığı ile bulunan  $\epsilon_r$  değerleri ( $d_1=3\text{mm}$   $d_2=10\text{mm}$ )



Şekil 4.57. Farklı katman kalınlığı ile bulunan  $\epsilon_r$  değerleri ( $d_1=6\text{mm}$   $d_2=10\text{mm}$ )



Şekil 4.58. Farklı katman kalınlığı ile bulunan  $\epsilon_r$  değerleri ( $d_1=6\text{mm}$   $d_2=10\text{mm}$ )

Geliştirilen yeni yöntemle bulunan kırılma indisi  $k_i$  ve  $\epsilon_r$  değerleri, NWR denklem çifti çözümü ve çoklu katman ölçümünden bulunan değerleriyle uyum içerisinde olduğu görülür(Şekil 4 5, Şekil 4 52)..



## BÖLÜM 5. SONUÇ

Serbest-Ortam Ölçüm tekniği (Free-Spaces Measurement Techniques) ile cam, delrin ve ferrit için kompleks S11 ve S21 değerlerinden malzemelerin karakteristik empedansı kırılma indisi,  $\epsilon_r$  bağıl dielektrik sabiti ve  $\mu_r$  bağıl magnetik geçirgenlik değerleri hesaplama yoluyla belirlenmeye çalışıldı. Cam için üç, delrin ve ferrit için iki farklı yöntemle kırılma indisi değerleri bulundu.

Kırılma indislerinin belirlenmesinde

- 1) Yansım/İletim katsayısı ölçümü ,
  - 2) Çoklu katman iletim katsayısı ölçümü,
  - 3) Farklı kalınlıktaki malzemelerin iletim katsayısı ölçümü,
- yöntemleri kullanıldı. 3. yöntemin ilk defa bu ölçümlerde kullanıldığı tespit edildi Hesapla bulunan kırılma indisi değerlerinin birbirleriyle uyum içerisinde olduğu görüldü.

Yansım ve iletim katsayısı ifadeleri, ölçülen malzeme boyutlarının yeterince büyük olduğu kabul edilerek çıkartıldı. Sistemin kalibresi de var olan şartlarda en iyi şekilde yapılmaya çalışıldı. Antenler arasındaki uzaklık  $\pm 1$  mm hata ile yapıldı.  $\pm 1$  mm fark, yansım (S11) ve iletim katsayısı (S21) değerlerinin faz açılarında değişime neden olmaktadır. Farklı zamanlarda, sistem yeniden kalibre edildiğinde, bir önceki kalibre değerlerine ulaşmakta zorlanıldı.

Malzeme boyutlarından dolayı 5-15 GHz frekans değerlerinde ölçüm alındı.

Dalga sayısı,  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} + 2\pi n \dots n = \pm 0, 1, 2, 3, 4 \dots$  şeklindedir.  $n$  belirlenmesi

dolayısıyla  $\beta$  değerinin tespitinde zorlanılmıştır. Geliştirilen yazılımla,  $n$  değerinin belirlenmesinde  $\beta$  nın faz değıştiği durumlarda,  $n$  nın başlangıç değeri birer birer artırılarak  $\beta$  nın doğrusal bir değeri alması sağlandı. Dalga

sayısı  $\beta$  değerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, kırılma indisi değerinin güvenilirliğinin artmasını sağlamıştır.

Yansım/iletim katsayısı yöntemi ile hesaplanan  $\epsilon_r$  değerlerinde frekansa bağlı olarak bazı frekans değerlerinde hızlı değişim gösterdiği görüldü. Sebebi ise,  $\lambda$  nın  $4d/n$  nın tam katlarına denk gelmesinden dolayıdır.

Kullanılan anten frekansı 6GHz-12GHz arasında olmasına karşılık, sistem kalibre edilirken antenlerin çalışma frekansı 5GHz-15GHz olarak ayarlandı. Grafiklerdeki sınır noktalarındaki büyük değişimler dikkate alınmamalıdır.

Ölçülen  $S_{11}$ ' in reel ve sanal büyüklüklerinin -1 ile +1 arasında olması gerekirdi. ( $S_{11}$  'in  $\pm 1$  den büyük olması, malzemenin negatif empedans göstermesi anlamına gelir) Yapılan ölçümlerde  $S_{11}$  değerinin bu sınırlar dışında da değerler aldığı görüldü.

Ölçümlerde  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ' in reel ve sanal bileşenleri için 5-15 GHz frekansında 801 veri okundu. Veriler dört işleme tabi tutularak kompleks  $\epsilon_r$   $\mu_r$  değerleri hesaplatıldı. Cam ve delrin için  $\mu_r$  değerinin reel ve sanal bileşenlerinin 1 den farklı değerler aldığı görüldü. Magnetik geçirgenlik olan  $\mu_r$  değerinin 1 den farklı olarak bulunması sistemin hatalarından olduğu kabul edildi.

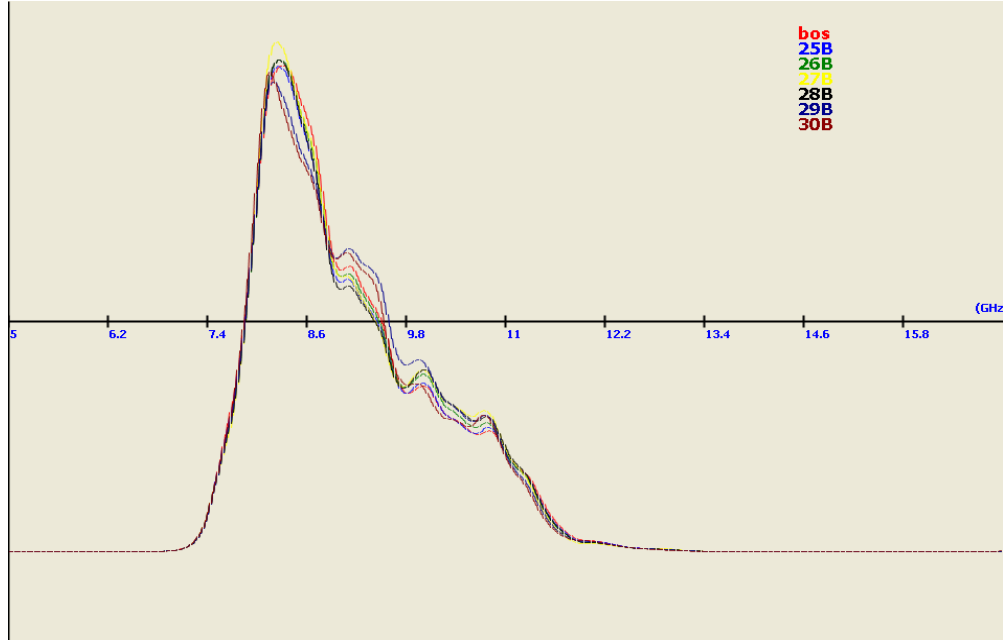
Aynı ölçümler 8 GHz - 20 GHz aralığında yapıldı. Alınan sonuçlar 5GHz-15GHz bölgesinde yapılan verilerle uyum içerisinde olduğu görüldü. Sadece  $\beta$  nın kullanılan frekans aralığında daha sık faz değişimi yaptığı tespit edildi.

DC bölgede kapasite ölçme yöntemi ile ferritin dielektrik sabiti boşluğun  $\epsilon_0$  dielektrik sabiti değerinin yaklaşık 3 katı olarak ölçüldü. Yapılan ölçüm ve değerlendirmede, magnetik malzeme olan ferritin kullanılan frekans aralığında yarı saydam bir malzeme gibi davrandığı ve mikrodalga soğurucu olmadığı görüldü.

## BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

### 6.1. Tartışma

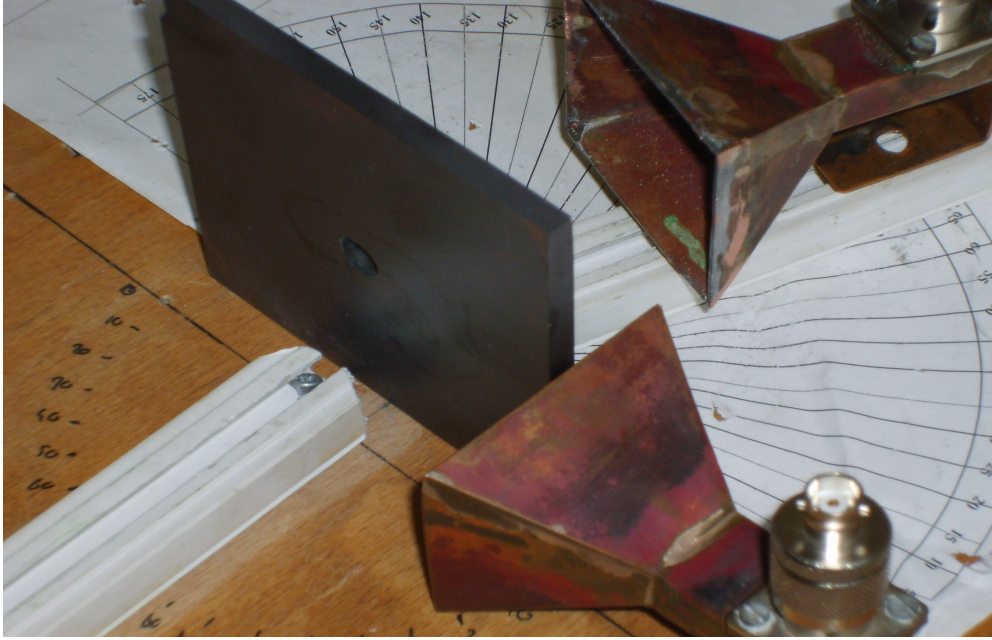
İlk ölçümler, Skaler Network Analizör ile nano parçacık içeren malzemeler üzerinde yapıldı. Malzemelerin hem boyutları anten boyutlarına göre küçük hem de yüzeylerinin düzgün olmamasından dolayı sağlıklı bir ölçüm alınıp yorumlanamadı.



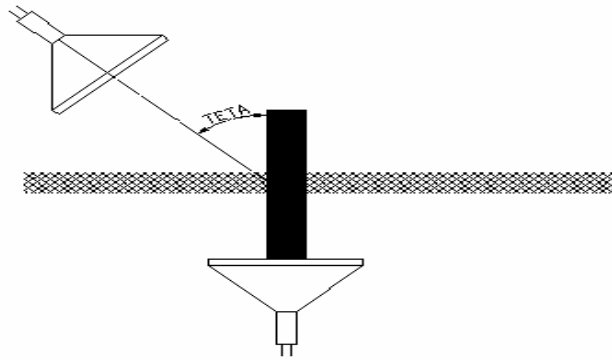
Şekil 6.1. Nano parçacık içeren malzemelerinin iletim katsayısı grafiği

Sonrasında 100x100x6.3 mm boyutlarında ferrit malzemeler kullanıldı. Ferritin kırılma indisini belirlemek için kritik kırılma açısı bulunmaya çalışıldı. Bunun için verici anten  $5^0$  açıyla hareket ettirildi. Alıcı anten ise malzemenin ince

kenarına temas ettirilerek ölçüm alındı. Açıya bağlı olarak ölçülen değerlerden de sağlıklı bir sonuç alınamadı.



Şekil 6.2. Açıya bağlı ölçüm sistemi

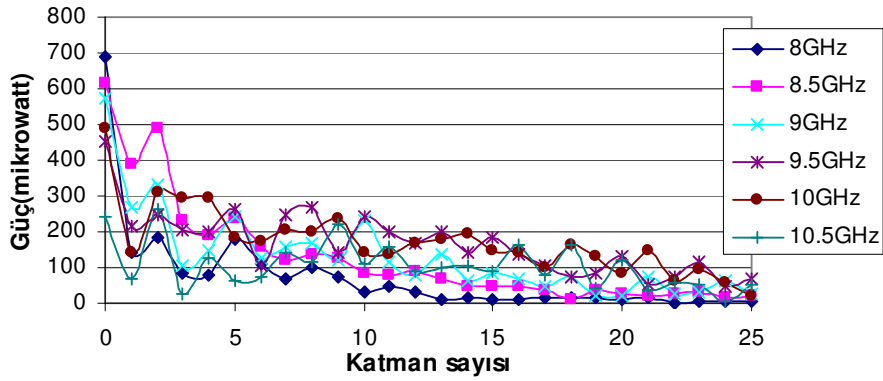


Şekil 6.3. Açıya bağlı ölçüm sistemi şekli

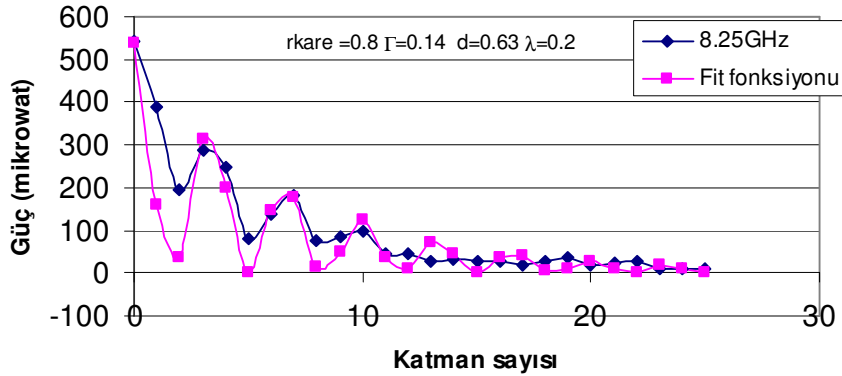
Ferrit katmanlar, 1, 2, 3 . 15 şeklinde arka arkaya konularak geçen sinyallerin gücü Dbm olarak okundu. Geçen sinyalin büyüklüğü, katman sayısına bağlı olarak bazı frekans değerlerinde, azalan bir genlikle salınım yaptığı gözlemlendi.

Aynı ölçümler aynı büyüklükteki cam katmanlar için de yapıldı. Okunan verilerden Excel programı ile frekans sabit tutularak katman sayısına göre iletim katsayısı grafikleri çizildi. Bulunan değerler denklem (3.34 ve 3.35) ile uyumlu olduğu görüldü [13].

$\Gamma$  ve  $\lambda$  değerleri elle değiştirilerek uygun bir eğri fit edilmeye çalışıldı. Eğri uydurma işleminde birkaç frekans değeri çok iyi uyum sağlamasına karşılık çoğu frekans değerleri için uygun değerler bulunmasında zorlanıldı.

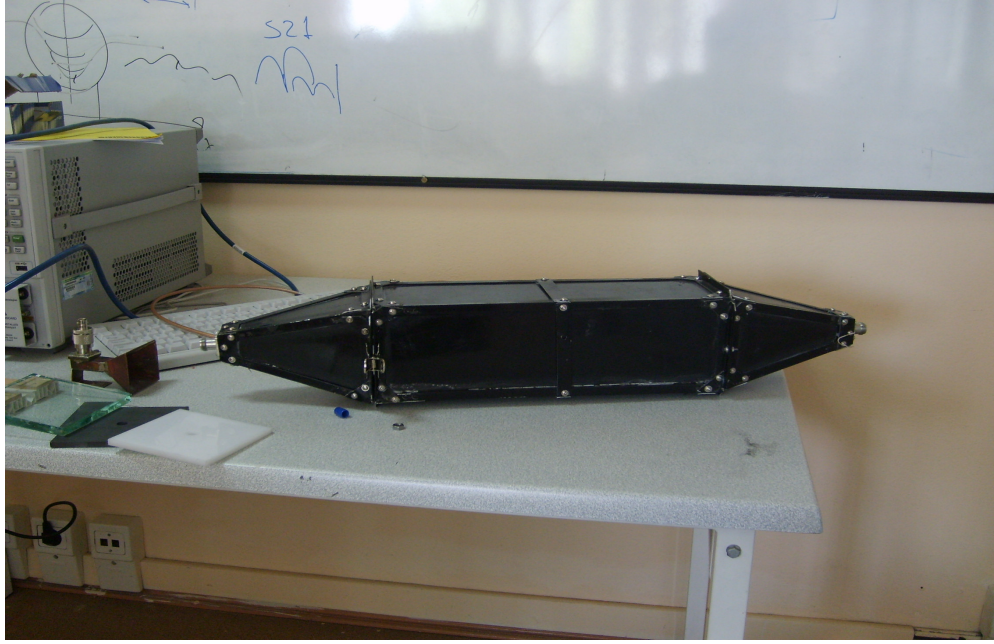


Şekil 6.4. Katman sayısına göre geçen sinyal gücü grafiği

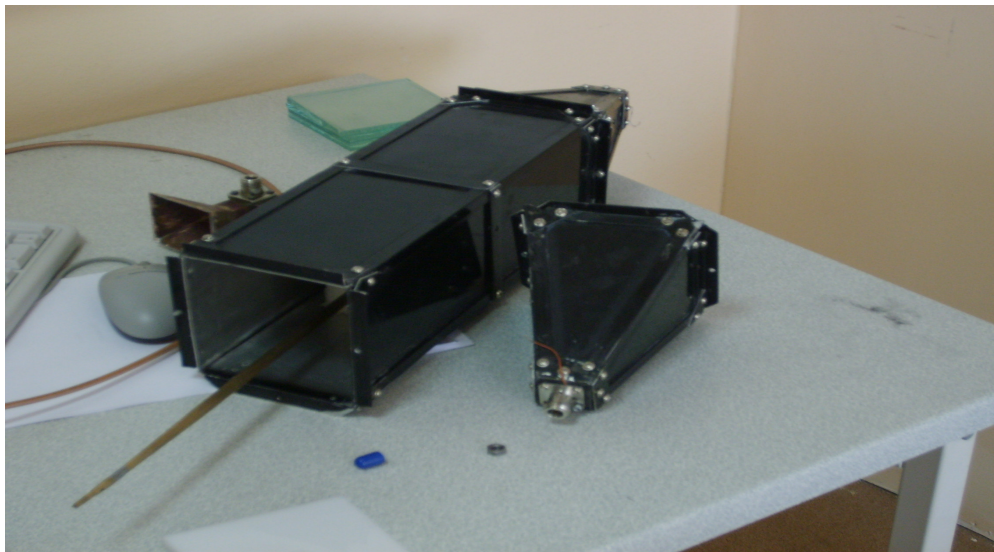


Şekil 6.5. Ferrit için fit etme çalışma grafiği

102,102,55 cm boyutlarında Koaksiyel hat yapıldı. Aynı ölçümler VNA kullanılarak koaksiyel hat içerisinde yapıldı. Koaksiyel hattın konnektör bağlantıları mekanik kontakla yapıldığı için düzgün şekilde TRL kalibrasyonu yapılamadı. Fakat koaksiyel hat, horn antendeki frekans bölgesine bağlı kalmaksızın geniş bir frekans aralığında ölçüm yapılabileceğini gösterdi.



Şekil 6.6. Koaksiyel hat resmi 1



Şekil 6.7. Koaksiyel hat resmi 2

Yine aynı ölçümler VNA. ile Serbest Ortam Ölçüm Tekniği, NWR denklemleri çözümleri ve TRL kalibrasyonu kullanılarak yapıldı. Kullanılan malzemenin d kalınlığı  $\lambda/4$  den büyük ve kullanılan frekans aralığında bir veya daha fazla faz geçişleri kaçınılmaz olduğundan matlab ortamında yeni bir algoritma geliştirildi. Geliştirilen algoritma ile ölçüm ve değerlendirmelerin kabul edilebilir sınırlar arasında olduğu görüldü..

## 6.2. Hata Kaynakları

Ölçülen ve hesaplanan değerlerde hata payları bulunmaktadır. Hata kaynaklarının nedenleri:

- a) Deneilerin mikrodalga yalıtım odasında yapılmaması,
- b) Horn antenlerden yayılan dalgaların malzeme üzerinde odaklanamaması,
- c) Özellikle ölçüm sisteminin TRL modda kalibre ederken, anten konumlarını hassas bir şekilde ayarlanamaması,
- d) Ölçümü yapılan malzeme boyutlarının, kullanılan horn anten boyutlarında olması ve mikrodalgaların kenarlardan farklı açılarda yansımaları,
- e) İki anten arasında çoklu yansımaların olması,
- f) Ölçümü yapılan malzeme kalınlıklarının, kullanılan sinyalin dalga boyu mertebelerinde olması ( $d \approx \lambda$ ) şeklinde sıralanır.

## 6.3. Öneriler

Serbest Ortam Ölçüm Tekniği ile yapılacak çalışmalarda sağlıklı veriler almak için :

- 1) Ölçümü yapılacak malzeme yüzeylerinin düzgün ve pürüzsüz olması,
- 2) Malzeme boyutlarının anten boyutundan çok büyük olması( eğer malzeme boyutu küçük ise ölçümün koaksiyel hat içerisinde yapılması,

- 3)  $d$  kalınlığı  $\lambda/4$  değerinden küçük olacak şekilde frekans bandı seçilmeli,
  - 4) Anten konumları mikrometre ile hassas şekilde ayarlanmalı (TRL kalibrasyonu için),
  - 5) TRL kalibrasyonu mutlaka doğru şekilde yapılmalı,
  - 6) Ölçümlerin radyasyondan yalıtılmış ortamda yapılmalı,
  - 7) Antenden yayılan dalgaların malzeme yüzeyinde odaklanması için dielektrik mercekler kullanılmalı,
  - 8) S parametreleri hata düzeltme katsayı matrisinin belirlenerek işlemlere dahil edilmeli,
- gibi şartlara dikkat edilmesi gerekmektedir..



## KAYNAKLAR

- [1] VASANDURA V. VARADAN K. A., "In situ Microwave Characterization of Nonplanar Dielectric Objects", IEEE Transactions of Microwave Theory and Techniques, Vol 48 No 3. March 2000.
- [2] DEEPAK K. GHODGAONKAR, VASANDURA V. VARADAN, A., A Free-Spaces Method For Measurement of Dielectric Constants and Loss Tangent at Microwave Frequencies, IEEE Transaction On Instrument And Measurement Vol 37. No 3 June 1989
- [3] MAHER H. UMARI, DEEPAK K. GHODGAONKAR A Free-Spaces Bistatic Calibration Technique for the Measurement of Parallel and Perpendicular Reflection Coefficients of Planar Samples. IEEE Transaction on Instrument and Measurement Vol 40. No 1 February 1991
- [4] JAMES BEKAR-JARVIS, WILLIAM A. KISSICK. Improved Technique For Determining Complex Permittivity With The Transmission /Reflection Method. IEEE Transactions of Microwave Theory and Techniques, Vol 48 No 3. March 2000.
- [5] WALTER BARRY. A Broad-Band, Automated, Stripline Technique for the Simultaneous Measurement of Complex Permittivity and Permeability. . IEEE Transactions of Microwave Theory and Techniques, Vol 48 No 3. March 2000.
- [6] BYOUNGJOONG KANG, JEIWON CHO, CHANGYUL CHEON. Nondestructive Measurement of complex Permittivity and Permeability Using Multilayered Coplanar Waveguide Structure. IEE Microwave and Wireless components Vol 15, No 5 May 2005.
- [7] YAN NIE, HUAHUI HE, ZEKUN FENG and BO XIONG. Absorbing Properties of the Magnetic Composite Electromagnetic Wave Absorber. 2005 IEEE International symposium on Microwave and EMC Technologies for Wireless Communications' Proceeding.
- [8] YONG-BAO FENG, TAI QIU, CHUN-YING SHEN, and XIAO-YUN LI. Electromagnetic and Absorption Properties of Carbonyl Iron/Rubber Radar Absorbing Material. IEEE Transactions of Magnetic, Vol. 42 No: 3. March 2006.

- [9] D. K. GHODGAONKAR. V. V. VARADAN Free-Space Measurement of Complex Permittivity and Complex Permeability of Magnetic Materials at Microwave Frequencies. , IEEE Transaction On Instrumentation And Measurement Vol 39. No 2 April 1990.
- [10] CORY. H. ZACH C. Wave Propagation in Metamaterial Multi-Layered Structure. Microwave and Optical Technology Letters Vol 40. No 6 March 20.2004
- [11] AKAY M. F. KHARKOVSKY S. N. HASAR U. C. An Automated-Only Measurement System for Permittivity Determination Using Free-Space Method. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Budapest. Hungary May 21-23.2001
- [12] KRZYZAGORSKI, M. ADAMSKI, W. KOMISARCZUK, J. KITLINSKI, M. Transmission line method for liquid or loose material diagnosis. Microwaves and Radar, 1998. MIKON '98., 12th International Conference Vol 3, P 715-719 . 20-22 May 1998
- [13] BALANIS C. A Advanced Engineering Electromagnetic John Wiley & Sons 1989
- [14] HAYT W. H. Engineering Electro-Magnetic McGraw-Hill Book Company 1974
- [15] CHENG D.K Field and Wave Electromagnetic. Addison-Wesley Publishing Company 1989
- [15] RICHARD S. and COZENS J. Optical Guided Waves and Devices . McGraw-Hill Book Company 1992
- [17] LIAO .S. Y. Microwave Devices & Circuit. Prentice Hall New Jersey 1990
- [18] PARIS D. T. Basic Electromagnetic Theory McGraw-Hill Book Company 1969
- [19] GRIFFITHS D. J Çev KARAOĞLU B. Elektromagnetik Teori ARTE/GÜVEN yayınları 1996
- [20] HILDRETH H. Çev ATAMAN A. Elektrik dalgalarının Temelleri İTÜ 1977
- [21] KRAUS J. D. Electromagnetic McGraw-Hill Book Company 1992
- [22] JORDAN E. C. and BALMAIN K. G. Electromagnetic Wave and Radiating Systems. Prentice-Hill Inc 1968

- [23] ÇEREZCİ O. ŞEKER S. Ş. Elektromagnetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları Boğaziçi Üniv. 1994
- [24] COURTNEY C. C. MOTIL W. One port Time-Domain Measurement of the Approximate Permittivity and Permeability of Material. IEEE Transactions of Microwave Theory and Techniques, Vol 47 No 5. May 1999.
- [25] TAMYIS N. RAMLI A. GHODGAONKAR D.K. Free Spaces Measurement of Complex Permittivity and Complex Permeability of Magnetic Material Using Open Circuit and Short Circuit Method At Microwave Frequencies. 2002 Student Conference on Research and Development Proceedings . Shah Alam. Malaysia.
- [26] GAGNON N. SHAKER J. ROY L. BERINI P. Low-Cost free-Spaces measurement of dielectric Constant at Ka Band. IEEE Proc. Microw. Antenna Propagation Vol 151 No 3 June 2004.
- [27] ROHDE& SCHWARDZ Application Note.. Measurement of Dielectric material properties  
[http://www.rohde-schwarz.com/www/downcent.nsf/ANFileByANNoForInternet/8B2C27C79FC3D342C1257249002A0667/\\$file/RAC-0607-0019.pdf](http://www.rohde-schwarz.com/www/downcent.nsf/ANFileByANNoForInternet/8B2C27C79FC3D342C1257249002A0667/$file/RAC-0607-0019.pdf)
- [28] ZIOLKOWSKI R.W. Design, Fabrication and Testing of Double Negative Metamaterial.  
[http://esperia.iesl.forth.gr/~ppm/DALHM/bibliography/LHMPdfs/DNG\\_H\\_FSS\\_Models\\_Final.pdf](http://esperia.iesl.forth.gr/~ppm/DALHM/bibliography/LHMPdfs/DNG_H_FSS_Models_Final.pdf)
- [29] Emerson & Cuming Microwave Products: Energy Propagation in Dielectric and Magnetic Material.  
<http://www.eccosorb.com/principles/TECNOTE.asp>
- [30] SUNDARAM M. KANG Y. HOWLADER M. K. Measurement of Complex Material Properties Using Transmission/Reflection Method..  
<http://it.sns.ornl.gov/asd/restricted/pdf/sns0133/sns0133.pdf>
- [31] DING SUN Measurement of Complex Permittivity and Permeability of Microwave Absorber ECCOSORB MF-190  
[http://www-bdnew.fnal.gov/pbar/documents/pbarnotes/pdf\\_files/PB576.PDF](http://www-bdnew.fnal.gov/pbar/documents/pbarnotes/pdf_files/PB576.PDF)
- [32] FRANK W. MONT, J.Q XI and E. F. SCHUBERT. Fresnel Reflection in Multi-Layer Structure.  
<http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Course-Teaching-modules/A33-Fresnel-reflection-losses-in-multi-layer-structures.pdf>

- [33] SAVOV S. V. HERBEN H. A.J Modal Transmission-Line Method Applied to Radio wave Propagation Through periodic walls.  
<http://tte.ele.tue.nl/radio/publications/ECR%20pubs%202002/Savov%20modal%20transmission%20URSI%2002.pdf>
- [34] OBOL M. AI-MOAYED N. AFSAR M. N. Nano Ferrites Microwave Complex Permeability and Permittivity Measurement by T/R Tecnique in Waveguide. <http://arxiv.org/vc/cond-mat/papers/0701/0701307v1.pdf>
- [35] Hewlett Packard Test & Measurement Application Note 95-1 S-parameters Techniques  
<http://contact.tm.agilent.com/data/static/downloads/eng/Notes/interactive/an-95-1/an-95-1.zip>
- [36] Delrin özellikleri [http://www.modernplastics.com/pdf/Ensinger\\_Delrin.pdf](http://www.modernplastics.com/pdf/Ensinger_Delrin.pdf)  
<http://www.yilmaz-ticaret.com/pomderlin.htm>
- [37] Ferrit özellikleri [http://www.fair-rite.com/fr\\_catalog-14thed\\_rev3.pdf](http://www.fair-rite.com/fr_catalog-14thed_rev3.pdf)

## **EKLER**

### **Ek 1. Basit Kodlarla Veri İşleme Algoritması**

## EK 1 BASİT KODLARLA VERİ İŞLEME ALGORİTMASI

```

1   Verileri yükle
2   d=6; c=30                               % malzeme kalınlığı ve ışık hızı ata
3   Verileri değişkenlere ata
4   S11=s11r+s11i*j
5   S21=s21r+s21i*j                         % S parametrelerini belirle
6   X=(S11^2-S21^2-1)/(2*S11)               %Denklem (3.67) hesapla
7   KökX=sqrt(X^2-1)                       % kök X değerini bul
8   Γ=X-kökX                                % Denklem (3.66) hesapla
9   ω=2πf                                    %Açısal frekansı hesapla
10  Döngü i=1; noktasisi;1
11  Eğer |Γ| >=1 ise                         % |Γ| <1 şartını kontrol et
12  Γ=X+kökX
13  Döngü1 sonu
14  η1=(Γ+1)/(Γ-1)                          % karakteristik empedansı
    hesapla
15  T=(S11+S21-Γ)/(1-(S11+S21)Γ)           % T değerini hesapla
16  α=reel(loge(1/T))                       % α değerini hesapla
17  β=aç1(T)                                % β değerini bul
18  Eğer β<0 ise β=β+2π                    % β değerini ayarla
19   $b_{tt} = \frac{\partial^2 \beta}{\partial t^2}$            % β nin ikinci türevini al
20  n0=0; n=0                                % n nin başlangıç değerlerini belirle
21  Döngü2 i=1;noktasayısı;1
22  Eğer |btt|>4 ise n=n+1                   % türev değişimine göre n değerini
    belirle
23  n0=n0+n
24  Döngü 2 sonu
25  Döngü3 i=1,noktasayısı;1
26  β=β+n*2*π                              % yeni β değerini bul
27  Döngü3 sonu

```

- 28  $\beta = \beta/d$  % d kalınlığını kullan
- 29  $\beta = \beta/n$  %  $2\pi/\lambda$  değerini bul
- 30  $\gamma = \alpha + j\beta$  % yayılma sabitini hesapla
- 31  $\gamma_0 = j\omega/c$  % açık ortamın yayılma sabitini  
hesapla
- 32  $k_i = \gamma/\gamma_0$  % kırılma indisini bul
- 33  $\epsilon = k_i/\eta_1$  %  $\epsilon$  değerini hesapla
- 34  $\mu = k_i * \eta_1$  %  $\mu$  değerini hesapla
- 35 Grafikleri çiz
- 36 DUR.

**EK 2. Yazılan Matlab Kodları**

```

clear all                                %tüm değişkenleri sıfırla
load cam15smdata;                         % verileri oku
d=0.6;                                    % malzeme kalınlığı
c=30;                                     % ışık hızı

f=camsmdata(:,1);                          % frekan değerlerini oku
s11i=camsmdata(:,2);                       %s11 sanal değeri oku
s11r=camsmdata(:,3);                       %s11 reel değeri oku
s21i=camsmdata(:,4);                       %S21 sanal değeri oku
s21r=camsmdata(:,5);                       %S21 reel değeri oku
faz=camsmdata(:,6);                        %S21 faz açısını oku
s11=s11r+s11i*j;                           %S11 değerini hesapla
s21=s21r+s21i*j;                           %S21 değerini hesapla
xpay=s11.^2-s21.^2+1;
xpayda=2*s11;
X=xpay./xpayda;
kokx=sqrt(X.^2-1);
ro=X-kokx;                                  %yüzey yansıma değerini hesapla
w=2*pi*f;                                   %açısal frekans bul
for i=1:801
    if abs(ro(i))>1
        ro(i)=X(i)+kokx(i);                % Y yi bul
    else
        end
end
r=abs(ro);
%ro=r;
rr=[f,r];
Zpay=1+ro;
Zpayda=1-ro;
Z=Zpay./Zpayda;                            % komplsk empedan değeri bul
z=real(Z);
tpay=s11+s21-ro;
tpayda=1-(s11+s21).*ro;
T=tpay./tpayda;
alfa=real(log(1./abs(T)));
alfa=alfa./d;
beta=angle(T);
bc=beta;
for i=1:801
    if beta(i)<=0
        beta(i)=beta(i)+2*pi;
    else
        end
    b1=beta;
    %disp(beta(i));
    %disp(i);

```



```

end

bt=diff(beta);
btt=diff(bt);
for i=1:801;
    n(i)=0; %n nin baslangic degerini belirle
end;
e=0;
for i=1:799
    if abs(btt(i)>4) %faz degisimine gore n bir arttir
        e=e+1;
    end
    n(i)=n(i)+e;
end;
n(801)=n(i)+e+1;
for i=1:801
    beta(i)=beta(i)+n(i)*2*pi; % n degerlerine gore beteyi hesapla
end

beta=(beta)./d;
beta=beta./e;
g0=j*w./c;
g=alfa+beta*j;
ki=(g./g0); %kırılma indisini belirle
ki=ki;
k=real(ki)/2;
b0=imag(g0);

ep=ki./Z; % dielektrik degerini hesapla
nu=ki.*Z; % magnetik gecirgenligi hesapla
nur=real(nu);
nui=imag(nu);
er=real(ep); % reel ve sanal degerleri bul
ei=imag(ep);
ee=k./z;

hold on;
m=[f,s1lr,s1li,s2lr,s2li,er,ei,nur,nui];
plot (f,nur,f,nui);
gama=[f,r];
zz=[f,real(Z),imag(Z)]; %hesaplanan degerleri diziyeye yukle
betaham=[f,bc];
nn=[n'];
bbb=[f,beta]
b11=[f,beta,b0];
eee=[f,er,ei];

```

### EK 3. Delrinin Özellikleri



DELRIN®

## DELRIN®

(Acetal Homopolymer)

DELRIN® is a crystalline plastic which offers an excellent balance of properties that bridge the gap between metals and plastics. DELRIN® possesses high tensile

strength, creep resistance and toughness. It also exhibits low moisture absorption. It is chemically resistant to hydrocarbons, solvents and neutral chemicals. These

properties along with its fatigue endurance make DELRIN® ideal for many industrial applications.

- **Good dimensional stability**
- **Low moisture absorption**  
DELRIN® can operate in wet environments with little effect on performance or dimensions.
- **Excellent machinability**
- **High fatigue endurance**
- **High strength and stiffness properties**
- **Superior impact and creep resistance**
- **Chemical resistance to fuels and solvents**
- **Natural grade is FDA, NSF and USDA compliant**
- **Good wear and abrasion properties**  
With its low coefficient of friction and hard and resilient surface, DELRIN® is the material of choice in many wear applications.

ELECTRICAL	Surface Resistivity	D257	ohm/square	-
	Volume Resistivity	D257	ohm-cm	10 <sup>16</sup>
	Dielectric Strength	D149	V/mil	500
	Dielectric Constant, @ 60 Hz, 73°F, 50% RH	D150		3.7
		@ 1 MHz	D150	3.7
		@ 20 GHz	D150	-
		@ 30 GHz	D150	-
	Dissipation Factor, @ 60 HZ, 73°F	D150		0.005

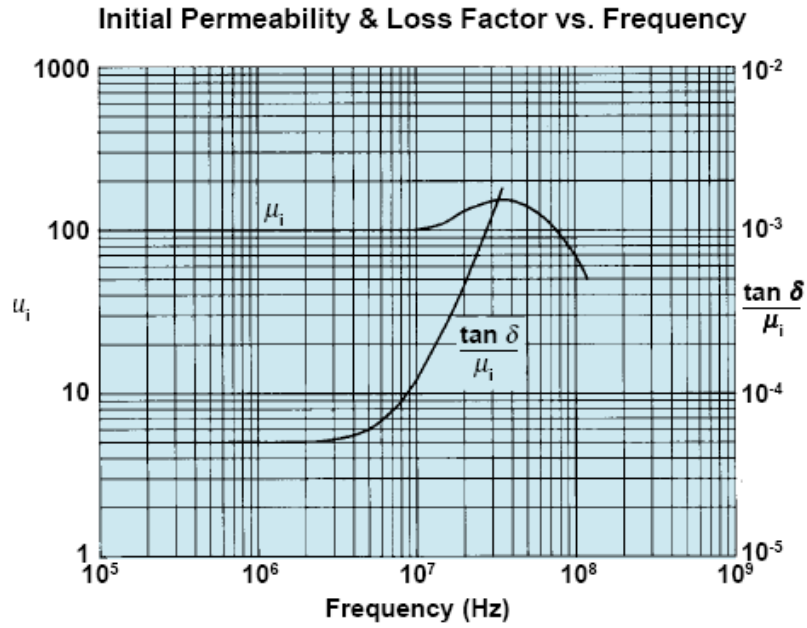
Delrin ilgili daha geniş bilgi referans [37] vardır.

## EK 4. Ferritin Özellikleri

### Properties of Parylene C\* Coating Material

Dielectric Strength .....	.5600	V/mil
Volume Resistivity .....	$8.8 \cdot 10^{16}$	ohm
Surface Resistivity .....	$10^{14}$	ohm
Dielectric Constant (1MHz) .....	2.95	
Dissipation Factor (1MHz) .....	.013	
Density .....	1.29	g/cm <sup>3</sup>
Water Absorption (24 hrs) .....	<.1	%
Coefficient of Friction .....	.29	
Continuous Operating Temperature .....	<100	°C
Thermal Conductivity .....	$2.0 \cdot 10^{-4}$	cal/sec/cm/°C

\* Union Carbide Trademark



Ferrit ilgili daha geniş bilgi referans [38] vardır.

## EK 5. Yazılan C.Net Kodları

```

using System;
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using System.Data;
namespace enson
{
    /// <summary>
    /// Summary description for Form1.
    /// </summary>
    public class proje : System.Windows.Forms.Form
    {
        private System.Windows.Forms.ImageList imageList1;
        private System.Windows.Forms.ToolBar toolBar1;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton yeni;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton
cihazdanoku;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton yaz;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton grafik;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton
dosyadanoku;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton cikis;
        private System.Windows.Forms.ListBox listBox1;
        private System.Windows.Forms.OpenFileDialog
openFileDialog1;
        private System.Windows.Forms.SaveFileDialog
saveFileDialog1;
        private System.Windows.Forms.PictureBox pictureBox1;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton reset1;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox3;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox4;
        private System.Windows.Forms.Button button2;
        private System.Windows.Forms.VScrollBar vScrollBar1;
        private System.Windows.Forms.VScrollBar vScrollBar2;
        private System.Windows.Forms.Label label1;
        private System.Windows.Forms.Label label3;
        private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1;
        private System.Windows.Forms.RadioButton radioButton1;
        private System.Windows.Forms.RadioButton radioButton2;
        private System.Windows.Forms.Timer timer1;
        private System.Windows.Forms.Label label2;
        private System.Windows.Forms.CheckBox checkBox1;
        private System.Windows.Forms.CheckBox checkBox2;
        private System.Windows.Forms.Label label4;
        private System.Windows.Forms.ToolBarButton otooku;
        private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox2;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox6;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox2;
        private System.Windows.Forms.TextBox textBox5;
        private System.Windows.Forms.Label label6;
        private System.Windows.Forms.Label label7;
        private System.Windows.Forms.Label label8;
        private System.Windows.Forms.Button button1;
        private System.Windows.Forms.Label label5;
        private System.ComponentModel.IContainer components;
        public proje()
        {

```

```

        //
        // Required for Windows Form Designer support
        //
        InitializeComponent();

        //
        // TODO: Add any constructor code after
InitializeComponent call
        //
    }

    /// <summary>
    /// Clean up any resources being used.
    /// </summary>
    protected override void Dispose( bool disposing )
    {
        if( disposing )
        {
            if (components != null)
            {
                components.Dispose();
            }
        }
        base.Dispose( disposing );
    }

    #region Windows Form Designer generated code
    /// <summary>
    /// Required method for Designer support - do not
modify
    /// the contents of this method with the code editor.
    /// </summary>
    private void InitializeComponent()
    {
        this.components = new
System.ComponentModel.Container();
        System.Resources.ResourceManager resources = new
System.Resources.ResourceManager(typeof(proje));
        this.imageList1 = new
System.Windows.Forms.ImageList(this.components);
        this.toolBar1 = new
System.Windows.Forms.ToolBar();
        this.yeni = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.cihazdanoku = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.yaz = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.grafik = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.dosyadanoku = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.otooku = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.çikis = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.reset1 = new
System.Windows.Forms.ToolBarButton();
        this.listBox1 = new
System.Windows.Forms.ListBox();

```

```

        this.openFileDialog1 = new
System.Windows.Forms.OpenFileDialog();
        this.saveFileDialog1 = new
System.Windows.Forms.SaveFileDialog();
        this.pictureBox1 = new
System.Windows.Forms.PictureBox();
        this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox3 = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox4 = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.button2 = new
System.Windows.Forms.Button();
        this.vScrollBar1 = new
System.Windows.Forms.VScrollBar();
        this.vScrollBar2 = new
System.Windows.Forms.VScrollBar();
        this.label11 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.groupBox1 = new
System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.label14 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.checkBox2 = new
System.Windows.Forms.CheckBox();
        this.checkBox1 = new
System.Windows.Forms.CheckBox();
        this.radioButton2 = new
System.Windows.Forms.RadioButton();
        this.radioButton1 = new
System.Windows.Forms.RadioButton();
        this.timer1 = new
System.Windows.Forms.Timer(this.components);
        this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.groupBox2 = new
System.Windows.Forms.GroupBox();
        this.button1 = new
System.Windows.Forms.Button();
        this.label8 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label7 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.label6 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.textBox5 = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox2 = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.textBox6 = new
System.Windows.Forms.TextBox();
        this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();
        this.groupBox1.SuspendLayout();
        this.groupBox2.SuspendLayout();
        this.SuspendLayout();
        //
        // imageList1
        //
        this.imageList1.ImageSize = new
System.Drawing.Size(16, 16);
        this.imageList1.ImageStream =
((System.Windows.Forms.ImageListStreamer)(resources.GetObject("ima
geList1.ImageStream")));
        this.imageList1.TransparentColor =
System.Drawing.Color.Transparent;
        //

```

```

        // toolBar1
        //
        this.toolBar1.Buttons.AddRange(new
System.Windows.Forms.ToolBarButton[] {

    this.yeni,

    this.cihazdanoku,

    this.yaz,

    this.grafik,

    this.dosyadanoku,

    this.otooku,

    this.çikis,

    this.reset1});
        this.toolBar1.DropDownArrows = true;
        this.toolBar1.ImageList = this.imageList1;
        this.toolBar1.Location = new
System.Drawing.Point(0, 0);
        this.toolBar1.Name = "toolBar1";
        this.toolBar1.ShowToolTips = true;
        this.toolBar1.Size = new
System.Drawing.Size(928, 42);
        this.toolBar1.TabIndex = 0;
        this.toolBar1.ButtonClick += new
System.Windows.Forms.ToolBarButtonClickEventHandler(this.toolBar1_
ButtonClick);
        //
        // yeni
        //
        this.yeni.ImageIndex = 1;
        this.yeni.Text = "yeni";
        //
        // cihazdanoku
        //
        this.cihazdanoku.ImageIndex = 0;
        this.cihazdanoku.Text = "cihazdanoku";
        //
        // yaz
        //
        this.yaz.ImageIndex = 4;
        this.yaz.Text = "dosyayayaz";
        //
        // grafik
        //
        this.grafik.ImageIndex = 4;
        this.grafik.Text = "grafik";

```

```

//
// dosyadanoku
//
this.dosyadanoku.ImageIndex = 2;
this.dosyadanoku.Text = "dosyadanoku";
//
// otooku
//
this.otooku.Text = "otooku";
//
// çikis
//
this.çikis.ImageIndex = 5;
this.çikis.Text = "çikiş";
//
// reset1
//
this.reset1.Text = "reset";
//
// listBox1
//
this.listBox1.Location = new
System.Drawing.Point(496, 72);
this.listBox1.Name = "listBox1";
this.listBox1.Size = new System.Drawing.Size(72,
238);

this.listBox1.TabIndex = 1;
//
// pictureBox1
//
this.pictureBox1.BackColor =
System.Drawing.Color.White;
this.pictureBox1.Location = new
System.Drawing.Point(40, 24);
this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";
this.pictureBox1.Size = new
System.Drawing.Size(416, 320);
this.pictureBox1.TabIndex = 2;
this.pictureBox1.TabStop = false;
this.pictureBox1.MouseHover += new
System.EventHandler(this.pictureBox1_MouseHover);
this.pictureBox1.MouseMove += new
System.Windows.Forms.MouseEventHandler(this.pictureBox1_MouseMove)
;

//
// label3
//
this.label3.BackColor =
System.Drawing.SystemColors.GrayText;
this.label3.Font = new
System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 8.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((System.Byte)(162)));
this.label3.Location = new
System.Drawing.Point(112, 392);
this.label3.Name = "label3";
this.label3.Size = new System.Drawing.Size(144,
32);

this.label3.TabIndex = 8;
this.label3.Text = "frekans";

```



```

        //
        // textBox3
        //
        this.textBox3.Location = new
System.Drawing.Point(40, 352);
        this.textBox3.Name = "textBox3";
        this.textBox3.TabIndex = 9;
        this.textBox3.Text = "";
        //
        // textBox4
        //
        this.textBox4.Location = new
System.Drawing.Point(152, 352);
        this.textBox4.Name = "textBox4";
        this.textBox4.TabIndex = 10;
        this.textBox4.Text = "";
        //
        // button2
        //
        this.button2.Location = new
System.Drawing.Point(24, 392);
        this.button2.Name = "button2";
        this.button2.TabIndex = 11;
        this.button2.Text = "frekayarla";
        this.button2.Click += new
System.EventHandler(this.button2_Click);
        //
        // vScrollBar1
        //
        this.vScrollBar1.Location = new
System.Drawing.Point(472, 16);
        this.vScrollBar1.Name = "vScrollBar1";
        this.vScrollBar1.Size = new
System.Drawing.Size(17, 328);
        this.vScrollBar1.TabIndex = 13;
        this.vScrollBar1.ValueChanged += new
System.EventHandler(this.vScrollBar1_ValueChanged);
        //
        // vScrollBar2
        //
        this.vScrollBar2.Location = new
System.Drawing.Point(16, 24);
        this.vScrollBar2.Name = "vScrollBar2";
        this.vScrollBar2.Size = new
System.Drawing.Size(17, 336);
        this.vScrollBar2.TabIndex = 15;
        this.vScrollBar2.ValueChanged += new
System.EventHandler(this.vScrollBar2_ValueChanged);
        //
        // label1
        //
        this.label1.BackColor =
System.Drawing.SystemColors.ControlDark;
        this.label1.Font = new
System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 9.75F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
((System.Byte)(162)));
        this.label1.Location = new
System.Drawing.Point(264, 352);
        this.label1.Name = "label1";

```

```

32);
        this.label11.Size = new System.Drawing.Size(144,
        this.label11.TabIndex = 20;
        this.label11.Text = "Dbm";
        //
        // groupBox1
        //
        this.groupBox1.Controls.Add(this.label4);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.checkBox2);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.checkBox1);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.radioButton2);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.radioButton1);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.vScrollBar2);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.button2);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.vScrollBar1);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.textBox3);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.textBox4);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.pictureBox1);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.label11);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.label13);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.listBox1);
        this.groupBox1.Location = new
System.Drawing.Point(0, 64);
        this.groupBox1.Name = "groupBox1";
        this.groupBox1.Size = new
System.Drawing.Size(576, 464);
        this.groupBox1.TabIndex = 27;
        this.groupBox1.TabStop = false;
        this.groupBox1.Visible = false;
        //
        // label4
        //
        this.label4.Location = new
System.Drawing.Point(472, 384);
        this.label4.Name = "label4";
        this.label4.Size = new System.Drawing.Size(48,
16);
        this.label4.TabIndex = 25;
        this.label4.Text = "label4";
        this.label4.Click += new
System.EventHandler(this.label4_Click);
        //
        // checkBox2
        //
        this.checkBox2.Location = new
System.Drawing.Point(200, 320);
        this.checkBox2.Name = "checkBox2";
        this.checkBox2.Size = new
System.Drawing.Size(56, 16);
        this.checkBox2.TabIndex = 24;
        this.checkBox2.Text = "CH 2";
        this.checkBox2.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.checkBox2_CheckedChanged);
        //
        // checkBox1
        //
        this.checkBox1.Location = new
System.Drawing.Point(144, 320);
        this.checkBox1.Name = "checkBox1";

```

```

        this.checkBox1.Size = new
System.Drawing.Size(48, 16);
        this.checkBox1.TabIndex = 23;
        this.checkBox1.Text = "CH1";
        this.checkBox1.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.checkBox1_CheckedChanged);
        //
        // radioButton2
        //
        this.radioButton2.Checked = true;
        this.radioButton2.Location = new
System.Drawing.Point(96, 320);
        this.radioButton2.Name = "radioButton2";
        this.radioButton2.Size = new
System.Drawing.Size(40, 24);
        this.radioButton2.TabIndex = 22;
        this.radioButton2.TabStop = true;
        this.radioButton2.Text = "DC";
        this.radioButton2.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.radioButton2_CheckedChanged);
        //
        // radioButton1
        //
        this.radioButton1.Location = new
System.Drawing.Point(48, 320);
        this.radioButton1.Name = "radioButton1";
        this.radioButton1.Size = new
System.Drawing.Size(40, 24);
        this.radioButton1.TabIndex = 21;
        this.radioButton1.Text = "AC";
        this.radioButton1.CheckedChanged += new
System.EventHandler(this.radioButton1_CheckedChanged);
        //
        // timer1
        //
        this.timer1.Tick += new
System.EventHandler(this.timer1_Tick);
        //
        // label2
        //
        this.label2.Location = new
System.Drawing.Point(472, 8);
        this.label2.Name = "label2";
        this.label2.Size = new System.Drawing.Size(200,
16);
        this.label2.TabIndex = 37;
        this.label2.Text = "label2";
        //
        // groupBox2
        //
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label5);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.button1);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label8);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label7);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.label6);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.textBox5);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.textBox2);
        this.groupBox2.Controls.Add(this.textBox6);
        this.groupBox2.Location = new
System.Drawing.Point(584, 72);

```

```

        this.groupBox2.Name = "groupBox2";
        this.groupBox2.Size = new
System.Drawing.Size(248, 136);
        this.groupBox2.TabIndex = 39;
        this.groupBox2.TabStop = false;
        this.groupBox2.Visible = false;
        //
        // button1
        //
        this.button1.Enabled = false;
        this.button1.Location = new
System.Drawing.Point(112, 104);
        this.button1.Name = "button1";
        this.button1.Size = new System.Drawing.Size(64,
32);
        this.button1.TabIndex = 6;
        this.button1.Text = "basla";
        this.button1.Click += new
System.EventHandler(this.button1_Click);
        //
        // label8
        //
        this.label8.Location = new
System.Drawing.Point(40, 80);
        this.label8.Name = "label8";
        this.label8.Size = new System.Drawing.Size(88,
16);
        this.label8.TabIndex = 5;
        this.label8.Text = "artiş degeri";
        //
        // label7
        //
        this.label7.Location = new
System.Drawing.Point(120, 16);
        this.label7.Name = "label7";
        this.label7.Size = new System.Drawing.Size(88,
16);
        this.label7.TabIndex = 4;
        this.label7.Text = "sonfrekans";
        //
        // label6
        //
        this.label6.Location = new
System.Drawing.Point(24, 16);
        this.label6.Name = "label6";
        this.label6.Size = new System.Drawing.Size(88,
16);
        this.label6.TabIndex = 3;
        this.label6.Text = "bas frek";
        //
        // textBox5
        //
        this.textBox5.Location = new
System.Drawing.Point(32, 40);
        this.textBox5.Name = "textBox5";
        this.textBox5.Size = new System.Drawing.Size(72,
20);
        this.textBox5.TabIndex = 2;
        this.textBox5.Text = "";

```

```

        this.textBox5.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox5_TextChanged);
        //
        // textBox2
        //
        this.textBox2.Location = new
System.Drawing.Point(32, 104);
        this.textBox2.Name = "textBox2";
        this.textBox2.Size = new System.Drawing.Size(72,
20);

        this.textBox2.TabIndex = 1;
        this.textBox2.Text = "";
        this.textBox2.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox2_TextChanged);
        //
        // textBox6
        //
        this.textBox6.Location = new
System.Drawing.Point(120, 40);
        this.textBox6.Name = "textBox6";
        this.textBox6.Size = new System.Drawing.Size(72,
20);

        this.textBox6.TabIndex = 0;
        this.textBox6.Text = "";
        this.textBox6.TextChanged += new
System.EventHandler(this.textBox6_TextChanged);
        //
        // label5
        //
        this.label5.Location = new
System.Drawing.Point(168, 64);
        this.label5.Name = "label5";
        this.label5.Size = new System.Drawing.Size(64,
40);

        this.label5.TabIndex = 7;
        this.label5.Text = "label5";
        //
        // proje
        //
        this.AllowDrop = true;
        this.AutoScaleBaseSize = new
System.Drawing.Size(5, 13);
        this.BackgroundImage =
((System.Drawing.Image) (resources.GetObject("$this.BackgroundImage
")));
        this.ClientSize = new System.Drawing.Size(928,
572);

        this.Controls.Add(this.label2);
        this.Controls.Add(this.groupBox1);
        this.Controls.Add(this.toolBar1);
        this.Controls.Add(this.groupBox2);
        this.FormBorderStyle =
System.Windows.Forms.FormBorderStyle.Fixed3D;
        this.Icon =
((System.Drawing.Icon) (resources.GetObject("$this.Icon")));
        this.IsMdiContainer = true;
        this.Name = "proje";
        this.Text = "proje";
        this.WindowState =
System.Windows.Forms.FormWindowState.Maximized;

```

```

        this.Click += new
System.EventHandler(this.kapandi);
        this.MdiChildActivate += new
System.EventHandler(this.label4_Click);
        this.Load += new
System.EventHandler(this.proje_Load);
        this.Paint += new
System.Windows.Forms.PaintEventHandler(this.Form1_Paint);
        this.groupBox1.ResumeLayout(false);
        this.groupBox2.ResumeLayout(false);
        this.ResumeLayout(false);

    }
    #endregion

    /// <summary>
    /// The main entry point for the application.
    /// </summary>
    [STAThread]
    static void Main()
    {
        Application.Run(new proje());
    }
    public string [] veri = new string[1000]; //okunan
verilerin sakli oldugu degisken
    public int noksay; //okunan veri sayisi
    public int formsay;
    public string fileadi;
    public double fr1, fr2;
    string x, dosya_adi; //okuma ve yazma için dosya adi
    int l, status, k;
    bool kartvarmi, norm, okundu;
    byte [] d = new byte[3000];
    int yofset;
    Graphics g;
    int kay;
    double [] deger = new double [25];
    double yyofset; //kaydirma cubuk degerleri yofset
ref yyofset scale
    double dc;
    Bitmap bmp;
    Pen kal1 = new Pen(Color.Red, 1);
    Pen kal2 = new Pen(Color.Blue, 1);
    Pen kal3 = new Pen(Color.Green, 1);
    Pen kal4 = new Pen(Color.White, 50); //grafik için kalem
degiskenleri
    Form2 frm;
    int g1, g2;
    string canal; //giris kanal secimi;
    private void proje_Load(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        timer1.Interval = 100;
        timer1.Enabled = true;
        vScrollBar1.SmallChange = 1;
        vScrollBar1.LargeChange = 10;
        vScrollBar1.Value = (int) dc;
        vScrollBar1.Maximum = 150;
        vScrollBar1.Minimum = -150;
        vScrollBar2.SmallChange = 1;

```

```

vScrollBar2.LargeChange=1;
vScrollBar2.Value=9;
vScrollBar2.Maximum=18;
vScrollBar2.Minimum=0;
formsay=0;
dc=0;
canal="C2C0C1";

norm=false;
okundu=false;
formsay=0;
if( cec488.gpib_board_present() )
{
    label2.Text= "KART VAR OK";
    kartvarmi=true;
}

else
{
    label2.Text= "KART takılı değil";
    kartvarmi=false;}
if( cec488.listener_present( 16 ) )
    label2.Text += " 8557 cihaz var OK";
else
    label2.Text += " 8757 cihaz YOK";

if (pictureBox1.Width!=0)
    bmp=new
Bitmap(pictureBox1.Width,pictureBox1.Height,System.Drawing.Imaging
.PixelFormat.Format24bppRgb);
//g =pictureBox2.CreateGraphics();

g=Graphics.FromImage (bmp);

g.SmoothingMode=System.Drawing.Drawing2D.SmoothingMode.AntiA
lias;

//g =pictureBox1.CreateGraphics();

reset();

}
private void yeni1()
{
    listBox1.Items.Clear();
    okundu=false;
    listBox1.Update();
    groupBox1.Visible=false;
    groupBox2.Visible=false;

if (frm!=null )

{
    frm.Closed+=new EventHandler (kapandi);
    frm.Dispose();
    formsay=0;
}

```

```

    }
    private void toolBar1_ButtonClick(object sender,
System.Windows.Forms.ToolBarButtonEventArgs e)
    {
        switch(e.Button.Text)
        {
            case "yeni" :
            {
                int i;
                for(i=1;i<noksay;i++)
                {
                    veri[i]="-1";
                }
                groupBox2.Visible=false;
                yenil();
                break;
            }

            case "cihazdanoku" :
            {
                //this.pictureBox1.Visible = true;
                //this.listBox1.Visible = true;
                if (kartvarmi)
                {
                    groupBox1.Visible=true;
                    groupBox2.Visible=false;
                    cihazoku();

                    //    reset();
                }
                break;
            }

            case "dosyadanoku" :
            {
                listBox1.Items.Clear();
                //this.pictureBox1.Visible = false;
                //listBox1.Visible = true;
                groupBox2.Visible=false;
                dosyaoku();

                dcbul();
                groupBox1.Visible=true;
                this.Update();
                break;
            }

            case "reset" :
            {
                listBox1.Items.Clear();
                //listBox1.Visible = false;
                reset();
                groupBox2.Visible=false;
                this.Update();
            }
        }
    }

```



```

        break;
    }
    case "dosyayayaz" :
    {

        listBox1.Visible = true;
        dosyayayaz();

        groupBox2.Visible=false;
        this.Update();break;
    }

    case "grafik":
    {
        groupBox2.Visible=false;
        if (okundu)
        {
            gr2();
        }
        break;
    }
    case "otooku":
    {
        groupBox2.Visible=true;

        this.Update();
        break;
    }
    case "çikiş" :Close();break;
    {
        ;
    }
}

}

private void cihazoku()
{

    listBox1.Items.Clear();
    okundu=false;
    listBox1.Update();

    string mesaj;
    norm=false;

    d=new byte[2000];//cihazdan okunan degisken
    string all,dinle;
    all="MLA TALK 16";
    dinle="REN MTA LISTEN 16 DATA 'FD0 "+canal+"OD'
END";

    cec488.initialize(21,0);
    cec488.transmit(dinle,out status);
    mesaj="";
    if(status!=0)

```

```

        {
            mesaj="transmit dinle de problem var
"+status.ToString();
            mesajgoster(mesaj);
            okundu=false;
        }
        cec488.transmit(all,out status);
        if(status!=0)
        {
            mesaj="transmit all de problem var
"+status.ToString();
            mesajgoster(mesaj);
            okundu=false;
        }

        cec488.rarray(out d,4500,out l,out status);
        if(status!=32)
        {
            mesaj="rarray dizi okumada problem var
"+status.ToString();
            mesajgoster(mesaj);
            okundu=false;
        }
        else
        {
            okundu=true;
        }
        if (okundu)
        {
            aktar();
        }
    }

    void aktar()
    {
        int i;
        string s,o;
        System.Text.ASCIIEncoding cevir=new
System.Text.ASCIIEncoding();
        string cev2;
        s=cevir.GetString(d);
        okundu=true;
        cev2="";k=0;
        o="";
        for (i=0;i<s.Length-1;i++)
        {
            if (s[i].ToString() ==",")

            {
                cev2=cev2+s[i];
                cev2=cev2+"\r\n";
                listBox1.Items.Add(o);
                if (o!="")
                {
                    veri[k]=o;

                    k=k+1;
                }
                o="";
            }
        }
    }

```

```

else
{
    if (s[i].ToString() !=" ")
    {
        cev2=cev2+s[i];
        o=o+s[i];
    }
}
if (okundu)
{
    noksay=k;
    groupBox1.Visible=true;
    dcbul();
    grafik1(g);
    frekansoku();
}
}
private void dosyayayaz()
{
    if (okundu)
    {
        saveFileDialog1.Title= "yazılacak dosyayı
girinz";
        saveFileDialog1.Filter = "Text files
(*.txt)|*.txt|"+
        "All files (*.*)|*.*";
        saveFileDialog1.DefaultExt = "txt";
        dosya_adi=openFileDialog1.FileName;
        if
(saveFileDialog1.ShowDialog()==DialogResult.OK)
        {
            dosya_adi=saveFileDialog1.FileName;
        }
        fileadi=dosya_adi;
        dyaz(dosya_adi);
    }
}
void dyaz(string dosyaadi)
{
    int n;
    fileadi=dosyaadi;
    if (dosyaadi !=" ")
    {
        System.IO.TextWriter
dosyay=System.IO.File.CreateText(dosyaadi);
        for (n=0;n<noksay;n++)
        {
            x=veri[n];
            dosyay.WriteLine(x);
        }
        x=fr1.ToString();
        dosyay.WriteLine(x);
        x=fr2.ToString();
        dosyay.WriteLine(x);
    }
}

```

```

        dosyay.Close();
    }
}

private void dosyaoku()
{
    openFileDialog1.Filter= "metin için |*.txt|" +
        "butun dosyalar için |*.*";
    openFileDialog1.Title ="acılacak dosyayı
seciniz";
    if
(openFileDialog1.ShowDialog()==DialogResult.OK)
    {
        dosya_adi=openFileDialog1.FileName;
        fileadi=dosya_adi;
    }
    dsoku(dosya_adi);
}

void dsoku(string dosya_adi)
{
    fileadi=dosya_adi;
    string x;//dosya yazmam için değişken
    int i;
    okundu=false;

    if (dosya_adi !=null )
    {
        System.IO.TextReader
dosya=System.IO.File.OpenText(dosya_adi);
        i=-1;
        {
            do
            {
                i=i+1;
                x=dosya.ReadLine();
                veri[i]=x;
                listBox1.Items.Add(veri[i]);
            }
            while(dosya.Peek() != -1);
            okundu=true;
        }

        dosya.Close();
        noksay=i;
        fr1=double.Parse(veri[i-1]);
        fr2=double.Parse(veri[i]);
        noksay=i-2;
        label3.Text=" Baş.FRK="+fr1.ToString()+"
GHZ\n "+"Stp FRK="+fr2.ToString()+" GHZ";
    }
    if (okundu)
    {
        dcbul();
        grafik1(g);
    }
}

void grafik1(Graphics gr)

```

```

    {
        if(okundu)
        {
            eksen(gr);
            ciz(gr,0,0);
        }
    }
    private void eksen(Graphics gr)
    {
        if (okundu)
        {
            Point n1= new
Point(0,pictureBox1.ClientSize.Height/2);
            Point n2= new
Point(pictureBox1.ClientSize.Width,pictureBox1.ClientSize.Height/2
);
            Point n3= new Point(0,0);
            Point n4= new
Point(0,pictureBox1.ClientSize.Height);
            gr.Clear(this.BackColor);

            g.SmoothingMode=System.Drawing.Drawing2D.SmoothingMode.AntiA
lias;

            gr.DrawLine(kal3, n1,n2);
            gr.DrawLine(kal3, n3,n4);
        }
    }
    private void ciz(Graphics gr,int yofset,double
yyofset)
    {
        int x1,x2,y1,y2;
        int j,l1,l2;
        double sayac;
        double d1,d2;
        float k=noksay;
        double g1,g2;
        sayac=pictureBox1.ClientSize.Width/k;
        d2 =Convert.ToDouble(veri[1]);
        g2=d2-dc;
        l2=(int) g2;
        l2=l2+yofset;
        x2=(int) (sayac*1);
        y2=pictureBox1.ClientSize.Height/2-l2;
        Point p2= new Point(x2,y2);
        for (j=2 ;j<=noksay-1;j++)
        {
            d1 =Convert.ToDouble(veri[j+1]);
            g1= d1-dc;
            g1=g1*yyofset;g2=g2*yyofset;
            l1=(int) g1;
            l1=l1+yofset;

            x1=(int) (sayac*j+1);

            y1=pictureBox1.ClientSize.Height/2-l1;

            Point p1= new Point(x1,y1);

```

```

        g.SmoothingMode=System.Drawing.Drawing2D.SmoothingMode.AntiA
lias;
        if (noksay>30)
            {gr.DrawLine(kal2,
p1,p2);}
        else
        {
            g.DrawRectangle(kal3, x2,y2,2,2);
        }
        this.Invalidate();
        p2=p1;
    }

}

private void sil(Graphics gr,int yofset,double
yyofset)
{
    int x1,x2,y1,y2;
    int j,l1,l2;
    double sayac;
    double d1,d2;
    float k=noksay;
    double g1,g2;
    sayac=pictureBox1.ClientSize.Width/k;

    for (j=1 ;j<=noksay-1;j++)
    {
        d1 =Convert.ToDouble(veri[j+1]);
        d2 =Convert.ToDouble(veri[j]);
        g1= d1-dc;g2=d2-dc;
        g1=g1*yyofset;g2=g2*yyofset;
        l1=(int) g1; l2=(int) g2;
        l1=l1+yofset;l2=l2+yofset;
        x1=(int) (sayac*j+1);
        x2=(int) (sayac*j);
        y1=pictureBox1.ClientSize.Height/2-l1;
        y2=pictureBox1.ClientSize.Height/2-l2;
        Point p1= new Point(x1,y1);
        Point p2= new Point(x2,y2);
        if (noksay>10)
        {
            gr.DrawLine(kal4, p1,p2);
        }
        else
        {
            g.DrawRectangle(kal3, x2,y2,1,1);
        }
    }
}

void scroll12()
{
    if (okundu)
    {
        kay=vScrollBar2.Value;
    }
}

```

```

        yyofset=deger[kay];
        eksen(g);
        ciz(g,yofset,yyofset);
    }
}
void scroll1()
{
    int ofset;

    if (okundu)
    {
        ofset=vScrollBar1.Value;
        eksen(g);
        ciz(g,yofset,yyofset);
    }
}

private void Form1_Paint(object sender,
System.Windows.Forms.PaintEventArgs e)
{
    IDataObject pano=Clipboard.GetDataObject();
    pictureBox1.Image=bmp;
}

private void dcbul()
{
    int i,deg ;
    float min,max,fark;
    float toplam;
    toplam=0;
    min=999999999;
    max=-99999;
    if (okundu)
    {
        for(i=1;i<noksay;i++)
        {
            toplam=toplam+float.Parse(veri[i]);
            if (min>float.Parse(veri[i]))
            {
                min=float.Parse(veri[i]);
            }
            if (max< float.Parse(veri[i]))
            {
                max=float.Parse(veri[i]);
            }
        }
        try
        {
            dc=toplam/noksay;
            vScrollBar1.Value=(int) (dc);
        }
        catch
        {
            ;
        }
        norm=true;
        fark=max-min;
        deg=(int) fark/10;
    }
}

```

```

        for (i=21;i<0;i--)
        {
            if (deg==(int)deger[i])
            {
                vScrollBar2.Value=i;}
        }
    }
    void reset()
    {
        string mesaj;
        cec488.initialize(21,0);
        cec488.transmit("UNL LISTEN 16 17 DCL IFC
SDC",out status);
        if (status!=0)
        {
            mesaj="reset unl listwn";
            mesajgoster(mesaj);
        }
    }

    private void radioButton1_CheckedChanged(object
sender, System.EventArgs e)
    {
        cec488.send(16,"DM1", out status);//AC MOD
        if (status!=0)
        {
            mesajgoster("okuma hatali");
        }
        delay(150);
        cihazoku();
    }

    private void radioButton2_CheckedChanged(object
sender, System.EventArgs e)
    {
        cec488.send(16,"DM0", out status);//DC MOD
        if (status!=0)
        {
            mesajgoster("okuma hatali");
        }
        delay(150);
        cihazoku();
    }

    void frekansyaz()
    {
        string yazfr,pasthru;
        float minf,makf;
        int st2,st3;
        pasthru="PT19";
        //          cec488.initialize(21,0);
        if (textBox4.Text!="")
        {
            makf=float.Parse(textBox4.Text);
        }
        else
        {

```



```

        makf=0;
    }

    if (textBox3.Text!="")
    {
        minf=float.Parse(textBox3.Text);
    }
    else
    {
        minf=0;
    }
    if (makf==0)
    {
        makf=minf;
    }
    if (minf==0)
    {
        minf=makf;
    }
    if (makf>=minf)
    {
        label3.Text=minf.ToString()+"
"+makf.ToString();
        cec488.send(16, pasthu,out st2);

        yazfr="FA; "+minf.ToString()+" GZ";
        cec488.send(17,yazfr,out st3);
        if (st3!=0)
            reset();
        yazfr="FB; "+makf.ToString()+" GZ";
        cec488.send(17,yazfr,out st3);
        if (st3!=0)
            reset();
    }
    frekkansoku();
}

void frekkansoku()
{
    string
okumakf,okuminf,setokuminf,setokumakf,pasthu;

    int l,st2,st3,st4;

    pasthu="PT19";
    setokuminf="OPFA";
    setokumakf="OPFB";
    cec488.initialize(21,0);
    //cec488.send(16,rst,out st1);
    cec488.send(16, pasthu,out st2);
    if (st2==0)
    {

        cec488.send(17,setokuminf,out st3);

        if (st3==0)
        {

```

```

1,17,out st4);
                                cec488.enter(out okuminf,4096,out
                                if (st4==0)
                                {
                                    fr1=double.Parse(okuminf);
                                    cec488.send(17,setokumakf,out
st3);
                                cec488.enter(out
okumakf,4096,out 1,17,out st4);
                                    fr2=double.Parse(okumakf);
                                    fr1=fr1/1000000000;
                                    fr2=fr2/1000000000;

                                label3.Text="
Baş.Frekans="+fr1.ToString()+" GHZ\n "+"Stp
Frekans="+fr2.ToString()+" GHZ";

                                }
                                reset();
                            }
                            reset();
                    }
                    reset();
}

private void button2_Click(object sender,
System.EventArgs e)
{
    frekansyaz();
    cihazoku();
}

private void vScrollBar1_ValueChanged(object sender,
System.EventArgs e)
{
    yoffset=vScrollBar1.Value;
    eksen(g);
    ciz(g,yoffset,yyoffset);
}

private void vScrollBar2_ValueChanged(object sender,
System.EventArgs e)
{
    deger[21]=0.01;
    deger[20]=deger[21]*2;
    deger[19]=deger[20]*5;
    deger[18]=deger[19]*2;
    deger[17]=deger[18]*5;
    deger[16]=deger[17]*2;
    deger[15]=deger[16]*5;
    deger[14]=deger[15]*2;
    deger[13]=deger[14]*5;
    deger[12]=deger[13]*2;
    deger[11]=deger[12]*5;
    deger[10]=deger[11]*2;
}

```

```

deger[9]=deger[10]*5;
deger[8]=deger[9]*2;
deger[7]=deger[8]*5;
deger[6]=deger[7]*2;
deger[5]=deger[6]*5;
deger[4]=deger[5]*2;
deger[3]=deger[4]*5;
deger[2]=deger[3]*2;
deger[1]=deger[2]*5;
deger[0]=deger[1]*2;

if (norm)
{
    eksen(g);
    //sil (g,yofset,yyofset);
    kay=vScrollBar2.Value;
    yyofset=deger[kay];
    eksen(g);
    ciz(g,yofset,yyofset);
}
else
{
    dcbul();
}
}

private void pictureBox1_MouseHover(object sender,
System.EventArgs e)
{
    scroll12();
    scroll12();
}

private void pictureBox1_MouseMove(object sender,
System.Windows.Forms.MouseEventHandler e)
{
    int x,y,xx,yy;
    int j;
    double fr, sayac;
    string a1;
    float k=noksay-1;
    if (okundu)
    {
        x=e.X; y=e.Y;
        YY=Y;
        xx=x+1;
        sayac= k/pictureBox1.ClientSize.Width;
        a1=
Convert.ToString(Math.Round(x*sayac,0));
        j=int.Parse(a1);

        fr=Math.Round(fr1+(fr2-fr1)/k*j,3);
        labell1.Text=veri[j]+" dBm"+" \n
"+fr.ToString()+" GHz";
    }
}

void gr2()
{

```

```

formsay=formsay+1;
label4.Text=formsay.ToString();
if (okundu)
{
if (frm==null || frm.IsDisposed)
    {
        frm= new Form2();
        frm.okundu=okundu;
        frm.formsay=formsay;
        frm.fr1=fr1;
        frm.fr2=fr2;
        frm.fileadi=fileadi;
        frm.okundu=okundu;
        frm.noksay=noksay;
        frm.veri=veri;
        frm.Closed+=new
EventHandler(kapandi);

        frm.Show();

    }
else
    frm.okundu=okundu;
    frm.formsay=formsay;
    frm.fr1=fr1;
    frm.fr2=fr2;
    frm.fileadi=fileadi;
    frm.okundu=okundu;
    frm.noksay=noksay;
    frm.veri=veri;
    frm.Activate();

}
}
private void kapandi(object sender, System.EventArgs e)
{
    frm=null;
    formsay=0;
}

void delay(int b)
{
    int a;
    b=b*1000000;
    a=0;
    while (a!=b)
    {
        a=a+1;
    }
}

private void timer1_Tick(object sender,
System.EventArgs e)
{
}

void mesajgoster(string mesaj)
{
    MessageBox.Show(mesaj);
}

```

```
        private void checkBox1_CheckedChanged(object sender,
System.EventArgs e)
        {
            if (checkBox1.Checked)
            {
                g1=1;
            }
            else
            {
                g1=0;
            }
            if ((g1==0) & (g2==0))
            {
                canal="C2C0C1";
                checkBox1.Checked=true;
            }
            if ((g1==1) & (g2==0))
            {
                canal="C2C0C1";
            }
            if ((g1==0) & (g2==1))
            {
                canal="C1C0C2";
            }
            if ((g1==1) & (g2==1))
            {
                canal="C1C2";
            }

            cihazoku();
        }

        private void checkBox2_CheckedChanged(object sender,
System.EventArgs e)
        {
            if (checkBox2.Checked)
            {
                g2=1;
            }
            else
            {
                g2=0;
            }
            if ((g1==0) & (g2==0))
            {
                canal="C2C0C1";
                checkBox1.Checked=true;
            }
            if ((g1==1) & (g2==0))
            {
                canal="C2C0C1";
            }
            if ((g1==0) & (g2==1))
            {
                canal="C1C0C2";
            }
        }
    }
}
```

```

        if ((g1==1) & (g2==1))
        {
            canal="C1C2";
        }

        cihazoku();

    }

    private void label4_Click(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        label4.Text=formsay.ToString();
    }
    double frl, frh, frstep;
    void kontrol()
    {
        if
(textBox5.Text!=""&&textBox6.Text!=""&&textBox2.Text!="")
        {
            try
            {
                frl=double.Parse(textBox5.Text);
                frh=double.Parse(textBox6.Text);
                frstep=double.Parse(textBox2.Text);
                label5.Text=frl.ToString()+"
"+frh.ToString()+" "+frstep.ToString();
            }
            catch
            {
                frl=0;
                frh=0;
                frstep=0;
            }
        }
        if (frl!=0&&frh!=0&&frstep!=0 )
        {button1.Enabled=true; }

        else button1.Enabled=false;

    }

    private void textBox5_TextChanged(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        kontrol();
    }

    private void textBox6_TextChanged(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        kontrol();
    }

    private void textBox2_TextChanged(object sender,
System.EventArgs e)
    {
        kontrol();
    }

```

```

        private void button1_Click(object sender,
System.EventArgs e)
        {
            string yazfr,pasthru;
            string [] verioto = new string[1000];//okunan
verierin sakli oldugu degisken
            string mesaj;
            int st2,st3,i;
            d=new byte[2000];//cihazdan okunan degisken
            string all,dinle;
            button1.Enabled=false;
            pasthru="PT19";

            i=1;
            while (frl<frh)
            {
                frl=frl+frstep;
                cec488.send(16, pasthru,out st2);
                //sinyal ureteci sec
                yazfr="FA; "+frl.ToString()+" GZ";
                cec488.send(17,yazfr,out st3);
                //dusuk frkans1 set et
                if (st3!=0) reset();
                yazfr="FB; "+frl.ToString()+" GZ";
                cec488.send(17,yazfr,out st3);
                //yuksekk frekans1 set et
                if (st3!=0) reset();
                //cihaz oku
                okundu=false;
                all="MLA TALK 16";
                dinle="REN MTA LISTEN 16 DATA 'FD0
"+canal+"OD' END";
                cec488.initialize(21,0);
                cec488.transmit(dinle,out status);
                mesaj="";
                if(status!=0)
                {
                    mesaj="transmit dinle de problem var
"+status.ToString();
                    mesajgoster(mesaj);
                    okundu=false;
                }
                cec488.transmit(all,out status);
                if(status!=0)
                {
                    mesaj="transmit all de problem var
"+status.ToString();
                    mesajgoster(mesaj);
                    okundu=false;
                }
                cec488.rarray(out d,4500,out l,out
status);
                if(status!=32)
                {
                    mesaj="rarray dizi okumada problem
var "+status.ToString();
                    mesajgoster(mesaj);
                    okundu=false;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        okundu=true;
    }
    if (okundu)
    {
        aktarl();
        verioto[i]=dc.ToString();
        i=i+1;
    }
}

i=i-1;
veri=verioto;
fr1=frl;
fr2=frh;
noksay=i;
dosyayayaz();

}

void aktarl()
{
    int i;
    string s,o;
    System.Text.ASCIIEncoding cevir=new
System.Text.ASCIIEncoding();
    string cev2;
    s=cevir.GetString(d);
    okundu=true;
    cev2="";k=0;
    o="";
    for (i=0;i<s.Length-1;i++)
    {
        if (s[i].ToString() ==",")
        {
            cev2=cev2+s[i];
            cev2=cev2+"\r\n";
            listBox1.Items.Add(o);
            if (o!="")
            {
                veri[k]=o;

                k=k+1;
            }
            o="";
        }
        else
        {
            if (s[i].ToString() !=" ")
            {
                cev2=cev2+s[i];
                o=o+s[i];
            }
        }
    }
}

```



```
        }  
    }  
    if (okundu)  
    {  
        noksay=k;  
        dcbul();  
    }  
}  
}
```

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Atilla Büyükgüçlü 1961 Kilis doğumludur. ilk ve orta öğrenimini Kilis' de tamamlayarak 1978 yılında Kilis Öğretmen Lisesinden mezun oldu. 1979 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırdı. 1985 yılının ocak ayında Fizik Mühendisi unvanını aldı. Aynı yıl aynı bölümün Elektronik Araştırma Laboratuvarında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1987 yılında Yüksek Lisansını tamamlayarak Yüksek Mühendis unvanını aldı. 1989 yılının aralık ayında Et ve Balık Ürünleri A.S Genel Müdürlüğü Bilgi İşlem Şube Müdürlüğünde önce mühendis unvanıyla, sonra da Bakım Onarım Şefi unvanıyla çalıştı. Halen Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 3 çocuğu vardır.