

# BOŞLUK UZAY YÖNTEMİNİ KULLANARAK MALZEMELERİN DİELEKTRİK SABİTLERİNİ BELİRLEMELİK İÇİN ÖNERİLEN OTOMATİK ÖLÇME SİSTEMİ

M. F. Akay<sup>1</sup>

S. N. Kharkovsky<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Adana

<sup>1</sup>e-posta: fatih@eemb.cu.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: kharkovsky@mail.cu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: mikrodalga ölçümleri, yansımaya ve kırılma katsayıları, dielektrik sabiti, boşluk uzay yöntemi*

## ABSTRACT

An automated PC based free-space system for determining the permittivity of high-lossy materials is proposed. The main feature of the system is to measure only the amplitudes of transmission and reflection coefficients using free-space method and determine the permittivity dynamically using a computer. In order to measure these two amplitudes, a simple and inexpensive microwave measurement system is established. The parallel port is used as an interface between the computer and the designed control circuit. A software program is developed for the treatment of the measured signal amplitudes and determining the permittivity of high-lossy materials.

## 1. GİRİŞ

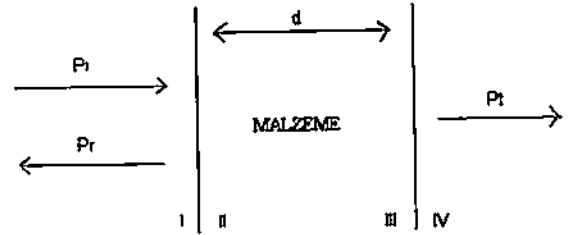
Malzemelerin dielektrik özelliklerine geçmişte duyulan ilgi, onların iletken ve diğer elektriksel aletlerin yalıtımı için kullanılmasıyla sınırlıydı. Geçen yüzyıl boyunca, elektronik uygulamalarda kullanılmak üzere bir çok yeni dielektrik malzeme ortaya çıktı. Yüksek frekansların pratikte kullanılmaya başlanmasıyla, radyo frekanslarında ve elektromanyetik spektrumun mikrodalga ve milimetrik dalga bölgelerinde kullanılmaya elverişli yeni malzemeler geliştirildi [1]. Bu sebeplerden dolayı, malzemelerin özelliklerini belirlemek bilimsel açıdan daha da bir önem kazandı.

Bir çok farklı uygulamalarda, bu özellikleri belirleyebilmek için değişik yöntemler geliştirilmiştir [2-5]. Ancak bu yöntemlerin bir çoğu basitlikten uzaktır ve gerçekleştirilmeleri için özel ve pahalı aletlere ihtiyaç duyarlar. Ayrıca, yine bu yöntemler prensip olarak dalganın fazını belirlemeye dayalıdır ve fazı doğru olarak ölçülebilmek için birden fazla ölçüm yapılması gerekmektedir. Son zamanlarda yapılan bir çalışma [5], yüksek kayıplı malzemelerin dielektrik sabitlerinin, yansımaya ve kırılma katsayılarının sadece büyüklüklerinin bilinmesiyle belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın

amacı, boşluk uzay yöntemini kullanarak yansıyan ve kırılan dalga büyüklüklerini belirleyen mikrodalga ölçme sistemini geliştirmek ve ölçülen değerleri otomatik olarak işleyen bilgisayar programını tasarlamaktır. Eğer yansımaya ve kırılma katsayılarının büyüklükleri doğru olarak belirlenebilirse, malzemeye temas etmeden ve anlık olarak dielektrik sabiti ölçümü gerçekleştirilebilecektir.

## 2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Boşluk uzay yöntemini kullanarak dielektrik sabitini belirlemeye yarayacak tipik bir durum Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Boşluk uzay yöntemini kullanarak dielektrik sabitini belirleyecek tipik bir durum

Verici antenden yayılan dalga hava ve malzeme ortamlarından geçerek alıcı antene ulaşır. Gelen dalga I no'lu hava-malzeme yüzeyinden yansıyacak ve malzemenin her iki yüzeyinden çoklu yansımalar meydana gelecektir. I, II ve III sınırlarındaki yansımaya katsayıları sırasıyla  $r_{12}$ ,  $r_{21}$ ,  $r_{23}$ ; kırılma katsayıları ise  $t_{12}$ ,  $t_{21}$  ve  $t_{23}$  olarak gösterilmiştir. Sinyal-akış yöntemini kullanarak, toplam yansımaya katsayısı

$$r = r_{12} + t_{12}r_{23}t_{21}e^{-j2\theta} + t_{12}r_{21}r_{23}^2t_{21}e^{-j4\theta} + \dots \quad (1)$$

olarak yazılabilir.

(1) eşitliğinde

$$\theta = \beta_s d, \quad \beta_s = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_s}, \quad \epsilon_s = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2)$$

olarak gösterilmiştir. Yukarıdaki ifadelerde  $\lambda_0$ , d ve  $\epsilon$  sırasıyla boşluğun dalgaboyu, malzemenin kalınlığı ve malzemenin dielektrik sabitidir.

(1) eşitliği daha uygun bir formda

$$r = r_{12} + r_{23}t_{12}t_{21}e^{-j2\theta} (1 + r_{21}r_{23}e^{-j2\theta}) \quad (3)$$

olarak yazılabilir.

Parantez içerisindeki ifade bir geometrik seridir ve sadeleştirme yapıldığı zaman

$$r = r_{12} + \frac{r_{23}t_{12}t_{21}e^{-j2\theta}}{1 - r_{21}r_{23}e^{-j2\theta}} \quad (4)$$

halini alır.

Aşağıdaki bağlantıları gözönünde bulundurursak,

$$r_{21} = -r_{12}, r_{23} = -r_{12} \quad (5)$$

$$t_{12} = 1 + r_{12} \quad (6)$$

$$t_{21} = 1 + r_{21} = 1 - r_{12} \quad (7)$$

(4) eşitliği

$$r = \frac{r_{12}(1 - e^{-j2\theta})}{1 - r_{12}^2 e^{-j2\theta}} \quad (8)$$

olarak yazılır.

Benzer yöntemle t kırılma katsayısı

$$t = \frac{(1 - r_{12}^2)e^{-j\theta}}{1 + r_{12}^2 e^{-j2\theta}} \quad (9)$$

olarak hesaplanır.

Yüksek kayıplı malzemeler için r ve t ifadeleri daha basit biçimde yazılabilir. Malzemenin yüksek kayıplı olduğu gözönünde tutulursa, malzeme yüzeyinde oluşacak çoklu yansımalar ihmal edilebilir. Bu varsayımına göre, serinin sadece ilk terimleri yansıma ve kırılma katsayılarını ifade etmek için yeterli olur. Durum böyle olunca, r ve t

$$r = r_{12} \quad (10)$$

$$t = (1 - r_{12}^2)e^{-j\theta} \quad (11)$$

olarak yazılır.

Deneysel çalışmalarda yansıma ve kırılma katsayılarının büyüklükleri aşağıdaki gibi tanımlanan desibel cinsinden ölçülür.

$$T = -20 \log|t|, \quad R = -20 \log|r| \quad (12)$$

Yukarıdaki ifadelerden görüldüğü gibi R ve T, dielektrik sabitinin bir fonksiyonudur.

$$R = R(\epsilon', \epsilon'')$$

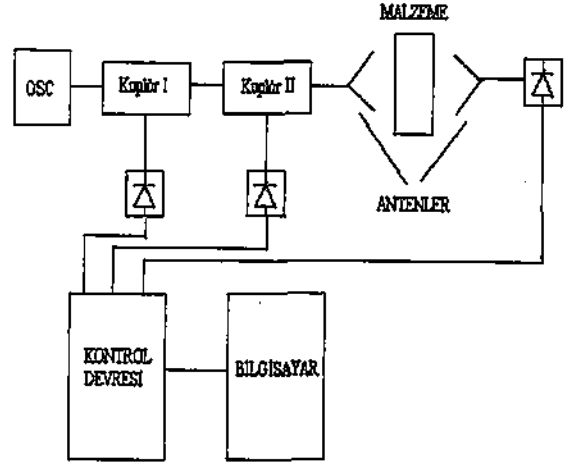
(13)

$$T = T(\epsilon', \epsilon'')$$

Bu denklemler sayısal yöntemler kullanılarak analiz edilebilir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bir önceki bölümdeki analize göre, yüksek kayıplı malzemelerin dielektrik sabitlerini belirlemek için, yansıma ve kırılma katsayılarının büyüklüklerini ölçecek ve bu bilgileri bilgisayar yardımıyla otomatik olarak değerlendirecek bir sisteme ihtiyaç duyulduğu açıktır. Geliştirilen sistem, Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Ölçme sistemi

Genel olarak, sistem 3 bölümde incelenebilir.

- i) Mikrodalga deney düzeneği
- ii) Elektronik kontrol devresi (Bilgisayar arabirim devresi)
- iii) Bilgisayar ve yazılım

#### A. Mikrodalga Deney Düzeneği

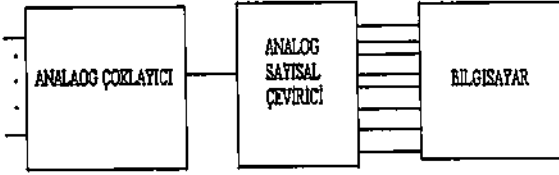
Sistemin mikrodalga bölümü; gelen, yansıyan ve kırılan dalganın büyüklüklerini üç ayrı parametre olarak ölçme amacıyla tasarlanmıştır. Osilatörden yayılan dalga sistemi beslemektedir. Gelen dalga  $P_i$ , yansıyan dalga  $P_r$  ve kırılan dalga  $P_t$ , yansıma ve kırılma katsayılarını belirlemek amacıyla kullanılırlar. Şekil 2.'den görüldüğü üzere, malzeme iki horn anten arasına yerleştirilir. Antenler arasındaki uzaklık, arada malzeme olmadığı zaman alıcı anten tarafından maksimum güç alınması gerektiği hipotezine göre ayarlanmıştır.

Çok frekanslı osilatörden gelen elektromanyetik dalga dikdörtgen dalga kılavuzu aracılığı ile taşınır. Benzer şekilde; alıcı anten tarafında indüklenen dalga da dikdörtgen dalga kılavuzu ile taşınır. Verici tarafında, yansıyan ve gelen dalganın büyüklüğünü ayrı ayrı ölçmek amacıyla iki adet yönlü kuplör bulunmaktadır. Diyod detektörün çalışma prensibinden bilindiği üzere, diyod detektör indüklenen gerilimin değerini kare kuralına göre ölçer. (dalgaın negatif kısmını

pozitive çevirir, ve sonra oluşan dalga formunun maksimum büyüklüğünü DC olarak ölçer.) Yönlü kuple elektromanyetik dalgayı bir yönde ilettiğinden dolayı, verici tarafındaki kupleler birbirlerine ters olarak bağlanmıştır ve böylece birinin gelen dalgayı, diğerinin ise yansıyan dalgayı ölçmesi sağlanmıştır.

### B. Bilgisayar Arabirim Devresi

Geliştirilen bilgisayar arabirim devresi Şekil 3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Elektronik kontrol devresi

Kontrol devresinin temel görevi, mikrodalga deney düzeneği ile bilgisayar arasında iletişimi sağlamaktır. Dielektrik sabitini belirlemek için faz bilgisine ihtiyaç olmadığından dolayı, detektör çıkışları etkindir. Detektör çıkışları sabit değerler olduğu için, kontrol devresi yardımıyla bilgisayara girilmeye son derece müsaittir. Geliştirilen kontrol devresinin üç temel özelliği mevcuttur. Birincisi, devrede kullanılan analog çoklayıcının birden fazla sinyalin bilgisayara girilmesine olanak tanımasıdır. Giriş sinyalleri, saat darbesi yaklaşık 1 saniye olan 3-bitlik sayıcı devresi ile seçilmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta, sistemin hızlı veri işleme mekanizmasına gerek duymadığı ve böylece 1 saniyelik saat darbelerinin sistem için uygun olduğudur.

İkinci temel özellik, bilgisayarın sadece sayısal değerler ile çalışabilmesinden dolayı, çoklayıcı çıkışlarının analog-sayısal çeviriciye verildiğidir. Analog-sayısal çeviricinin gerilim aralığı 0-5 Volt olarak ayarlanmıştır. Yani çeviricinin çıkış gerilimi 0-5000 milivolt arasında ve 0.019 milivolt çözünürlüğünde olacaktır.

Kontrol devresinin üçüncü ve belki de en önemli karakteristiği, bilgisayarla arabirim bağlantısını paralel port üzerinden yapmasıdır. Daha önceki çalışmalar, arabirim bağlantısı için genelde seri iletişim teknikleri veya veri işleme kartları kullanılmışlardır. Paralel port ile arabirim tekniği, devrenin maliyetini ve karmaşıklığını azaltmaktadır.

### C. Bilgisayar ve Yazılım

Ölçülen sinyalleri bilgisayar ortamında değerlendirmek amacıyla esnek ve modüler bir program geliştirilmiştir. Programı kullanarak gelen, yansıyan ve kırılan dalgaların büyüklükleri bilgisayar ekranında gözlemlenebilir. Program ayrıca, çok katmanlı

yapılar için yansımaya ve kırılma katsayılarının grafiklerini gerçek zamanlı olarak çizmektedir.

Programla yapılan bir çok deneme, bilgisayar ekranında görülen değerlerle osiloskopta ölçülen değerlerin yaklaşık aynı olduğunu göstermiştir.

## 4. SONUÇLAR

Yüksek kayıplı malzemelerin dielektrik sabitlerini belirlemek için yansımaya ve kırılma katsayılarının sadece büyüklüklerinin bilinmesinin yeterli olduğuna dair teorik formüller incelenmiştir. Bu teorik formüller gözönünde tutularak, tamamıyla otomatik, bilgisayar tabanlı dalga büyüklüğü ölçme sistemi geliştirilmiştir. Tasarlanan elektronik kontrol devresi yardımıyla, ölçülen değerler, bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Geliştirilen bilgisayar programı aracılığıyla yansımaya ve kırılma katsayıları hesaplanmıştır. X bandında (8-12GHz) çalışmak üzere önerilen sistemin tarım ürünleri ve çimento tabanlı yapılar gibi yüksek kayıplı malzemelerin dielektrik sabitlerini belirlemede kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 5. REFERANSLAR

- [1] S. Liao, *Microwave Devices and Circuits*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1985
- [2] C.C. Courtney and W. Motil, "One-port time-domain measurement of the approximate permittivity and permeability of materials", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 5, pp. 551-555, 1999
- [3] G. Kent, "Nondestructive permittivity measurement of substrates", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 45, no. 1, pp. 102-106, 1996
- [4] D.V. Blackham and R.D. Pollard, "An improved technique for permittivity measurements using a coaxial probe", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 46, no. 5, pp. 1093-1099, 1997
- [5] Z. Ma and S. Okamura, "Permittivity determination using amplitudes of transmission and reflection coefficients at microwave frequency", *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 5, pp. 546-550, 1999