

# Paralel İletken Levhalar Arasına Yerleştirilmiş Dielektrik Rezonatörün Perturbasyon Çözümlemesi

Yeşim Yüksel      Serkan Günel  
Dokuz Eylül Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Kaynaklar Yerleşkesi, 35160  
Buca, İzmir  
{yesim.yuksel, serkan.gunel}@eee.deu.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada paralel iletken levhalar arasına yerleştirilen dielektrik rezonatörün küçük bir nesne ile perturbasyon analizi nesnenin geometrisi, boyutları ve pozisyonu göz önüne alınarak incelenmiştir. Önerilen yöntem küçük parçacıkların ve sıvı damlalarının elektriksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

## 1. Giriş

Malzemelerin mikrodalga frekanslarındaki elektriksel özelliklerinin kavite perturbasyonu ile ölçümü 1950'lerden beri sıklıkla uygulanan bir tekniktir [1]. Bu tekniğin özü, elektriksel özellikleri (dielektrik ve manyetik geçirgenlikler, öz direnç v.b.) ölçülecek olan malzemenin, rezonanstaki bir kavite içine yerleştirilerek, rezonans frekansındaki kaymanın ölçülmesidir. Rezonans frekansındaki kayma malzemenin elektriksel özellikleri ve kavitenin geometrisine bağlıdır [2].

Dielektrik rezonatörler yüksek dielektrik geçirgenliğe ve kalite faktörüne sahip, sıcaklık kararlılığı yüksek seramik malzemelerdir [3]. Elektriksel özellikleri geniş bir frekans bandında ve sıcaklık aralığında kararlıdır. Bu özellikleri neden ile, frekans kararlılığı yüksek rezonans yapılarının ve osilatörlerin tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu malzemeler kullanılarak elde edilen rezonans sistemleri aynı frekanslarda çalışan kavite tabanlı rezonans sistemlerine göre daha küçük boyutlu olduğundan, düzlemsel tümeleşik devreler ile kolaylıkla birleştirilebilirler.

Dielektrik rezonatörlerin de elektriksel özelliklerinin ölçümü için kavite perturbasyonu metodunun kullanılması daha önce önerilmiştir [1]. Kapalı kavitelere farklı olarak ölçümleri kolaylaştırmak için yarı açık düzenekler olan, paralel iki iletken levha arasına yerleştirilmiş silindirik biçimli dielektrik malzemelerden oluşan yapılar kullanılmıştır. Bu yapıda özellikleri ölçülecek malzeme doğrudan rezonans sisteminin bir parçasıdır. Bu yöntemle dielektrik malzemelerin özelliklerinin ölçümü için hassas laboratuvar düzenekleri gerekmektedir. Ayrıca malzeme miktarı ve geometrisi de ölçüm düzeneği tarafından belirlenmektedir.

Paralel iletken levhalar arasına dielektrik rezonatör yerleştirilerek oluşturulan rezonans yapılarının küçük bir örnek kullanılarak perturbasyonu ile, örneğin elektriksel özelliklerinin ölçümü de literatürde yer almaktadır [6]. Bu yapılar için, kavite perturbasyon tekniğindeki analitik yaklaşım kullanılarak, rezonans frekansındaki kayma ile malzemenin elektriksel özellikleri arasındaki bağıntıyı bulmak mümkündür. Bu çalışmada, ilgili formülasyon revize edilerek, örneğin geometrisinin ve söz konusu rezonans sistemi içindeki konumunun ölçülecek rezonans frekansındaki kaymaya etkisi incelenmiştir.

## 2. Perturbasyon Analizi

Kavite perturbasyon tekniğinin temeli, elektriksel özellikleri (dielektrik ve manyetik geçirgenlikler, öz direnç v.b.) ölçülecek olan malzemenin rezonanstaki bir kavite içine yerleştirilerek, önceden belirlenmiş bir modda rezonans frekansındaki kaymanın ölçülmesidir. Boş kavitenin rezonans frekansındaki kayma, içine yerleştirilen malzemenin elektriksel özelliklerine ve geometrisine bağlıdır, Bu kayma aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [1]:

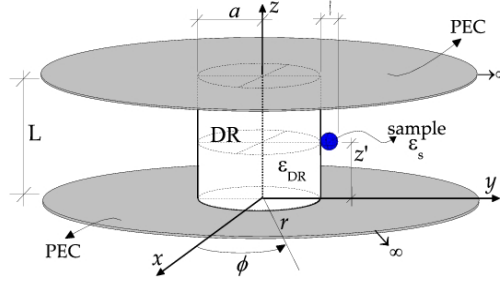
$$\frac{\Delta\omega}{\omega_1} = \frac{\int_V (\mathbf{E}_2 \cdot \epsilon_1 \mathbf{E}_1 - \mathbf{E}_1 \cdot \epsilon_2 \mathbf{E}_2) - (\mathbf{H}_2 \cdot \mu_1 \mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_1 \cdot \mu_2 \mathbf{H}_2) dv}{\int_V (\mathbf{E}_1 \cdot \epsilon_2 \mathbf{E}_2 - \mathbf{H}_2 \cdot \mu_1 \mathbf{H}_1) dv} \quad (1)$$

Paralel plakalar arasına yerleştirilmiş dielektrik rezonatör yapısı için TE<sub>011</sub> modunda elektrik ve manyetik alanlar aşağıdaki gibi yazılabilir [3]

$$\mathbf{E}(r, \phi, z) = \begin{cases} \hat{\phi} A_1 k_1 J_1(k_1 r) \sin(\gamma z), & r \leq a \\ \hat{\phi} A_1 \frac{J_1(ak_1)}{K_1(ak_2)} k_1 K_1(k_2 r) \sin(\gamma z), & r \geq a \end{cases} \quad (2a)$$

$$\mathbf{H}(r, \phi, z) = \frac{j}{\omega\mu} \nabla \times \mathbf{E}(r, \phi, z) \quad (2b)$$

Bu yapı Şekil 1 deki gibi küçük bir nesne ile pertürbe edilecek olursa nesne içindeki alanların pertürbe edilmeden önceki alanlar cinsinden polarizasyon katsayısı ile orantılı olarak yazılması mümkündür ( $\mathbf{E}_{örnek} = \rho \mathbf{E}$ ) [7]. Buna karşılık örnek küçük olduğu için dışarıda kalan alanların değişmeden kaldığı kabulü yapılabilir.



Şekil 1. Küçük bir nesne ile pertürbe edilmiş paralel plaka dielektrik rezonatör

İlgili alanlar eşitlik 1 de yerine konulup, eşitlik yeniden düzenlenirse sistemin rezonans frekansında pertürbasyon nedeniyle oluşacak sapma aşağıdaki şekilde yazılabilir

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \approx \frac{(1-\varepsilon_s)\rho J_1^2(ak_1)K_1^2(ak_2)\sin^2(\gamma z)V_s}{D} \quad (3)$$

$$D = \pi a^2 L \left[ \left( K_0(ak_2)K_2(ak_2) - K_1^2(ak_2) \right) J_1^2(ak_1) + \left( J_1^2(ak_1) - J_0(ak_1)J_2(ak_1) \right) K_1^2(ak_2)\varepsilon_{DR} \right]. \quad (4)$$

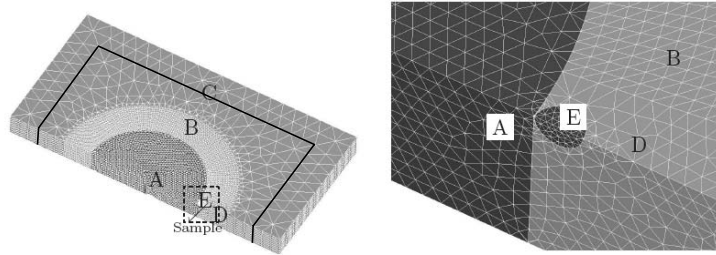
Yukarıdaki eşitliklerde sırasıyla  $\varepsilon_s$  nesnenin dielektrik permittivitesi,  $\varepsilon_{DR}$  rezonatörün dielektrik permittivitesi,  $\rho$  polarizabilite katsayısı,  $V_s$  örneğin hacmidir. Eşitliğin paydasında yer alan ifade sistemde depolanan enerji ile ilgilidir. Elektrik ve manyetik alan yoğunluklarının radyal yönde neredeyse doğrusal olarak değiştiği göz önüne alınırsa, doğruluğu daha yüksek bir analitik ifade, ortalama enerji yoğunluğu cinsinden

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \approx \frac{(1-\varepsilon_s)\rho J_1^2(ak_1) \left[ K_1^2(ak_2) + K_1^2((a+\ell)k_2) \right]}{D} \sin^2(\gamma z) V_s, \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $\ell$  örneğin radyal doğrultudaki en büyük boyutudur.

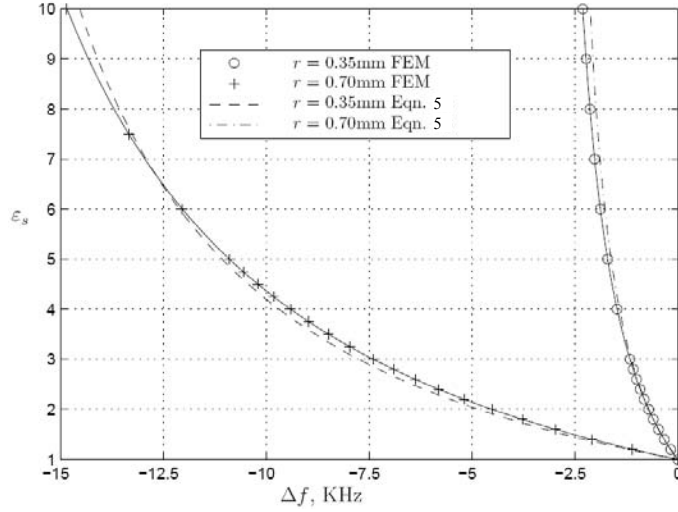
### 3. Sonlu Elemanlar Çözümlemesi

Pertürbe edilmiş paralel plakalı dielektrik rezonatör yapısının sonlu elemanlar çözümlemesi ikinci dereceden 3-D tetrahedral elemanlardan oluşan bir kafes yapısı ile ANSYS 9.0 MultiPhysics paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu paket program aracılığı ile Block-Lanczos modal çözümleme tekniği kullanılarak rezonans frekansları farklı dielektrik sabitleri ve farklı geometrileri olan nesnelere için incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan tipik bir kafes yapısı Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sonlu elemanlar çözümlemesinde kullanılan tipik bir kafes yapısı. A Dielektrik rezonatör, B,D hava, E örnek, C tam uyumlu katman (PML)

Rezonans frekansları analitik formül ve sonlu elemanlar yöntemi ile farklı modeller için hesaplanmıştır. Küçük nesnelere yapılan perturbasyonda göreceli hata %5 in altında bulunmuştur. 0.70mm ve 0.35mm yarıçaplı küresel örnekler kullanılarak elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 3'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3. 0.70mm ve 0.35mm yarıçaplı örnekler için analitik formül ve sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada paralel plakalar arasına yerleştirilmiş dielektrik rezonator yapısının küçük bir örnekle perturbasyonu incelenmiştir. Çözümleme ve benzetim sonuçları yöntemin doğruluğunun örneğin dielektrik sabiti ve geometrisi ile yakından ilgili olduğunu göstermektedir. Dielektrik sabiti 4'den küçük küresel örnekler için göreceli hata %5'den az çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı zamanda polarizabilitenin de önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Ancak polarizabilite katsayısının regular olayan geometriler için belirlenmesinin zor olması yöntemin pratik uygulamasını sınırlandırabilir.

Ayrıca bu çalışmada sıcaklık değişimleri ile ortaya çıkabilecek frekans kaymaları göz önüne alınmamış, sıcaklık sabit kabul edilmiştir. Buna ek olarak dielektrik ve iletken kayıpları da ihmal edilmiştir. Gerçekleştirilecek bir ölçüm düzeneğinin de bu faktörlerin de bir etkisi olacağından, rezonans frekansının daha fazla kayması beklenmelidir. Perturbasyonun yeterince küçük olması halinde önerilen yöntemle oldukça küçük nesnelere ve sıvıların elektriksel özelliklerinin ölçümü yapılabilir.

#### Kaynaklar

- [1]. Waldron R. A., "Perturbation theory of resonant cavities", *Proceedings of IEE*, vol. 107C, s. 272-274, Nisan 1960.
- [2]. Carter R. G., "Accuracy of microwave cavity perturbation measurements", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, s. 918-923, Mayıs 2001.
- [3]. Kajfez D. ve Guillon P., *Dielectric Resonators*. Oxford, U.S.A.: Vector Fields, 1990.
- [4]. Hakkı B.W. ve Coleman P.D., "A dielectric resonator method of measuring inductive capacities in the millimeter range", *IRE Transactions on Microwave theory and techniques*, MTT-8, s. 402-410, Temmuz 1960.
- [5]. Courtney W. E., "Analysis and evaluation of a method of measuring the complex permittivity and permeability of microwave insulators", *IEEE Transactions on Microwave theory and techniques*, MTT-18, s. 476-485, Ağustos 1970.
- [6]. Shu Y. ve Wong T.Y., "Perturbation of dielectric resonator for material measurement", *IEE Electronics Letters*, vol. 31, s. 704-705, Nisan 1995.
- [7]. Van Bladel J., *Electromagnetic Fields*, Hemisphere Publishing Corporation, New York, U.S.A., 63-68, 1985.