

BASİT DİELEKTRİK MALZEME İLE KISMEN DOLDURULMUŞ DİKDÖRTGEN KESİTLİ REZONATÖRLERDE $TM_z - TE_z$ MOD KUBLAJININ NÜMERİK OLARAK ZAMAN UZAYINDA İNCELENMESİ

Serkan AKSOY¹

Erkul BAŞARAN²

^{1,2}Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 41400, Gebze, Kocaeli

²Uluslararası Yüksek Teknoloji Laboratuvarı
Tübitak- ME, 41400, Gebze, Kocaeli

¹e-posta: saksoy@gyte.edu.tr

²e-posta: erkul@gyte.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektromagnetik dalgalar, Rezonatör, Mod kublajı

ÖZET

Bu bildiri de dikdörtgen kesitli mükemmel iletken duvarlardan yapılmış bir rezonatörde (kavite) bir elektrik dipol aracılığı ile uyarılmış TM_{321} modunun, rezonatörün kısmen basit bir dielektrik malzeme ile doldurulması nedeni ile oluşan TE_{321} mod kublajı (geçiş) Zamanda Sonlu Farklar Metodu (ZDSF) kullanılarak zaman uzayında gözlenmiştir. Zaman uzayında elde edilen elektrik ve magnetik alan zaman bağımlılıkları Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanılarak frekans uzayında rezonans olayı görülmüştür. Bu çalışma özellikle rezonatörlerin kullanılması ile malzemelerin dielektrik sabitlerinin ölçülmesi, mikrodalga malzeme karakterizasyonu ve elektromagnetik uyumluluk amaçlı kullanılan tam yansımali odalarda bağışıklık testleri uygulamaları bakımından önemlidir.

1. GİRİŞ

Elektromagnetik teoride mod kublajı (geçişleri) birçok elektromagnetik sistemin çalışma prensibinin iyi anlaşılması bakımından son derece önemlidir. Dalga kılavuzları v.b. yapılarda süreksizlikler nedeni ile oluşan mod geçişleri hakkında çalışmalar mevcut olmakla beraber, rezonatörlerin kısmen basit dielektrik malzeme ile doldurulması nedeni ile oluşan $TM_z - TE_z$ mod kublajı özellikle zaman uzayında çok fazla araştırılmamış bir konudur. Bu durum zaman uzayı ölçümlerinde özellikle erken-zaman cevaplarının araştırılması bakımından da önem taşımaktadır. Bu bakımdan dikdörtgen kesitli ve mükemmel iletken duvarlara sahip ($\sigma \rightarrow \infty$) bir rezonatörün kısmen basit dielektrik malzeme ile doldurulması durumu Zamanda Sonlu Farklar Metodu (ZDSF) kullanılarak zaman uzayında araştırılmıştır. Bu çalışmada özellikle ölçüm sonuçlarını etkilemesi bakımından son derece önemli olan $TM_z - TE_z$ mod kublajı (geçişleri) TM_{321} modu için gözlenmiştir. Bu amaç için rezonatör öncelikle boş rezonatör

frekansında ve rezonatör içerisinde doğru yerde [3] bir elektrik dipol kullanılarak TM_{321} modunda uyarılarak rezonansa getirilmiştir. Rezonans durumu zaman ve frekans uzayında elektrik alanın uygun gözlem noktasında kaydedilen değerleri ve Hızlı Fourier Dönüşümü (HFT) yardımı ile boş bir rezonatör için elektrik alan dağılımının iki boyutta gözlenmesi ile tespit edilmiştir. Bu durumda uygun noktada örneklenen elektrik ve magnetik alanların zaman cevabına bakılarak yalnızca TM_{321} modunun uyarıldığı gözlemlenmiştir. Daha sonra kısmen basit dielektrik bir malzeme ile doldurulan rezonatör için elektrik ve magnetik alanların değişimi zaman uzayında kaydedilerek gözlenmiş ve rezonatör içerisinde sadece TM_{321} modunun değil aynı zamanda TE_{321} modunun da bu modun uyarılması için herhangi bir eşdeğer magnetik dipol kaynağı uygulanmamasına rağmen uyarıldığı gözlenmiştir. Her iki modun da aynı frekansta uyarılabilmesinin nedeni her iki modun rezonans frekansının da boş rezonatör için

$$f_{tm} = f_{te} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{p}{a}\right)^2 + \left(\frac{q}{b}\right)^2 + \left(\frac{s}{d}\right)^2} \quad (1)$$

formülü gereği aynı olmasındandır. Bu formülde $c = 3 \times 10^8$ (m/s) değerindeki boşluğun ışık hızını, (p, q, s) mod numarasını, (a, b, d) ise metre cinsinden rezonatör boyutlarını gösterir. Bu tür modlara dejenere (yozlaşmış) modlar adı verilir. Eğer bir rezonatör sadece TM modundan uyarılmış ise onun elektrik ve magnetik alanları zaman uzayında sonsuz tane modun toplamı olarak

$$\begin{aligned} \vec{E}(\vec{r}, t) &= \sum_n e_n(t) \vec{E}_n(\vec{r}) \\ \vec{H}(\vec{r}, t) &= \sum_n h_n(t) \vec{H}_n(\vec{r}) \end{aligned} \quad (2)$$

biçiminde ifade edilebilir [1]. Burada $n = (p, q, s)$ numaralı mod için $e_n(t)$ ve $h_n(t)$ zamana bağlı katsayıları, $\vec{E}_n(\vec{r})$ ve $\vec{H}_n(\vec{r})$ ise \vec{r} konum vektörü olmak üzere konuma bağlı alan elektrik ve magnetik alan büyüklüklerini gösterir. Rezonatör içinde her ne kadar sadece TM_{321} modu uyarılmış ise de, rezonator içerisinde kısmen yerleştirilmiş basit bir dielektrik malzeme içerisindeki alanlar

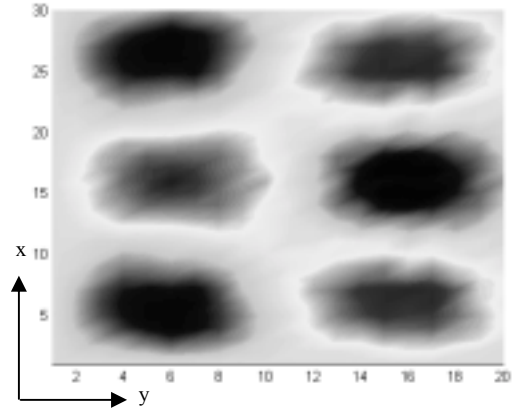
$$\begin{aligned}\vec{E}(\vec{r}, t) &= \sum_n e'_n(t) \vec{E}'_n(\vec{r}) + \sum_n e''_n(t) \vec{E}''_n(\vec{r}) \\ \vec{H}(\vec{r}, t) &= \sum_n h'_n(t) \vec{H}'_n(\vec{r}) + \sum_n h''_n(t) \vec{H}''_n(\vec{r})\end{aligned}\quad (3)$$

biçiminde TM ve TE modlarının toplamı biçiminde gösterilmelidir [1]. Burada tek tırnaklı ifadeler TM, çift tırnaklı ifadeler ise TE modlarını tanımlamaktadır. Bu durum bize TM modundan TE moduna mod kublajı (geçisi) gerekliliğini tanımlar. Bu çalışmada bu tür bir geçiş aynı (tek) frekansta dejenere (yozlaşmış) modlar için ZDSF metodu kullanılarak zaman uzayında TM_{321} modu ile TE_{321} modunun kublajı (geçisi) şeklinde gözlemlenmiştir. Söz konusu mod geçişleri (1) denklemi gereği aynı frekansa fakat farklı mod numaralarına sahip TM ve TE modları içinde incelenebilir.

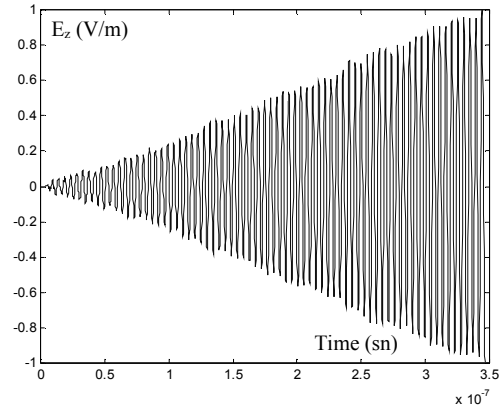
2. ZDSF TEKNİĞİNİN UYGULANMASI

Zamanda sonlu farklar (Finite Difference Time Domain) tekniği yansıma, saçılma v.b. birçok elektromagnetik problemin zaman uzayında çözümünü nümerik olarak sağlayan ve yaygın olarak kullanılan bir metoddur. ZDSF metodu Maxwell denklemlerindeki türevlerin zaman ve uzayda nümerik farklar biçiminde yazılması mantığına dayanır [2]. Bu çalışmada ZDSF metodu basit bir dielektrik malzeme ile doldurulmuş dikdörtgen kesitli bir rezonatördeki mod kublajı olayının üç boyutlu olarak incelenmesi amacı ile kullanılmıştır. Söz konusu rezonatör $(3 \times 2 \times 1)$ metre boyutlarında olup mükemmel iletken duvarlardan yapılmıştır. TM_{321} modunun uyarılabilmesi için $L=1/2$ m uzunluklu bir elektrik dipol $(x_s, y_s) = (1/2 \text{ m}, 1/4 \text{ m})$ koordinatlarına yerleştirilmiş olup saydam (soft) kaynak olarak $f = 2.1252 \times 10^8$ Hz frekansında uygulanmıştır. Rezonatör içine yerleştirilmiş olan basit dielektrik malzeme ise x, y ve z boyunca sırası ile $(1 \text{ m}, 1.8 \text{ m})$, $(0.5 \text{ m}, 1.3 \text{ m})$, $(2 \text{ m}, 3 \text{ m})$ koordinatlarına yerleştirilmiştir. Dielektrik malzemenin bağlı dielektrik sabiti kuvvetli bir mod kublajı olması bakımında ($\epsilon_r=80$) olarak seçilmiştir. Courant kararlılık kriterinin sağlanması, uzaysal adımların λ dalga boyu olmak üzere $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \lambda/10$ alınarak desteklenmiştir [3]. ZDSF algoritmasındaki zaman adımları $\Delta t = 1.7332 \times 10^{-10}$ 'dur. Elektrik ve magnetik alanların zaman bağımlılıklarının kaydedildiği gözlem noktası dielektrik malzemenin dışındaki bölgede

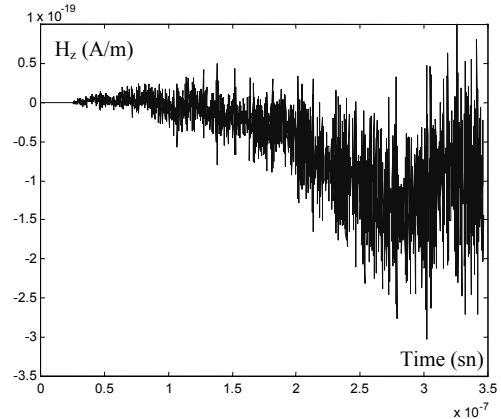
seçilmiş olup, bu deneysel çalışmalar için de çoğunlukla gereklidir. Yukarıda anlatıldığı gibi düzenlenen ZDSF algoritmasının çalıştırılması ile Şekil 1'de elde edilen sonuçlar boş rezonatör için TM_{321} modunda elektrik alanın z bileşiminin (x-y) düzlemi boyunca dağılımı olarak gösterilmiştir. Bu dağılımdan anlaşılacağı gibi TM_{321} modu doğru biçimde uyarılmıştır. Yanlızca TM_{321} modunun uyarıldığı Şekil 2 ve 3 ile verilen elektrik ve magnetik alan bileşenlerinin zaman bağımlılıklarından da anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Boş rezonatör için TM_{321} modunda elektrik alanın z bileşiminin (x-y) düzlemi boyunca dağılımı

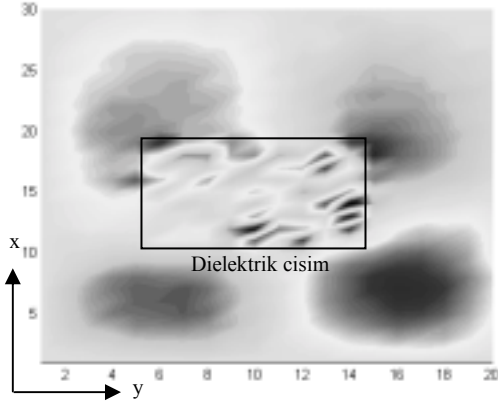


Şekil 2. Boş rezonatör için TM_{321} modunda elektrik alanın z bileşiminin zaman bağımlılığı

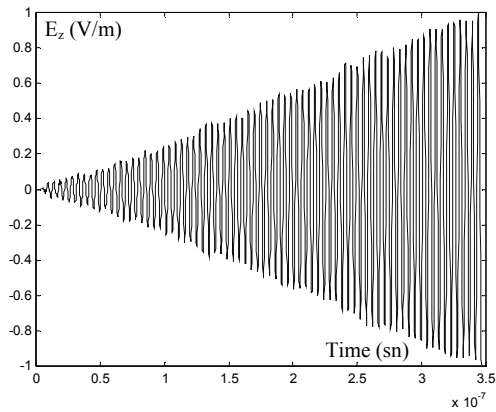


Şekil 3. Boş rezonatör için TM_{321} modunda magnetik alanın z bileşiminin zaman bağımlılığı

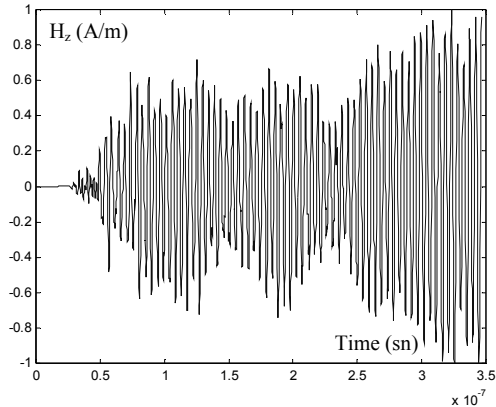
Şekil 3'de rezonatör için TM_{321} modunda magnetik alanın z bileşiminin zaman bağımlılığı gerçekte sıfır olması gerekmele beraber genliğin 10^{-19} (A/m) mertebelerinde olması ZDSF'nin nümerik hatalarındandır. Rezonatöre $\epsilon_r=80$ olan bir dielektrik malzeme kısmen yerleştirilirse, elektrik alanın z bileşiminin (x-y) düzleminde ki dağılımı aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 4. Kısmen dolu rezonatör için TM_{321} modunda elektrik alanın z bileşiminin (x-y) düzlemi boyunca dağılımı ve malzeme nedeni ile bozulması

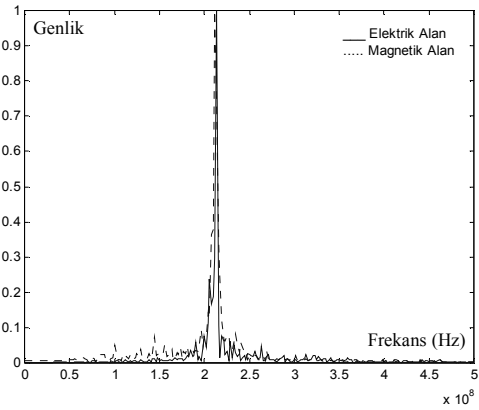


Şekil 5. Kısmen dolu ($\epsilon_r=80$) rezonatör için TM_{321} modunda elektrik alanın z bileşiminin zaman bağımlılığı



Şekil 6. Kısmen dolu ($\epsilon_r=80$) rezonatör için TM_{321} modunda magnetik alanın z bileşiminin zaman bağımlılığı

Şekil 5 ve 6'dan anlaşılacağı üzere TE_{321} modunda TM_{321} ile birlikte uyarılmıştır. Şekil 7.'de elektrik ve magnetik alanların zaman uzayı sonuçlarından HFD ile edilmiş frekans uzayı cevapları verilmiştir.



Şekil 7. Elektrik ve magnetik alanların frekans uzayındaki rezonans durumları

3. SONUÇ

Bu çalışmada kısmen basit bir dielektrik malzeme ile doldurulmuş olan dikdörtgen kesitli ve mükemmel iletken duvarlara sahip bir rezonatörde uyarılan TM_{321} modunun sözkonusu dielektrik malzeme nedeni ile oluşturduğu TE_{321} mod kublajı (geçiş) gözlenmiştir. Bu tür bir kublajın z yönünde bir uyarım için dominant (baskın) mod olan TM_{110} - TE_{101} (veya TE_{011}) modları arasında gözlenmesi mümkün değildir. Çünkü en düşük frekansa sahip olarak yalnızca TM_{110} (TM_{101} veya TM_{011} modları mümkün değildir) modu oluşturulabileceğinden TM_{110} modu için ise z yönünde değişim olmadığından TE_{101} mod kublajı mümkün değildir. Bu durum genel olarak tüm TM_{mn0} modlarının oluşturacağı kublaj için geçerlidir. Elde edilen sonuçlar rezonatörlerin dielektrik sabiti ölçümü amaçlı olarak ve elektromagnetik uyumlulukta kullanılan tam yansımali oda kullanılarak yapılan bağımsızlık testleri v.b. çalışmalar için kısmen dielektrik malzemelerin kullanılması durumunda özellikle yüksek dereceden modların uyarılma durumları açısından elektromagnetik dalga karakterinin anlaşılması için son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Aksoy, Oleg A. Tretyakov, The Evolution Equations in Study of the Cavity Oscillations Excited by a Digital Signal, IEEE TRANS. ON ANTENNAS AND PROPAGATION, Vol: 52, No:1, pp: 263-270, 2004.
- [2] L. Sevgi, Complex Electromagnetic Problems and Numerical Simulation Approaches, IEEE PRESS, 2003.
- [3] E. Başaran, S. Aksoy, A. Arif Ergin, The Investigation Of Source Location Effect for Resonant Modes Of A Cubic Cavity, 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICAL&COMPUTATIONAL APPLICATIONS, pp: 41-47, Konya, TURKEY, 4-6 September 2002.