

Baskı Devrelerde Dönüş Yolu Üzerindeki Süreksizliklerden Kaynaklanan Elektromanyetik Girişimin Nümerik Analizi ve Deneysel Doğrulanması

Numerical Analysis and Experimental Verification of Electromagnetic Interference Due to Return Path Discontinuity in PCBs

Seyit Ahmet Sis^{1,2} , Ekrem Demirel¹ , Mücahid Taha Mersin¹ , Fatih Üstüner¹ 

¹TÜBİTAK-BİLGEM, Gebze-Kocaeli, Türkiye

²Elektrik Elektronik Müh., Mühendislik Fakültesi Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye
seyit.sis@balikesir.edu.tr

Öz

Toprak düzlemdaki bir yarığı dik kesen bir mikroşerit yolun iyi bir elektromanyetik ışıyıcı olduğu bilinen bir durumdur. Buna karşılık, toprak düzlemdaki yarıklar, baskı devre kartları (PCB) üzerindeki farklı devreler arasındaki gürültüyü izole etmek için kullanılan elzem yapılardır. Bu makalede, toprak düzlemdaki bir yarığı dik kesen mikroşerit iletim hattı elektromanyetik ışıma açısından tam-dalga simülasyonlarda incelenmiş ve dikey kapasitörünün ışıma üzerine etkisi analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, yankısız oda içerisinde yapılan ölçüm sonuçlarıyla teyit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik girişim, PCB'lerde EMC, dönüş yolu süreksizliği

Abstract

A trace, crossing over a slot on the ground plane, is a well-known radiation source of electromagnetic interference. On the other hand, the slots or splits are often unavoidable for isolating the noise of different circuits on the printed circuit board (PCB). In this paper, the emission from a slot on the ground plane and crossing over a microstrip line is investigated through a full-wave simulator and the effect of stitching capacitor is analyzed. Simulations are verified with measurements inside an anechoic chamber.

Keywords: Electromagnetic interference, EMC in PCBs, return path discontinuity

1. Giriş

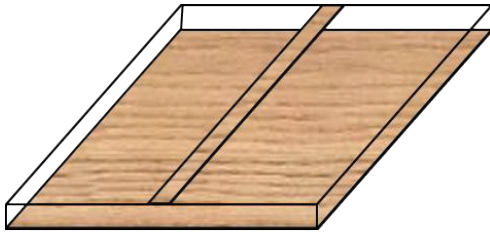
Karışık sinyal (mixed signal) devrelerinde güç ve toprak plakalarındaki yarıklar hassas analog devrelerini gürültülü sayısal devrelerden izole etmekte sıklıkla kullanılmaktadır [1]. Toprak ve güç düzlemlerinde kullanılan ayrıklar ise birden fazla güç kaynağından beslenen PCB kartlarda, farklı doğru

akım (DC) seviyelerden beslenen devreleri izole etmek için, oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır [1].

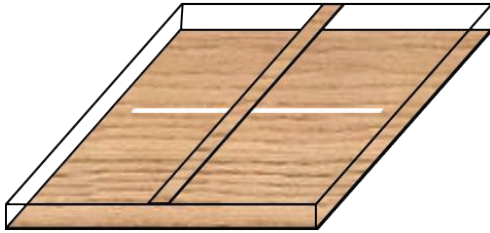
Toprak hat üzerinde oluşturulan dönüş yolu süreksizlikleri kimi zaman mikrodalga filtre tasarımlarında kimi zaman da anten ışıma karakteristiklerini manipüle etmek amaçlı anten tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Toprak düzlemleri üzerine çeşitli geometrilerde yerleştirilen bu yarıklar literatürde bozuk toprak yapısı (defected ground structure, DGS) olarak isimlendirilmektedir [2]. Periyodik olarak arka arkaya yerleştirilen DGS yapılarıyla alçak geçiren, band geçiren ve band durduran mikrodalga filtreler tasarlanmıştır [2-8]. Yine antenlerde çapraz polarizasyonu ve harmoniklerde oluşan ışımaları bastırmak için, ya da anten dizilerinde yakın anten elemanları arasındaki kuplajlanmayı bastırmak için DGS yapıları sıklıkla kullanılmıştır [9-11].

Yukarıda bahsedilen yarıklar elektronik devrelerdeki en önemli elektromanyetik girişim (EMI) kaynaklarından biridir; çünkü yarıklar tarafından oluşturulan dönüş yolu üzerindeki süreksizlikler dönüş akımının yolunu uzatarak bir tür ışıyıcı gibi davranmaktadır [12]. Yarığın karşılıklı iki kenarına lehimlenen, ve dikey kapasitörü diye isimlendirilen kapasitör sayesinde dönüş akım yolu üzerindeki empedans azaltılarak ışıma seviyesi sınırlandırılabilir. Nitekim literatürde toprak düzlemdaki yarıkların elektromanyetik girişim açısından analizi ve dikey kapasitörlerinin etkileri üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [12-17]. Ko ve diğerleri tarafından, yarıktan ışıma problemi hesaplamalı elektromanyetik araçlarıyla basite indirgenmiş şekilde incelenmiş ve ışıma seviyelerini dikey kapasitörleri varken ve yokken ki durumlar için ölçülmüştür [13]. Toprak düzlemda yarıklar bulunan PCB durumu üzerine yoğunlaşan dört farklı tipik elektromanyetik uyumluluk (EMC) problemi Archambeault ve diğerleri tarafından detaylı şekilde tartışılmıştır [14]. Yine toprak düzlem üzerinde yarıklı ve yankısız durumlar için baskı devrelerin detaylı simülasyon sonuçları Antonini ve arkadaşları tarafından raporlanmıştır

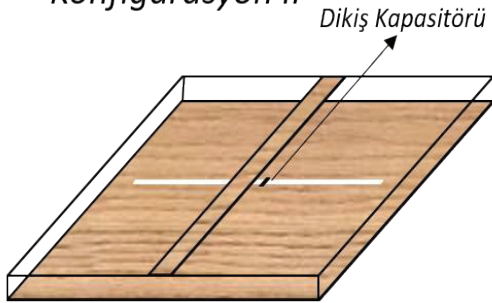
[15]. Aynı çalışmada simülasyonlara iki farklı değerde dikiş kapasitörleri de dahil edilerek tüm durumlar için ışına sonuçları karşılaştırmalı şekilde sunulmuştur. Toprak düzlemdeki geri dönüş süresizlikleri, yukarıda bahsi geçen EMI hususları dışında, aynı zamanda sinyal bütünlüğüne (signal integrity) de olumsuz etkiler gösterebilmektedir. Literatürde, geri dönüş süresizliklerinin sinyal bütünlüğü üzerine etkileri çeşitli çalışmalarda irdelenmiştir [16-18].



Konfigürasyon I



Konfigürasyon II



Konfigürasyon III ve IV

Şekil 1: Çalışmada analiz edilen dört farklı konfigürasyonun çizimsel gösterimi.

Bu çalışmada, izolasyon amacıyla toprak düzlemde oluşturulan yarıklara elektromanyetik uyumluluk açısından yaklaşılmıştır. Bu bağlamda, toprak üzerinde yarığı dik kesen bir hattın EMC analizi aşağıda verilen dört farklı konfigürasyon üzerinden hem simülasyon hem de deney ortamında analiz edilmiştir:

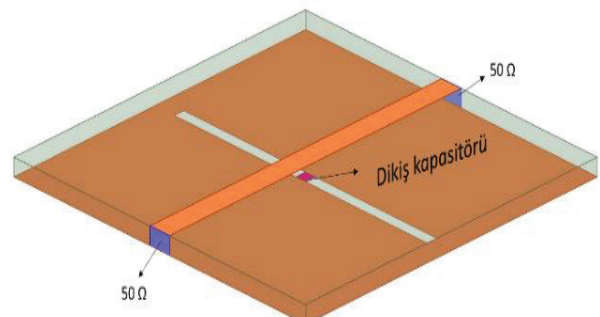
- Konfigürasyon 1: yarıksız toprak düzlem
- Konfigürasyon 2: toprak düzlemde yarığın yarığı dik kesen hat
- Konfigürasyon 3: toprak düzlemde yarığın yarığında 1 nF dikiş kapasitörü ve yarığı dik kesen hat

- Konfigürasyon 4: toprak düzlemde yarığın yarığında 100 nF dikiş kapasitörü ve yarığı dik kesen hat.

Yukarıdaki dört farklı konfigürasyonun açık gösterimi Şekil-1 de verilmektedir. Çalışmada yarıklı ve yarıksız yapılar tam dalga elektromanyetik simülasyonlarda analiz edilmiştir. Ayrıca yarıklı durumda dikiş kapasitörleri eklenerek, bu kapasitörlerin kullanımının ışına seviyesine etkisi incelenmiştir. Akabinde, simülasyon sonuçları yansız oda ortamında deneysel olarak da teyit edilmiş ve benzer şekilde burada da dikiş kapasitörlerinin EMI-EMC açısından olumlu etkileri gözlemlenmiştir.

2. Tam Dalga EM Simülasyon Düzenliği

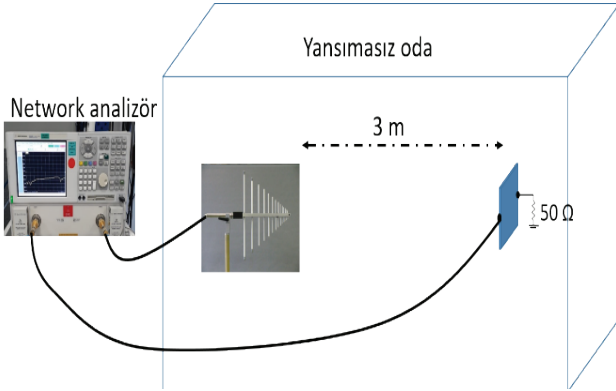
Simülasyonlar moment metodu (MOM) temelli ticari bir elektromanyetik simülasyon olan FEKO ve sonlu elemanlar metodu (FEM) temelli yine ticari bir elektromanyetik simülasyon olan HFSS ile birlikte iki farklı simülasyonda karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Mikroserit hattın bir ucuna 50Ω empedanslı giriş portu tanımlanırken hattın diğer ucu ise 50Ω 'luk yük ile sonlandırılmıştır. Giriş portundan 200 MHz'den 1 GHz'e 25 MHz adımlarla 0 dBm gücünde yüksek frekans sinyali uygulanırken, PCB'nin ön yüzeyinden, yani hattın olduğu yüzeyden, 3 m uzaklıkta oluşan elektrik alan değeri yakın alan varsayımıyla hesaplanmıştır. Mikroserit hattın karakteristik empedansı da hat üzerindeki duran dalgayı minimum düzeyde tutmak için yaklaşık 50Ω seviyelerinde tutulmuştur. FEM tabanlı simülasyonlarda mükemmel uyumlu katman (perfectly matched layer, PML) sınır koşulları kullanılmıştır. Yarığın üzerinde modellenen dikiş kapasitörü ise slotun iki ucu arasına bağlanmış bir yüzey üzerinde RLC sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Mikroserit hat, kalınlığı 1.55 mm olan FR4 malzemeli ve 300x200 mm boyutlu PCB üzerine üretilmiştir. Simülasyonlarda bağıl dielektrik sabiti 4.8 olarak alınmıştır. Mikroserit hattın uzunluğu 200 mm, genişliği ise 2.3 mm dir. Toprak düzlem üzerinde oluşturulan yarığın ise, hattın dik kesmesi için PCB'nin uzun kenarı boyunca konumlanmış olup, boyu ve genişliği sırasıyla 254 mm ve 0.5 mm seçilmiştir. HFSS ve FEKO programlarından elde edilen, toprak düzlem üzerinde yarığın yokken, yarığın oluşturulup ve yarığın üzerine iki farklı değerde dikiş kapasitörü konularak yukarıda bahsi geçen dört farklı konfigürasyonda simülasyonlar yapılmıştır. Aşağıda Şekil 2'de HFSS simülasyon ortamında oluşturulan modelin görüntüsü verilmektedir.



Şekil 2: HFSS simülasyon ortamında oluşturulan modelin görüntüsü.

3. Deneysel Düzenek, Ölçüm ve Simülasyon Sonuçları

Toprak düzleminde yarıklı bulunan ve bulunmayan olmak üzere iki adet mikroşerit hat 1.55 mm kalınlıkta FR4 dielektrige sahip ayrı PCB'ler üzerinde üretilmiştir. Üretilen PCB'lerin, hattın ve yarığın boyutları yukarıdaki bölümde simülasyonları yapılan ve detayları verilen PCB'ler ile aynıdır. Üretilen PCB'lerin ışınma seviyeleri Agilent'in PNA serisi E8362B network analizörü kullanılarak yansısız odada (anechoic chamber) ölçülmüştür. Buradaki ölçüm düzenekinin çizimsel gösterimi ve fotoğrafları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmektedir. Şekil 3'de görüldüğü üzere, network analizörün birinci portu (port 1), Schwarzbeck UHALP 9108A1 marka log-periyodik antenin girişine bağlanmıştır. Anten yatay polarizasyonda tutulurken baskı devrenin yarığı yere dik, mikroşerit hattı ise yere paralel olacak şekilde konumlandırılmıştır (Bkz. Şekil 4 (a) ve (b)). Network analizörün ikinci portu üretilen PCB'de mikroşerit hattın girişine bağlanmıştır. Mikroşerit hattın diğer ucu ise kalibrasyon kitinde kullanılan geniş-bant 50 Ω yük ile sonlandırılmıştır. PCB ile anten arasındaki mesafe 3 m olarak sabitlenmiştir ve network analizörün güç çıkışı 0 dBm olarak ayarlanmıştır. Hem anten hem de mikroşerit hat yerden 1.5 m mesafede konumlandırılmıştır (Şekil 4 (b)). Kablolar ve bağlantılardan dolayı sisteme dahil edilen kayıp ve faz gecikmeleri açık-kısa-yük-doğru (open-short-load-thru) olarak tam iki port kalibrasyon yapılarak normalize edilmişlerdir.

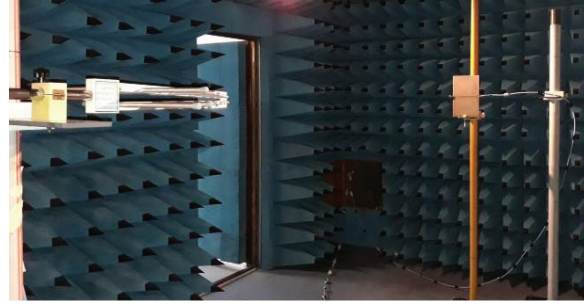


Şekil 3: Deneysel düzeneknin çizimsel gösterimi

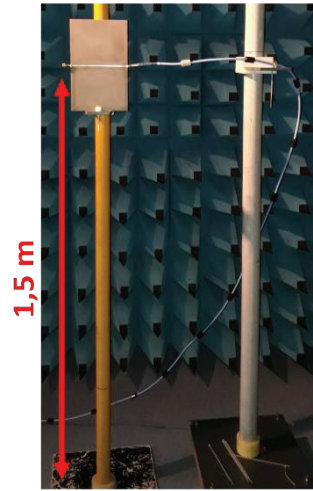
200 MHz ile 1 GHz arası S₂₁ ölçümü gerçekleştirilmiş olup antenden 3 m uzaklıkta antenin olduğu noktadaki elektrik alan şiddeti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$E(dB V/m) = 0 dBm + S_{21} dB + AF + 107 dB - 120 dB \quad (1)$$

Burada dB lineer skaladaki değerlerin desibele dönüşümlerini gösterir birimdir. $E(dB V/m)$ ve AF sırasıyla ölçülen elektrik alanının desibel cinsinden gösterimini ve log periyodik antenin anten faktörünü temsil etmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4: Deneysel düzeneknin (a) genel fotoğrafı, (b) PCB konumuna yaklaştırılmış fotoğrafı.

PCB'den ışınan elektrik alan seviyeleri dört farklı konfigürasyon için de ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları her bir konfigürasyon için HFSS ve FEKO'dan elde edilen simülasyon sonuçlarıyla Şekil-5'de verildiği üzere karşılaştırılmaktadır. Şekil 5 (a) ve (b) yarıksız durumlar karşılaştırıldığında, toprak düzleme yarığı yapısının eklenmesi dönüş akım yolu üzerinde süreksizliğe neden olduğu için elektrik alan şiddetini 15 dB ile 30 dB arasında artırmaktadır. Yarığın üzerinde karşılıklı iki kenarı mikroşerit hattın tam altından birleştirilecek şekilde iki farklı dikiş kapasitörü konularak ölçülen sonuçlar ise Şekil 5 (c) ve (d)'de verilmektedir. Dikş kapasitörlerinin etkisini daha iyi görebilmek adına Şekil 6'da sadece ölçüm sonuçları dört farklı durum (yarıksız, yarıklı ve kapasitörsüz, yarıklı ve 1 nF dikş kapasitörlü ve yarıklı ve 100 nF dikş kapasitörlü) için aynı grafik üzerinde çizdirilmiştir. Şekil 5 (c)-(d) ve Şekil 6'dan görüldüğü üzere, yarığın dikş kapasitörlerinin eklenmesi elektrik alan şiddetini kapasitörsüz duruma (Şekil 5 b)) kıyasla ölçüm yapılan frekans aralığında 10 dB ile 20 dB arasında düşürmektedir. Yinede dikş kapasitörlü durumlarda dahi ışınma seviyesinin yarıklı duruma kıyasla 2 dB ile 15 dB arası daha yüksek seviyede çıktığı gözlemlenmiştir. Buradaki sonuçlar, literatürde toprak düzlem üzerindeki süreksizlikler kaynaklı EMI problemleri üzerine yapılan çalışmalarda sonuçlarla uyumludur [12-17]. Örneğin, [15]'de sunulan çalışmada 100 MHz ve 2 GHz arası yapılan simülasyon sonuçlarına göre, toprak düzlem üzerine konulan yarığın,

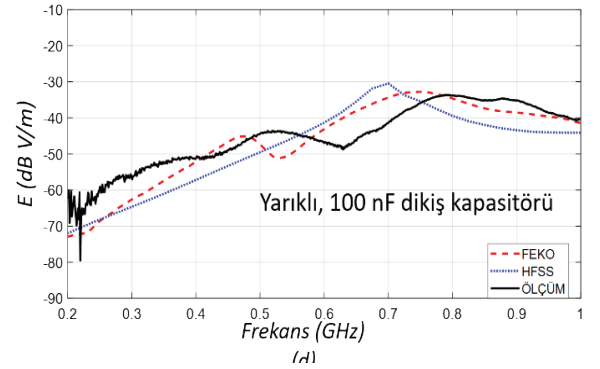
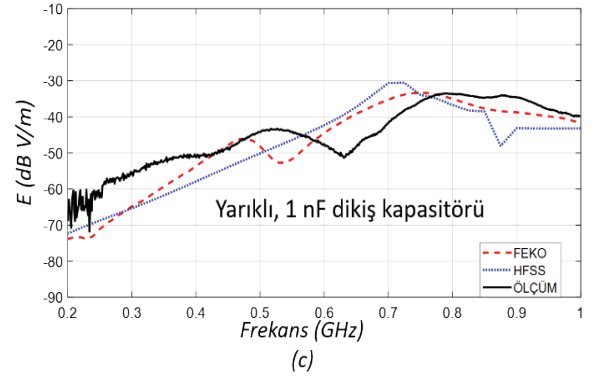
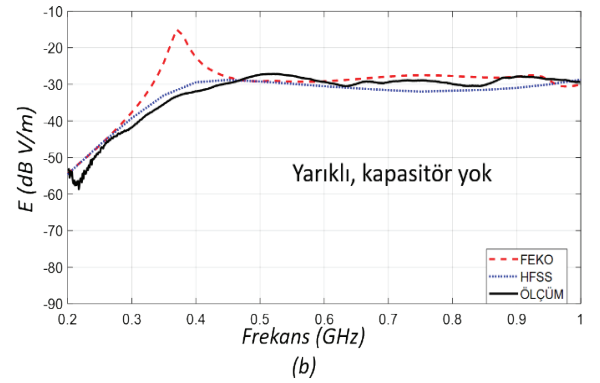
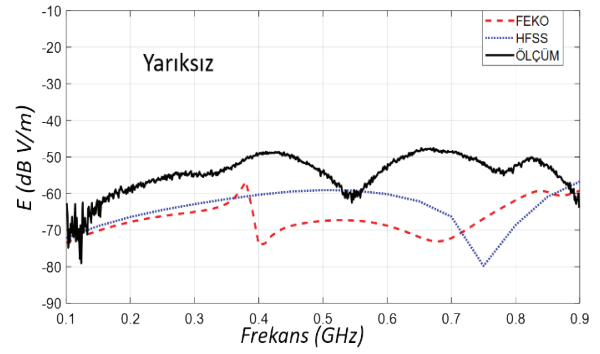
yarıksız bir toprak düzleme sahip PCB'ye göre ışıma seviyesini 5 dB kadar artırdığı gözlenmiştir. Yine yarık üzerine konulan farklı değerlerde dikiş kapasitörleriyle, simülasyon yapılan frekans aralığında ışıma seviyesinin 20 dB kadar düşürdüğü gösterilmiştir [15]. Tablo I'de literatürde yayınlanan konuyla ilgili benzer çalışmalar ve elde edilen sonuçlar bu çalışma ile karşılaştırılmaktadır. İki farklı yöntemle dayalı simülasyon programları kullanılarak toprak düzlem üzerindeki süreksizliklerin neden olduğu etkilerin incelenmesi, diğer ilgili çalışmalarla [12-17] karşılaştırıldığında bu çalışmanın literatüre sunduğu önemli bir katkıdır.

Tablo 1: Literatürde raporlanan benzer çalışmalar ve bu çalışma ile karşılaştırma sonuçları.

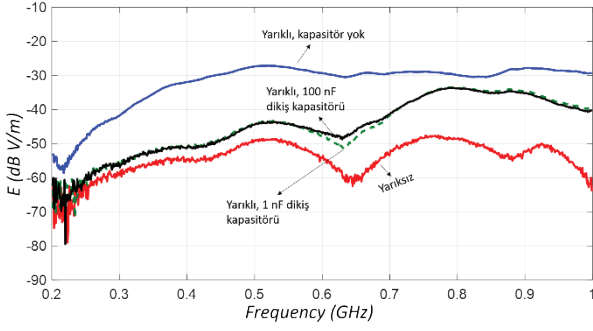
	Frekans Aralığı	Simülasyon / Ölçüm	Dikiş Kapasitör Sayısı	Maksimum Bastırma Miktarı
[12]	200 -2000 (MHz)	Yalnızca Simülasyon	1 ve 2	~ 20 dB
[13]	200 -2000 (MHz)	Simülasyon+ Ölçüm	1	~ 15 dB
[15]	100 -2000 (MHz)	Yalnızca simülasyon	1	~ 20 dB
Bu çalışma	200 -1000 (MHz)	Simülasyon (iki farklı program) + Ölçüm	1	~ 20 dB

Şekil 5 (a), (b), (c) ve (d)'de verilen simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasına bakıldığında, yarıksız durumda ölçüm sonucu her iki simülasyon sonucundan da daha yukarıda çıkmıştır. Bunun nedeni deneysel yapıdaki FR-4 alttaındaki ve kazıma usulüyle yapılan PCB hatlarının simülasyonda kullanılan değerlerden farklı olmasına bağlanabilir. Dikiş kapasitörü ile ilgili simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar birbirleriyle büyük ölçüde tutarlı çıkmıştır. Burada FEKO simülasyon sonucunun deneysel sonuçtaki 630 MHz civarındaki rezonans etkilerini frekans farkı olmakla beraber yakaladığı görülmektedir. FEKO ve HFSS simülasyon sonuçlarındaki fark, her iki simülasyon programının farklı çözüm metodları kullanmasına bağlanabilir. HFSS sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik hesaplamalar yaparken, FEKO moment metodu yaklaşımıyla hesaplamalar yapmaktadır. Literatürde sunulan çeşitli çalışmalarda da, HFSS, FEKO ve CST gibi simülasyon programlarının sonuçlarındaki farklılıklar açıkça görülmektedir [19-21].

Son olarak da, dikiş kapasitörlerinin EMI-EMC açısından olumlu etkilerini nicel olarak görebilmek adına dört farklı konfigürasyon için 0.2 GHz, 0.5 GHz, 0.75 GHz ve 1 GHz frekans noktalarında ölçülen elektrik alan değerleri Tablo II'de verilmektedir. Tablo II'den görüldüğü üzere 0.5 GHz'de yarıksız PCB'de ölçülen elektrik alan -55 dB V/m iken, toprak düzlemde yarık olan PCB de -28 dB V/m seviyelerine kadar yükselmektedir. Yarık üzerine 1 nF ve 100 nF kapasitörler bağlandığında ise aynı frekansda ölçülen elektrik alan değerleri sırasıyla yaklaşık olarak -45 dB V/m ve -44 dB V/m seviyelerine düşmektedir. Diğer frekanslarda da dikiş kapasitörlerinin yarıktan yayılan ışıma seviyesini 10 dB ile 20 dB arasında düşürdüğü görülmektedir (Tablo II).



Şekil 5: Ölçüm ve simülasyon sonuçları: (a) yarıksız durum için (konfigürasyon 1), (b) yarıklı, kapasitörsüz durum için (konfigürasyon 2), (c) yarıklı ve yarık üzerinde 1 nF dikiş kapasitörü kullanılan durum için ve (d) yarıklı ve yarık üzerinde 100 nF dikiş kapasitörü kullanılan durum için.



Şekil 6: Dört farklı durum (yarıksız, yarıklı kapasitörsüz, yarıklı 1 nF dikiş kapasitörlü ve yarıklı 100 nF dikiş kapasitörlü) için ölçüm sonuçları

Tablo II: 0.2 GHz, 0.5 GHz, 0.75 GHz ve 1 GHz frekans dört farklı konfigürasyonda ölçülen elektrik alan değerleri

Frekans	0.2 GHz	0.5 GHz	0.75 GHz	1 GHz
Yarıksız Ölçüm (dBV/m)	~ -62	~ -55	~ -52	~ -60
Yarıklı Ölçüm (dBV/m)	~ -55	~ -28	~ -29	~ -30
Yarıklı Üzeri 1 nF Kapasitör (dBV/m)	~ -65	~ -45	~ -35	~ -39
Yarıklı Üzeri 100 nF Kapasitör (dBV/m)	~ -65	~ -44	~ -37	~ -40

4. Sonuç

Bu çalışmada baskı devrelerde dönüş yolu süreksizliklerinin giderilmesinde kullanılan dikiş kapasitörü uygulamasının nümerik analizi ve deneysel doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Toprak düzlem üzerinde oluşturulan ve dönüş akım yolunda süreksizliğe neden olan yarıklı yapıların elektromanyetik ışımayı artırdığı hem simülasyon hem de ölçüm sonuçlarıyla teyit edilmiştir. Yarıklar ışıma seviyesini yarıksız duruma göre 15 dB ile 30 dB arası artırırken, bu yarıklar üzerine lehimlenen dikiş kapasitörlerinin ise artan bu ışıma seviyesini 10 dB ile 20 dB arası azalttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, dönüş akım yolu üzerindeki süreksizliklerin EMI etkilerini inceleyen birçok çalışmada elde edilen sonuçlarla uyumlu çıkmaktadır. Sonlu elemanlar ve moment metodu temelli iki farklı simülasyon programıyla aynı elektromanyetik yapıyı ayrı ayrı benzetimini yaparak bu iki yöntemin yarıklı yapılar üzerindeki karşılaştırılması ilk olarak bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

Teşekkür

Bu makaledeki çalışma TÜBİTAK/BİLGEM ve ROKETSAN A.Ş. arasındaki 100152.12.11 no'lu sözleşme kapsamında gerçekleştirilmiştir. HFSS simülasyonlarının yürütülmesindeki

desteklerinden dolayı Sn. Burak Demirdöğen'in şahsında ROKETSAN A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] K. Jung, J. Lee, Y. C. Chung ve J. H. Choi, Circuit model analysis for traces that cross a DGS. *Journal of electromagnetic engineering and science*, 12(4), 240-246, 2012.
- [2] M. K. Khandelwal, B. K. Kanaujia ve S. Kumar, Defected ground structure: fundamentals, analysis, and applications in modern wireless trends. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017.
- [3] A. Boutejdar, Design of compact reconfigurable broadband band-stop filter based on a low-pass filter using half circle DGS resonator and multi-layer technique. *Progress in Electromagnetics Research*, 71, 91-100, 2017.
- [4] Y. Han, Z. Liu, C. Zhang, C. Mei, Q. Chen, K. Hu ve S. A. Yuan, flexible microstrip low-pass filter design using asymmetric Pi-shaped DGS. *IEEE Access*, 7, 49999-50006, 2019.
- [5] U. R. Bhat, K. R. Jha ve G. Singh, Wide stopband harmonic suppressed low-pass filter with novel DGS. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 28(5), e21235, 2018.
- [6] A. Boutejdar, Design of 5 GHz-compact reconfigurable DGS-bandpass filter using varactor-diode device and coupling matrix technique. *Microwave and Optical Technology Letters*, 58(2), 304-309, 2016.
- [7] J. Lu, J. Wang ve H. Gu, Design of compact balanced ultra-wideband bandpass filter with half mode dumbbell DGS. *Electronics Letters*, 52(9), 731-732, 2016.
- [8] H. Chen, D. Jiang ve X. Chen, Wideband bandstop filter using hybrid microstrip/CPW-DGS with via-hole connection. *Electronics Letters*, 52(17), 1469-1470, 2016.
- [9] J. Acharjee, K. Mandal, ve S. K. Mandal, Reduction of mutual coupling and cross-polarization of a MIMO/diversity antenna using a string of H-shaped DGS. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 97, 110-119, 2018.
- [10] M. Yunus, P. A. Nugraha, H. Nusantara ve A. Munir, Meandered Inductor Shape of DGS for Coupling Suppression Between Adjacent Elements of Array Antenna. In *2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama)*, pp. 1813-1816, IEEE, 2018.
- [11] S. Biswas, C. K. Ghosh, A. Medda ve D. Mandal, Harmonics suppression of microstrip patch antenna using defected ground structure. In *2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications*, pp. 1-4, IEEE, 2016.
- [12] H. W. Ott, "Electromagnetic Compatibility Engineering" Wiley, pp. 626-630, 2009.
- [13] Y. Ko, K. Ito, J. Kudo ve T. Sudo, "Electromagnetic radiation properties of a printed circuit board with a slot in the ground plane" in *Proc. IEEE Int. Symp. Electromagnetic Compatibility*, 1999.
- [14] B. Archambeault, S. Pratapneni, L. Zhang, D.C. Wittwer ve J. Chen "A proposed set of specific

- standard EMC problems to help engineers evaluate EMC modeling tools” in *IEEE EMC International Symposium. Symposium Record. International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2001.
- [15] G. Antonini, M. Italiani, C. Moca ve A. Orlandi “Effects of Trace Crossing Split in Ground-Reference Plane” in *Uaq EMC Lab Technical Brief*, 2006.
- [16] A. Ciccomancini Scogna ve E. Bogatin. "Analysis of return path discontinuities in multilayer PCBs and their impact on the signal and power integrity." *2010 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, IEEE, 2010.
- [17] Q. Chen ve J. Zhao, Via and return path discontinuity impact on high speed digital signal quality. In *IEEE 9th Topical Meeting on Electrical Performance of Electronic Packaging, Cat. No. 00TH8524*, pp. 215-218, IEEE, October, 2000.
- [18] A. E. Engin, M. Coenen, H. Koehne, G. Sommer ve W. John, Modeling and analysis of the return path discontinuity caused by vias using the 3-conductor model. In *2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2003. EMC'03. (Vol. 2, pp. 1110-1113)*, IEEE, May, 2003.
- [19] I. I. A. Sulayman, S. H. Almalki, M. S. Soliman, ve M. O. Dwairi, A comparative study for designing and modeling patch antenna with different electromagnetic CAD approaches—A case study. In *2016 Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)* (pp. 2803-2806), IEEE, August, 2016.
- [20] B. Chaber, Z. Krawczyk and J. Starzyński, "Log-periodic antenna — The comparison of different simulation models," *16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, Lviv, 2015, pp. 17-20, doi: 10.1109/CPEE.2015.7333327, 2015.
- [21] V. Grout, M. O. Akinsolu, B. Liu, P. I. Lazaridis, K. K. Mistry ve Z. D. Zaharis, Software solutions for antenna design exploration: A comparison of packages, tools, techniques, and algorithms for various design challenges. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 61(3), 48-59, 2019.

Do.ç. Dr. Seyit Ahmet SİS



2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü elektronik mühendisliği bölümünden lisans derecesini aldıktan sonra 2007 yılına kadar TÜBİTAK-UEKAE elektromanyetik uyumluluk (EMC) laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmıştır. 2008 ve 2014 yıllarında, sırasıyla Syracuse Üniversitesi ve Michigan Üniversitesi (Ann Arbor) elektrik mühendisliği bölümlerinden yüksek lisans ve doktora derecelerini almıştır. 2014-2015 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi elektrik elektronik mühendisliği bölümünde Dr. Araştırma Gör., 2015 yılından beri ise Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. 2020 yılında Doçent unvanı almıştır. Çalışma alanları RF & Mikrodalga devre ve sistemleri, kablosuz güç transfer sistemleri ve elektromanyetik uyumluluk üzerinedir

Ekrem DEMİREL



Lisans ve Yüksek Lisans Derecelerini Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümünden 1997 ve 1999 yıllarında aldı. Doktora derecesini, 2011 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümünden aldı. 1997-2003 yılları arasında Bilkent Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2003 yılından itibaren TÜBİTAK'ta, EMI/EMC test ve analiz laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaktadır. Araştırma ilgi alanları arasında EMI, EMC, metamalzemeler, fotonik kristaller, ferromanyetik rezonans, nükleer manyetik rezonans, düşük boyutlu quantum sistemleri yer almaktadır.

Mücahid Taha MERSİN



2016 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden lisans derecesini almıştır. 2019 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haberleşme Anabilim dalından yüksek lisans derecesi almıştır. 2017 yılından itibaren TÜBİTAK-BİLGEM EMI/EMC Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları RF & Mikrodalga sistemleri, Elektromanyetik girişim ve elektromanyetik uyumluluk üzerinedir.

Fatih ÜSTÜNER



Lisans ve yüksek lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde sırasıyla 1991 ve 1994 yıllarında tamamladı. Doktora derecesini Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinden 2002 yılında aldı. 1991-1994 yılları arasında Aselsan A.Ş.'de RF tasarım mühendisi olarak çalıştı. Askerlik görevi sonrası 1996 yılında girdiği TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü'nde elektromanyetik uyumluluk laboratuvarının kuruluşunda yer aldı. TÜBİTAK'ta çalıştığı süre boyunca elektromanyetik ortam etkileri alanında uzmanlaştı ve bu alanda yaptığı çalışmaları 50'den fazla makale ve bildiriyle paylaştı. iNARTE EMC Mühendisi sertifikasına sahip olan Fatih Üstüner, TÜBİTAK BİLGEM'de Program Yönetimi Müdürü olarak görev yapmaktadır.