

Açıklığı Olan Metalik Ekranlama Kutusunun Manyetik Ekranlama Parametreleri Üzerine Bir Çalışma

Sunay GÜLER^{1*}

¹FEV Türkiye, Elektronik ve Elektrifikasyon Direktörlüğü, 34469 Sarıyer, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0003-3851-3357>

*Sorumlu yazar: guler_s@fev.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 27.05.2023

Kabul tarihi: 18.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

Anahtar Kelimeler:

Manyetik ekranlama
Elektromanyetik uyumluluk
Ekranlama kutusu
Ekranlama etkinliği
Açıklık pozisyonu

ÖZ

Elektromanyetik ekranlama, elektronik cihazların elektromanyetik yayınımlarını azaltarak ve harici elektromanyetik girişime (EMI) karşı bağışıklıklarını artırarak elektromanyetik uyumluluk (EMC) performanslarını iyileştirmeyi amaçlar. Ekranlama performansı, ekranlama kutusu yokken ve varken ölçülen alan büyüklüklerinin (elektrik veya manyetik) oranıyla ifade edilen ekranlama etkinliği ile belirlenir. Bu çalışmada, ön panelinde açıklığı olan metalik ekranlama kutusunun manyetik ekranlama etkinliği (MSE) analizi 0-2 GHz aralığında gerçekleştirilmiştir. Açıklığın, ekranlama kutusunun ön panelinin merkezinden üst köşesine taşındığı durumda MSE’de iyileşme elde edilmiştir. Açıklığın, ön panelin üst köşesinde olduğu durumda ekranlama kutusu boyutları, açıklık boyutları ve gözlem noktasındaki değişimlere göre MSE analizleri gerçekleştirilmiştir. Ekranlama kutusu boyutlarındaki artış MSE üzerinde iyileşme sağlarken, açıklık boyutlarındaki artış MSE’yi zayıflatmıştır. Gözlem noktası, açıklıktan uzağa taşındığında ise MSE’nin arttığı elde edilmiştir.

A Study on Magnetic Shielding Parameters of Metallic Shielding Enclosure with Aperture

Research Article

Article History:

Received: 27.05.2023

Accepted: 18.09.2023

Published online: 22.01.2024

Keywords:

Magnetic shielding
Electromagnetic compatibility
Rectangular enclosure
Shielding effectiveness
Aperture position

ABSTRACT

Electromagnetic shielding aims to improve electromagnetic compatibility (EMC) performance of electronic devices by reducing electromagnetic emissions and increasing their immunity against external electromagnetic interference (EMI). Shielding performance is determined by shielding effectiveness, expressed as the ratio of measuring field magnitudes (electric or magnetic) with and without the shielding enclosure. In this study, magnetic shielding effectiveness (MSE) analysis of metallic shielding enclosure with an aperture on the front panel was performed in 0-2 GHz range. Improvement on MSE was obtained when the aperture was moved from the center to the top corner of the front panel of the shielding enclosure. In case of locating the aperture at the top corner of the front panel, MSE analyzes were carried out according to the changes on shielding enclosure dimensions, aperture dimensions and observation point. While the increase on shielding enclosure dimensions improves MSE, the increase on aperture dimensions attenuates MSE. It was obtained that MSE increased when the observation point was moved away from the aperture.

To Cite: Güler S. Açıklığı Olan Metalik Ekranlama Kutusunun Manyetik Ekranlama Parametreleri Üzerine Bir Çalışma. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 353-366.

1. Giriş

Elektromanyetik ekranlama, belirli bir bölgedeki elektromanyetik alanın azaltılması olarak tanımlanabilir. Elektromanyetik ekranlama, elektronik cihazların elektromanyetik yayınımlarını azaltarak ve harici elektromanyetik girişime (EMI) karşı bağımsızlıklarını artırarak elektromanyetik uyumluluk (EMC) performanslarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Robinson ve ark., 1998; Yin ve Du, 2016; Gong ve ark., 2018; Chen ve ark. 2022). Yüksek iletkenlikleri ve yeterli duvar kalınlıklarına sahip olmalarından dolayı metalik ekranlama kutuları, elektromanyetik ekranlama için yaygın olarak kullanılır. Ekranlama kutuları içinde yer alan elektronik devrelerden meydana gelen ısının dağıtımı, havalandırma, güç ve sinyal kablolarının girişi vb. sebeplerden dolayı ekranlama kutuları üzerinde açıklıklara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu açıklıklar, elektromanyetik girişimin ekranlama kutusu içerisine sızmasına izin vererek ekranlama performansını düşürmektedir (Karami ve ark., 2014; Ilgar ve ark. 2015). Ekranlama performansı, IEEE 299 standardına göre ortamda ekranlama kutusu yokken ve varken ölçülen alan büyüklüklerinin (elektrik veya manyetik) oranıyla ifade edilen ekranlama etkinliği ile belirlenir (IEEE, 2006).

Ekranlama etkinliği (SE) analizi ile ilgili analitik, nümerik ve hibrit yöntemler olmak üzere birçok farklı yöntem literatürde bulunmaktadır. Analitik yöntemler, genellikle basit yapılar için hızlı sonuç elde etmede avantaj sağlar; fakat fiziksel denklemleri basitleştirmek için birçok kabul yapılması gerekmektedir. Bu kabuller, probleme ve koşullara göre değişkenlik gösterebileceğinden fiziksel olgu detaylı bir şekilde ele alınmadıkça sağlıklı bir analizin gerçekleştirilmesi zorlaşır. Problemde ele alınan yapı karmaşıklaştıkça, nümerik yöntemlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Nümerik yöntemler, analitik yöntemlere göre daha kesin sonuç elde edilmesini sağlar. Bununla birlikte, analizler sırasında daha fazla veri işlenmesi gerektiğinden daha büyük bellek tüketimi ve uzun hesaplama süreleri gerekmektedir (Güler, 2022). Bir çalışmada, açıklığı olan ekranlama kutusu için iletim hattı modeline dayalı basit bir ekranlama etkinliği analitik formülasyonu geliştirilmiştir (Robinson ve ark., 1998). Birçok çalışmada ise problemin yapısına ve koşullara bağlı olarak geliştirilen analitik yöntemler sunulmuştur (Po'ad ve ark., 2006; Liu ve ark., 2014; Gong ve Chen, 2022). Ekranlama etkinliği analizlerinde yaygın olarak kullanılan nümerik yöntemler ise, zaman domeni sonlu farklar yöntemi (FDTD) (Yan ve ark., 2018; Liu ve Wang, 2020), sonlu elemanlar yöntemi (FEM) (Zhang ve ark., 2002; Ilgar ve ark. 2015), moment yöntemi (MoM) (Ceri ve ark., 1992; Rajamani ve ark., 2006) ve iletim hattı matris yöntemidir (TLM) (Kraft, 1994; McFeetors, 2002). Ayrıca, hibrit yöntemler de literatürde sunulmuştur (Ceri ve ark., 2000; Feng ve Shen, 2005; Chen ve ark., 2018).

Manyetik ekranlama etkinliği (MSE) ile ilgili bir çalışmada, açıklığı olan iletken ekranlama kutuları için MSE'nin elde edilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir (Edrisi ve Khodabakhshian, 2006). Başka bir çalışmada, yakın manyetik alan için düşük frekanslarda MSE'yi hesaplayan bir yöntem sunulmuştur (Frikha ve ark., 2015). Farklı bir çalışmada, çeşitli açıklık şekli ve boyutlarının MSE'nin üzerindeki etkisi incelenmiştir (D'amore ve ark., 2010). Bir ekranlama kutusu üzerindeki yüzey akımının yaklaşık değerleri, ölçülen yakın manyetik alan dağılımlarından elde edilmiştir (Hayashi ve

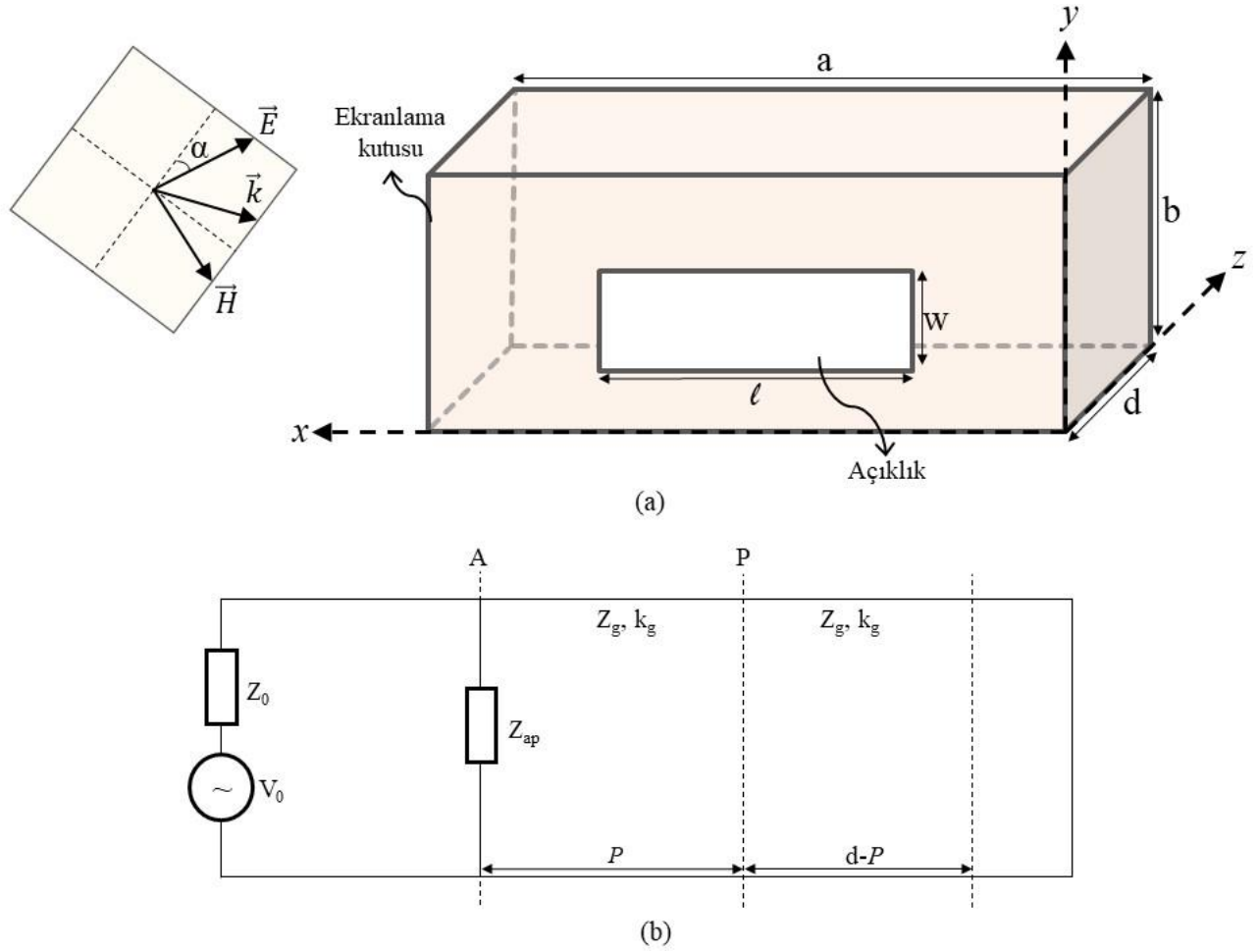
ark., 2000). Başka bir çalışmada, FEM yöntemiyle MSE analizi gerçekleştirilmiştir (Yang ve ark., 2014). Bir çalışmada, MoM yönteminin düşük frekanslardaki MSE tahminlerini iyileştiren bir yöntem sunulmuştur (Nobakhti ve Dehkoda, 2014). Farklı bir çalışmada, ekranlama kutusunun boyutlarının ve açıklık sayılarının MSE üzerindeki etkisi analiz edilmiştir (Basyigit ve ark., 2015). Başka bir çalışmada, harici manyetik alanın yönüne bağlı olarak MSE analizi gerçekleştirilmiştir (Yamada, 2017). Bir çalışmada, iletken plakanın MSE analizi gerçekleştirilmiştir (Park ve ark., 2014). Farklı bir çalışmada, MSE analizi için geliştirilmiş manyetik devre modeli sunulmuştur (Ayhan ve Uçak, 2020). Cep telefonları ve kablosuz sistemlerin sayısının gün geçtikçe artması, literatürde sıklıkla incelenen 0-1 GHz aralığından daha büyük frekans bantlarını inceleme ihtiyacı doğurmuştur. Bu çalışmada, açıklığı olan metalik ekranlama kutusunun MSE analizi 0-2 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen literatür araştırmalarında, ekranlama kutusunun ön panelinin merkezinde konumlandırılmış bir açıklık olması durumundaki MSE analizleri görülmektedir. Literatürdeki bir çalışmada, ekranlama kutusunun ön panelindeki açıklık konumunun elektriksel ekranlama etkinliği üzerine etkisi analiz edilmiştir (Güler, 2023). Açıklığın ön panelin köşelerine doğru yakınlığı olduğu durumlarda elektriksel ekranlama etkinliğindeki değişimler raporlanmıştır. Bu çalışmada, MSE ile ilgili literatür çalışmalarından farklı olarak, ekranlama kutusunun ön panelinde yer alan açıklığın üst köşeye yakın olması durumundaki MSE analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde manyetik ekranlama etkinliği ile ilgili analitik formülasyon ve tasarlanan nümerik model verilmiştir. Üçüncü bölümde MSE'ye etki eden parametrelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak yapılan analizlere ilişkin genel değerlendirme ve sonuçlar dördüncü bölümde verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Manyetik Ekranlama Etkinliği

Açıklığı olan metalik ekranlama kutusu ve eşdeğer devresi Şekil 1'de verilmiştir. Metalik ekranlama kutusu mükemmel iletken (PEC) olarak ele alınmıştır. Harici elektromanyetik girişim ise bir düzlem dalga uyarımı ile tanımlanmıştır. Ekranlama kutusuna ait eşdeğer devre modeli için Robinson ve ark. (1998) tarafından önerilen model alınmıştır. Buna göre P gözlem noktasındaki manyetik ekranlama etkinliği, o noktadaki i_p akım değerinden faydalanılarak elde edilir.



Şekil 1. (a) Açıklığı olan metalik ekranlama kutusu, (b) Eşdeğer devre modeli (Robinson ve ark., 1998)

Harici elektromanyetik kaynağın modellenmesinde ise kaynak gerilimi V_0 , kaynak empedansı $Z_0 = 377 \Omega$ ve yayılma sabiti $k_0 = 2\pi/\lambda$ parametreleri kullanılır. A noktasındaki açıklık empedansı Z_{ap}

$$Z_{ap} = \frac{1}{2} \frac{l}{a} j Z_0 \tan \frac{k_0 l}{2} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır (Robinson ve ark., 1998).

Thevenin teoreminden faydalanarak eşdeğer gerilim V_1 ve kaynak empedansı Z_1 ise sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_1 = V_0 Z_{ap} / (Z_{ap} + Z_0) \quad (2)$$

$$Z_1 = Z_0 Z_{ap} / (Z_{ap} + Z_0) \quad (3)$$

P noktasına kısa devre uygulandığında ise eşdeğer gerilim V_2 , kaynak empedansı Z_2 ve yük empedansı Z_3

$$V_2 = \frac{V_1}{\cos k_g p + j \left(\frac{Z_1}{Z_g}\right) \sin k_g p} \quad (4)$$

$$Z_2 = \frac{Z_1 + j Z_g \tan k_g p}{1 + j \left(\frac{Z_1}{Z_g}\right) \tan k_g p} \quad (5)$$

$$Z_3 = j Z_g \tan k_g (d - p) \quad (6)$$

elde edilir. Burada rezonatör karakteristik empedansı $Z_g = Z_0 / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$ ve yayılma sabiti $k_g = k_0 / \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$ olarak ifade edilir (Robinson ve ark., 1998).

P noktasındaki gerilim ise aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_p = V_2 Z_3 / (Z_2 + Z_3) \quad (7)$$

MSE ise,

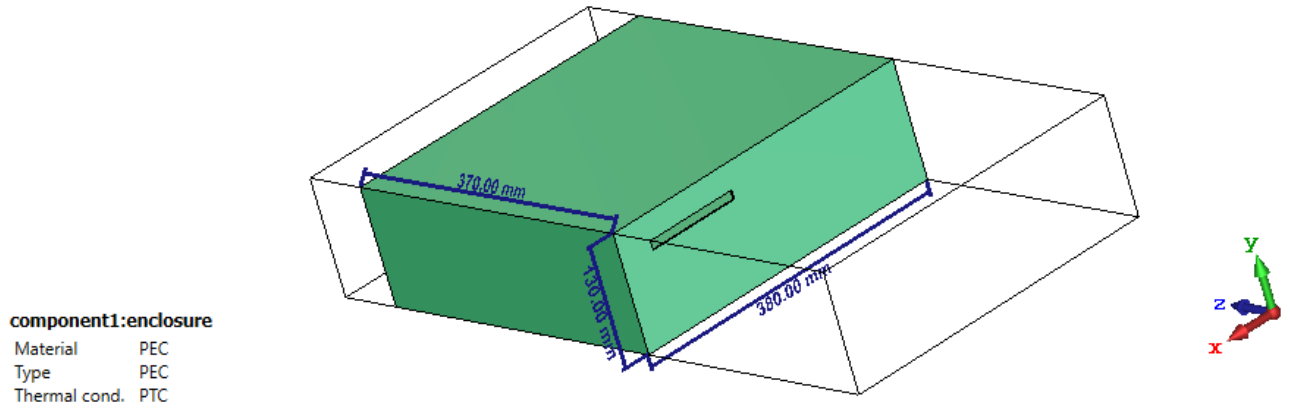
$$\text{MSE} = -20 \log_{10} \left| \frac{i_p}{i'_p} \right| = -20 \log_{10} \left| \frac{2i_p Z_0}{v_0} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{H_a(p)}{H_b(p)} \right| \quad (8)$$

olarak elde edilir. Burada $H_a(p)$ ve $H_b(p)$ sırasıyla P gözlem noktasında ekranlama kutusu yokken ve varken hesaplanan manyetik alan değerleridir.

2.2. Ekranlama Kutusu CST Modeli

CST Studio Suite programında, 5306 adet hücreden (tetrahedron) oluşan bir nümerik model tasarlanmıştır. Ekranlama kutusunun boyutları $a = 380$ mm, $b = 130$ mm, $d = 370$ mm, ön yüzeyinin üst köşesine yakın (95, 32,5, 0) noktasında konumlandırılmış açıklığın boyutları ise $l = 110$ mm, $w = 10$ mm olarak tasarlanmıştır. Kutunun duvar kalınlığı $t = 2$ mm, kutu malzemesi ise PEC olarak tanımlanmıştır. Ekranlama kutusunun merkez noktasında konumlandırılmış P gözlem noktasına, manyetik ekranlama etkinliğinin hesaplanabilmesi için manyetik alan probu yerleştirilmiştir.

Ekranlama kutusu TE uyarımda Gauss düzlem dalgası ile uyarılmıştır. Düzlemsel dalgaya ait elektrik alan bileşeninin genliği pozitif dikey eksen boyunca basamak fonksiyonu olarak değişmektedir. Ekranlama kutusu içi ve dışındaki ortamlar $\sigma = 0$ S/m serbest uzay olarak tanımlanmıştır. Şekil 2'de tasarlanan ekranlama kutusu CST modeli gösterilmiştir.



Şekil 2. Ekranlama kutusu CST modeli

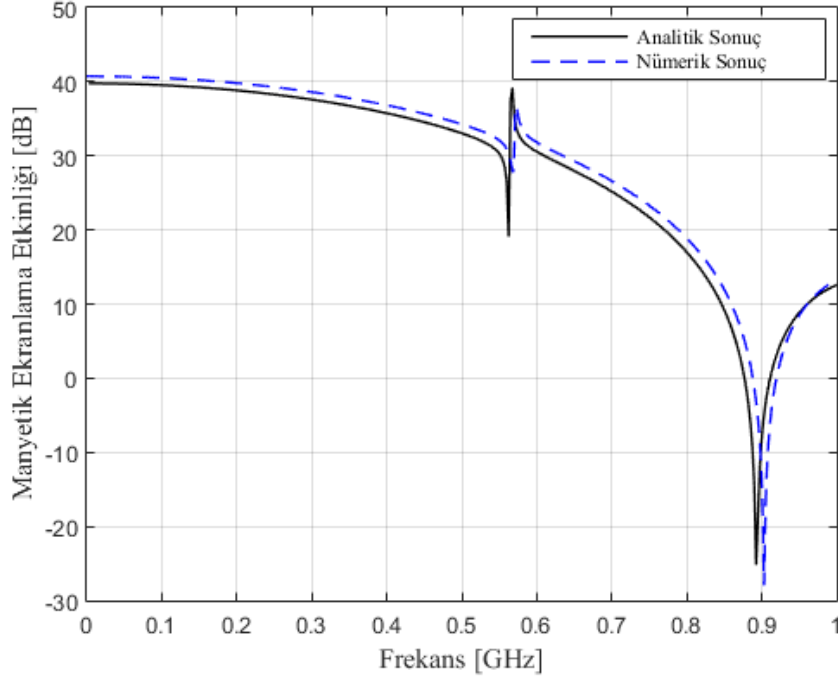
3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, manyetik ekranlamaya etki eden açıklık pozisyonu, kutu boyutu, açıklık boyutu, gözlem noktası konumu gibi parametrelerin etkisi analiz edilmiştir. Tablo 1’de MSE analizinde kullanılan parametreler verilmiştir.

Tablo 1. MSE analizinde kullanılan parametreler

No:	Kutu Boyutları (mm) (a, b, d)	Açıklık Boyutları (mm) (l, w)	Gözlem Noktası (mm) (x _p , y _p , z _p)	Açıklık Pozisyonu (mm) (x _a , y _a)
1	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 185)	(190, 65)
2	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 185)	(95, 32,5)
3	(400, 150, 390)	(110, 10)	(200, 75, 195)	(95, 32,5)
4	(420, 170, 410)	(110, 10)	(210, 85, 205)	(95, 32,5)
5	(380, 130, 370)	(100, 10)	(190, 65, 185)	(95, 32,5)
6	(380, 130, 370)	(120, 10)	(190, 65, 185)	(95, 32,5)
7	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 90)	(95, 32,5)
8	(380, 130, 370)	(110, 10)	(190, 65, 270)	(95, 32,5)

Şekil 3’te ekranlama kutusundaki açıklığın, ön panelin merkezinde olması durumunda (No:1) analitik ve nümerik MSE sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre CST nümerik modelin MSE analitik formülasyonu ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için 110 x 10 mm boyutlarındaki açıklığın ön panelin merkezinde olduğu durumda elde edilen MSE analitik ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması

TE modunda kutu rezonans frekansı aşağıdaki formül ile elde edilir (Basyigit ve Caglar, 2016).

$$f_{mnp} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \quad (9)$$

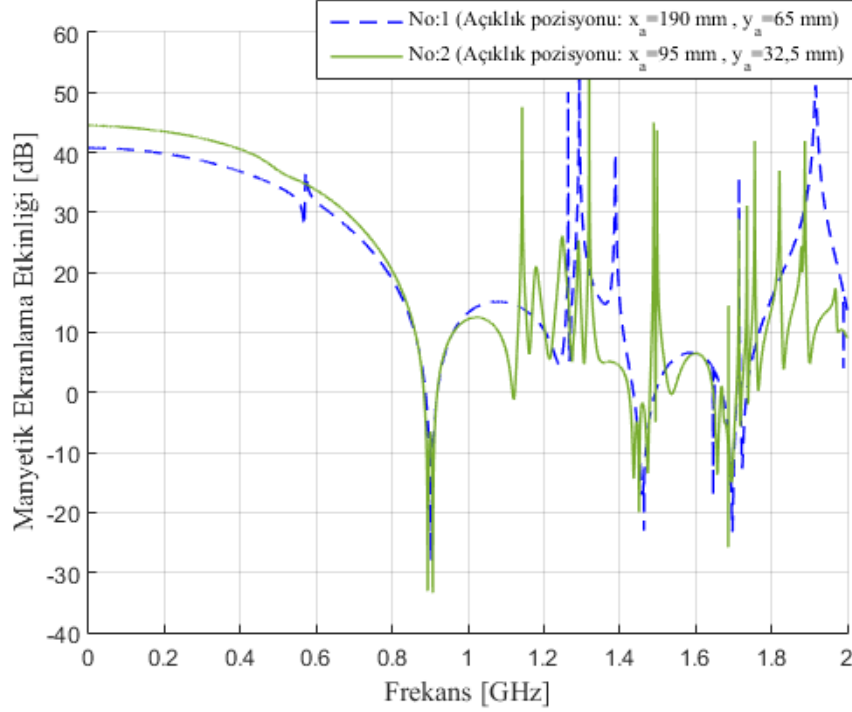
Burada m , n ve p birer tam sayıdır ve $m = n \neq 0$ koşulunu sağlamaktadır. a , b ve d ekranlama kutusu boyutlarıdır. μ_0 ve ϵ_0 ise sırasıyla serbest uzayın manyetik ve elektrik geçirgenlikleridir.

Şekil 3'te 900 MHz'te kutu rezonansı meydana geldiğinden negatif yönde ani bir yükselme meydana gelmiştir. Ekranlama kutularının içinde yer alan elektronik devreler için kutu rezonansları oldukça kritik olup devre tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken bir konudur. 500 – 600 MHz aralığındaki negatif ve pozitif yönde ani yükselmeler ise ekranlama kutusu ve açıklık arasındaki kuplajdan kaynaklanmaktadır.

3.1. Açıklık Pozisyonunun MSE'ye Etkisi

Şekil 4'te 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için No:1 (Açıklık pozisyonu: $x_a = 190$ mm , $y_a = 65$ mm) ve No:2'de (Açıklık pozisyonu: $x_a = 95$ mm , $y_a = 32,5$ mm) belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Açıklık pozisyonlarının farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu bu kıyaslama çalışmasında, açıklığın ön panelin üst köşesine konumlandırıldığı durumda (No:2) MSE'nin 400 MHz örnekleme frekansında 3,69 dB iyileştiği elde edilmiştir. Bununla birlikte, 900 MHz'te kutu rezonansı meydana geldiğinden her iki MSE sonucunun kutu rezonansında birbiriyle örtüştüğü görülmektedir.

Ekranlama kutusu rezonansları Şekil 4'te görüldüğü gibi sanki ekranlama kutusu içerisinde bir EMI kaynağı varmış gibi negatif yönde MSE'ye etki eder. Özellikle 1 GHz'den sonra görülen ani yükselmeler ise ekranlama kutusu ve açıklık arasındaki kuplajdan kaynaklanmaktadır.

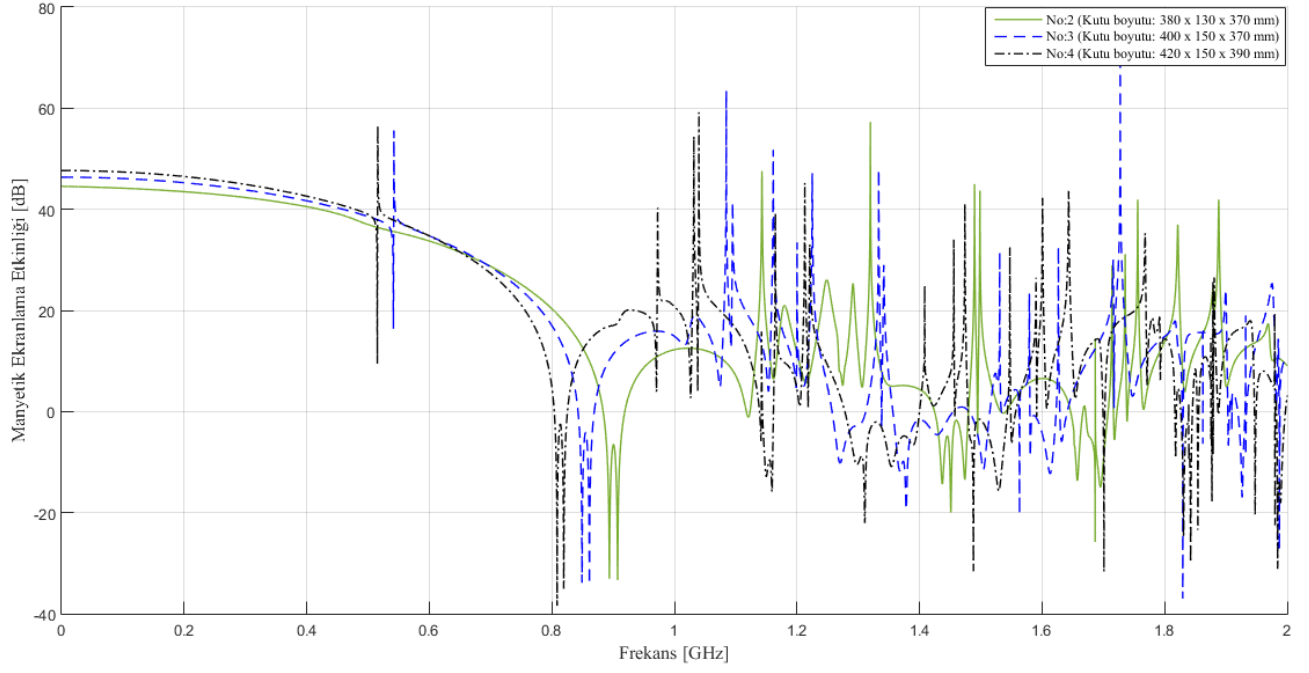


Şekil 4. 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için 110 x 10 mm boyutlarındaki açıklığın ön panelin merkezinde (No:1) ve üst köşesinde (No:2) olduğu durumlarda elde edilen MSE sonuçlarının karşılaştırılması

3.2. Ekranlama Kutusu Boyutlarının MSE'ye Etkisi

Şekil 5'te No:2 (Kutu boyutu: 380 x 130 x 370 mm), No:3 (Kutu boyutu: 400 x 150 x 370 mm), ve No:4'te (Kutu boyutu: 420 x 150 x 390 mm) belirtilen parametreler ile kutu merkezlerindeki gözlem noktalarında gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Kutu boyutlarının farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu ve açıklığın ön panelin üst köşesinde konumlandırıldığı bu kıyaslama çalışmasında kutu boyutlarının artmasına bağlı olarak MSE üzerinde iyileşmeler görülmektedir. 400 MHz örnekleme frekansında kutu boyutlarındaki artışa bağlı olarak MSE sonuçları arasında 1 dB iyileşme elde edilmiştir. Bununla birlikte, kutu boyutlarındaki değişime bağlı olarak kutu rezonans frekansında değişimler gözlenmiştir. Kutu boyutları arttıkça kutu rezonans frekansının düşük frekanslara doğru kaydığı görülmektedir.

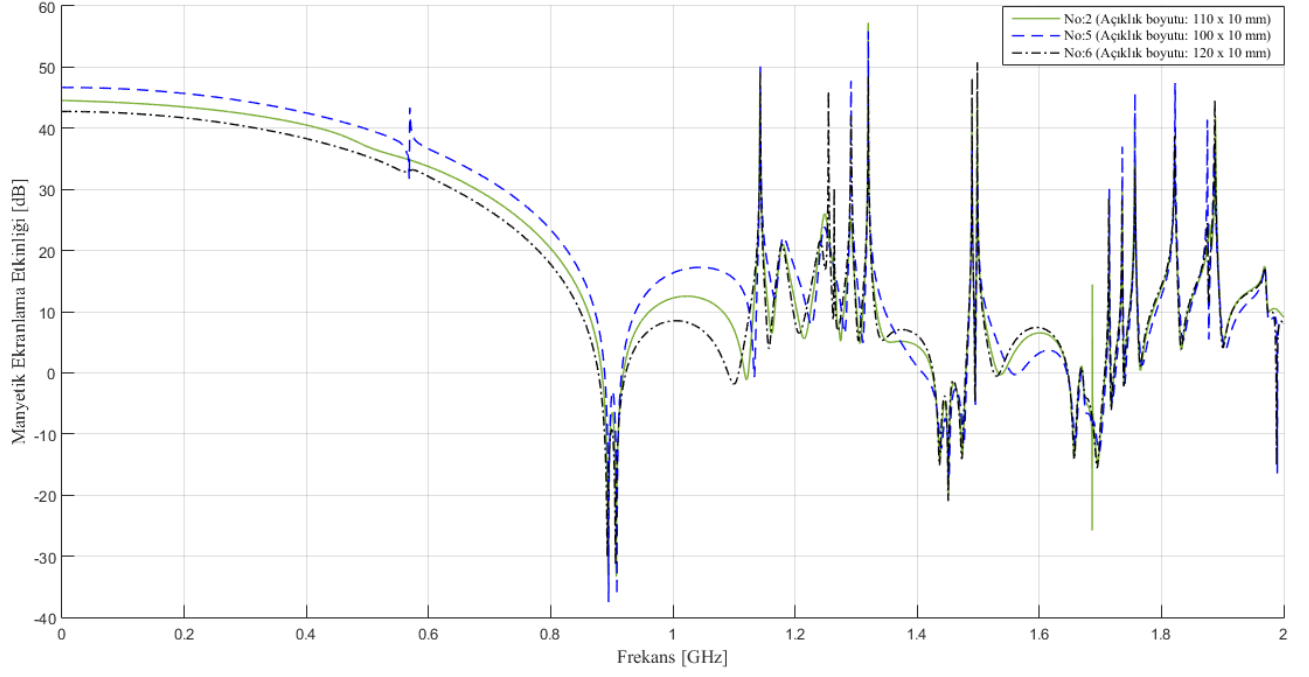
MSE değerlerini artırmak için ekranlama kutusu boyutları artırılırken elektronik devrelere etki eden kutu rezonanslarının düşük frekanslarda meydana geldiğine dikkat edilmeli ve elektronik devrelerin çalışma frekans bandının mümkün olduğunca bu rezonanslardan uzakta olması sağlanmalıdır.



Şekil 5. 380 x 130 x 370 mm (No:2), 400 x 150 x 370 mm (No:3) ve 420 x 150 x 390 mm (No:4) boyutlarındaki kutular için açıklığın ön panelin üst köşesinde olduğu durumdaki MSE sonuçlarının karşılaştırılması

3.3. Açıklık Boyutlarının MSE'ye Etkisi

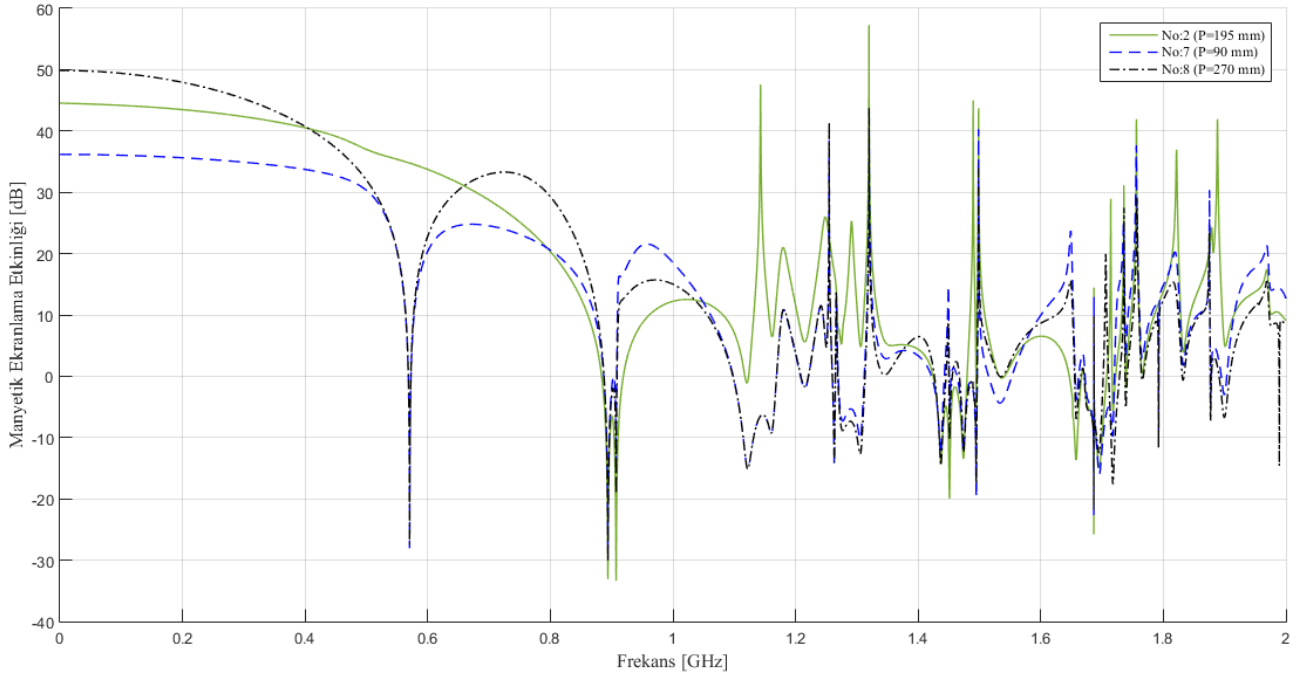
Şekil 6'da No:2 (Açıklık boyutu: 110 x 10 mm), No:5 (Açıklık boyutu: 100 x 10 mm) ve No:6'da (Açıklık boyutu: 120 x 10 mm) belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Açıklık boyutlarının farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu ve açıklığın ön panelin üst köşesinde konumlandırıldığı bu kıyaslama çalışmasında açıklık boyutlarının azalmasına bağlı olarak MSE üzerinde iyileşmeler görülmektedir. 400 MHz örnekleme frekansında açıklık boyutlarındaki azalmaya bağlı olarak MSE sonuçları arasında >2 dB iyileşme elde edilmiştir. Kutu boyutları sabit kaldığından, kutu rezonans frekansları tüm sonuçlar için örtüşmektedir. Bununla birlikte, açıklık boyutlarındaki değişime bağlı olarak ekranlama kutusu ile açıklık arasındaki kuplaj değiştiğinden 1 GHz'in üzerindeki farklı frekans noktalarında ani yükselmeler görülmektedir. MSE değerlerini artırmak için açıklık boyutları mümkün olduğunca küçük ve elektromanyetik girişime doğrudan maruz kalmayacakları konumlarda tasarlanmalıdır.



Şekil 6. 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için ön panelin üst köşesinde 110 x 10 mm (No:2), 100 x 10 mm (No:5) ve 120 x 10 mm (No:6) boyutlarında açıklığın olması durumundaki MSE sonuçlarının karşılaştırılması

3.4. Gözlem Noktasının MSE'ye Etkisi

Şekil 7'de No:2 ($P = 195$ mm), No:7 ($P = 90$ mm), ve No:8 ($P = 270$ mm)'de belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen MSE analizlerinin sonuçları verilmiştir. Ekranlama kutusu boyutlarının 380 x 130 x 370 mm olduğu bu analizde $d = 370$ mm kutu derinliğini ifade etmektedir. P gözlem noktasının z eksenini boyunca açıklığa olan uzaklığı No:2, No:7 ve No:8 için sırasıyla 195 mm, 90 mm ve 270 mm olarak tanımlanmıştır. Gözlem noktası konumları farklı olup diğer parametrelerin aynı olduğu ve açıklığın ön panelin üst köşesinde konumlandırıldığı bu kıyaslama çalışmasında gözlem noktası açıklıktan uzaklaştırıldıkça MSE sonuçlarının iyileştiği görülmektedir. No:2 ile No:7 yani gözlem noktasının açıklığa daha yakın olduğu durum arasında 7 dB fark elde edilmiştir. Bu durum, kutu içerisinde yayılan elektromanyetik gücün mesafeyle orantılı olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. Açıklığa daha yakın konumda olan gözlem noktasında daha büyük manyetik alan elde edileceğinden MSE değeri azalmaktadır. Ekranlama kutusu içerisinde yer alacak olan elektronik devreler tasarlanırken, EMI açısından hassas olan elektronik devre elemanları mümkün olduğunca açıklıklardan uzakta konumlandırılmalıdır.



Şekil 7. 380 x 130 x 370 mm boyutlarındaki kutu için gözlem noktasının P=195 mm (No:2), P=90 mm (No:7) ve P=270 mm (No:8) olması durumundaki MSE sonuçlarının karşılaştırılması

4. Sonuç

Bu çalışmada, ön panelinde açıklığı olan metalik ekranlama kutusunun manyetik ekranlama analizi 0-2 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, açıklığının ön panelin üst köşesinde olması ve merkezinde olması durumları analiz edilmiştir. Açıklığın üst köşe noktasına taşındığı durumda MSE üzerinde iyileşmeler elde edilmiştir.

Açıklığın ön panelin üst köşesinde yer aldığı durum için ekranlama kutusu boyutları, açıklık boyutları ve gözlem noktası konumu gibi MSE'ye etki eden diğer parametrelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Kutu boyutlarının artması ile kutuların merkez noktasında ölçülen MSE değerlerinin iyileştiği elde edilmiştir; fakat kutu rezonanslarının daha düşük frekanslarda meydana geldiği görülmüştür. Tasarımcılar yüksek MSE değerlerini elde edebilmek için ekranlama kutusu boyutlarını artırırken elektronik devrelere etki eden kutu rezonanslarının düşük frekanslara doğru kaydığını göz önünde bulundurmalı ve elektronik devrelerin çalışma frekans bandının kutu rezonanslarından uzakta olmasını sağlayacak önlemleri almalıdırlar. Açıklık boyutlarının arttığı durumda ise açıklıktan kutu içerisine sızan manyetik alan arttığından MSE'nin azaldığı elde edilmiştir. Tasarımcılar daha iyi MSE değerlerini elde edebilmek için açıklık boyutlarını optimize etmeli, fazla açıklıklardan kaçınmalıdırlar. Farklı gözlem noktalarıyla gerçekleştirilen analizde ise, gözlem noktasının açıklıktan uzağa konumlandırıldığında MSE'nin belirgin bir şekilde arttığı elde edilmiştir. Bu durum, kutu içerisinde yayılan elektromanyetik gücün mesafeyle orantılı olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. Tasarımcılar, EMI açısından hassas elektronik devre elemanlarını mümkün olduğunca açıklıklardan uzakta olacak şekilde konumlandırmalıdırlar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça:

- Ayhan B., Uçak C. Improved magnetic circuit model for magnetic shielding effectiveness in rogowski coil. *IEEE Transactions on Magnetics* 2020; 56(3): 1-10.
- Basyigit IB., Caglar MF. Investigation of the magnetic shielding parameters of rectangular enclosures with apertures at 0 to 3 GHz. *Electromagnetics* 2016; 36(7): 434-446.
- Basyigit IB., Caglar MF., Helhel S. Magnetic shielding effectiveness and simulation analysis of metallic enclosures with apertures. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO); 26-28 November 2015, Bursa, Turkey.
- Chen K., Gao M., Zhou X. A model for the prediction of the shielding effectiveness of cylindrical enclosure. *AIP Advances*. 2022; 12(8): 1-10.
- Chen J., Guo J., Tian C. Analyzing the shielding effectiveness of a graphene-coated shielding sheet by using the HIE-FDTD method. *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility* 2018; 60(2): 362-367.
- Cerri G., Chiarandini S., Russo P., Schiavoni A. Electromagnetic coupling between arbitrarily bent wires and scatters analysed by a hybrid MoMTD/FDTD approach. *IEE Proceedings – Microwave, Antennas and Propagation* 2000; 147(4): 261-266.
- Cerri G., Deleo R., Primiani VM. Theoretical and experimental evaluation of the electromagnetic radiation from apertures in shielded enclosure. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 1992; 34(4): 423-432.
- D'Amore M., De Santis V., Feliziani M. Magnetic shielding of apertures loaded by resistive coating. *IEEE Transactions on Magnetics* 2010; 46(8): 3341-3344.
- Edrisi M., Khodabakhshian A. Simple methodology for electric and magnetic shielding effectiveness computation of enclosures for electromagnetic compatibility use. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2006; 20(8): 1051-1060.
- Feng C., Shen Z. A hybrid FD-MoM technique for predicting shielding effectiveness of metallic enclosures with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2005; 47(3): 456-462.
- Frikha A., Bensetti M., Duval F., Benjelloun N., Lafon F., Pichon L. A new methodology to predict the magnetic shielding effectiveness of enclosures at low frequency in the near field. *IEEE Transactions on Magnetics* 2015; 51(3): 8000404.

- Gong Y., Chen X. An analytical model for predicting the shielding effectiveness and resonances of a lossy enclosure with apertures. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2022; 36(4): 488-504.
- Gong YF., Hao JH., Jiang LH. Efficient analytical method for the coupling to penetrated transmission line in multiple enclosures based on electromagnetic topology. *IET Science, Measurement & Technology* 2018; 12(3): 335-342.
- Güler S. Analysing the shielding effectiveness of rectangular enclosure by determining aperture dimensions with particle swarm optimization. *Journal of Electrical Engineering* 2022; 73(3): 182-189.
- Güler S. An investigation on electromagnetic shielding effectiveness of metallic enclosure depending on aperture position. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 2023; 57(2): 129-145.
- Hayashi S., Masuda K., Hatakeyama K., Shu E. Electromagnetic fields and its error distribution predicted from magnetic field measured around metallic enclosure by using inverse-forward analysis. *Electronics and Communications in Japan* 2000; 83(3): 39-52.
- IEEE. IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures. IEEE Std. 299 2006.
- Ilgar TM., Bulut M., Saka B. Shielding effectiveness for metallic enclosures with various aperture shapes. *Atlantic Radio Science Conference (URSI)*; 16-24 May 2015, Las Palmas, Spain.
- Karami H., Moini R., Sadeghi SHH., Maftooli H., Mattes M., Mosig JR. Efficient analysis of shielding effectiveness of metallic rectangular enclosures using unconditionally stable time-domain integral equations. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2014; 56(6): 1412–1419.
- Kraft CH. Modeling leakage through finite apertures with TLM. *Proceedings of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility*; 22-26 August 1994, pp. 73-76, Chicago, IL, USA.
- Liu E., Du P., Nie B. An extended analytical formulation for fast prediction of shielding effectiveness of an enclosure at different observation points with an off-axis aperture. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2014; 56(3): 589-598.
- Liu Z., Wang X. FDTD numerical calculation of shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabric based on warp and weft weave points. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2020; 62(5): 1693-1702.
- McFeetors G. Shielding effectiveness of vent holes-TLM modeling validation. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*; 19-23 August 2002, Minneapolis, MN, USA.
- Nobakhti M., Dehkhoda P., Tavakoli A. Improved modal method of moments technique to compensate the effect of wall dimension in shielding effectiveness evaluation. *IET Science, Measurement & Technology* 2014; 8: 17-22.

- Park HH., Kwon JH., Ahn S. Magnetic shielding analysis of a slit on a conducting plate coated with a ferrite sheet: Transverse Incidence. *IEEE Transactions on Magnetics* 2014; 50(9): 5000506.
- Po'ad FA., Jenu MZM., Christopoulos C., Thomas DWP. Analytical and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure with off-centered apertures. 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility; 27 February-03 March 2006, Singapore, Singapore.
- Rajamani V., Bunting CF., Deshpande MD., Khan ZA. Validation of modal/MoM in shielding effectiveness studies of rectangular enclosures with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2006; 48(2): 348-353.
- Robinson MP., Benson TM., Christopoulos C., Dawson JF., Ganley MD., Marvin AC., Porter SJ., Thomas DWP. Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 1998;40(3): 240-248.
- Yamada K. Anisotropic magnetic shielding effectiveness of magnetic shielded package. *IEEE Transactions on Magnetics* 2017; 53(11): 8500104.
- Yan L., Fang M., Zhao X., Liu Q., Zhou H. Shielding effectiveness prediction of metallic structures with thin slots using FDTD. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC)*; 14-18 May 2018, Singapore, Singapore.
- Yang X., Xie C., Wang Y., Wang Y., Yang W., Dong G. Optimization design of a giant magneto resistive effect based current sensor with a magnetic shielding. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 2014; 24(3): 9500304.
- Yin M., Du P. An improved circuit model for the prediction of the shielding effectiveness and resonances of an enclosure with apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 2016; 58(2): 448-456.
- Zhang Z., Ren S., Zhou X. FEM analysis of shielding effectiveness of magnetic shield of comparator by ANSYS program. *Conference Digest Conference on Precision Electromagnetic Measurements*; 16-21 June 2002, Ottawa, ON, Canada.