

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BASKI DEVRELERDE ELEKTROMANYETİK İŞİMA
AZALTMA TEKNİKLERİ**

FATİH BULUT

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ


BASKI DEVRELERDE ELEKTROMANYETİK İŞİMA
AZALTMA TEKNİKLERİ

FATİH BULUT

Doç.Dr. Gonca ÇAKIR
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. A. Oral SALMAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Çağatay ULUIŞIK
Jüri Üyesi, Doğuş Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 13.02.2013

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Askeri ve sivil uygulamalar için cihaz veya bir sistem tasarımı yapılmasının tek başına artık bir geçerliliği bulunmamaktadır. Bu cihaz veya sistemlerin normal çalışma şartlarının yanında birde çalışırken diğer sistemleri veya cihazları etkilememeleri beklenmektedir. Ayrıca, dış dünyaya yaydıkları elektromanyetik ışımanın da belirli limitler içerisinde kalması gerekmektedir. Bir tasarımcının, devresini veya sistemini tasarlarken bunların normal işlevlerini sürdürmesinin yanında birde EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) şartlarını da sağlaması gerekliliğini unutmamalıdır.

Bu tez çalışması içerisindeki EMC testlerinin yapılabilmesi amacıyla testler, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) bünyesindeki UME' de (Ulusal Metroloji Enstitüsü) kurulu bulunan EMC#2 laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tezin her aşamasında bana desteğini eksik etmeyen tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Gonca ÇAKIR'a, teorik ve pratik olarak desteklerini esirgemeyen TÜBİTAK UME Müdürü Sn. Fatih ÜSTÜNER'e, TÜBİTAK UME EMC#1 ve EMC#2 laboratuvarı çalışanlarına, Ersan BARAN, Eren AKKAYA ve Mustafa DOĞAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen tüm aileme, günlere getiren anneme ve babama, ve hayat arkadaşım Derya ŞAHİN'e sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Şubat - 2013

Fatih BULUT

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ.....	1
1. TEMEL EMC TANIMLARI VE TEORİK BİLGİLER	3
1.1. Elektromanyetik Girişim.....	3
1.2. İletkenlik Yoluyla Kuplaj	4
1.2.1. Doğrudan iletkenlik yoluyla kuplaj.....	4
1.2.2. Ortak toprak empedansı kuplajı.....	5
1.3. Işıma Yoluyla Kuplaj.....	5
1.3.1. Endüktif kuplaj.....	5
1.3.2. Kapasitif kuplaj	6
1.3.3. Fark modu alınganlık	7
1.3.4. Ortak mod alınganlık.....	7
1.3.5. Fark modundan ortak moduna dönüşüm	8
1.3.6. Ortak mod ve fark modu akımları.....	9
1.4. Sayısal Devre Işıması	9
1.4.1. Yayılan elektromanyetik girişim.....	9
1.4.2. Fark modu ışıması.....	9
1.4.3. Ortak mod ışıması	11
1.5. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC).....	13
1.5.1. Emisyon.....	13
1.5.2. Alınganlık	14
1.5.3. Ekranlama	14
1.6. Anten Kavramı	15
1.6.1. Işıma deseni	17
1.6.2. Dipol antenler	18
1.6.3. Kısa devre edilmiş bir telin frekansa bağlı davranışı	19
1.6.4. Halka antenler	19
1.7. Feedthrough Kapasitör	20
1.8. Ortak Mod Durdurucular	21
2. DEVRE YERLEŞİMİNİN BASKI DEVREDEN İŞIMAYLA YAYILAN EMİSYONLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ÖLÇÜM VE BENZETİM YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ.....	23
2.1. Baskı Devrelerden Işıma.....	23
2.2. Kablolardan Işıma	24
2.3. Benzetim Ortamı	25
2.4. Temel Test Devresi.....	27
2.5. MIL-STD- 461E/F Standardı RE 102 testi.....	29
2.5.1. Amaç	29

2.6. Test Düzenekleri	31
2.7. Ölçüm ve Benzetim Sonuçları	37
3. BASKI DEVRELERDE IŞIMAYI AZALTMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR.....	41
3.1. Test 1	41
3.2. Test 2	45
3.3. Test 3	48
3.4. Test 4	51
3.5. Test 5	54
3.6. Test 6	57
3.7. Test 7	59
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Transfer mekanizması	3
Şekil 1.2. Bir elektromanyetik girişim probleminde üç ana unsur	4
Şekil 1.3. Doğrudan iletkenlik yoluyla kuplaj	4
Şekil 1.4. Ortak toprak empedansı kuplajı	5
Şekil 1.5. Endüktif kuplaj	6
Şekil 1.6. Kapasitif kuplaj oluşması	6
Şekil 1.7. Fark modu alınganlık	7
Şekil 1.8. Ortak mod alınganlık	8
Şekil 1.9. Fark modundan ortak moda dönüşüm	8
Şekil 1.10. Fark modu ışıması	10
Şekil 1.11. Fark modu akım yolları	11
Şekil 1.12. Ortak mod ışıma	12
Şekil 1.13. Ortak mod akım yolları	13
Şekil 1.14. İstemsiz emisyon	14
Şekil 1.15. Alınganlık yapısı	14
Şekil 1.16. Dipol anten ve ışıma diyagramı	15
Şekil 1.17. Verici durumundaki antenin Thevenin eşdeğer devresi	16
Şekil 1.18. Anten ışıma diyagramı ve tanımları	17
Şekil 1.19. Işıma deseni üzerindeki demetlerin isimleri	18
Şekil 1.20. (a) Dipol anten temeli, (b) Uçlarındaki yük durumu	19
Şekil 1.21. Kısa devre bir telin frekansa bağlı davranışı	19
Şekil 1.22. Halka anten	20
Şekil 1.23. (a) Feedthrough kapasitör şase montajı, (b) Şematik görünüm	21
Şekil 1.24. Ortak mod durdurucu kullanım yöntemi	21
Şekil 1.25. Ortak mod durdurucu bağlantı şekli	22
Şekil 2.1. Baskı devre kartından yayılan ışıma	24
Şekil 2.2. Baskı devre kartına bağlı kablodan ışıma	24
Şekil 2.3. Temel bir trapez dalganın özellikleri	26
Şekil 2.4. Benzetimlerde kullanılan trapez dalga	26
Şekil 2.5. Bir trapez dalganın frekans spektrumunda gösterimi	27
Şekil 2.6. Temel test devresi	28
Şekil 2.7. Temel test devresi şematik gösterimi	28
Şekil 2.8. Temel test devresi CST programı benzetim görüntüsü	29
Şekil 2.9. Anten konumları (MIL-STD 461F için)	30
Şekil 2.10. Genel test düzeneği	31
Şekil 2.11. Birinci konfigürasyon ölçüm düzeneği	32
Şekil 2.12. Temel Test devresi (Birinci konfigürasyon) benzetim	33
Şekil 2.13. İkinci konfigürasyon ölçüm düzeneği	33
Şekil 2.14. İkinci konfigürasyonun simülatörde tanımlanması	34
Şekil 2.15. Üçüncü konfigürasyon ölçüm test düzeneği	35
Şekil 2.16. Üçüncü konfigürasyon benzetim test düzeneği	35
Şekil 2.17. Dördüncü konfigürasyon ölçüm düzeneği	36
Şekil 2.18. Dördüncü konfigürasyon benzetim modeli	36

Şekil 2.19. Dördüncü konfigürasyon benzetim test düzeneği.....	37
Şekil 2.20. Tüm konfigürasyon ölçüm sonuçları (30MHz-200MHz)	38
Şekil 2.21. Tüm konfigürasyon benzetim sonuçları (30MHz-200MHz).....	39
Şekil 2.22. Tüm konfigürasyon normalize edilmiş sonuçlar.....	40
Şekil 3.1. Birinci duruma ait CST çizim.....	42
Şekil 3.2. İkinci duruma ait CST çizimi.....	42
Şekil 3.3. Üçüncü duruma ait CST çizimi.....	43
Şekil 3.4. Dördüncü duruma ait CST çizimi (önden görünüm)	43
Şekil 3.5. Dördüncü duruma ait CST çizimi (arkadan görünüm).....	44
Şekil 3.6. Test 1 benzetim sonuçları	45
Şekil 3.7. Ekranlı oda ekranlama etkinliği testi örneği.....	45
Şekil 3.8. EMC testi sırasında bir cihaz	46
Şekil 3.9. Birinci durum test devresi (30 cm).....	47
Şekil 3.10. İkinci durum test devresi (50 cm)	47
Şekil 3.11. Üçüncü durum test devresi (100 cm)	47
Şekil 3.12. Test 2 karşılaştırmalı benzetim sonuçları (30MHz-300 MHz).....	48
Şekil 3.13. Ekranlı oda ekranlama etkinliği testi örneği.....	49
Şekil 3.14. Birinci durum test devresi.....	49
Şekil 3.15. İkinci durum test devresi	50
Şekil 3.16. Üçüncü durum test devresi	50
Şekil 3.17. Test 3 karşılaştırmalı benzetim sonuçları.....	51
Şekil 3.18. Temel test devresi.....	51
Şekil 3.19. Test devresinin simülatörde tanımlanması	52
Şekil 3.20. Birinci durum dalga şekli.....	52
Şekil 3.21. İkinci durum dalga şekli	53
Şekil 3.22. Üçüncü durum dalga şekli	53
Şekil 3.23. Test 4 benzetim sonuçları	54
Şekil 3.24. Metal kaplı kutuda delik açılması (Birinci durum)	55
Şekil 3.25. Metal kaplı kutuda delik açılması (İkinci durum).....	55
Şekil 3.26. Metal kaplı kutuda delik açılması (Üçüncü durum).....	56
Şekil 3.27. Test 5 karşılaştırmalı benzetim sonuçları.....	56
Şekil 3.28. Birinci Durum test devresi.....	57
Şekil 3.29. İkinci durum test devresi	57
Şekil 3.30. Üçüncü durum test devresi	58
Şekil 3.31. Test 6 karşılaştırmalı benzetim sonuçları.....	58
Şekil 3.32. Temel test devresi 1 mm hat kalınlığı (Birinci Durum)	59
Şekil 3.33. Temel test devresi 2 mm hat kalınlığı (İkinci Durum).....	59
Şekil 3.34. Temel test devresi 4 mm hat kalınlığı (Üçüncü Durum).....	59
Şekil 3.35. Test 7 benzetim sonuçları	60

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A	: Halka alanı (cm ²)
E	: Elektrik alan (V/m)
f	: Frekans, (Hz)
I	: Akım, (A)
I _C	: Ortak mod akımı, (A)
I _d	: Fark modu akımı, (A)
I _S	: Kaynak akımı, (A)
I _L	: Yük akımı, (A)
I _N	: Gürültü akımı, (A)
kΩ	: Kilo ohm
L	: Dipol boyu
Im	: Sanal kısmın empedansı, (Ω)
L	: İndüktans, (H)
sn	: Saniye
M	: Teller arasındaki ortak indüktans değeri, (nH)
R _L	: Yük direnci, (Ω)
R _r	: Anten ışıma direnci, (Ω)
V _{CM}	: Ortak mod voltajı, (V)
V _{dc}	: Doğru akım voltajı, (V)
V _{DM}	: Fark modu voltajı, (V)
V _N	: Gürültü voltajı, (V)
Z	: Empedans, (Ω)
Z _a	: a hattı empedansı
Z _b	: b hattı empedansı
Z _{c1}	: Devre şasesi-cihaz şasesi arasındaki empedans
Z _{c2}	: Cihaz şasesi-gerçek toprak arasındaki empedans
Z _{in}	: Giriş empedansı
Z _{ortak}	: Ortak mod empedansı
Z _L	: Yük empedansı
Z _S	: Kaynak empedansı
X _A	: Sanal giriş empedansı
ω	: Açısal frekans, (rad/sn)
λ	: Dalga boyu, (m)

Kısaltmalar

AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
cm	: Santimetre
dB	: Decibel (Desibel)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)

EM	: Electromagnetic (Elektromanyetik)
EMC	: Electromagnetic Compatibility (Elektromanyetik Uyumluluk)
EMI	: Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
HF	: High Frequency (Yüksek Frekans)
kHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
MIL-STD	: Military Standard (Askeri Standart)
PCB	: Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekans)
RE	: Radiated Emission (Hava Yolu ile Işınım)
SE	: Shielding Effectiveness (Ekranlama Etkinliği)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
LISN	: Line Impedance Stabilization Network (Hat Empedans Dengeleyici)
UHF	: Ultra High Frequency (Aşırı Yüksek Frekans)
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
UEKAE	: Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü
VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)

BASKI DEVRELERDE ELEKTROMANYETİK İŞİMA AZALTMA TEKNİKLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, EMC testleri sırasında cihaz tasarımcılarının ve EMC mühendislerinin yaşamakta olduğu problemler göz önüne alınmıştır. Baskı devre kartlarında ışımayı arttıran etmenler ve bunları önlemeye ilişkin alınacak önlemler, yapılan test ve benzetimler yardımıyla araştırılmıştır. Özellikle, sıkça karşılaşılan ortak mod ve fark modu ışıma olarak karşımıza çıkan problemleri modelleyen basit devre yapıları gerek ölçüm gerekse benzetimler yardımıyla incelenmiş, bu tip problemleri en aza indirmek için alınacak önlemler ve tasarım önerileri ele alınmıştır. TÜBİTAK UME’de kurulu bulunan yarı yansımaz test odasında bu baskı devre kartlarının EMC gereksinimlerine göre testleri yapılmıştır. Test ile benzetim sonuçları arasındaki benzer durumlar karşılaştırılmıştır. Bunun sonucu olarak, EMC tasarımı aşamasında önemli olabilecek yedi adet test çalışmasının benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: EMC Testleri, Fark Modu, Ortak Mod

ELECTROMAGNETIC RADIATION REDUCTION TECHNIQUES ON PRINTED CIRCUIT BOARDS

ABSTRACT

Device Designers and EMC engineers have experience about the problems during EMC Tests. In this study, these problems were observed. Factors increasing radiation on printed circuit boards and precautions to prevent them were investigated with test and simulations. Especially, simple circuit structures which model frequently encountered problems of common mode and differential mode radiation were examined with measurements and simulations. Then the precautions and design suggestions are handled for reducing this kind of problems. Printed circuit boards were tested in TÜBİTAK UME semi-anechoic chamber under EMC test requirements. Similar situations between test and simulation results were compared. At the end of the comparison, seven test study simulations were realized which can be important in EMC design phase.

Keywords : EMC Tests, Differential Mode, Common Mode

GİRİŞ

Askeri ve sivil sistemlerde tüm elektrik-elektronik cihazlardan, çalışmaları sırasında standartlarca belirtilen bazı gereksinimleri sağlaması beklenir. Bu gereksinimlerden bazıları bu cihazların ortama yaydığı elektromanyetik emisyonunun belirli bir seviyenin altında tutulmasıdır [1]. Bu gereksinimin temel gerekçesi, sağlık, haberleşme ve benzeri faaliyetler için kullanılan elektromanyetik ortamın kirletilmesini sınırlamak ve aynı ortamda beraber çalışmak zorunda olan diğer sistem veya cihazların bu yayılan elektromanyetik emisyonundan etkilenmemesini sağlamaktır.

Elektronik cihazlardan yayılan elektromanyetik emisyonun temel kaynağı cihaz içindeki baskı devre kartları ve onlara bağlı kablolardır. Baskı devrelerden ve kablolardan kaynaklanan elektromanyetik emisyonun hangi mekanizmalar vasıtasıyla ortaya çıktığı araştırmaya tabi tutulmuştur. Baskı devrelerden ışımayı anlamak için temel çıkış noktamız zamanla değişen akımların ışıyan elektromanyetik alanlara yol açacağı bilgisi olacaktır. Baskı devre üzerindeki baskı devre hatları veya üzerinde akım dolaşan herhangi bir iletken yapı (örneğin soğutucu) ışıma yapacaktır. Baskı devredeki iletken unsurlar, birer istemsiz anten gibi davranacaklardır. Cihaz tasarımcısının cihazın ışımasını azaltabilmesi ve dışarıdan gelecek olan istemsiz ışımalara karşı bağışıklı olabilmesi için baskı devrelerdeki mevcut istemsiz anten yapılarını mümkün olduğu kadar verimsiz hale getirmesi gerekmektedir. İstemsiz antenlerin verimsizleştirilmesi için bu antenlerin ışıma özelliklerini incelemek yerinde olacaktır [1]. Baskı devrelerden ışıma temel olarak iki kısımda değerlendirilir.

- Fark modu ışıması
- Ortak mod ışıması

Bu tez çalışmasında, devre yapılarının baskı devreden oluşan ışımayla emisyona yaptığı katkı farklı devre topolojilerine sahip devreler kullanılarak gösterilmiştir. Fark modu ışımasının kaynağı baskı devrede dolaşan fark modu akımlarıdır. Fark

modu akımları bir devrede akan işlevsel akımlardır. Bir devre elemanından diğer bir devre elemanına akan ve dönüşünü genelde baskı devrenin işaret toprağından gerçekleştiren akımlardır. Genelde halka anten olarak modellenirler. Ortak mod ışımanın kaynağı ise ortak mod akımlardır. Bu akımlar işaret dönüş hattı net olarak tanımlanmayan ancak parazitik kapasitelerle modellenebilen ve cihaz kasası, gerçek toprak üzerinden dönüşünü tamamlayabilen akımlardır. Bu akımlar genelde işlevsel akımlar değildir. Ortak mod ışımaya dipol anten ile modellenir. Ortak mod ışımada dış bağlantı kablolarını süren ana etken devrenin işaret toprağındaki gürültü gerilimidir. Ortak mod akımlar, genelde fark modu akımlarından çok daha küçüktür. Bununla birlikte yol açtıkları ışımaya emisyon seviyesi çok daha yüksektir [1]. Ortak mod ışımaya fark modu ışımaya göre daha yüksek frekanslarda etkindir.

Tezin birinci bölümünde, EMC açısından gerekli olabilecek temel teorik bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler gerçekleştirilen ölçüm ve benzetim çalışmalarının anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

İkinci bölümde, dört farklı devre konfigürasyonu ele alınmıştır. Bu konfigürasyonların gerçek devre şartlarında ölçümleri ve benzetim programı aracılığı ile benzetimleri yapılmıştır. Gerçekleşen ölçüm ve benzetim çalışmalarının sonuçları arasındaki benzer durumlar karşılaştırılmıştır.

Üçüncü bölümde, farklı devre yapıları üzerinde yapılan benzetimlerle, ışımaya mekanizmaları incelenmiştir. Bu testlerde, benzetim sonuçları karşılaştırmalı ve detaylı bir şekilde incelendiğinde ortak mod ve fark modu ışımaya mekanizmalarının etkilerinin nasıl oluştuğu ve bu etkilerin nasıl azaltılması gereklilikleri anlaşılacaktır.

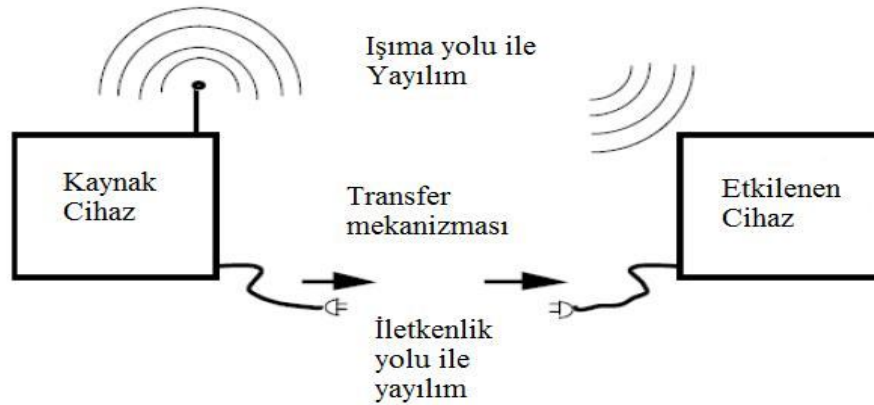
Bu çalışma, özellikle cihaz veya sistem tasarımcılarına ve EMC testleri öncesinde yapılacak Ar - Ge çalışmalarında yaşanabilecek problemlere ve çözümlerine ışık tutacaktır. Ayrıca, sistemlerin veya cihazların yaymış olduğu ışımaların EMC testlerindeki limit değerleri aşmayacak duruma gelmelerine yardımcı olabilecektir. Testler, temel emisyon kaynaklarını ve bunların çözümüne katkıda bulunabilecek sonuçlar vermektedir. Bunlarla birlikte, üniversitelerin ilgili bölümlerinde (Elektrik, Elektronik, Haberleşme, Fizik v.b) eğitim amacıyla kullanılabilir örnek deney setleri şeklinde devreler yapılabilme olanağı sunmaktadır.

1. TEMEL EMC TANIMLARI VE TEORİK BİLGİLER

1.1. Elektromanyetik Girişim

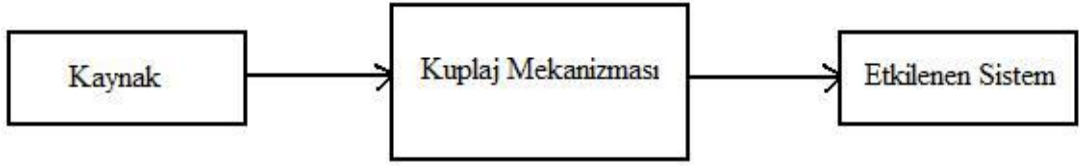
Elektrik, elektronik ve elektromekanik sistemlerin çalışırken açığa çıkardıkları elektromanyetik enerjiye ilaveten ortamda mevcut bulunan elektromanyetik enerji ile karşılıklı olarak birbirlerini etkilemeleri ve bu etkileşim sonucunda sistemlerin çalışma performanslarında bozulma veya tamamen çalışamaz hale gelmeleri elektromanyetik girişim olarak adlandırılır. Girişim, elektrik ve elektronik cihazların performansında bozulmaya, istenmeyen tepkiler vermesine veya hatalı işlemesine yol açan radyo frekanslarında doğal veya insan kaynaklı her türlü bozucu etki, işaret ve emisyonudur [2].

Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, kaynak cihazdan etkilenen cihaza istenmeyen elektromanyetik enerji transferi gerçekleştiği zaman gerçekleşen etkileşimler elektromanyetik girişim olarak adlandırılmaktadır [3]. Bir elektromanyetik girişim problemi üç ana unsur üzerinde değerlendirilir. Bunlar, kaynak, kuplaj mekanizması ve etkilenen sistemdir.



Şekil 1.1. Transfer mekanizması

Şekil 1.2’de gösterilen durumda kaynak, girişim enerjisini yayan, kuplaj mekanizması girişim enerjisinin iletimi ve etkilenen sistem ise girişim enerjisinden etkilenen kısımdır.



Şekil 1.2. Bir elektromanyetik girişim probleminde üç ana unsur [4]

Bu kuplaj mekanizması birçok çeşitli durumla anlatılabilir. Kuplaj durumu iletkenlik yoluyla olabileceği gibi ışınım yoluyla da olacaktır. Elektromanyetik girişim kaynaklarının bastırılmasını kuplaj yollarının kesilmesini veya azaltılmasını, etkilenebilecek sistemlerin kuvvetlendirilmesini veya bunların bir kombinasyonunu gerektirir.

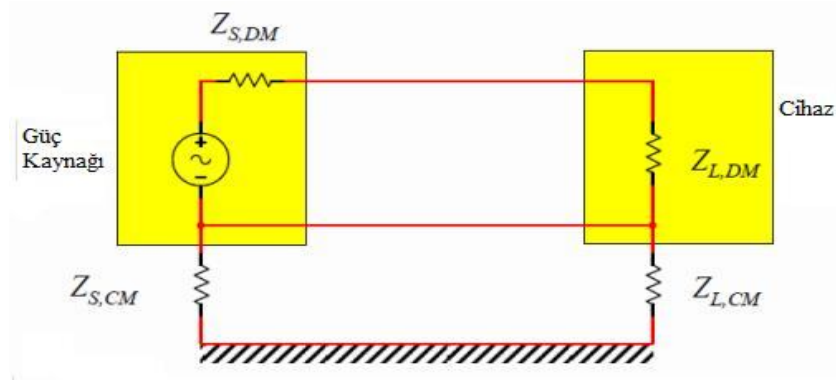
1.2. İletkenlik Yoluyla Kuplaj

İletkenlik yoluyla kuplaj elektromanyetik girişim probleminde önemli bir girişim yoludur. İletkenlik yoluyla kuplaj iki kısımda incelenebilir.

- Doğrudan iletkenlik yoluyla kuplaj
- Ortak toprak empedansı kuplajı

1.2.1. Doğrudan iletkenlik yoluyla kuplaj

Şekil 1.3’de doğrudan iletkenlik yoluyla kuplajda istenmeyen girişim, kaynaktan (Güç kaynağı) etkilenen sisteme (Cihaz) doğru güç besleme şebekesi yolunu kullanarak ulaşır. İstenmeyen girişimdeki yayılma fark modu veya ortak mod da olabilir. Ancak düşük frekanslarda fark modu, yüksek frekanslarda ise ortak mod daha baskındır [2].

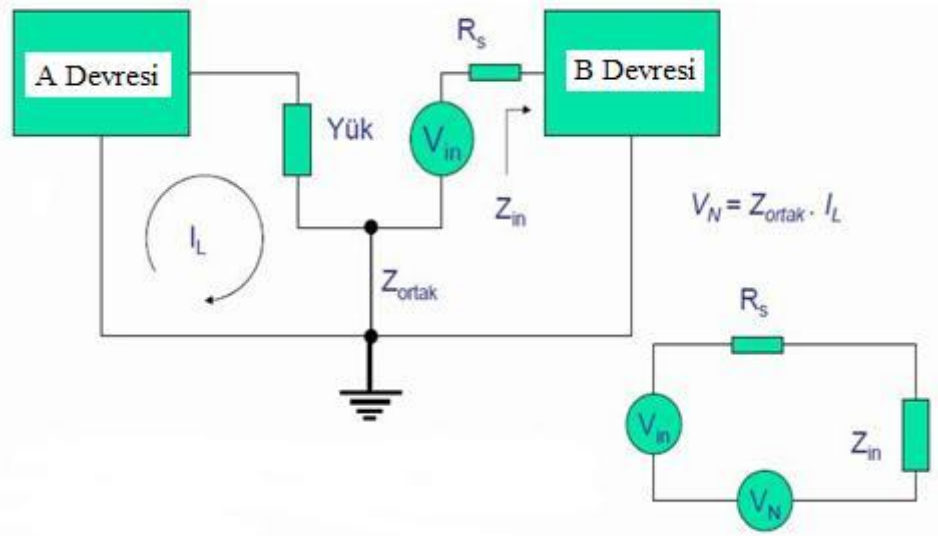


Şekil 1.3. Doğrudan iletkenlik yoluyla kuplaj [2]

1.2.2. Ortak toprak empedansı kuplajı

İletkenlik yoluyla kuplaj veya ortak empedans Z_{in} kuplajında kaynak ve alıcı arasında en az iki iletken olmalıdır. Biri gürültü akımı için gidiş iletkeni olarak işlev görürken diğeri dönüş iletkeni vazifesi görür [2].

Şekil 1.4’de gösterilen A devresinde akan I_L akımı ayrıca Z_{ortak} empedansı üzerinde V_N (Gürültü gerilimi) gerilimi oluşturmaktadır. V_N gerilimi B devresi için istenmeyen girişim sinyali olacaktır.



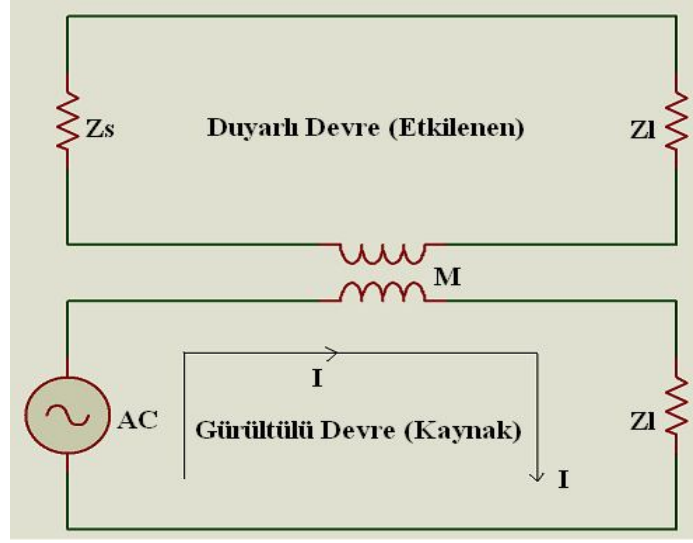
Şekil 1.4. Ortak toprak empedansı kuplajı [2]

1.3. Işıma Yoluyla Kuplaj

Cihazda yer alan kablolar, baskı devre kartları üzerinde akan akımlar diğerk cihaz veya sistemlere ışıma yoluyla kuplaja yol açarlar. Bu kuplaj iki şekilde gerçekleşir.

1.3.1. Endüktif kuplaj

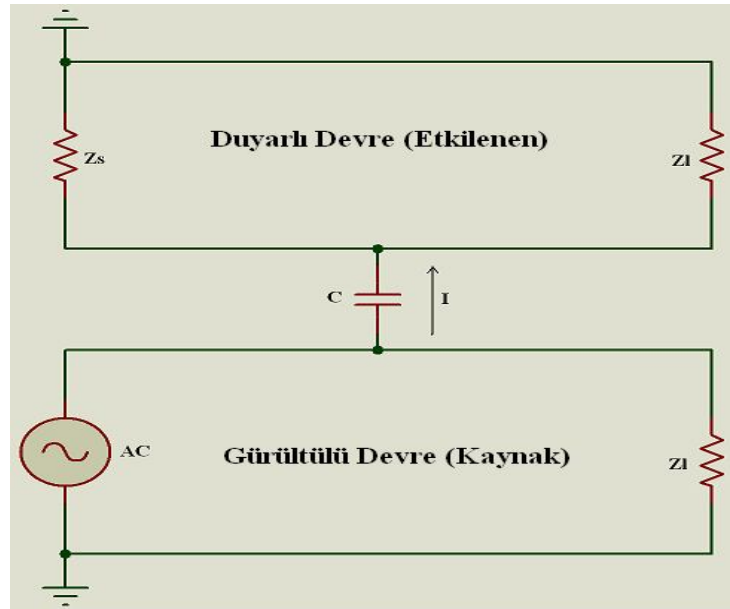
Şekil 1.5’de görüldüğü üzere, kaynak devrede akan devre akımı iletkenler üzerinde bir manyetik alan üretir. Zamanla değişen bu manyetik alan, duyarlı devrenin iletkenleri üzerinde gerilim endükler. Bu endüklenen gerilim, duyarlı devre üzerinde istenmeyen akımlar oluşturur. Bu oluşan akımlar gürültü şeklinde duyarlı devrenin normal çalışmasına ciddi bozucu etkiler yaratabilir.



Şekil 1.5. Endüktif kuplaj [2]

1.3.2. Kapasitif kuplaj

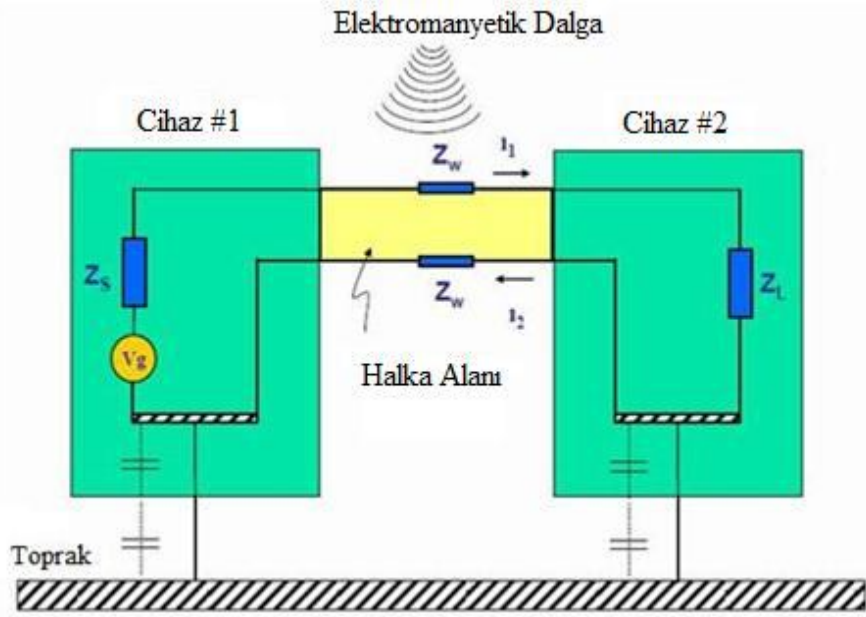
Şekil 1.6'da görüldüğü üzere, gürültülü devre'de akan akım devre iletkeni üzerindeki gerilimi etrafında bir elektrik alanı oluşturur. Zamanla değişen bu elektrik alan, duyarlı devreye (iki devrenin iletkenleri arasında oluşan kapasite) kapasitif şekilde ulaşarak duyarlı devre üzerinde istenmeyen akımlar oluşturur. Bu oluşan akımlar gürültü şeklinde duyarlı devrenin normal çalışmasına ciddi bozucu etkiler yaratabilir.



Şekil 1.6. Kapasitif kuplaj oluşması [2]

1.3.3. Fark modu alınganlık

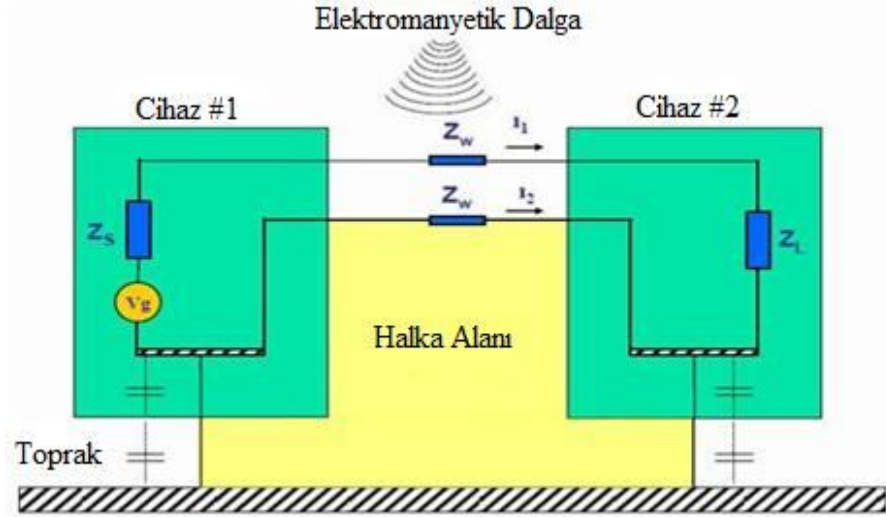
Şekil 1.7’de görülmekte olan durumda, bir devre veya sistem üzerine doğru yayılan elektromanyetik dalgalar sistemin veya cihazın fonksiyonel akımının aktığı yolların her ikisini de kullanarak fark modu alınganlık şeklinde bir bozulmaya maruz kalabilir. Bir sistem tasarımında bu hususlar önem arz etmektedir. Bu alınganlığın etkilerini azaltmak için halka alanının yeterince küçük tutulması alınganlıktan etkilenmemesi hususuna fayda sağlayacaktır [2].



Şekil 1.7. Fark modu alınganlık [2]

1.3.4. Ortak mod alınganlık

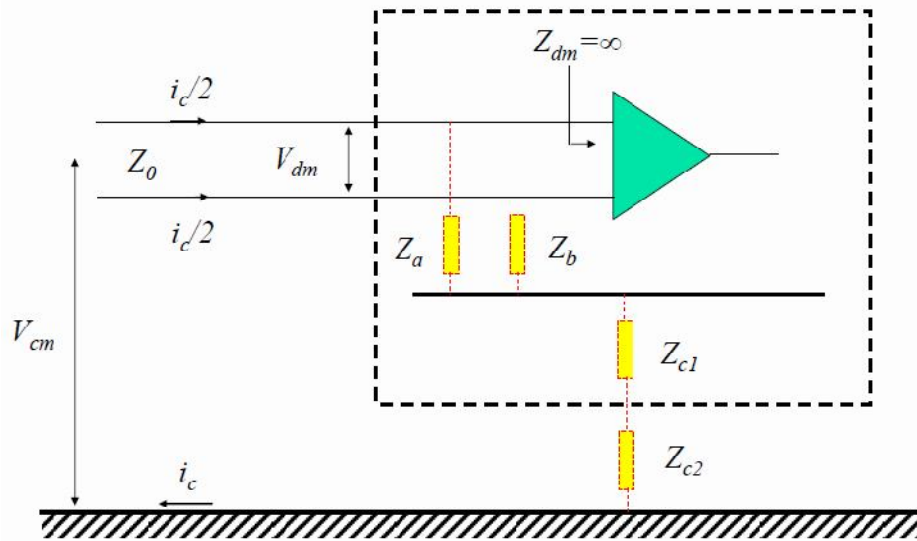
Şekil 1.8’de görülmekte olan durumda, bir devre veya sistem üzerine doğru yayılan elektromanyetik dalgalar sistemin veya cihazın fonksiyonel akımının aktığı yolları ve toprak hattını kullanarak ortak mod alınganlık şeklinde bir bozulmaya maruz kalabilir. Bir sistem tasarımında bu hususlar önem arz etmektedir. Bu alınganlığın etkilerini azaltmak için halka alanının yeterince küçük tutulması alınganlıktan etkilenmemesine fayda sağlayacaktır [2].



Şekil 1.8. Ortak mod alınganlık [2]

1.3.5. Fark modundan ortak moduna dönüşüm

İstemli fark modu işaretler parazitik elemanların yol açtığı dengesizlik nedeniyle ortak mod işarete dönüşebilir. Bu dönüşüm iki sinyal iletkeninin her ikisinde farklı empedans değerine sahip olmasıyla gerçekleşir. Bu empedanslar iletim hatları arasında veya şase kabini içerisindeki parazitik kapasite ve endüktans tarafından radyo frekanslarında baskın hale gelir. Şekil 1.9’da gösterilen ortak mod akımlar şase içerisinde dönüş, Z_a ve Z_b empedansları arasında akacaktır. Z_a ve Z_b empedansları fiziksel bir devre elemanı değildir. Sistem içerisinde mevcut bulunan parazitik transfer empedansı veya parazitik kapasitandır [5].



Şekil 1.9. Fark modundan ortak moda dönüşüm [2]

1.3.6. Ortak mod ve fark modu akımları

Fark modu akımları fonksiyonel akımlardır ve devrenin işlemleri için gereklidir. Ortak mod akımlar cihaz şasesine ve/veya toprağa referansla kablolar üzerinde aynı yönde akan akımlardır. Ortak mod işaretleri, kablonun iletkenlerinden aynı yönlerde akan işaretlerdir. Aralarında potansiyel farkı olmadığı için yükten hiçbir akım akmaz ve devre iletkenleri ile toprak üzerinden tamamlanır. Farksal mod akımları iletkenler üzerinden devreyi tamamlarlar ve toprak üzerinden hiçbir akım akmaz. Aynı genlikte ve zıt yönlerde aktıkları için bu akımların oluşturacağı alanlar da birbirlerinin etkilerini azaltırlar. Buna karşın ortak mod akımları aynı büyüklükte ancak aynı yönde oldukları için, bu akımların oluşturdukları alanlar birbirlerini kuvvetlendirirler. Ortak ve farksal mod akımlarının neden olduğu EM (Elektromanyetik) ışıma, sırasıyla, frekansın kendisi ve karesiyle orantılıdır. Bu durumda alçak frekanslarda farksal mod, yüksek frekanslarda ise ortak mod EM ışımlar baskın olur [6].

1.4. Sayısal Devre Işınması

1.4.1. Yayılan elektromanyetik girişim

Yayılan EM enerji hem manyetik hem de elektrik alanlardan oluşur. Sinyal transferi için her iki alanla birlikte iki başlıca mod vardır. Bunlar ortak mod ve fark modudur. Bir anten tarafından bir alan ölçüldüğü zaman akımın tipini belirlemek mümkün değildir. Ortak mod genel olarak girişim yayınında daha belirgin bir moddur [5].

Girişim yayınında bu alanlardan bir tanesi daha baskın olacaktır. Ya manyetik alan ya da elektrik alanıdır. Her iki alanda anlık olarak var olabilir. İstemsiz yayılan RF enerji, genel olarak haberleşme amacıyla çok sık kullanılan 100 kHz ile 300 GHz frekans aralığında incelenir [5].

1.4.2. Fark modu ışıması

Fark modu ışıma, bir sistem yapısı içerisindeki halka yapılarından RF (Radyo Frekans) akımların akması nedeniyle oluşur. Devrede mevcut iletkenlerin oluşturduğu halkalarda akan akımın bir sonucudur. Bu halkalar birer halka anten gibi davranırlar.

Bir toprak düzlem yukarısındaki alan içinde çalışan bir küçük halka alıcı anten için, elektromanyetik alan aşağıdaki Eşitlik (1.1) deki gibi yaklaşık olarak bulunur [5].

$$E = 263 \times 10^{-16} (f^2 A I_s) \left(\frac{1}{r}\right) \text{ V/m} \quad (1.1)$$

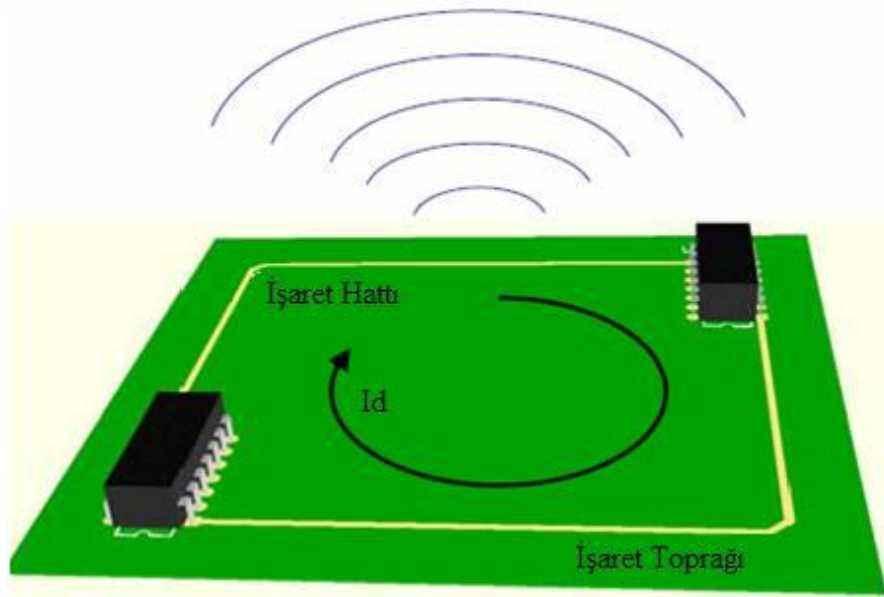
A= Halka alanı (m²)

f= Frekans (Hz)

I_s=Kaynak akımı (A)

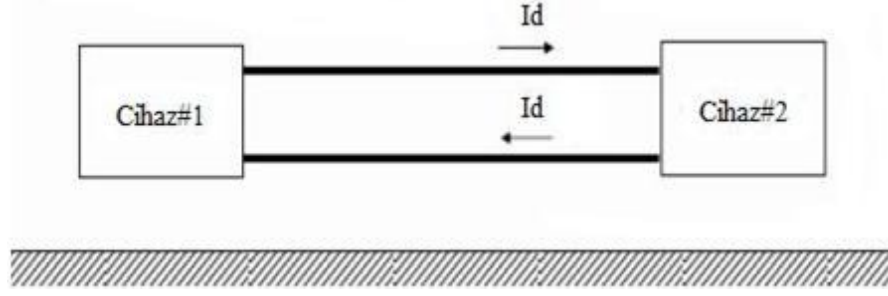
r=Işıma elemanından alıcı antene uzaklık (m)

Birçok sistem için elektromanyetik alan, toprak hattı, güç hattı ve devre elemanları arasında akan akım tarafından oluşturulur. Şekil 1.10'da görüldüğü üzere, hava yoluyla ışıma RF akımlar taşıyan küçük bir halka anten olarak modellenir. Halka alanının herhangi bir boyutu, bir yapı içerisinde akan RF akımların o frekanstaki dalga boyunun ($\lambda/20$) yirmide birinden daha küçük olmalıdır [5].



Şekil 1.10. Fark modu ışıması

Şekil 1.11'de gösterilen durumda devre üzerinde akan akımlar normal işlevini görürlerken diğer taraftan istenmeyen ışıma oluştururlar.



Şekil 1.11. Fark modu akım yolları

Özel olarak belirtilen seviyeleri aşmayacak olan maksimum halka alanı aşağıdaki Eşitlik (1.2) de tanımlanabilir.

$$A = \frac{380rE}{f^2 I_s} \quad (1.2)$$

Diğer taraftan, kapalı halka sınır alanından oluşturulan maksimum alan gücü aşağıdaki Eşitlik (1.3) ile açıklanır.

$$E = \frac{A f I_s}{380r} \quad (1.3)$$

E = Işıma sınırı ($\mu\text{V/m}$)

r = Halka ve ölçüm anteni arasındaki uzaklık (m)

f = Frekans (MHz)

I_s = Akım (mA)

A = Halka alanı (cm^2)

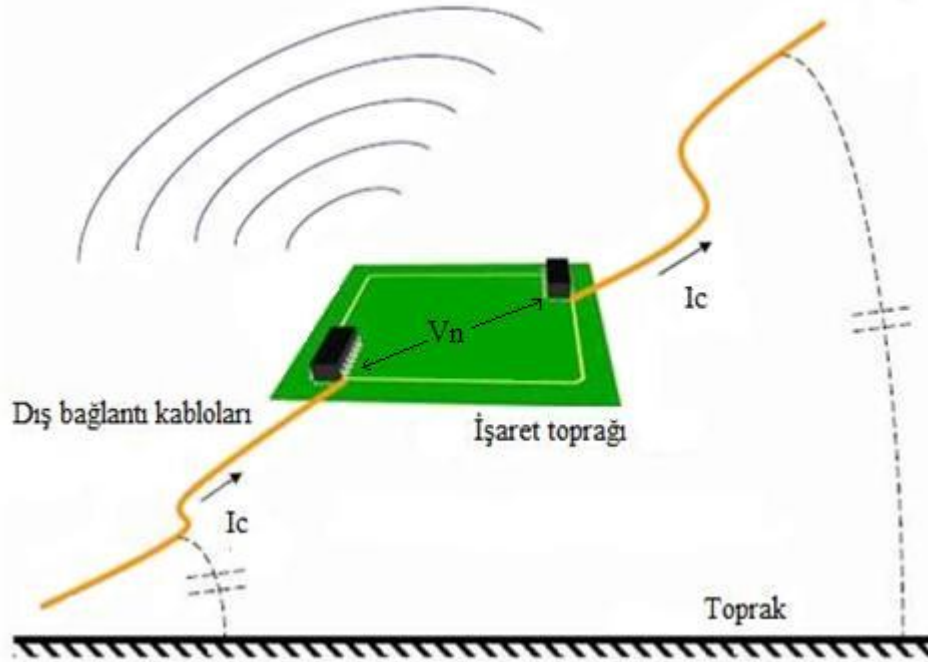
Serbest uzay içerisinde ışıyan enerji, kaynak ve alıcı anten arasındaki uzaklıkla ters orantılı bir şekilde azalır. Baskı devre içerisindeki belirtilen akım akan halka çevresinin bilinmesi gereklidir [5].

1.4.3. Ortak mod ışıması

Ortak mod ışıma devrenin bazı bölümlerinin gerçek toprak seviyesinin üstünde devre elemanları tarafından neden olan istenmeyen voltaj düşmelerinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Toprak halkası ortak mod akımları alıcı ve verici devrelerin dengesiz tabiatından ve daha genel olarak bir ortak mod akım dönüş yolunun ortadan kaldırılmasının mümkün olmaması sebebiyle oluşurlar. Etkilenen toprak sistemine

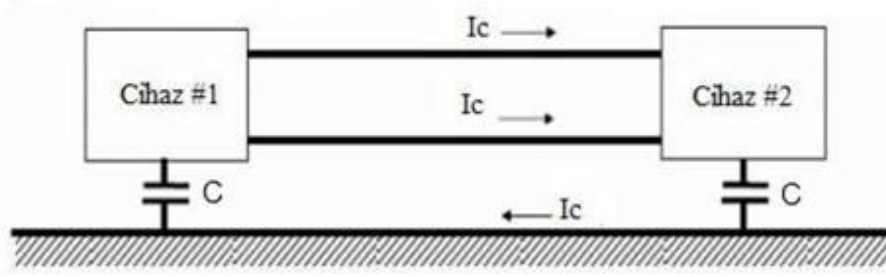
bağlı kablolar, bir voltaj kaynağı tarafından uyarıldığı zaman bir dipol anten gibi davranış sergilemektedir.

Sabit akım kaynağı ve sabit anten uzunluğuyla birlikte, öngörülmuş bir uzaklıktaki elektrik alan potansiyeli doğrudan çalışma frekansı ile orantılıdır. Fark modu ışımaya uygun tasarım teknikleri kullanılarak azaltılmasına rağmen ortak mod ışımaya problemini çözmek daha zordur. Problemi çözmek için tasarımcıların var olan tek değişkeni dönüş akımları için ortak yol empedansını azaltmaktır. Bu hassas topraklama planı kullanılarak gerçekleştirilir. Eğer ana modifikasyonu da içeren topraklama yönteminde bir değişiklik mümkün değilse, örneğin ortak mod durdurucular uygulanabilir [5]. Şekil 1.12’de görüldüğü üzere, bir baskı devre kartına bağlı bulunan dış bağlantı kabloları sistemin toprağı veya gerçek toprakla birlikte ortak mod ışımaya gerçekleştirmektedirler.



Şekil 1.12. Ortak mod ışımaya

Şekil 1.13’de gösterilen durumda devre üzerinde akan akımlar normal işlevini görürlerken diğer taraftan sistem toprağı üzerinde akım oluşturarak istenmeyen ışımaya oluştururlar.



Şekil 1.13. Ortak mod akım yolları

Yayılan alanın uzak alan terimi aşağıdaki Eşitlik (1.4) de tanımlanmıştır [5].

$$E = \frac{1.26(fI_C L)}{r} \text{ V/m} \quad (1.4)$$

L= Anten uzunluğu (m)

I_C = Ortak mod akımı (A)

f = Frekans (MHz)

r = Uzunluk (m)

1.5. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

Elektronik sistemlerin belirlenmiş bir güvenlik limiti içinde ve tasarlandıkları performans seviyesinde elektromanyetik girişim nedeniyle kabul edilemez kötüleşmeye uğramadan, kötüleşmeye yol açmadan çalışabilmesidir. Elektromanyetik uyumluluk bir sistemin tüm elektriksel bileşenlerinin istendiği gibi işlevini yerine getirmesidir. Çevre etkileri ne olursa olsun, çalışmanın getirdiği koşullar ve süreçler ne olursa olsun bozulmanın meydana gelmemesidir [4].

1.5.1. Emisyon

Elektrik ve elektronik cihazdan yayılan elektromanyetik enerji (emisyonlar) istemli veya istem dışı olarak sınıflandırılabilir. İstemli emisyonla örnek olarak bir telsiz vericisinin kendisine tahsis edilen kanaldan ortama elektromanyetik enerji yaymasıdır. İstem dışı emisyonla ise (genel olarak gürültü kavramı altında değerlendirilebiliriz) yine aynı telsiz vericisinden yayılan harmonikler örnek gösterilebilir [4].

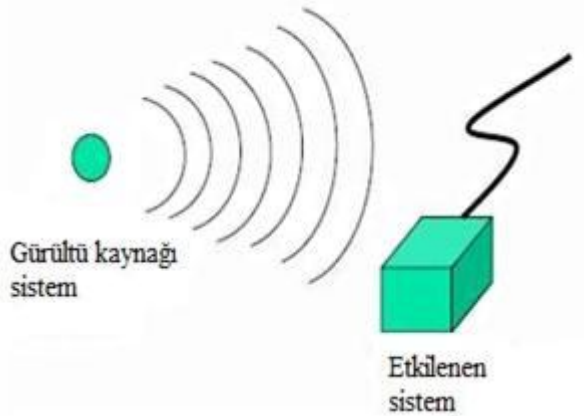
Bu emisyonlar iletim yolu ile yayılabileceği gibi havadan ışın yolu ile de yayılabilirler. Şekil 1.14’de bir emisyon kaynağı cihaz ve emisyonlar görülmektedir.



Şekil 1.14. İstemsiz emisyon [4]

1.5.2. Alınganlık

Bir cihazın veya bir sistemin önceden tanımlanan performans seviyesinde çalışmasını sürdürüyor iken belirli standartlar çerçevesinde maruz bırakılacağı elektromanyetik alanlara karşı dayanma durumudur [4]. Şekil 1.15’de bir gürültü kaynağından çıkan ışınmaların diğer bir sistemi etkileyebileceği görülmektedir.



Şekil 1.15. Alınganlık yapısı [4]

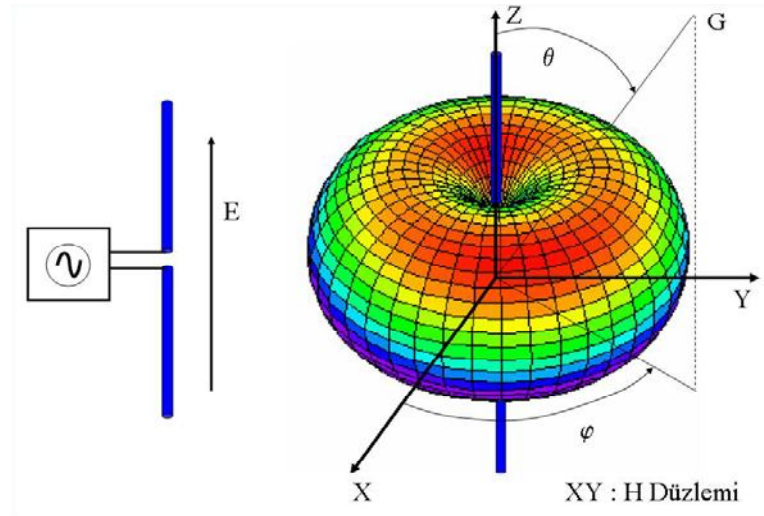
1.5.3. Ekranlama

Ekranlama belirli bir bölgeyi dış elektromanyetik ortamdan izole etmek veya iç elektromanyetik ortamın dışarıya sızmasını engellemek amacıyla kullanılır. Faraday kafesi; yüksek frekanslı gerilimleri, EMI (Elektromanyetik girişim) denilen elektromanyetik parazitleri ve her türlü elektriksel gürültülerin dışarıdan içeriye, aynı şekilde içerden dışarıya geçmesini engelleyen, iyi bir iletkenlik özelliğine sahip

topraklanmış bir çeşit zırhtır. Günlük hayatta kullandığımız bilgisayarlar, televizyonlar, cep telefonları, yüksek frekansla çalışan aletler (MR cihazları), radyolar vb. cihazlar, içerisinden akım geçen her türlü alet, atmosfere elektromanyetik dalgalar yaymaktadır. Faraday kafesi içerisinde bulunan her şeyi, dışarıdaki elektriksel olaydan koruyan bir kafestir. İletken bir tel ile çevrilmiş ve topraklanmış her kafesle bu koruma gerçekleştirilebilir, ancak en iyi performans küre şeklindeki kafeslerle elde edilir. Ekranın etkililiği, açıklıkların (deliklerin) büyüklüğüne ve sayısına bağlıdır. Kritik parametre, açıklığın en büyük boyutudur. Yuvarlak bir delik için, bu çaptır, dikdörtgen şeklindeki bir delik için bu, köşegen uzunluğudur. En uzun boyutu $\lambda /20$ olan açıklıklar için ekranlama etkililiği (SE) 20 dB düşecektir. Bu husus göz önüne alınarak, sıkıştırma vidaları arasındaki uzaklık, açıklıklar, delikler, $\lambda/20$ 'den küçük olmalıdır [7].

1.6. Anten Kavramı

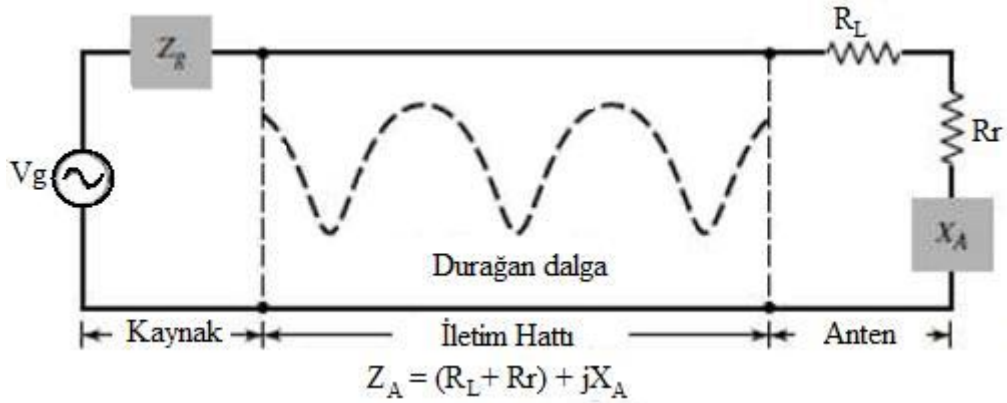
Anten çift yönlü bir dönüştürücüdür. Verici olarak kullanıldığında besleme noktalarına uygulanan volt büyüklüğündeki gerilimi volt/metre büyüklüğündeki elektrik alana dönüştürmektedir. Alıcı olarak kullanıldığında ise ortamda bulunan elektromanyetik dalgalardan kaptığı volt/metre büyüklüğündeki elektrik alan enerjisini uçlarına volt büyüklüğünde bir gerilim farkı olarak dönüştürmektedir [8]. Şekil 1.16'da tipik bir dipol anten ve etrafında oluşturduğu elektrik alan dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Dipol anten ve ışınma diyagramı [8]

Ortasından beslenen L uzunluğundaki bir iletken dipol antenin çevresinde oluşan elektromanyetik dalgaların elektrik alan bileşeni dipol eksenine paralel şekilde verilen üç boyutlu değişim ise elektrik alanın yoğun olduğu yerleri göstermektedir. Bu durumda antenden uzaklaştıkça belli yerlerde alan şiddeti yüksek, belli yerlerde ise sıfır olmaktadır.

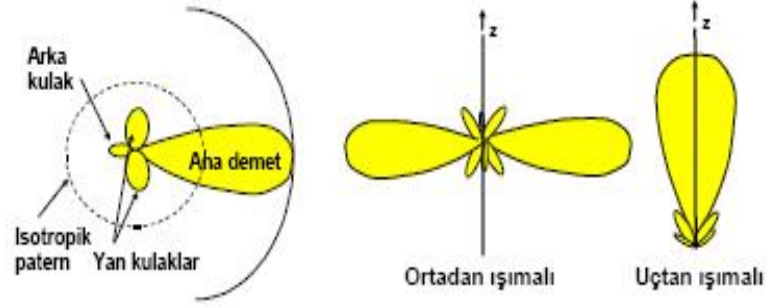
Dipol, doğrultusunda (z-yönünde) hiç ışın yapmazken, yatay doğrultuda maksimum ışın yapmaktadır [9]. Buna göre antenin giriş empedansı $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$ olarak hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki R_L , antenin yapısına bağlı olan iletim ve dielektrik kayıplarını, R_r , antenin ışınmasını tanımlayan ışın direncini ve X_A , ise antenin ışınmasına eşlik eden empedansın sanal kısmını temsil etmektedir. Bu denklemden anlaşılacağı gibi anten tasarımı gözönüne alınması gereken hususların başında ışın direnci olan R_r 'yi büyük tutmak gerektiğidir [9]. Verici durumundaki antenin, Thevenin eşdeğer devresi Şekil 1.17'de gösterilmiştir [10].



Şekil 1.17. Verici durumundaki antenin Thevenin eşdeğer devresi [10]

Anten etrafında ve uzak alanda açısal ışın karakteristiğine anten paterni ya da anten diyagramı adı verilir. Küresel koordinatlarda yatay ve düşey açılarla belirlenen anten paterni için uygulamada iki patern önemlidir; yatay patern ve düşey patern. En basit anten izotropik yayıcı ya da noktasal kaynaktır. Birden fazla anten elemanı bir arada kullanılarak anten dizisi oluşturulur ve bu şekilde istenen ışın karakteristikleri elde edilebilir. Bunlara yönlendirilmiş antenler denir. Üstelik dizi elemanlarının besleme gerilimlerinin genlikleri ve fazları değiştirilerek ışın karakteristiğinin yön değiştirmesi de sağlanabilir. Bu şekilde oluşturulan anten dizilerine faz değişimleri diziler adı verilir. Yönlendirilmiş antenler ışın gücünü belli bir yöne doğrulturlar. Ana ışın doğrultusundaki demet genişliğine ana demet adı verilir. Ana demetin

yanlarında ve arkada oluşan istenmeyen demetlere yan demetler (yan kulakçıklar) ve arka demet (arka kulakçık) denir. Anten demet genişliği için iki tip tanım kullanılmaktadır. Ana ışına doğrultusunda gücün yarıya (3 dB) düştüğü demet genişliği, ya da ana ışına doğrultusu etrafında ışınım olmayan noktalar arasındaki uzaklıktır. Şekil 1.18’de anten ışınım karakteristiklerine ait tanımlar resmedilmektedir.

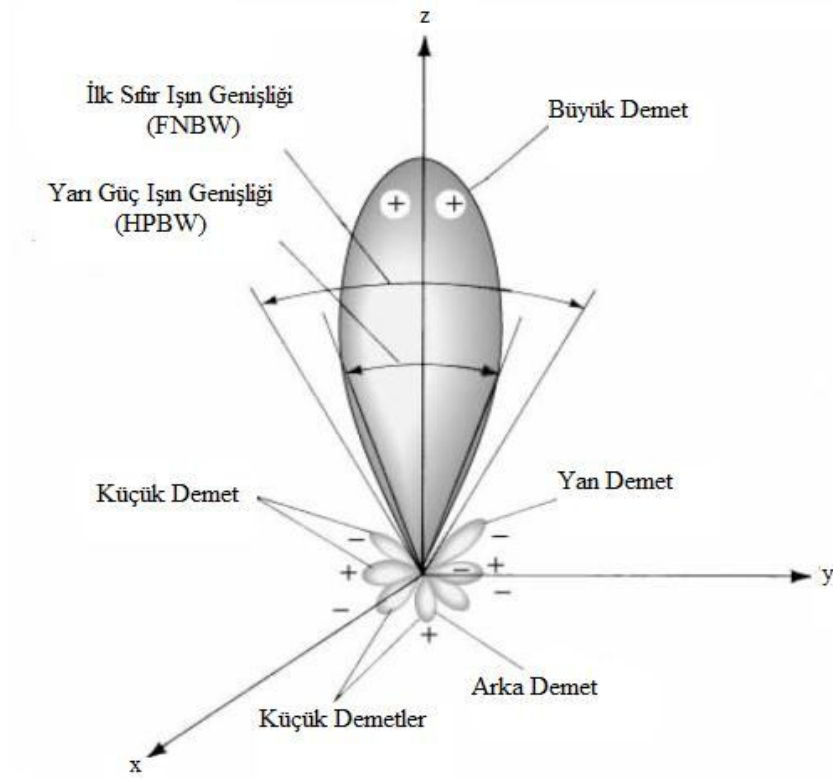


Şekil 1.18. Anten ışınım diyagramı ve tanımları [8]

1.6.1. Işınım deseni

Antenin ışınım deseni ya da anten deseni, antenin ışınım özelliklerini, uzay koordinatlarının fonksiyonu olarak gösteren matematiksel fonksiyon ya da grafikdir. Çoğu durumda, ışınım deseni uzak alan bölgesinde ve hesap yapılacak olan yerin koordinatlarının fonksiyonu olarak hesaplanır. Işınım özellikleri antenin, güç akı yoğunluğunu, ışınım yoğunluğunu, alan şiddetini, yönlülüğünü, fazını ya da kutuplaşmasını içermektedir. En çok dikkate alınan ışınım özelliği, gözlemcinin konumuna göre yolun ya da sabit yarıçaplı yüzeyin fonksiyonu olarak ışınım enerjisinin iki ya da üç boyutlu uzay dağılımının gösterimidir. Sabit yarıçapta, alınan elektrik (manyetik) alanın izine genlik alan deseni denir. Öte yandan, sabit yarıçap boyunca güç yoğunluğunun uzaysal değişim grafiğine genlik güç deseni denir [9].

Işınım desenine bakıldığı zaman, kabaca tabir edilirse, bazı girinti ve çıkıntılar görülmektedir. Bu girinti ve çıkıntılar anten demeti olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.19’da bu demetlerin isimleri gösterilmiştir [9].

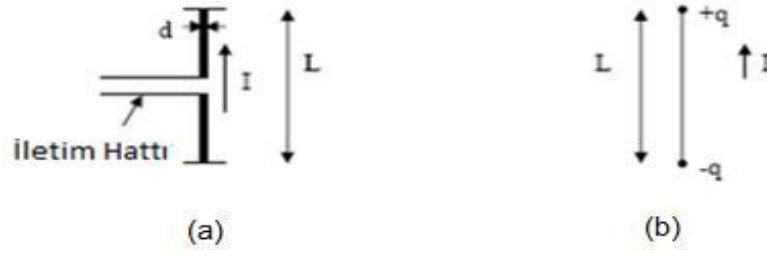


Şekil 1.19. Işıma deseni üzerindeki demetlerin isimleri [9]

1.6.2. Dipol antenler

Tüm antenler için kısa boylu dipol temel eleman olarak düşünülebilir, doğrusal bir anten kısa boylu küçük dipoller dizisi olarak ele alınabilir [11,12]. Kısa boylu doğrusal bir iletken kısa boylu dipol olarak tanımlanır. Kısa boylu dipolün sonlu bir boyu vardır. Şayet dipol gözden kaybolacak kadar küçülürse (Sıfıra yaklaşacak şekilde) sonsuz küçük dipol olur. Dipol boyu olan L uzunluğu, incelediğimiz frekanstaki dalga boyundan oldukça küçük kabul edilir, ($\lambda \gg L$). Dipolün uçlarında bulunan iletkenler kapasitif yükleme amaçlıdır. Dipolün kısa boylu olması ve uçtaki iletkenler sayesinde dipol boyunca düzgün dağılımlı bir akım elde edilir [13].

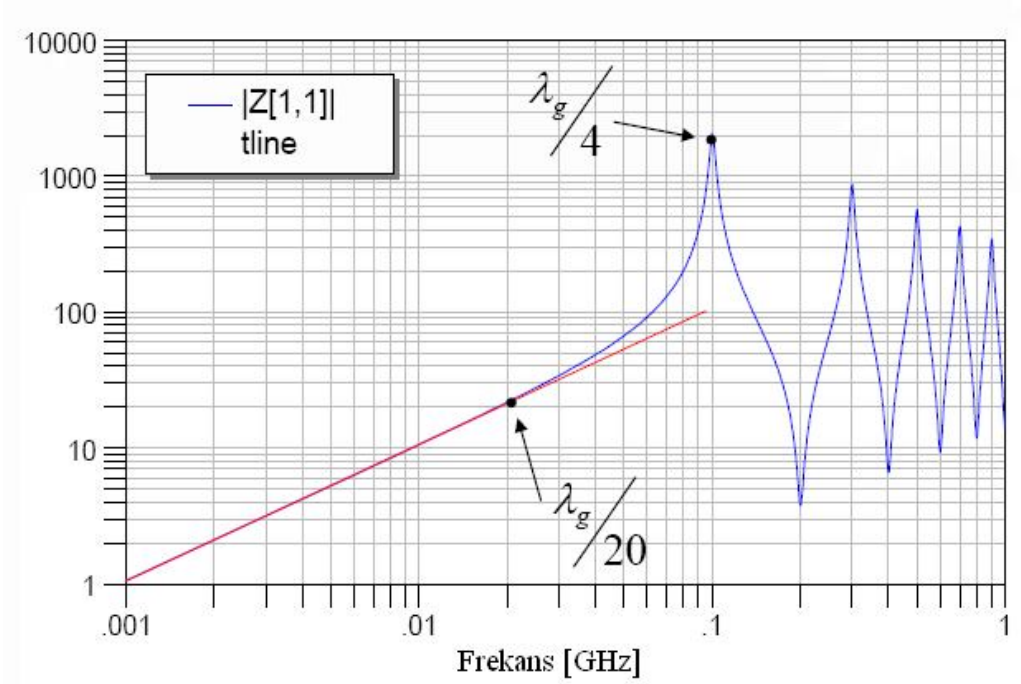
Dipol, Şekil 1.20'deki gibi iletim hattı ile beslenebilir. İletim hattının dış ortama elektromanyetik dalga yaymadığı kabul edilmektedir. Ayrıca dipol uçlarında bulunan iletkenlerden kaynaklanan ışımlar ihmal edilmiştir. Dipolün çapı d , boyu L ye göre küçüktür ($L \gg d$). Burada, dipol, L uzunluğunda ve üzerinde düzgün bir I akımı olan ince bir iletkenle oluşmuştur [14].



Şekil 1.20. (a) Dipol anten temeli, (b) Uçlarındaki yük durumu

1.6.3. Kısa devre edilmiş bir telin frekansa bağlı davranışı

İletken bir telin DC'de çalışma prensibi oldukça kolaydır. İletken bir tel üzerindeki elektronları (Akımı) iletmektedir. Fakat DC'den Yüksek frekanslara doğru gidildikçe iletken bir telin davranışı oldukça değişmektedir. Şekil 1.21'de iletken bir telin frekans ve uzunluğuna bağlı olarak $\lambda/20$ ' de ışıma yapmaya başladığı görülmektedir. Dipol antenlerde olduğu gibi maksimum ışımayı $\lambda/4$ 'de yaptığı görülmektedir.

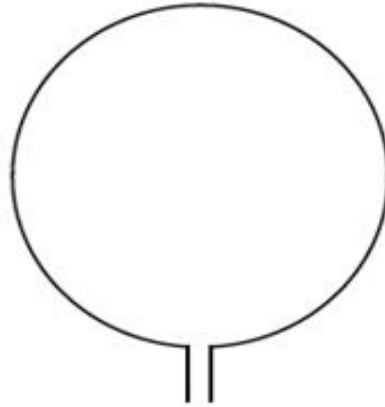


Şekil 1.21. Kısa devre bir telin frekansa bağlı davranışı [2]

1.6.4. Halka antenler

Halka anten basit, ucuz ve çok yönlü bir anten çeşididir. Halka antenler bir çok farklı şekil alabilirler. Bunlar dikdörtgen, kare, üçgen, elips, çember ve diğer birçok şekil olabilir. Dairesel döngülü antenin (Circular loop) yapılması ve analizlerindeki

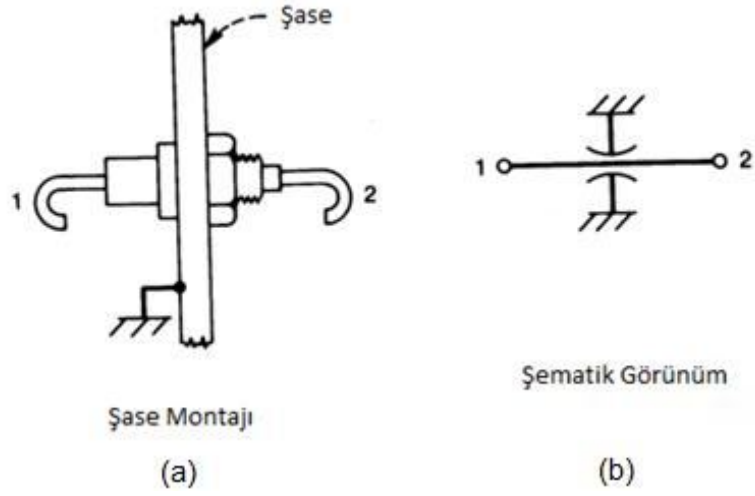
basitliğinden ötürü çok popülerdir ve en geniş ilgiyi almaktadır. Halka antenler genel olarak iki kategoride sınıflandırılırlar. Elektriksel olarak küçük ve elektriksel olarak büyük diye adlandırılırlar. Elektriksel olarak küçük antenler, çevresinin tüm uzunluğu dalga boyunun yaklaşık onda birinden daha az uzunluğa sahip olan antenlerdir. Elektriksel olarak büyük antenler ise, çevresinin tüm uzunluğu dalga boyunun yaklaşık uzunluğuna sahip olan antenlerdir. Halka antenlerin uygulamalarının birçoğu HF (3-30 MHz), VHF (30-300 MHz) ve UHF (300-3000 MHz) bantlarındadır. Alan probu olarak kullanıldıklarında, onlar mikrodalga frekanslarında bile kullanılabilirler. Halka antenler verici anten olarak çok verimli çalışmazlar. Onlar telsiz haberleşmesinde nadiren kullanılırlar. Haberleşme sisteminde kullanıldıkları zaman genellikle alıcı anten modun da kullanılırlar. Halka antenler, radyo dalga navigasyonu için yönlü anten ve alan ölçümü için prob olarak kullanılırlar [10]. Şekil 1.22’de standart dairesel bir halka anten gösterilmektedir.



Şekil 1.22. Halka anten

1.7. Feedthrough Kapasitör

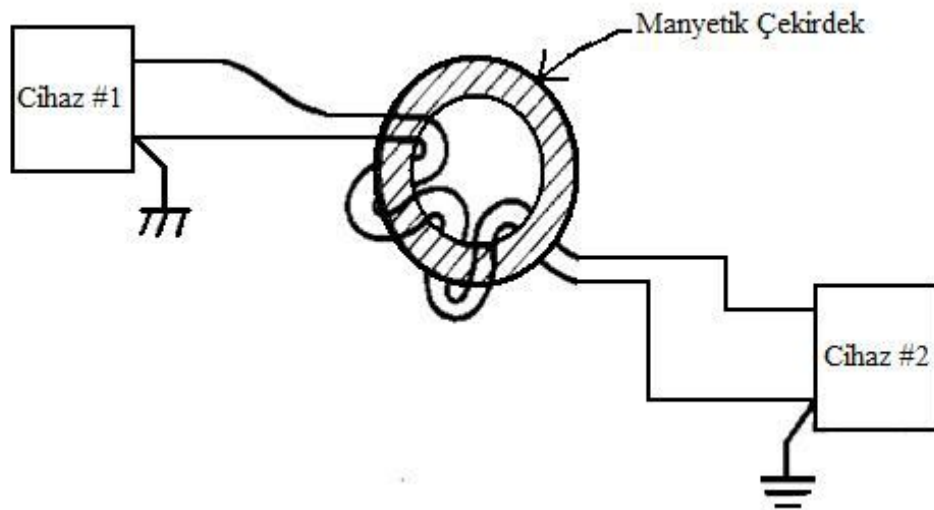
Elektromanyetik girişimden korunmada önemli bir eleman feedthrough kapasitörlerdir. İki uçlu kapasitörlere karşılık olarak üç uçlu ve yüzeye montajlı bir malzemedir. Bu kapasitör bir cihaz veya sistem içerisine istenen sinyali elektromanyetik girişim olmadan göndermeye yardımcı olur. Feedthrough kapasitörlerin en belirgin özelliği, bacak endüktanslarının son derece düşük olmasıdır. Özellikle güç filtrelemesinde kullanılırlar. Şekil 1.23’de standart bir feedthrough kapasite görülmektedir.



Şekil 1.23. (a) Feedthrough kapasitör şase montajı, (b) Şematik görünüm

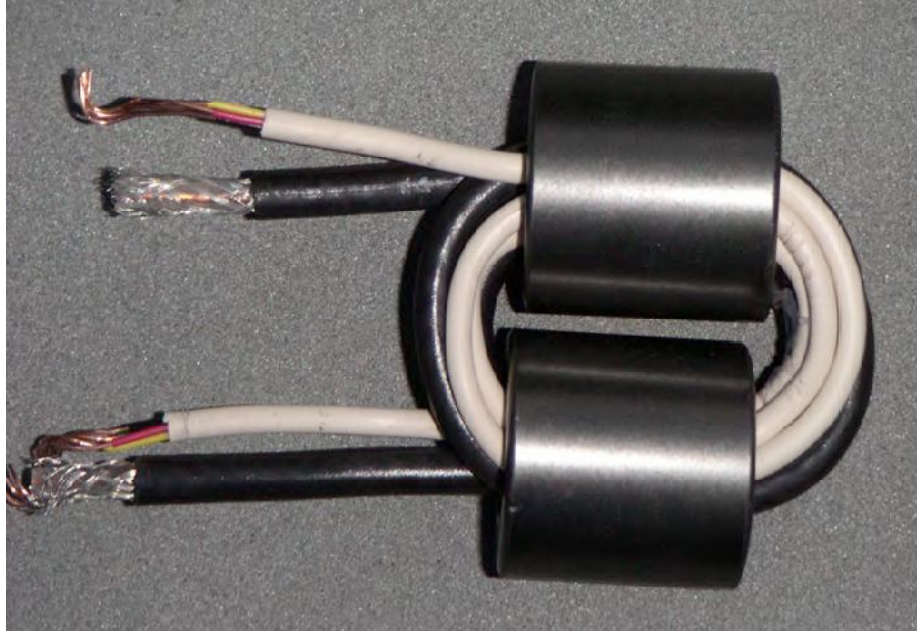
1.8. Ortak Mod Durdurucular

Ortak mod durdurucular, fark modu akımlarını engellemeksizin sadece ortak mod akımlarını engeller. Ortak mod durdurucular ayrıca fark modu iletim hattı akımlarına karşı herhangi bir direnç veya reaktans göstermezler. Fakat, ortak mod akımları için açık devre gibi görünür. Diğer bir ifadeyle, mükemmel ortak mod durdurucu ortak mod akımlarına karşı sonsuz empedansa sahiptir. Şekil 1.24’de ortak mod durdurucunun kullanım yöntemi görülmektedir.



Şekil 1.24. Ortak mod durdurucu kullanım yöntemi

Ortak mod durdurucuyu mükemmel bir şekilde yapmanın en basit yolu kullanılan kablonun aynısı ile onu yapmak olacaktır. Daha sonra yüksek ortak mod empedansı vermesi için bu kablo bir ferrite sarılır. Şekil 1.25’de bu yapıya örnek bir durum verilmektedir.



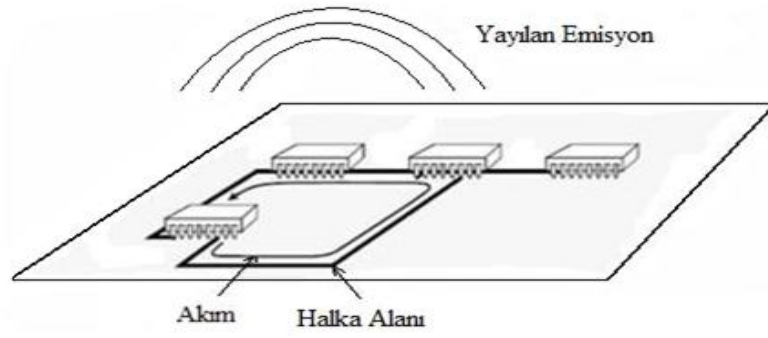
Şekil 1.25. Ortak mod durdurucu bağlantı şekli

2. DEVRE YERLEŞİMİNİN BASKI DEVREDEN IŞIMAYLA YAYILAN EMİSYONLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ÖLÇÜM VE BENZETİM YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Bu bölümde, bir baskı devre kartı üzerinde oluşabilecek EMC problemlerinin en temel oluşum mekanizmaları incelenmiştir. Temel bir devre örneği üzerinde dört farklı konfigürasyon kurulmuştur. İlk olarak, temel test devresi ele alınmıştır. Daha sonra bu temel test devresinin toprak kısmına 50 cm uzunluğa sahip iki adet kablo eklenmiştir. Üçüncü durumda, bu kablo ekli temel test devresi tamamen metal kaplı bir kutuya konarak kablolar bir delik vasıtasıyla dışarı çıkartılmıştır. Son olarak, temel test devresinin toprak kısmına bağlı olan kablolar çıkartılıp devre metal kutuya konmuştur. Bunların, hem gerçek ölçüm şartlarında ölçümleri yapılmış hem de benzetim ortamında benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda gerçekleştirilen çalışmanın temelinde, baskı devre kartından ışımaya yolu ile yayılan emisyonlar olmuştur. Bu emisyonlar, ölçüm ve benzetim ortamında yapılan testlerin sonuçları arasındaki benzer durumlar dikkate alınarak incelenmiştir.

2.1. Baskı Devrelerden Işıma

Elektronik cihazların birçoğunda, baskı devre kartları üzerine monte edilmiş olan devreler (saat sinyalleri, video ve veri sürücüler, osilatörler v.b) üzerinde akan akımlar baskı devreden ışımaya neden olan birincil kaynaklardır. Şekil 2.1’de gösterildiği üzere yayılan emisyonun bir kısmı girişim akımı taşıyan küçük bir halka anten gibi modellenebilen baskı devre iletim hatlarından doğrudan yayılır. Küçük bir iletken halka içerisinde alternatif akım geçtiği zaman fark modu ışımaya gerçekleşir. Işıyan halka alanın genliği, iletkenler içerisinde geçen akım ile orantılı olarak değişir. Şekil 2.1’de baskı devre kartında bulunan iletken yollar birer halka alanı oluşturmaktadır. Bu halka alan üzerinde akım dolaşacağından dolayı yayılmanın fark modu şeklinde gerçekleştiği görülmektedir.

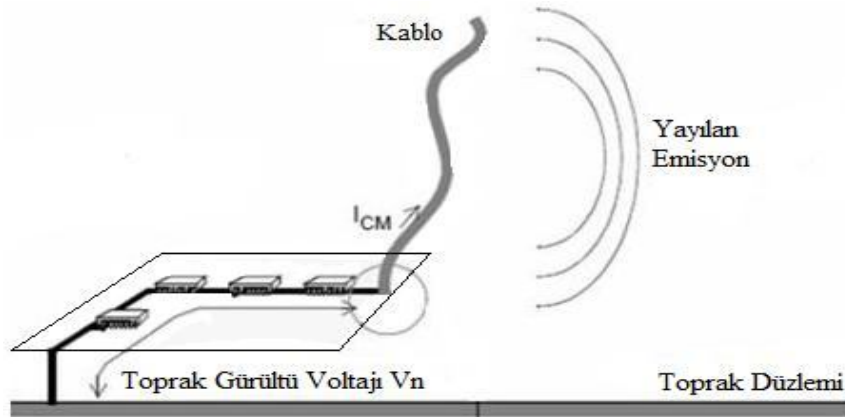


Şekil 2.1. Baskı devre kartından yayılan ışım

2.2. Kablolardan Işıma

Bir sistem veya cihazdan yayılan emisyonlar, içlerinde bulunan baskı devre kartlarından doğrudan yayılabilirler. Bununla birlikte, sistem veya cihaz içerisinde bağlı bulunan kablolar üzerinden de yayılabilirler. Özellikle, VHF bandı frekanslarında (30 - 200 MHz) yayılan emisyonlar baskı devre kartından doğrudan yayılmak yerine kablo üzerinden yayılırlar. Bu frekans aralığında çeyrek dalga boyu 37,5 cm ile 250 cm arasında değişmektedir. Bir sistem veya cihaz içerisinde bağlı bulunan bir kablonun uzunluğu da bu çeyrek dalga boyu uzunluklarına denk gelmesi muhtemeldir.

Şekil 2.2'deki gibi bir sistem veya cihaza bağlı bulunan kablo, bir toprak düzlemini referans alarak ortama ortak mod ışım şeklinde emisyon yayar. Bu kablo üzerinde akan akımlar geri dönüş yolu olarak toprak düzlemini kullanırlar. Bu akımlar iletken boyunca veya ekranlı kablonun ekranı boyunca akabilir. Ortak mod emisyon seviyesi ortak mod durdurucular kullanılarak azaltılabilir [15,16].



Şekil 2.2. Baskı devre kartına bağlı kablodan ışım

2.3. Benzetim Ortamı

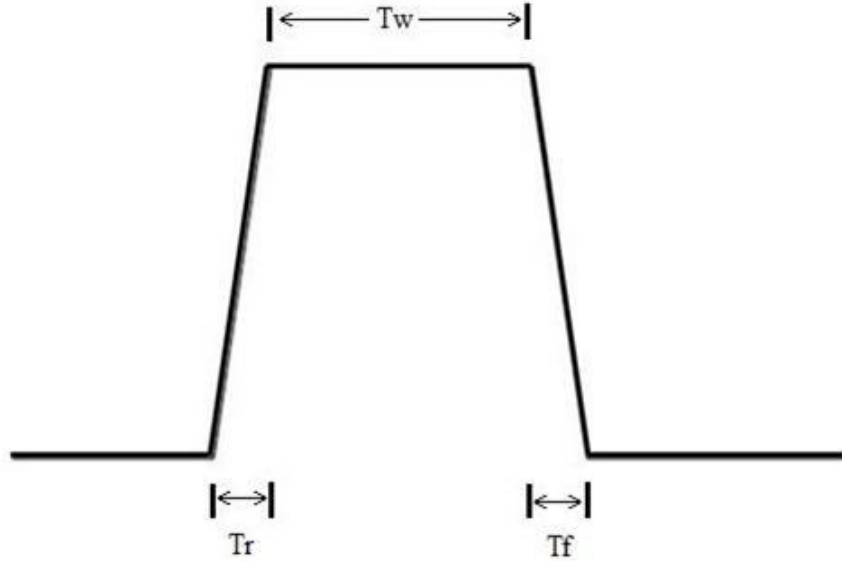
Elektromanyetik alanları modellemek üzere yazılmış benzetim programları, fiziksel objelerin elektromanyetik alanlar ile etkileşimlerini modeller ve hesaplar. Benzetim programları, elektromanyetik dalga yayılımı, radar kesit alanı, elektromanyetik uyumluluk problemleri ve anten performansları gibi hesaplamaları gerçekleştirmek için kullanılır. Benzetim programları yüksek frekans aralığında elektromanyetik analiz ve tasarım için kullanılan çok kapsamlı yazılım paketleridir. Ayrıca, güçlü üç boyutlu modelleme imkanı sağlayarak modellenmek istenen yapıların programa giriş sürecini basitleştirirler. Hatta, güçlü grafik geri bildirimleri sayesinde sistemlerin tanımlanmasını kolaylaştırır.

Bu tez çalışmasında CST Microwave Studio programı kullanılmıştır. CST microwave studio, CST Design Studio'nun bir parçasıdır ve farklı uygulama tipleri için bir çok farklı çözümleyiciler sunar. Tüm uygulama alanlarında yöntemler aynı derecede çalışmadığı için ve bazı özel uygulamalara daha iyi uyumlanması açısından, yazılım dört farklı benzetim tekniği içerir. Bunlar, transient solver, frequency domain solver, integral equation solver ve eigenmode solver olarak adlandırılır. Benzetimi yapılan sistemin veya yapının geniş band frekans davranışını elde edebilmek amacıyla çözümleyici olarak transient solver kullanılmalıdır. Bu çözümleyici yüksek frekans uygulamalarının birçoğunda kullanılabilir. Konnektör, iletim hatları, filtre ve anten karakteristiklerinin elde edilmesi gibi uygulamalar örnek olarak verilebilir.

Bu bölümde gerçekleştirilen benzetimlerde çözümleyici olarak transient solver kullanılmıştır. Bununla birlikte, benzetim programında test devrelerini uyarlamak için kullanılmakta olan sinyal trapez (İkizkenar yamuk) dalgadır. Trapez dalganın kullanılması, test yapılan temel test devresi üzerindeki osilatör sinyaline daha yakın olmasından dolayıdır.

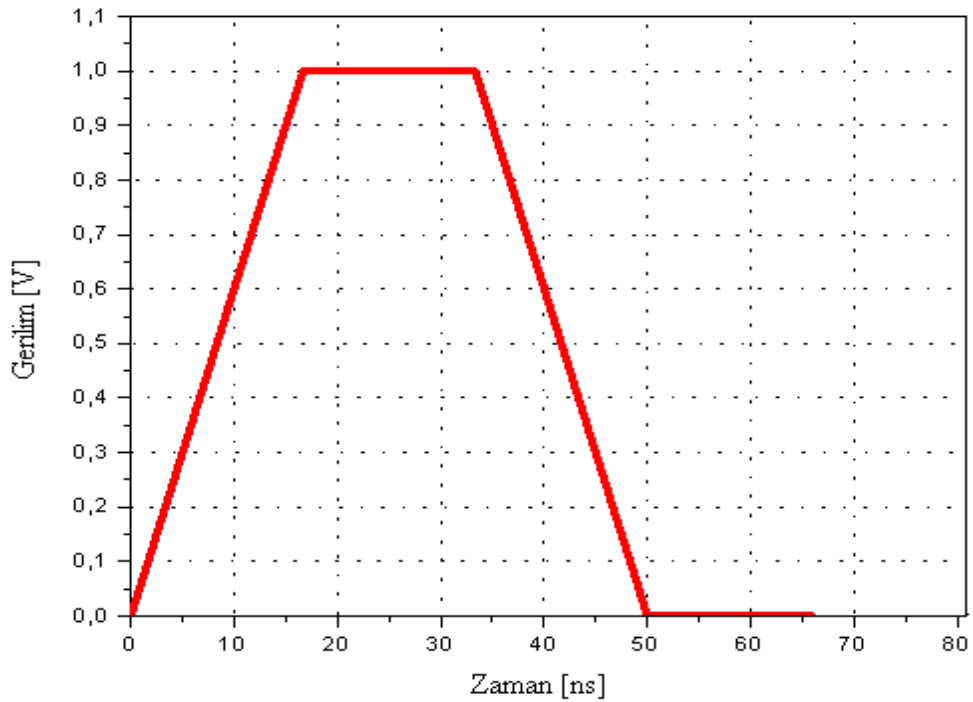
Trapez dalga, bir darbe veya yarı kare dalgadan daha gerçekçidir. Çünkü her ikisi de basamak fonksiyonuna veya sıfır artış zamanı ve sıfır düşme zamanına sahiptirler. Fakat trapez dalga, tıpkı gerçek dünyadaki gibi artış ve düşüş zamanlarına sahiptir. Trapez dalganın dezavantajı güç kaynaklarının etkinliğini azaltmasıdır. Gücün bir kısmı artış ve düşüş zamanları sırasında anahtarlamada boşa harcanır.

Şekil 2.3’de gösterildiği üzere T_r artış zamanını, T_w darbe genişliğini, T_f düşüş zamanını ifade eder.



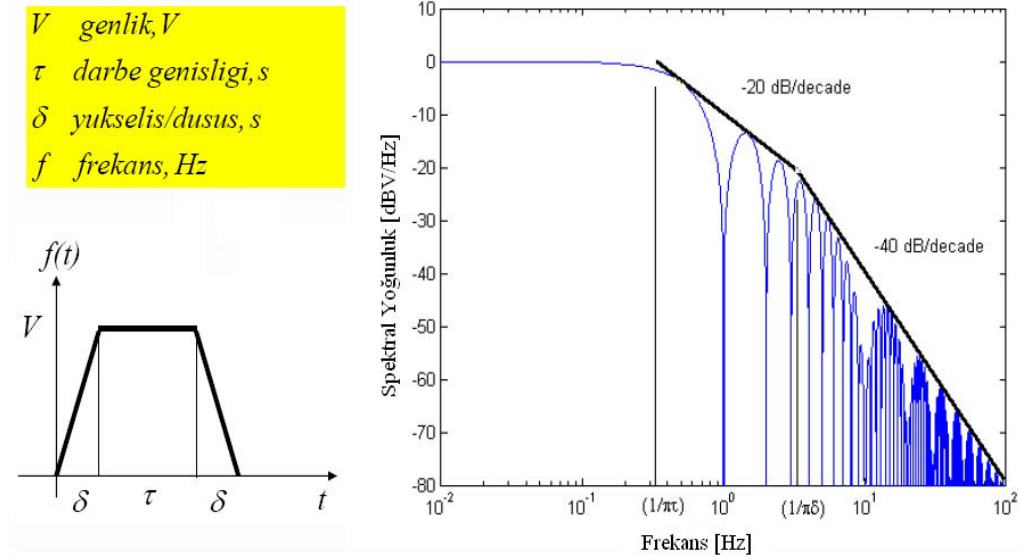
Şekil 2.3. Temel bir trapez dalganın özellikleri

Şekil 2.4’de gösterilen dalga, CST benzetim programında uyarma sinyali olarak kullanılan trapez dalgadır ve bu dalga 16,66 ns yükseliş ve düşüş zamanına, 16,66 ns darbe genişliğine, 66,66 ns de periyoda sahiptir. CST benzetim programında temel trapez dalga özellikleri bu değerlere sahip olduğundan bu değerler değiştirilmemiştir.



Şekil 2.4. Benzetimlerde kullanılan trapez dalga

Şekil 2.5’de bir trapez dalganın frekans spektrumunda gösterimi bulunmaktadır. Burada bir trapez dalganın yükseliş ve düşüş zamanlarının onun frekans spektrumuna etkisi görülmektedir. Trapez dalganın artış zamanı ve düşüş zamanı azalırse frekans spektrumunda yapacağı ışımlar daha da genişleyecektir.

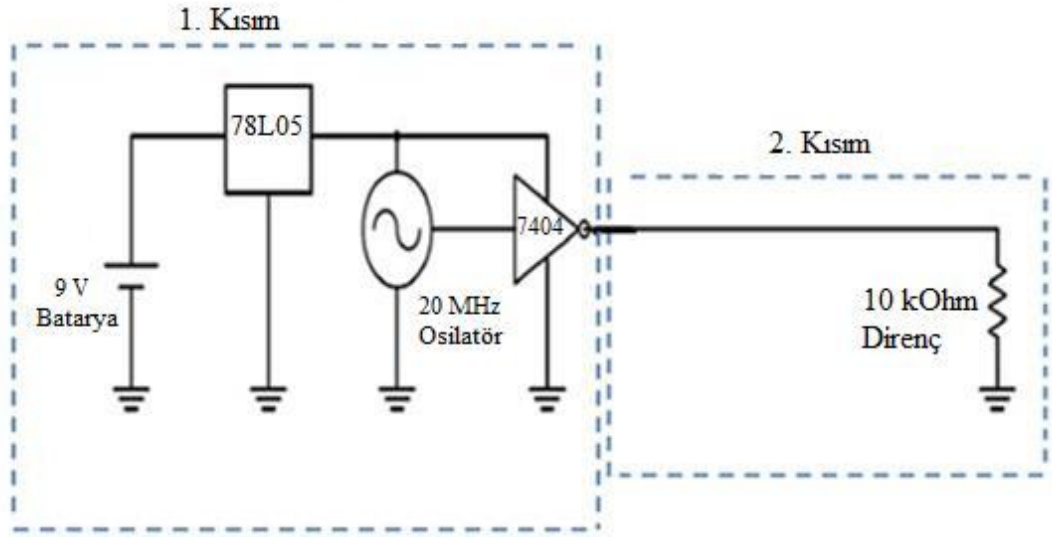


Şekil 2.5. Bir trapez dalganın frekans spektrumunda gösterimi [2]

2.4. Temel Test Devresi

Bu tez çalışmasında kullanılacak olan temel test devresi, Şekil 2.6’da gösterilmektedir. Bu devre, gerçekleştirilecek olan tüm ölçüm ve benzetimlerde kullanılacaktır. Devre, EMC açısından temel sorun olarak görülen ortak mod ve fark modu ışımayı modellemesi bakımından önem teşkil etmektedir. Bu devre üzerindeki iletim hatlarının halka alan oluşturarak ışıma yapması fark modu ışımayı, toprak düzlemine ek kablolar eklenerek oluşturulan yapıda ise ışıma yapması ortak mod ışımayı oluşturmaktadır.

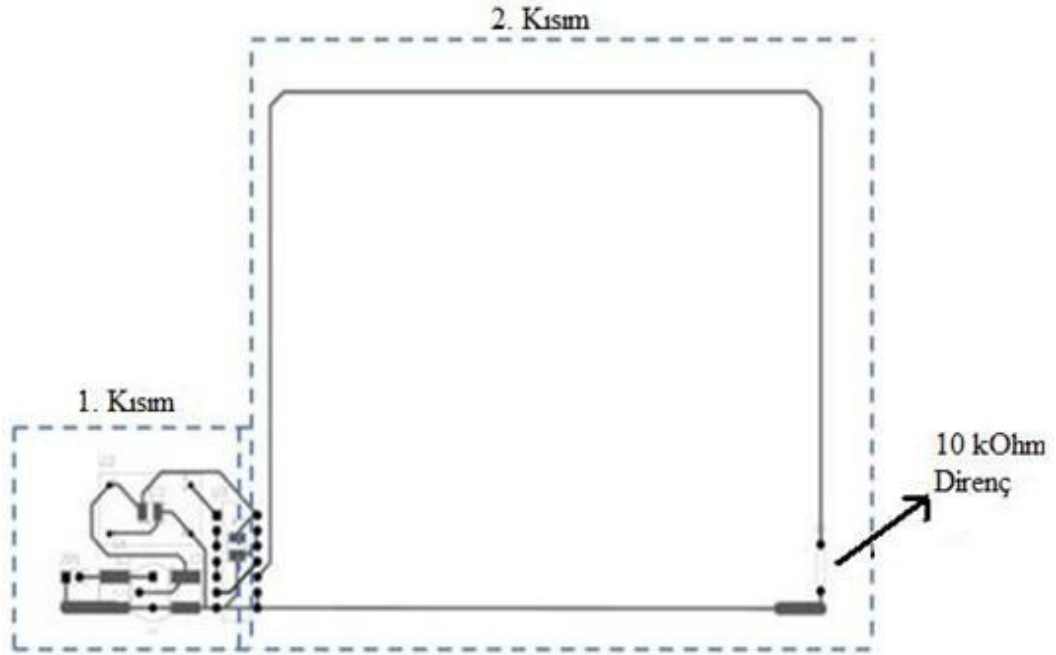
Şekil 2.6’da verilen temel test devresinin şematik gösteriminden de görüldüğü gibi 20 MHz de çalışan bir osilatör, 7404 entegre devresi olan invertör kapısını sürer. Bu kapı çıkışındaki sinyal 10 kOhm değerindeki direnç tarafından sonlandırılır. Bütün devre 9V pille beslenerek, lineer voltaj regülatörü olan 78L05 entegresiyle birlikte 5Vdc seviyesine dönüştürülür.



Şekil 2.6. Temel test devresi

Şekil 2.6'da kesikli çizgi ile gösterilen 1. Kısım ve 2. Kısım bölümleri Şekil 2.7'deki 1. Kısım ve 2. Kısım ile aynı devre yapısına sahiptir. 1. Kısım, kare dalga sinyal üreten devrelerden oluşmaktadır. 2. Kısım ise sinyal hattı, dönüş iletkeni ve dirençten oluşmaktadır.

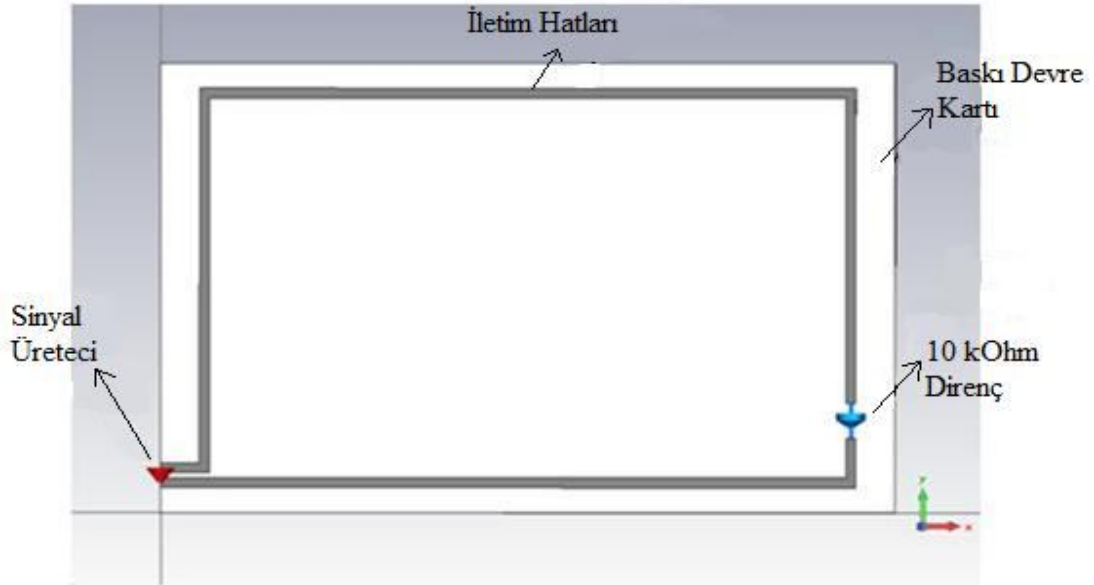
Şekil 2.7'de gösterilen devrenin sol tarafında, kare dalga sinyal üreten devre elemanları bulunmaktadır ve devrenin sağ tarafında yük görevi gören bir direnç bulunmaktadır.



Şekil 2.7. Temel test devresi şematik gösterimi

Üretilen bu kare dalga sinyalinin yüke en uzak yoldan gitmesi sağlanmıştır. Bunun sonucu olarak daha büyük bir halka alanı oluşturulmuştur. Büyük bir halka alanı daha fazla fark modu ışına sağlayacaktır. Bu devre ilk önce yarı yansız test odasında test edilmiştir. Daha sonra CST benzetim programında modellenerek benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.8’de temel test devresi CST benzetim programında, sinyal üretici olarak adlandırılan eleman, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’deki 1. Kısım da kare dalga sinyal üreten devreleri örnekleyen bir kaynaktır. Devrenin sağ tarafında bulunan eleman, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’deki 2. Kısım da bulunan 10 kOhm direnci simüle eder. Bu çalışmadaki CST programı benzetimlerinde ki tüm devrelerde aynı devre elemanları kullanılmaktadır. Sinyal ve dönüş hattı arasında şekillenen halka alanı maksimum seviyede tutabilmek için direnç kartın en uzak noktasına yerleştirilir. Bu halka alanı maksimum seviyede tutarak fark modu ışımının en yüksek olması sağlanmıştır.



Şekil 2.8. Temel test devresi CST programı benzetim görüntüsü

2.5. MIL-STD- 461E/F Standardı RE 102 testi

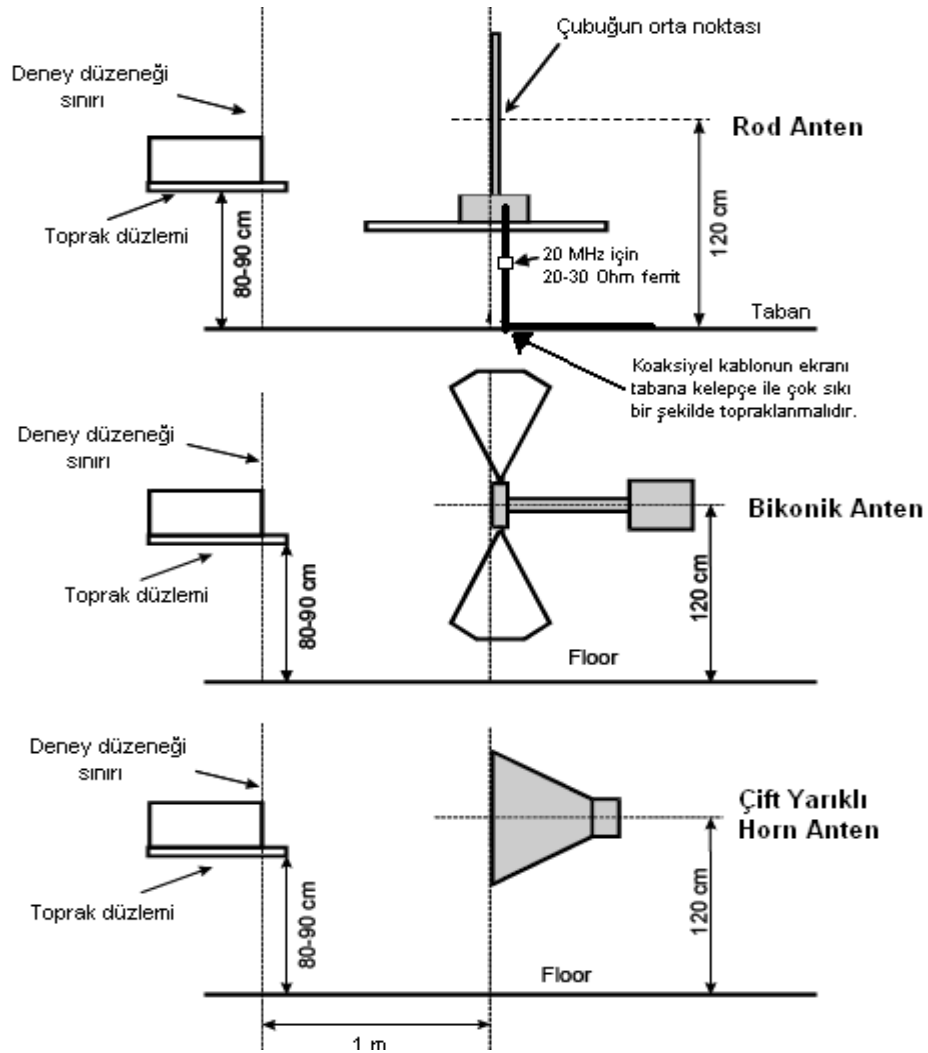
2.5.1. Amaç

Deney (Test) altındaki cihazdan (DAC) ve kablolarından yayılan elektrik alan emisyonlarının MIL-STD-461E ve MIL-STD-461F standardında öngörülen deney sınır değerini aşıp aşmadığını belirlemek için kullanılır.

Deney, 10 kHz ile 18 GHz frekans aralığında gerçekleştirilir. Vericilerde, antenden yayılan istemli emisyonlar için (Ana harmonikte) bu deney şartları geçerli değildir.

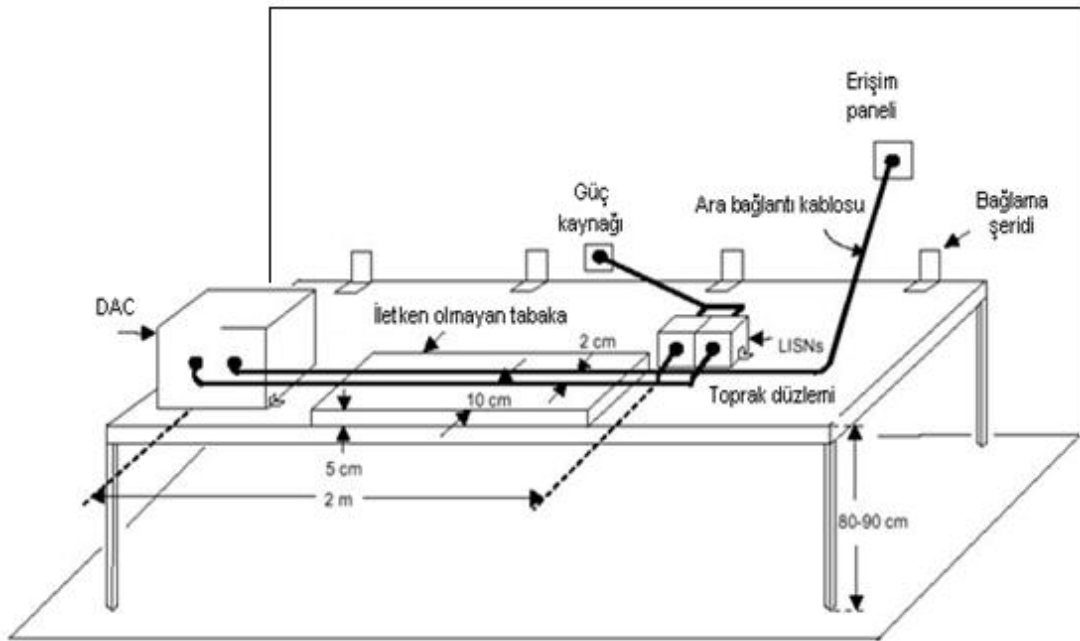
Tüm deney düzeneklerinde anten, deney düzeneği sınırının ön kenarından 1 metre uzakta olmalıdır. 104 cm'lik rod anten dışında diğer bütün antenler, zeminden 120 cm yukarıda olmalıdır. Antenin hiç bir parçası ekranlanmış odanın tavanına 0,5 metre ve duvarlarına 1 metreden daha yakında olmamalıdır.

Masa üstü deney düzeneklerinde, rod anten için gerekli yerleştirme ve masa üstü toprak düzleminde yükseklik koşulları, MIL STD 461F standardı için Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilecek olan ölçümler için 30 MHz - 200 MHz frekanslarında MIL STD 461E ve MIL STD 461F standartları arasında bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 2.9. Anten konumları (MIL-STD 461F için)

Aşağıda Şekil 2.10’da, EMC testleri için genel test düzeneği görülmektedir. Masa üzeri yerden 80 cm ile 90 cm arası yükseklikte bulunmalıdır. DAC ve kabloları masa üzerine konulmalıdır. Kablolar en az 2 m masa üzerine düzgün bir şekilde serilmelidir. Kablolar masa üzerinden 5 cm yüksekliğinde bulunan yalıtkan destekler üzerine serilmelidir. Ayrıca kablolar arasında 2 cm aralık bulunmalıdır. Güç kabloları LISN’ dan geçerek DAC’ a ulaşmaktadır. Testi gerçekleştirilecek olan cihaz genel test düzeneğindeki gibi yerleştirilir ve karşısına Şekil 2.9’da gösterilen antenler konularak DAC’ dan hava yolu ile yayılan ışımlar ölçülmektedir.



Şekil 2.10. Genel test düzeneği

2.6. Test Düzenekleri

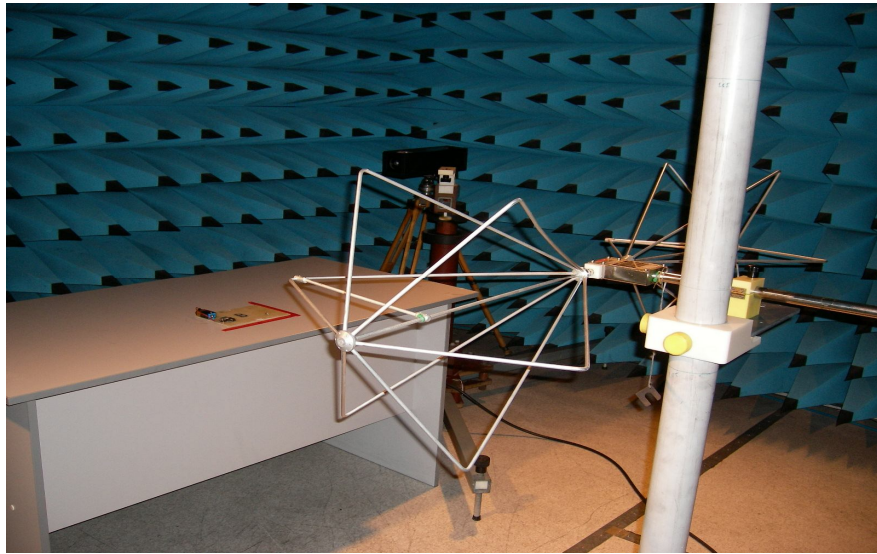
Testleri ve benzetimleri gerçekleştirilecek olan test düzenekleri dört temel yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar öncelikle temel ışıma mekanizmaları olan fark modu ve ortak mod ışımları temsil etmesi amacıyla kurulmuştur. Test düzeneklerinin ölçümleri ekranlı test odasında gerçekleştirilmiştir. Ekranlı test odasının duvarları tamamen metal kaplı bir odadan oluşmaktadır. Bu test odasının duvarlarında elektromanyetik dalgaları yutucu RF soğurucular bulunmaktadır. Test devreleri yerden 80 cm yüksekliğindeki masa üzerine konulmuştur. Ölçümde kullanılan test anteni, masa üzerinde bulunan devreden 1 metre uzaklıkta ve yerden 120 cm yükseklikte yatay polarizasyonda bulunmaktadır.

Test antenine bağı olan koaksiyel kablo oda dışında bulunan bir spektrum analizöre bağlanmıştır. Test devresinden yayılan ışmaları ölçecek bu düzenek MIL-STD-461E/F standardı içerisindeki RE102 (Radiated Emission) testi referans alınarak hazırlanmıştır.

Temel test devresinin aşağıda anlatılan dört adet konfigürasyon ile birlikte, hem ekranlı test odasında ölçümleri gerçekleştirilmiştir hem de benzetim programında benzetimleri gerçekleştirilerek elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

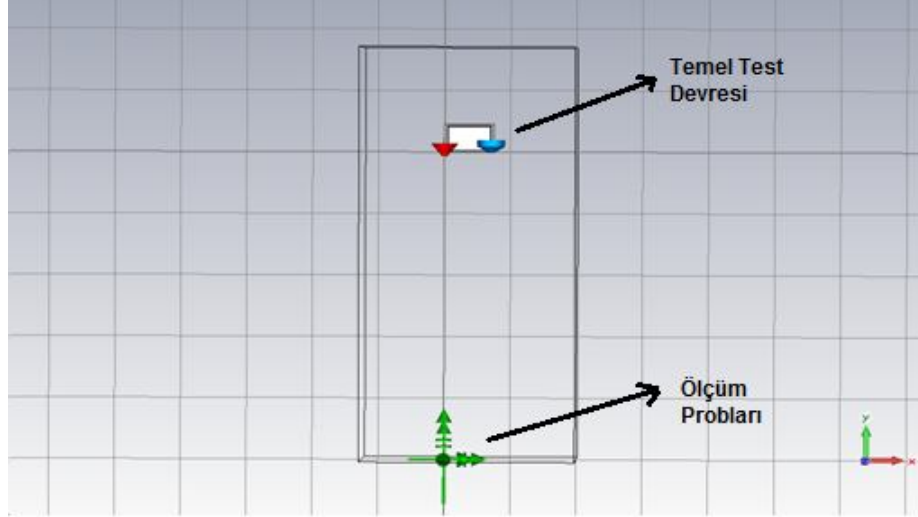
- 1) Devre tek başına ekranlı test odasının içerisine konulmuştur.
- 2) Devrenin her iki tarafındaki toprak hattına 50 cm uzunluğunda iki adet kablo eklenmiştir.
- 3) 50 cm kablo eklenmiş devre, metal kutu içerisine yerleştirilmiş ve kutuda açılmış olan delikler vasıtasıyla kablolar dışarı çıkmaktadır.
- 4) Devre tek başına metal kutu içerisine konulmuş ve kutu tamamen kapatılmıştır.

Ekranlı test odasında bulunan 80 cm yüksekliğe sahip test masası üzerine temel test devresi konulur. Oda içerisindeki devreye EM ışımaya yapması amacıyla enerji verilir. Oda kapısı kapatıldıktan sonra yatay polarizasyonda bulunan bikonik test anteni ile ölçümler gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.11’de ölçüm düzeneği görülmektedir.



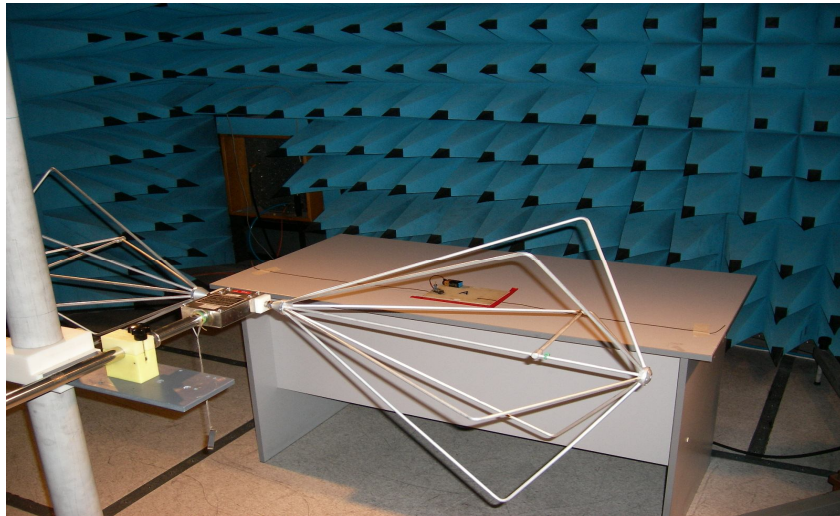
Şekil 2.11. Birinci konfigürasyon ölçüm düzeneği

Şekil 2.12’de birinci konfigürasyon ölçüm düzeneği ile aynı yapının CST programı aracılığıyla analizinde kullanılan tanımlama verilmiştir. Test devresinden yayılan ışınları ölçen elektrik alan probu, test devresinden yaklaşık bir metre uzaklıkta ve 120 cm yükseklikte durmaktadır.



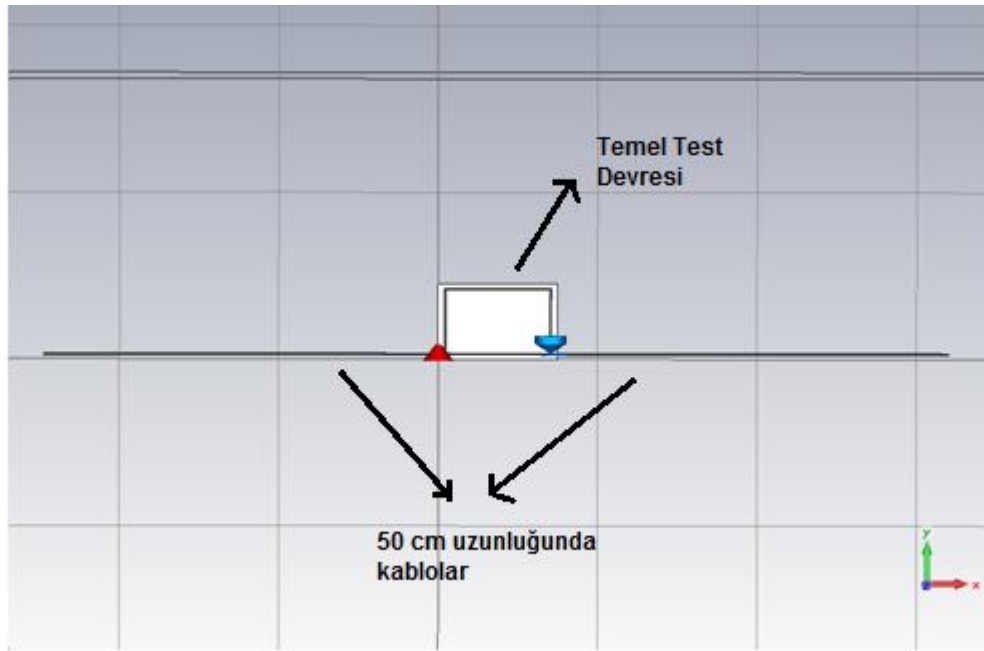
Şekil 2.12. Temel Test devresi (Birinci konfigürasyon) benzetim

İkinci adımda, ekranlı test odasında bulunan 80 cm yüksekliğe sahip test masası üzerine temel test devresinin her iki tarafındaki toprak hattına 50 cm uzunluğunda iki adet kablo eklenmiş olan yapı konulmuştur. Oda içerisindeki devreye EM ışıma yapması amacıyla enerji verilip, oda kapısı kapatıldıktan sonra yatay polarizasyonda bulunan bikonik test anteni ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.13’de bu ölçüm düzenekleri görülmektedir.



Şekil 2.13. İkinci konfigürasyon ölçüm düzeneği

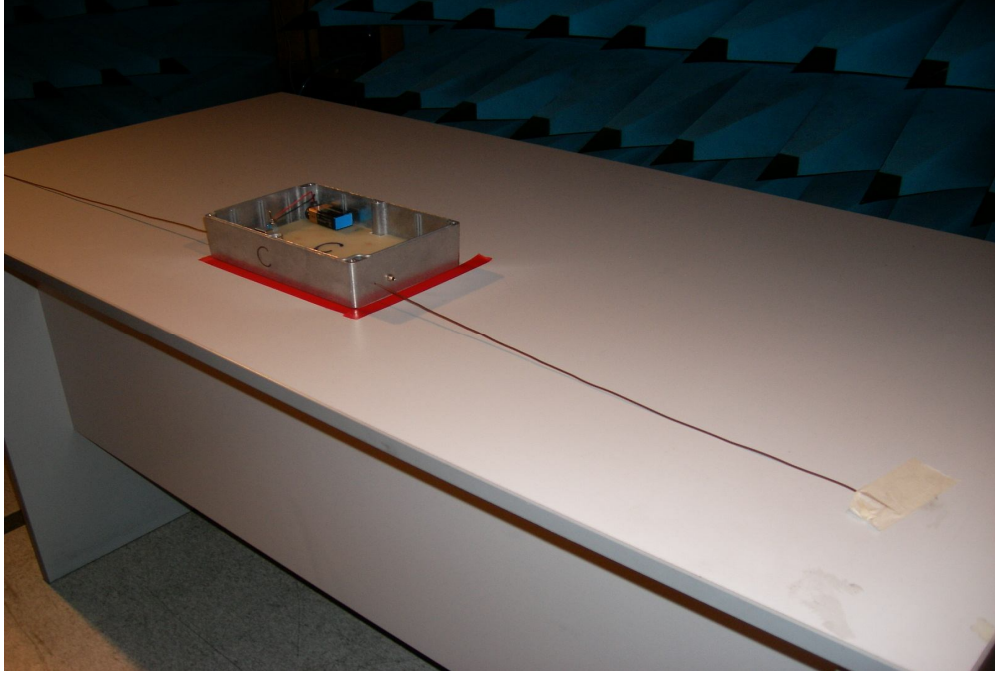
Şekil 2.14’de görülmekte olan ölçüm konfigürasyonunda, devre sinyali devre dönüş yolunda voltaj düşmeleri oluşturacak ve bir dipol anten gibi davranacaktır.. Bu konfigürasyonda fark modu ışımanın yanında ortak mod ışımanında efektif olması beklenir. Çünkü, temel test devresi üzerinde bulunan baskı devre yollarının oluşturduğu halka alanından dolayı fark modu ışıma gerçekleştiriyordu. Bu devreye eklenen 50 cm uzunluğundaki iki adet kablo ortak mod ışıma gerçekleştirerek daha etkin bir ışıma sağlayacaktır.



Şekil 2.14. İkinci konfigürasyonun simülörde tanımlanması

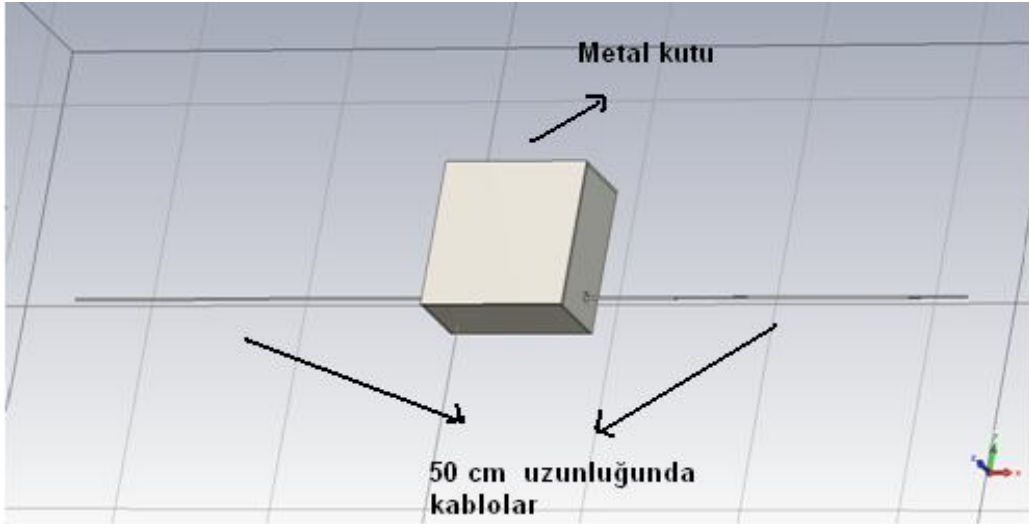
Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da görüldüğü üzere, temel test devresine, 50 cm uzunluğunda iki adet kablo eklenmiş ve bir metal kutu içerisine yerleştirilmiştir. Kabloların geçebileceği kadar bir genişlikte metal kutu üzerinde açılmış olan delikler vasıtasıyla kablolar dışarı çıkarılmıştır. Oluşan bu yapı test masası üzerine konulmuştur.

Şekil 2.15’de görülmekte olan ölçüm yönteminde, oda içerisinde test masası üzerinde bulunan devreye EM ışıma yapması amacıyla enerji verilir ve oda kapısı kapatılıp yatay polarizasyonda bulunan bikonik test anteni ile ölçümler gerçekleştirilir.



Şekil 2.15. Üçüncü konfigürasyon ölçüm test düzeneği

Şekil 2.16'da görülmekte olan devrenin simülâtörde tanımlanmasında, her iki tarafına 50 cm uzunluğunda kablo ekli test devresi faraday kafesi olarak görev yapan bir metal kutu içerisine yerleştirilmiş ve kablolar metal kutuda bulunan deliklerden dışarıya çıkartılarak benzetimleri yapılmıştır.



Şekil 2.16. Üçüncü konfigürasyon benzetim test düzeneği

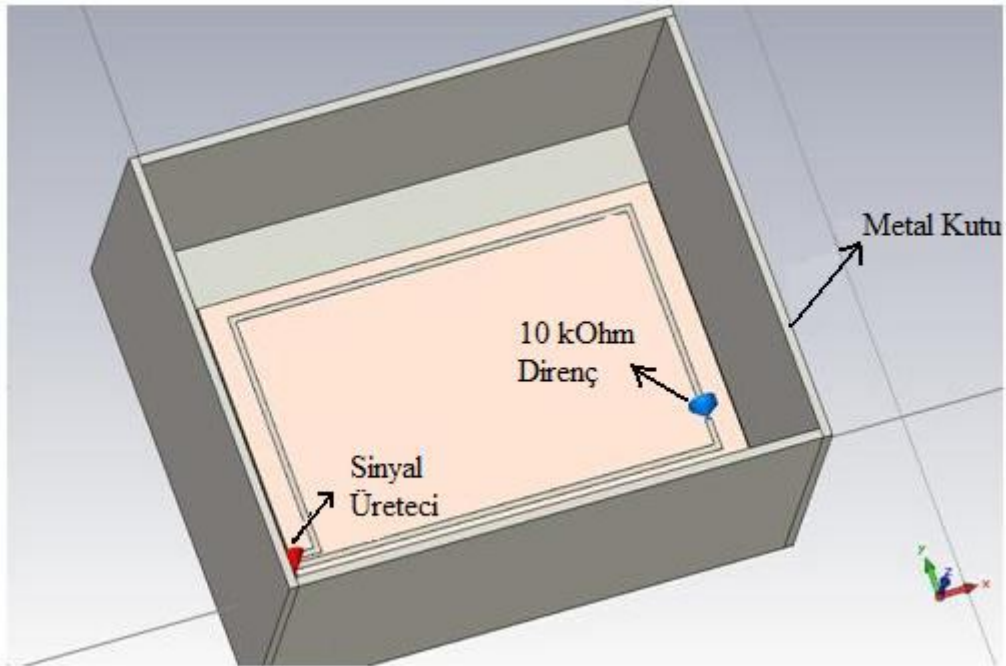
Bir sonraki adımda, test devresi 18 x 14 x 6,7 cm boyutundaki tamamı metal kaplı bir kutuya yerleştirilmektedir. Metal kaplı kutunun metal kalınlığı 3 mm'dir. Bu konfigürasyon ekranlı test odasında Şekil 2.17'de görüldüğü gibi 80 cm yüksekliğe

sahip test masası üzerine konulmuştur ve metal kutu tamamen kapatılmıştır. Bu konfigürasyonda ölçüm ve benzetimler gerçekleştirilir.



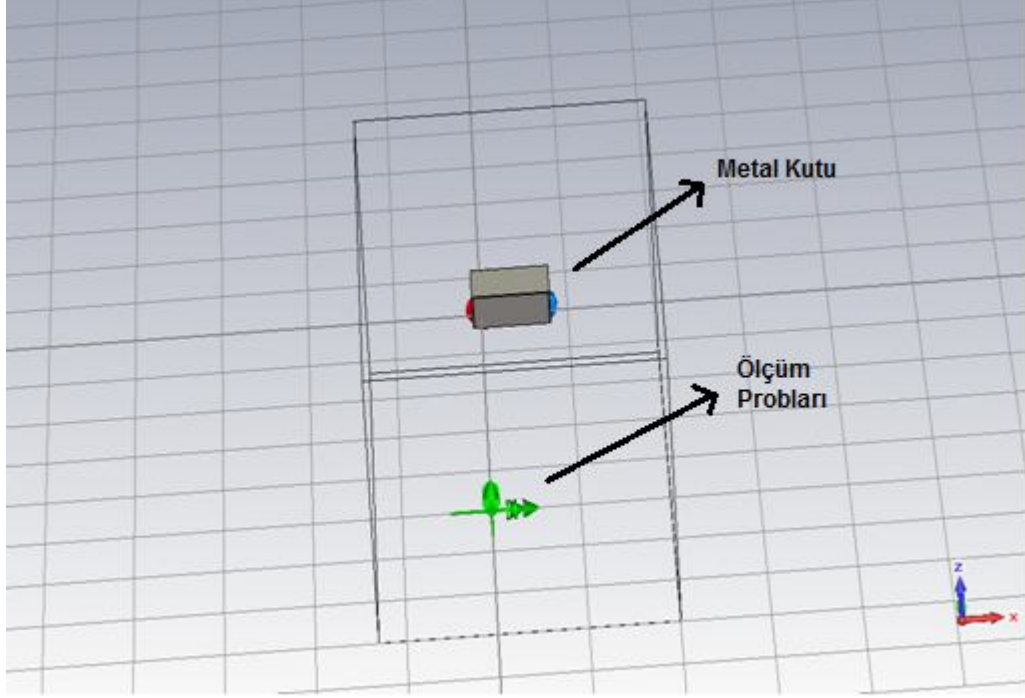
Şekil 2.17. Dördüncü konfigürasyon ölçüm düzeneği

Şekil 2.18’de, CST benzetim programı ortamında gerçekleştirilen dördüncü konfigürasyonun modellemesi görülmektedir. Temel test devresi, ölçüm düzeneğinde kullanılan kutu boyutlarında tamamı metal kaplı bir kutu içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.18. Dördüncü konfigürasyon benzetim modeli

Şekil 2.19’da metal kutu içerisine konulmuş olan test devresinin simülâtörde tanımlanması görülmektedir. Ölçüm problemleri, test devresinden 1 m uzaklıkta ve yerden 120 cm yükseklikte bulunmaktadır.



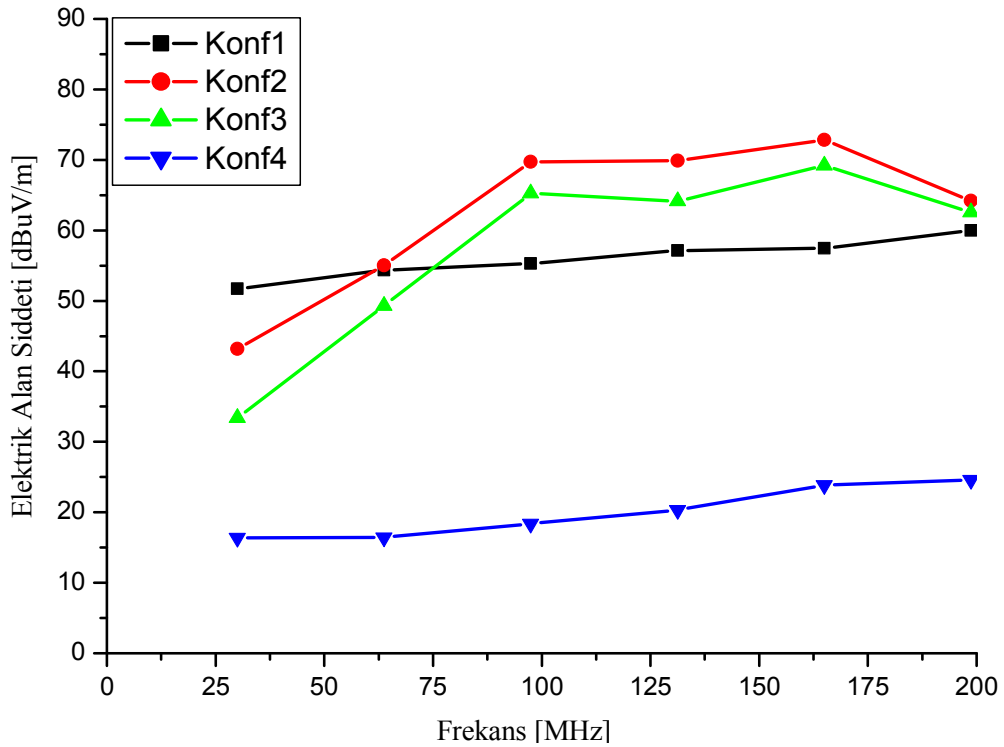
Şekil 2.19. Dördüncü konfigürasyon benzetim test düzeneği

2.7. Ölçüm ve Benzetim Sonuçları

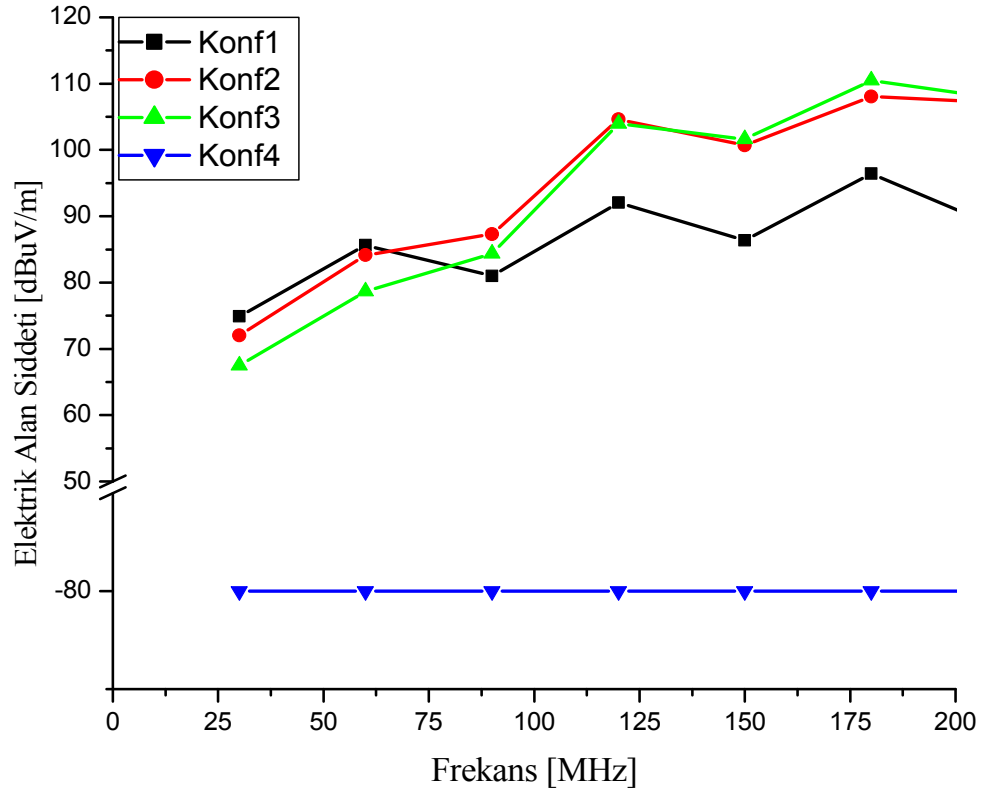
Bu bölüm içerisinde dört farklı konfigürasyona sahip devre durumu gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ortaya çıkan ölçüm ve benzetim sonuçlarına ait grafikler Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir. Bu grafiklerde, ilk aşamada kendi içlerindeki konfigürasyon durumları göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra ölçüm sonuçlarına ait grafikler ile benzetim sonuçlarına ait grafiklerdeki benzer sonuçlar göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Testlerin ışıma seviye değerleri önem arz etmemektedir. Önem arz eden durum, ölçüm ve benzetim sonuçlarındaki konfigürasyonlar arasında oluşan seviye farklılıklarının benzerlikleri olmaktadır.

Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilen grafiklerde ölçüm ve benzetim sonuçlarının yaklaşık olarak birbirleriyle örtüştüğü görülmektedir. Her iki grafik içerisinde de birinci konfigürasyon ile ikinci konfigürasyon arasında 30 - 63 MHz frekans aralığında 3 - 5 dB, 63 - 200 MHz aralığında ise 10 - 20 dB arasında ışıma seviye

farkı olmuştur. Birinci konfigürasyonun 30 - 63 MHz frekans aralığında daha yüksek ışıma seviyesine sahip olmasının nedeni, bu frekans aralığında enerjinin tümü halka yapısından dolayı daha fazla ışımaya neden olmaktadır. İkinci konfigürasyonun 63 - 200 MHz frekans aralığında daha yüksek ışıma seviyesine sahip olmasının nedeni, eklenen kabloların bu frekans aralığında yayınım yapmaya başlamasından dolayıdır. İkinci konfigürasyon ile üçüncü konfigürasyon ölçüm ve benzetim sonuçlarına göre karşılaştırıldığı zaman, üçüncü konfigürasyonun bir metal kutuda bulunması nedeniyle ışıma seviyesinde genel olarak 30 - 200 MHz frekans aralığında yaklaşık 4 - 5 dB lik bir seviye azalması olmuştur. Fakat görülmüştür ki bir sistem veya cihazın metal bir kutuya konarak ekranlama sağlaması yeterli olmamaktadır. Kutudan çıkan kablolar ışıma gerçekleştirmektedirler. Bu kabloların iyi bir filtreden geçerek metal kutudan çıkarılması gerekmektedir. Dördüncü konfigürasyon ölçüm ve benzetim sonuçlarının 30 - 200 MHz frekans aralığındaki ışıma seviyesinin çok düşük ve gürültü seviyesinde olduğu görülmüştür. Metal düzlemler elektromanyetik dalgaları yansıttığından dolayı, kapalı bir metal kutu dışına hiçbir sinyal çıkışı olmamaktadır ve yayılan ışıma, gürültü seviyesinde ölçülmektedir. Gerçekleştirilen tüm ölçüm ve benzetim sonuçları yaklaşık olarak birbirini desteklemektedir.

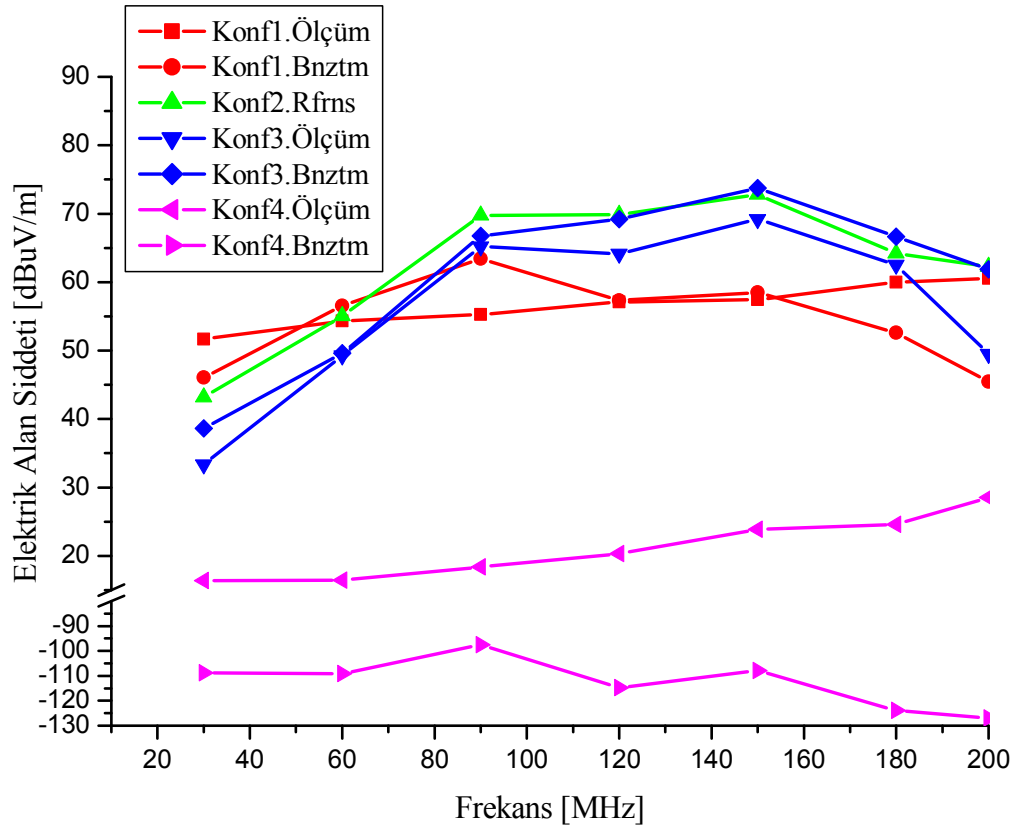


Şekil 2.20. Tüm konfigürasyon ölçüm sonuçları (30MHz-200MHz)



Şekil 2.21. Tüm konfigürasyon benzetim sonuçları (30MHz-200MHz)

Şekil 2.22’de tüm konfigürasyon ölçüm ve benzetim sonuçlarına ait normalize değerlere sahip grafik verilmiştir. Bu grafikte aynı devre konfigürasyonlu devreler aynı renk olarak verilmiştir. Konfigürasyon 2, ölçüm ve benzetim sonucunda en yüksek ışına değerine sahip olduğundan referans olarak seçilmiştir. Bunun sonucu olarak, konfigürasyon 2’nin ölçüm ve benzetim sonuçları normalize edilerek diğer konfigürasyonlar bu değerlere göre ayarlanmıştır. Bu grafiklerde konfigürasyon 1, konfigürasyon 3 ve konfigürasyon 4’e ait ölçüm ve normalize benzetim sonuçları verilmiştir. Hem konfigürasyon 1 ve hem de konfigürasyon 3’ün ölçüm ve benzetim sonuçları yaklaşık olarak kendi içlerinde birbirleri ile örtüşmektedir. Bazı frekans noktalarında 4 - 8 dB gibi farklar bulunmasına karşılık sonuçlar birbirlerinden ayrılmamaktadırlar. Konfigürasyon 4 ölçüm sonucu ile benzetim sonucunun birbirinden farklı çıkmasının nedeni, ölçüm sonucunda spektrum analizörün ölçebileceği minimum değer olan gürültü değerleri ölçülmektedir. Fakat benzetim programında bu gürültü değerleri daha düşük seviyelerdedir. İki durumda da gürültü seviyesi ölçülmektedir.



Şekil 2.22. Tüm konfigürasyon normalize edilmiş sonuçlar

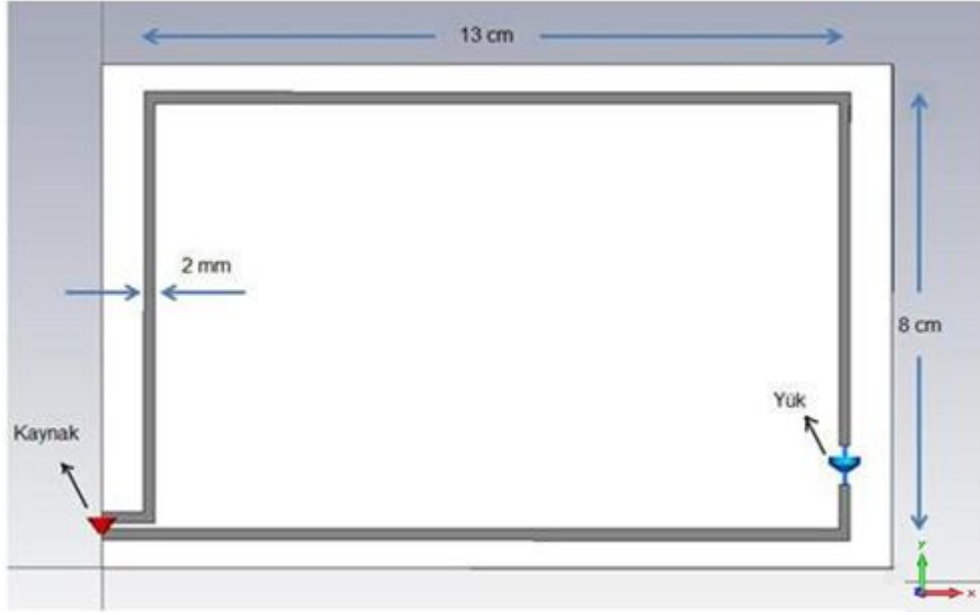
3. BASKI DEVRELERDE IŞIMAYI AZALTMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bir önceki bölümde dört farklı konfigürasyonla yapılan ölçüm ve benzetimler bize göstermiştir ki, baskı devre tasarımı öncesinde, ışımayı minimuma indirmek için en azından simülatörler yardımıyla devre yerleşimi için en iyi alternatifler değerlendirilmelidir. Bu bölümde bu tip çalışmalara ışık tutmak amacıyla, değişik devre yerleşimlerinin ışımayı nasıl etkilediği benzetimler yardımıyla incelenmiştir.

Bu bölümde yapılmış olan test çalışmaları yalnızca CST Microwave Studio benzetim programında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her bir test sonucu kendi içerisinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, testlerin ışımaya seviye değerleri önem arz etmemektedir. Önem arz eden durum, konfigürasyonların birbirleri içerisinde karşılaştırılmaları sonucunda frekansa bağımlı olarak ortaya çıkacak seviye farklarıdır.

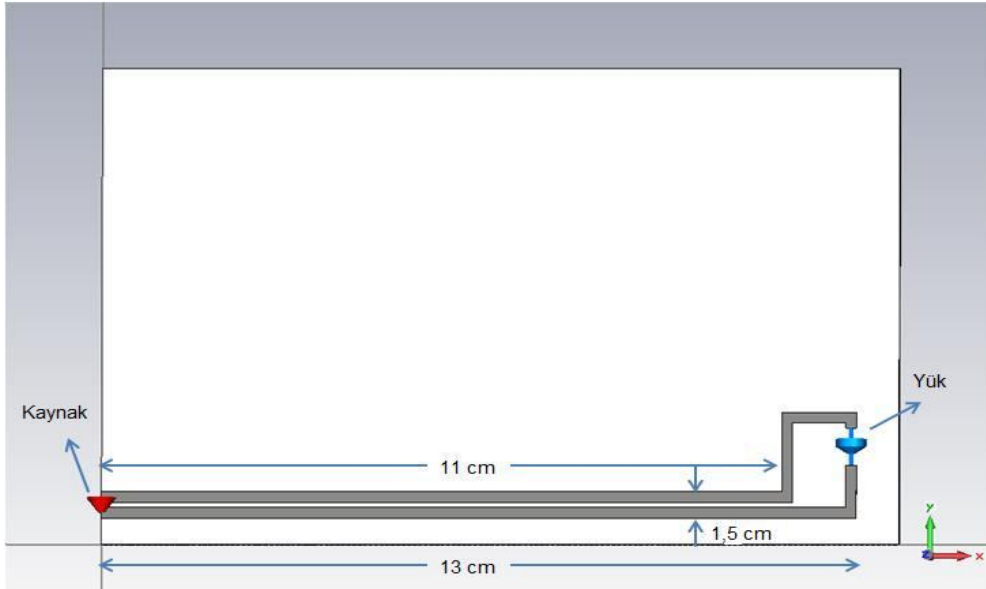
3.1. Test 1

Bu test çalışmasında, yük ile kaynak arasındaki iletim hattının farklı yerleştirilmesi durumunda ortaya çıkan dört farklı durum incelenmiştir. Şekil 3.1’de görülen birinci durumda, kaynaktan çıkan sinyal yüke en uzun yoldan götürülür. Bu nedenle oluşan halka alanı maksimum seviyeye çıkartılmış olmaktadır. Oluşan bu halka alanda fark modu akımların dolaşmasından ötürü fark modu ışımaya yapması beklenmektedir. Yük olarak 10 kOhm direnç kullanılmaktadır. Hat kalınlığı 2 mm olarak ayarlanmıştır.



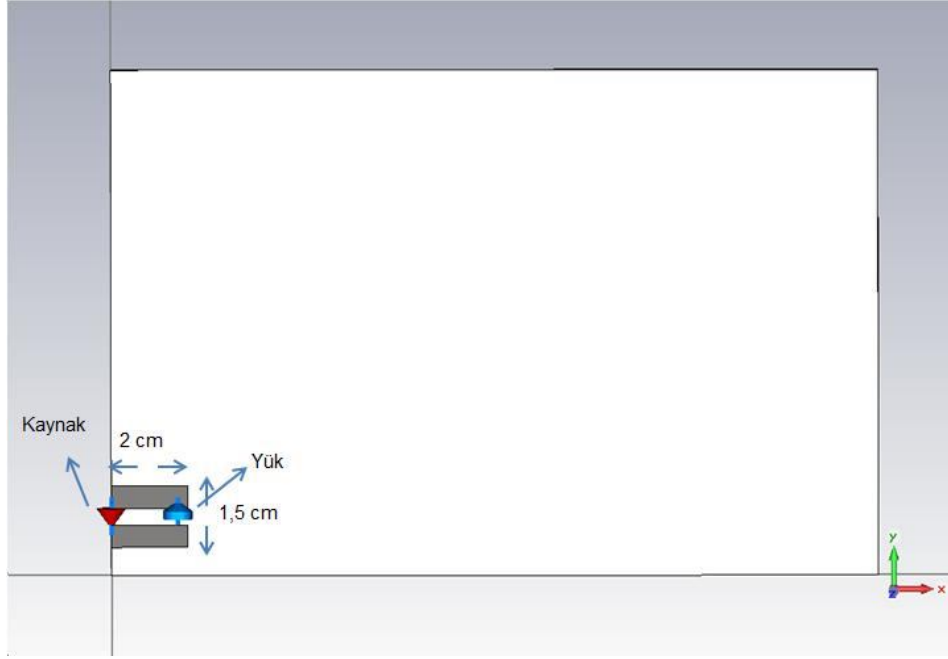
Şekil 3.1. Birinci duruma ait CST çizim

İkinci durumda, kaynaktan yüke çizilen iletim hattı kısa tutulmuştur, bu sebeple halka alanı daraltılmıştır. Şekil 3.2’de bu durumu modellerken kullandığımız CST çizimi verilmiştir. Gidiş ve dönüş iletkenleri arasındaki mesafe 1,1 cm’dir.



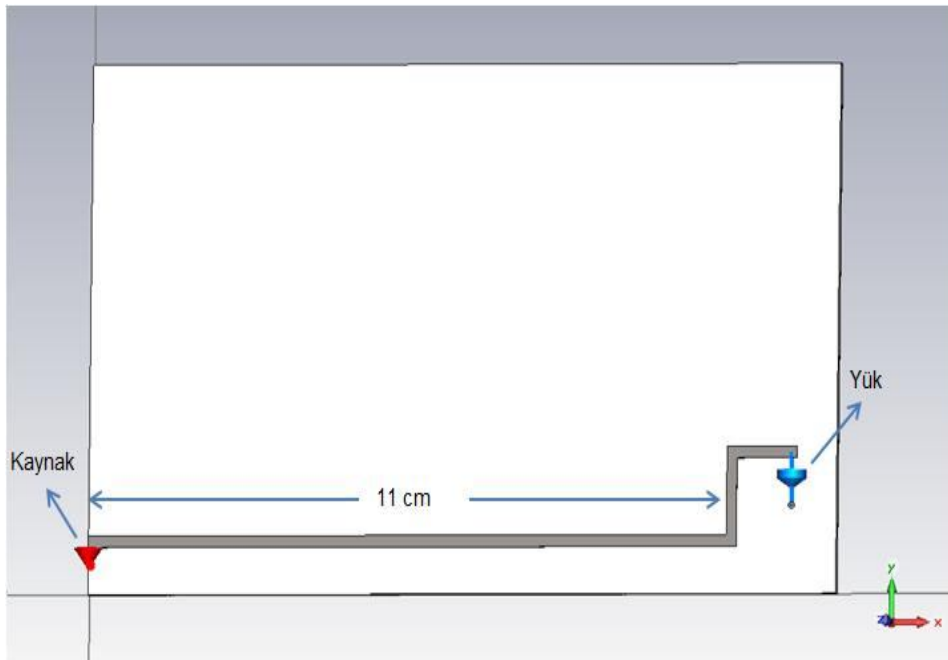
Şekil 3.2. İkinci duruma ait CST çizimi

Üçüncü durumda, yük kaynağa en yakın mesafeye getirilmektedir. Bu nedenle oluşan halka alanı olabilecek en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır. Gerçekleşecek olan ışımanın oldukça düşük olması beklenmektedir. Şekil 3.3’de bu durumu modellerken kullandığımız CST çizimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Üçüncü duruma ait CST çizimi

Dördüncü durum, ikinci durumdaki devre kartının birebir aynısı kullanılmasına ek olarak arka tarafının toprak alanı ile kaplanması sonucunda oluşmaktadır. Bu durumda toprak alanının etkisi araştırılmaktadır. Şekil 3.4'de bu durumu modellerken kullandığımız CST çiziminin önden görünümü ve Şekil 3.5'de toprak alanı ile kaplanması durumundaki arkadan görünümü verilmiştir.



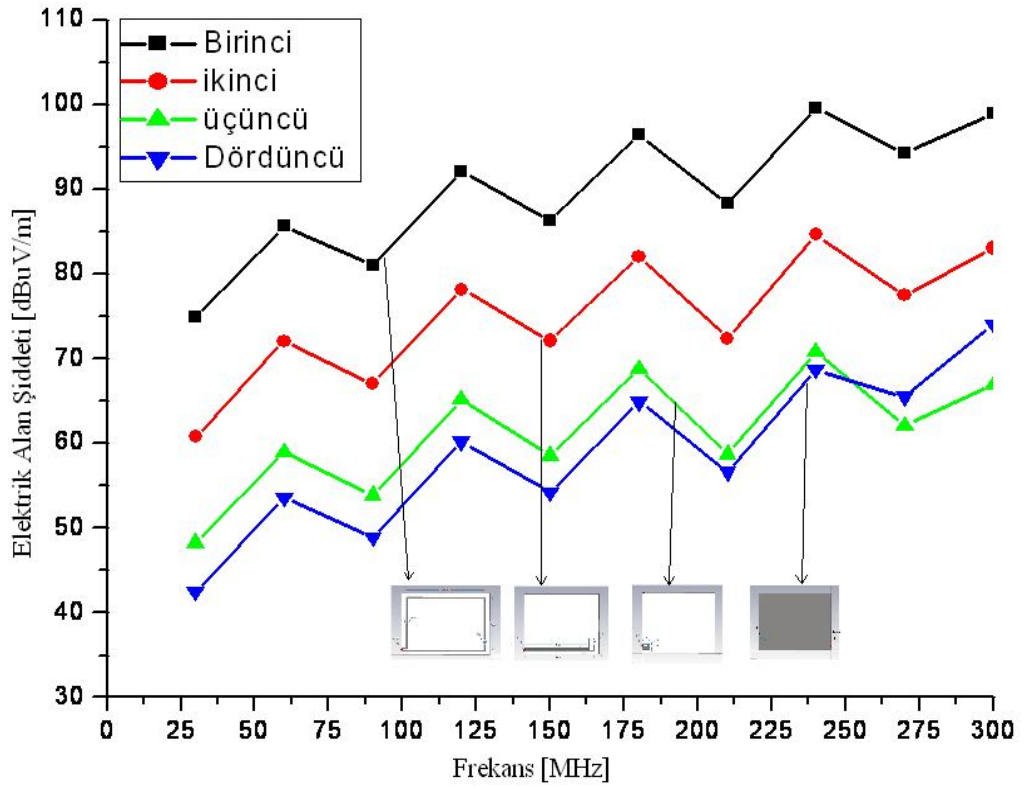
Şekil 3.4. Dördüncü duruma ait CST çizimi (önden görünüm)



Şekil 3.5. Dördüncü duruma ait CST çizimi (arkadan görünüm)

İşıma yoluyla emisyon ölçümleri Test 1'in tüm durumlarında gerçekleştirilir. Test devrelerinin tümü halka alan yapısına sahip olduğundan, tüm bu konfigürasyonlarda, baskın ışımaya mekanizması olarak fark modu ışımaya olması beklenmektedir.

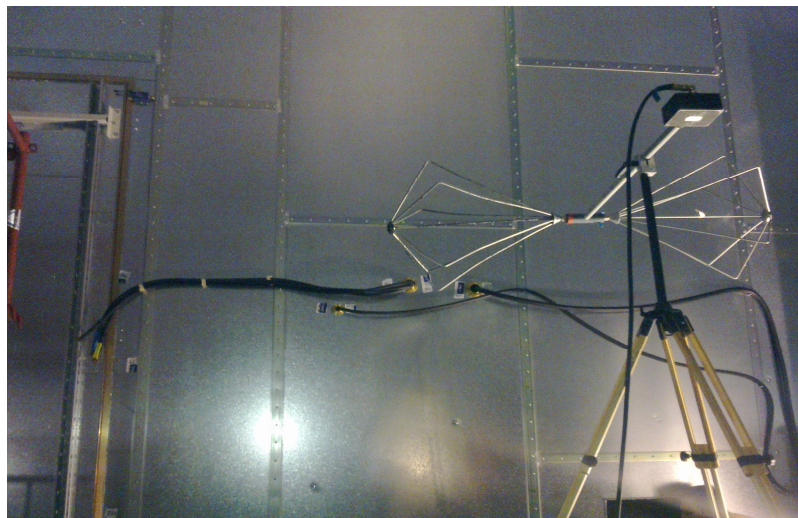
Şekil 3.6'da, Test 1 devrelerinin ayrı ayrı benzetimi sonucunda ortaya çıkan ışımaya seviyeleri verilmektedir. Test 1 benzetim sonuçları incelendiğinde, dikkat edilmesi gereken durum, halka alanın azalması ile birlikte fark modu ışımaya da azalmış olmasıdır. Birinci, ikinci ve üçüncü durum devreleri göz önüne alındığında, halka alan azaldıkça fark modu ışımaya da azaldığı görülmüştür. Ayrıca, ikinci durum ve dördüncü durum devreleri aynı devre konfigürasyonuna sahip ve ikinci duruma ek olarak diğer yüzü toprak alanıyla kaplanmıştır. Bu iki devre karşılaştırıldığında, dördüncü durumun ışımaya seviyesinin oldukça düştüğü görülecektir. Toprak alanı fark modu ışımaya engelleyici etki yapmıştır. Dikkat edilecek bir diğer önemli husus da, üçüncü durumun en az halka alanına sahip olmasından dolayı çok az ışımaya yaydığı görülmektedir. Bu karşılaştırmaların sonucunda, bir halka alanının azaltılması fark modu ışımaya azaltılması ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.



Şekil 3.6. Test 1 benzetim sonuçları

3.2. Test 2

Test 2, temel test devresinin toprak bağlantılarına çeşitli uzunluklarda kablolar eklenmesi ile oluşmuştur. Şekil 3.7’de, bir firmaya ait ekranlama etkinliği testi yapılan odanın görüntüsü yer almaktadır. Bu test esnasında odanın yüzeyinde boşa bırakılan kabloların, ekranlama etkinliği seviyesini düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 3.7. Ekranlı oda ekranlama etkinliği testi örneği

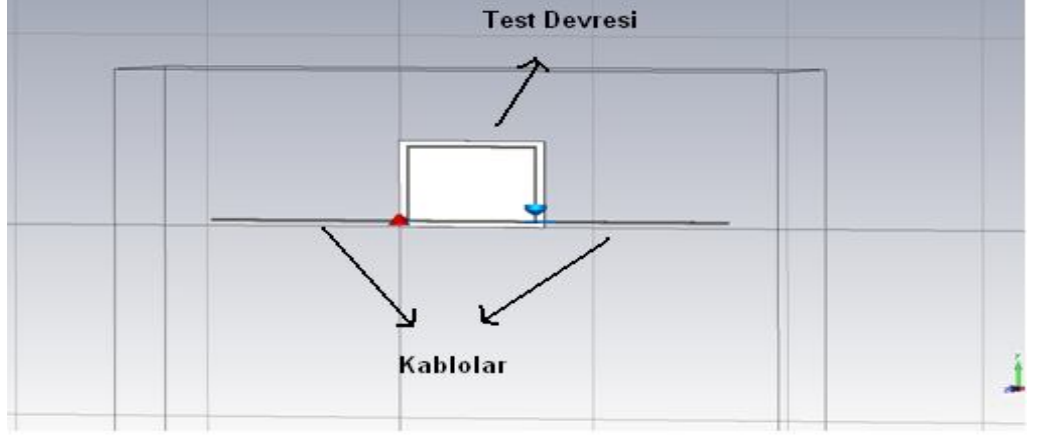
Yani, boşta bırakılan kablolar birer anten gibi davranacaklar ve ışıma seviyesini yükselteceklerdir. Bu kablolar hem uzun hem de kısa kablolardan oluşmaktaydı. Bu çalışmada farklı uzunluktaki kabloların ışımaya etkisini araştırmak için bu test düzeneğinden faydalanılmıştır.

Benzer durumda Şekil 3.8’de, EMC testine tabi tutulan bir cihazın MIL-STD 461E standardı RE 102 testi sırasında cihazdan yayılan ışımaların 200 MHz bölgesinde limit değerleri aştığı ölçülmüştür. Bu limit aşımının nedeni, cihaz içerisindeki bir kablonun ekranının dipol anten gibi davranarak ışıma yaptığı anlaşılmıştır. Bu sorunun çözümü olarak kablonun boyunun kısaltılması denenmiştir. Tekrarlanan ölçümlerde, kablo boyunun kısaltılmasının ışıma seviyesinde 4 - 5 dB lik bir düşüş sağladığı görülmüştür.

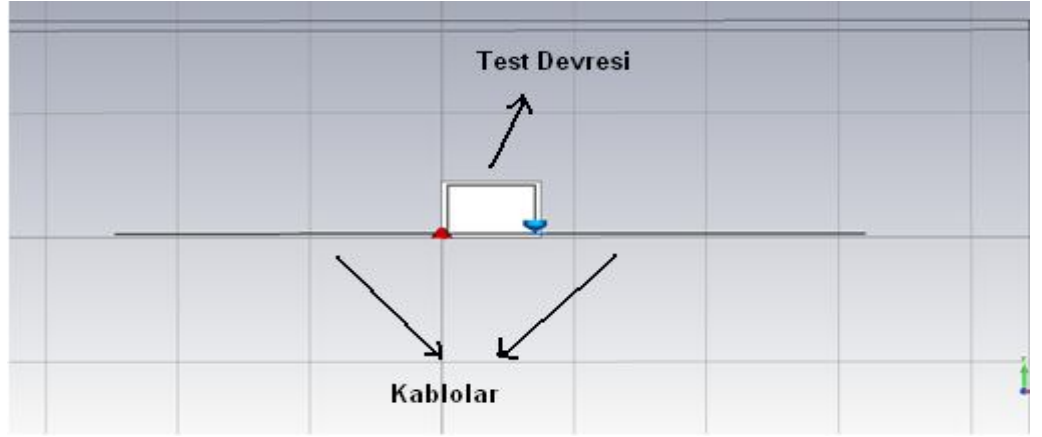


Şekil 3.8. EMC testi sırasında bir cihaz

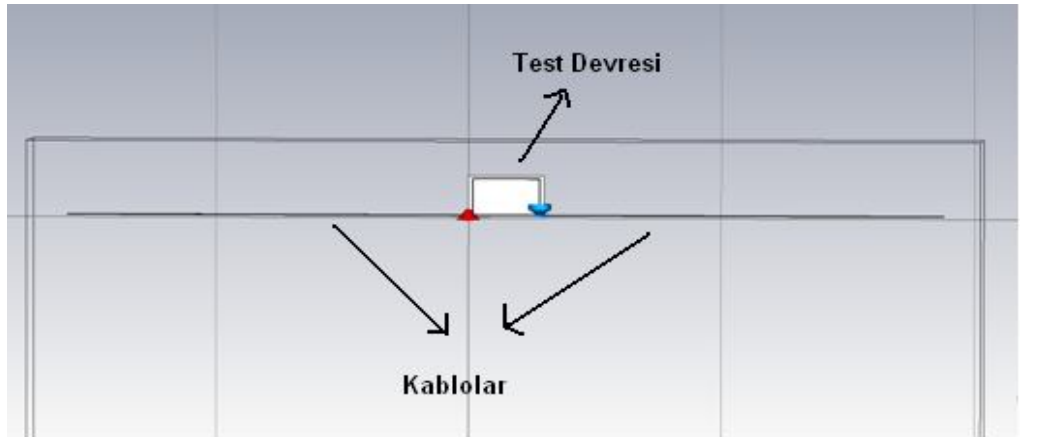
Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de, temel test devresine sırasıyla 30 cm, 50 cm ve 100 cm uzunluklarına ve 2 mm genişliğine sahip ikişer adet kablo eklenmiştir. Eklenen bu kablolar devrenin işaret dönüş toprağına bağlanmıştır ve oluşan bu üç durumda benzetimler gerçekleştirilerek ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.9. Birinci durum test devresi (30 cm)



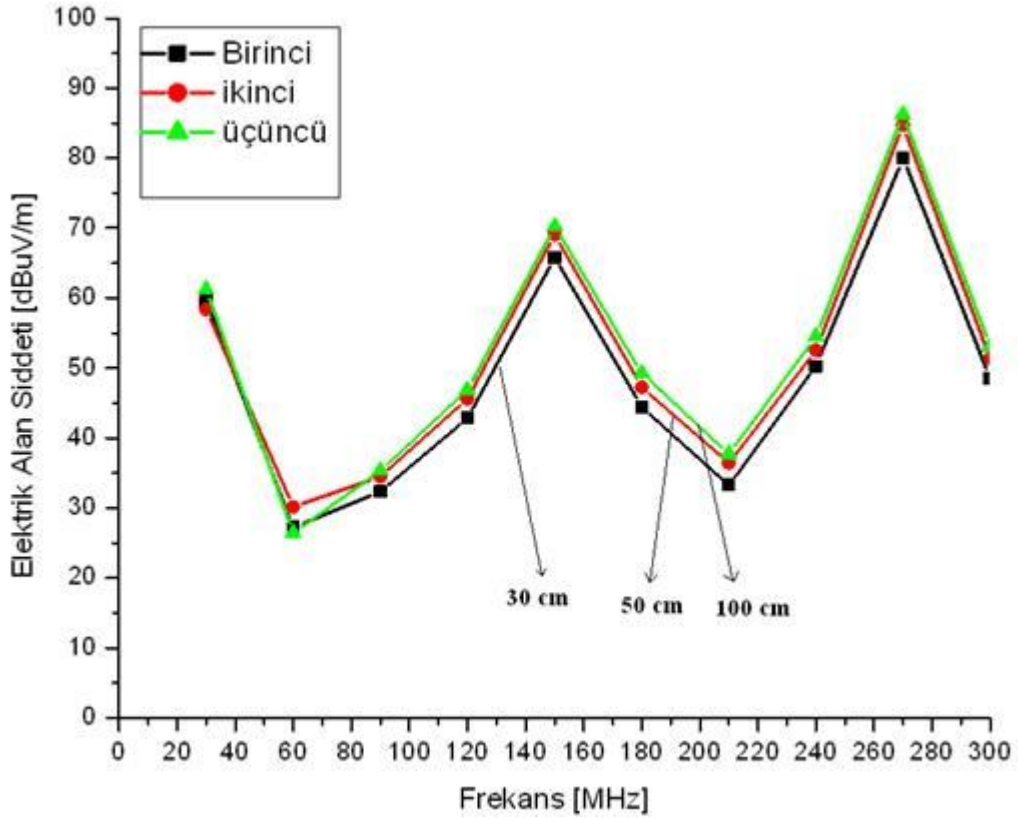
Şekil 3.10. İkinci durum test devresi (50 cm)



Şekil 3.11. Üçüncü durum test devresi (100 cm)

Aşağıda Şekil 3.12’de, test 2 devrelerinin (Birinci, ikinci ve üçüncü durum) ayrı ayrı CST benzetim programı sonucunda ortaya çıkan ışıma seviyeleri verilmektedir. Bu grafikte ortaya çıkan sonuçlar göstermiştir ki, bir cihaz veya devre üzerine bağlı bulunan kabloların kısa olmaları ışıma seviyesinde 3 - 4 dB’ lik bir düşüş sağlamıştır.

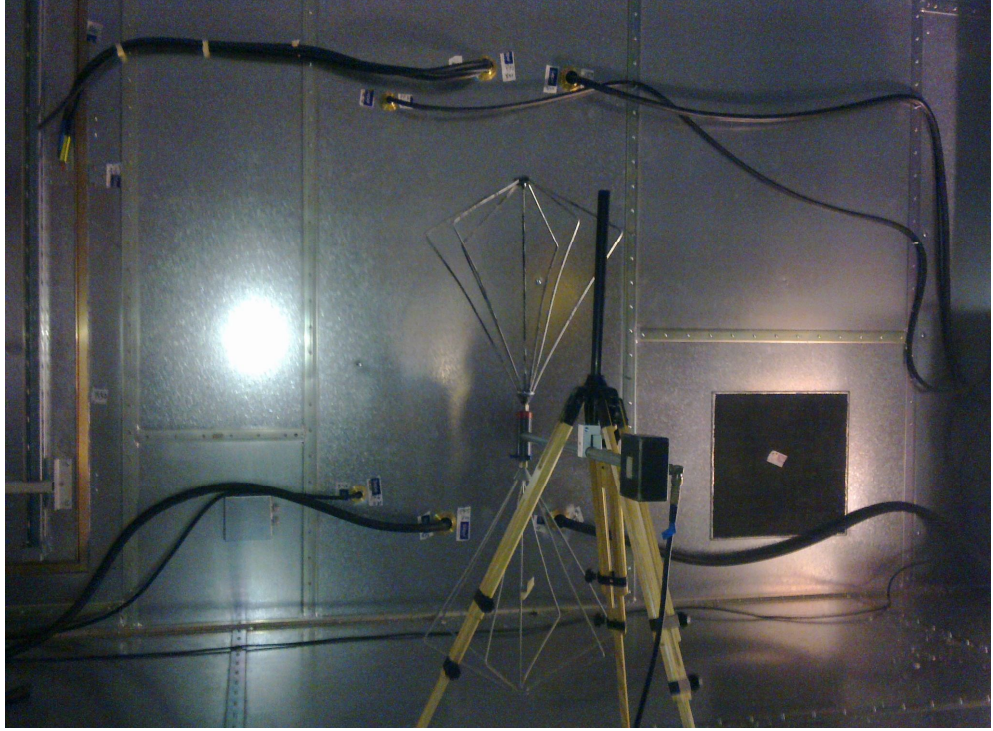
Bu kabloların birer dipol anten gibi davrandıkları bilinmektedir. Bir antenin ışıma gücü, antenin boyu ile çalışma frekansının dalga boyu ile ilişkisine bağlıdır. Antenin boyu işaret dalga boyundan çok küçük antenler de ışıma gücü hemen hemen sıfıra yakındır. Bunun nedeni antenin ışıma direncinin çok küçük olmasıdır. Fakat, anten boyu işaretin yarım dalga boyuna yakın ise yayılan güç en fazla olmaktadır.



Şekil 3.12. Test 2 karşılaştırmalı benzetim sonuçları (30 MHz - 300 MHz)

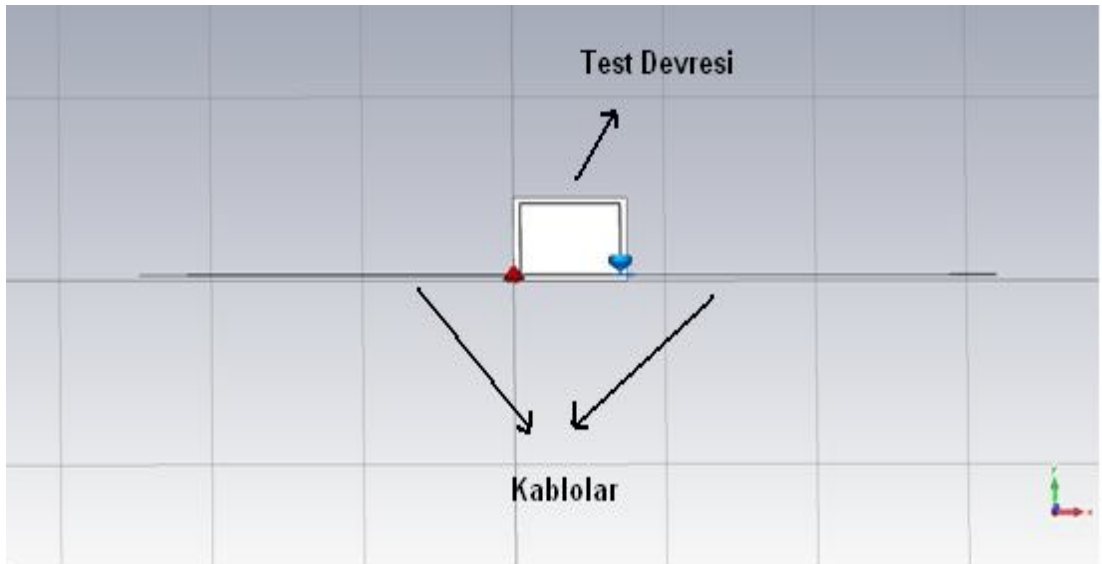
3.3. Test 3

Test 3, temel test devresinin toprak bağlantılarına çeşitli kalınlıklarda kablolar eklenmesi ile oluşmuştur. Şekil 3.13'de, bir firmaya ait ekranlama etkinliği testi yapılan odanın görüntüsü yer almaktadır. Bu test esnasında odanın yüzeyinde boşta bırakılan kabloların, ekranlama etkinliği seviyesini düşürdüğü görülmüştür. Bu çalışmada farklı kalınlıktaki kabloların ışımaya etkisini araştırmak için bu test düzeneğinden faydalanılmıştır.

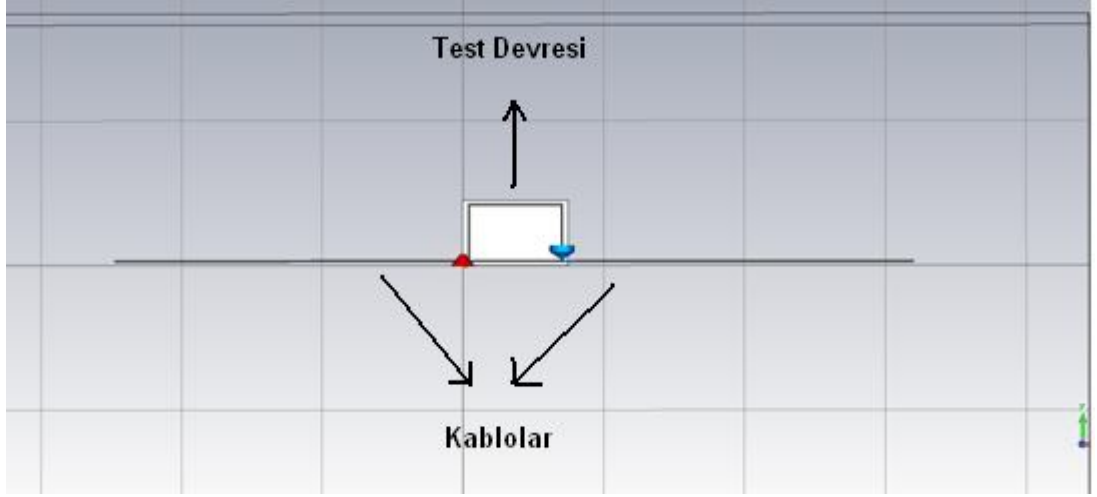


Şekil 3.13. Ekranlı oda ekranlama etkinliği testi örneği

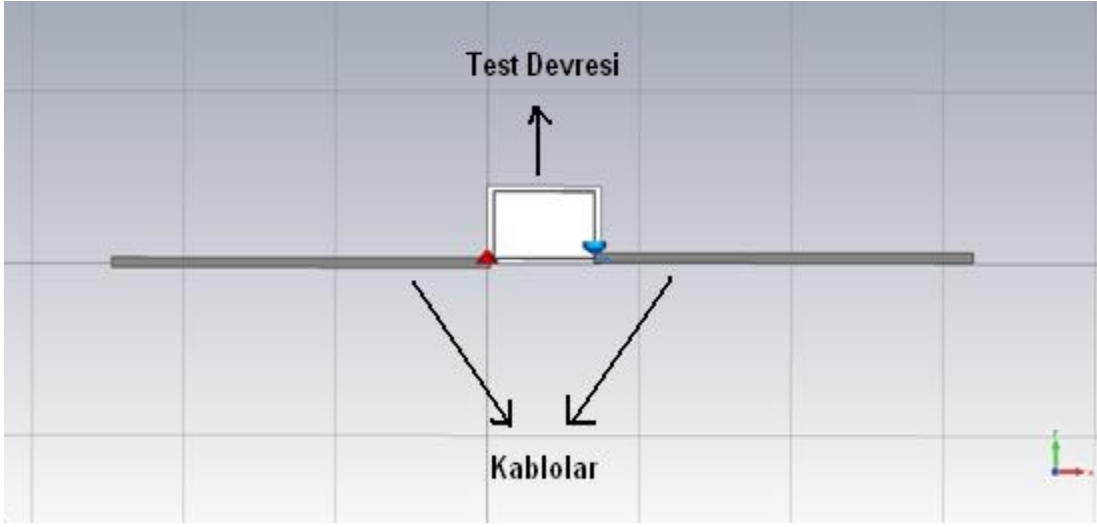
Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da, temel test devresine sırasıyla 0,5 mm, 2 mm ve 12 mm kalınlıklarında ve 50 cm uzunluğa sahip ikişer adet kablo eklenmiştir. Eklenen bu kablolar devrenin işaret dönüş toprağına bağlanmıştır ve oluşan bu üç durumda benzetimler gerçekleştirilerek ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.14. Birinci durum test devresi

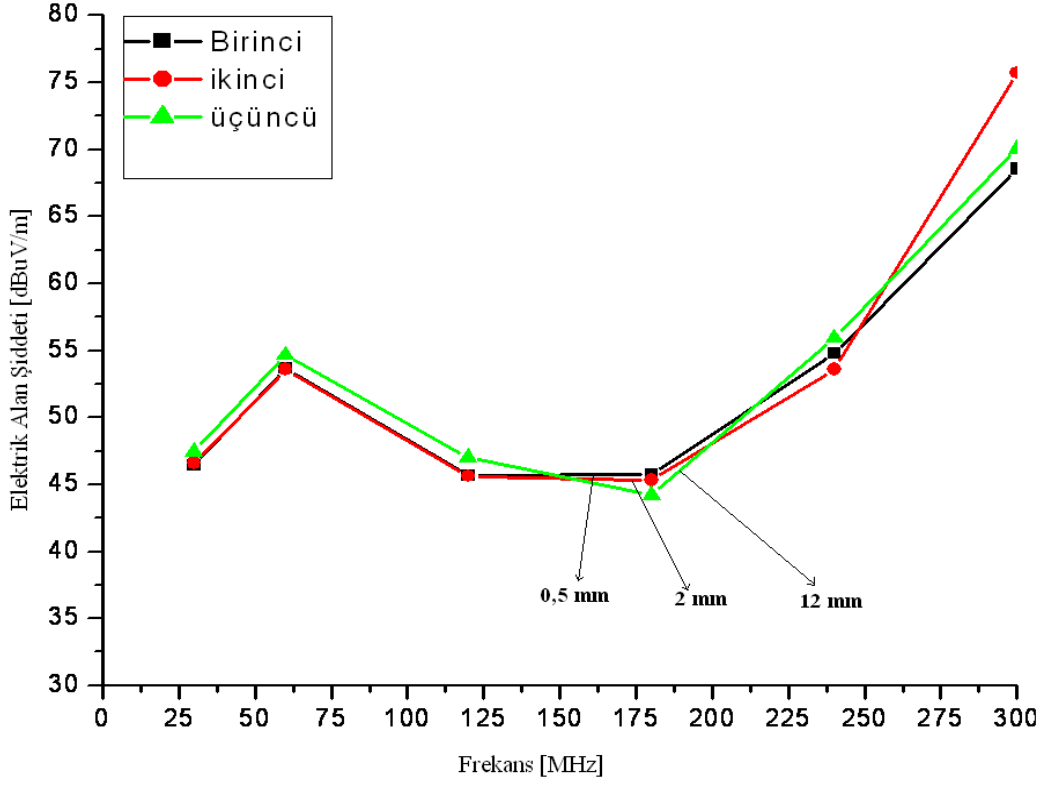


Şekil 3.15. İkinci durum test devresi



Şekil 3.16. Üçüncü durum test devresi

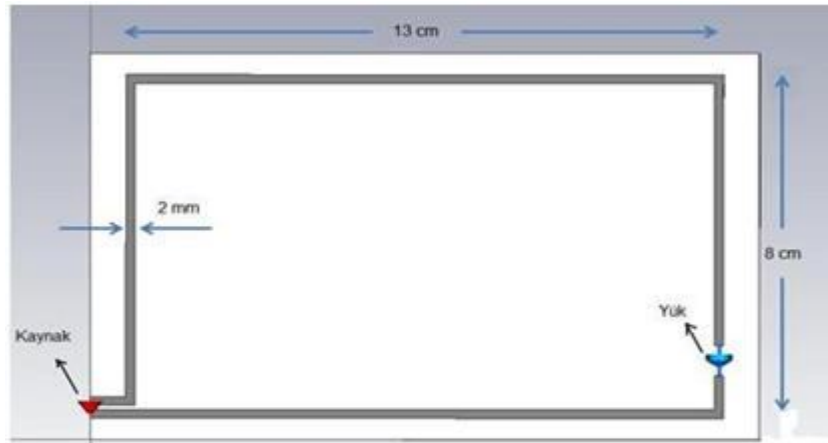
Şekil 3.17’de, test 3 devrelerinin (Birinci, ikinci ve üçüncü durum) ayrı ayrı CST benzetim programı sonucunda ortaya çıkan ışınım seviyeleri verilmektedir. Test 3 devrelerinin tümü kıyaslandığı zaman aralarında ciddi ışınım seviye farklılıkları gözlenmemiştir. Bir dipol antenin dipol kalınlıklarının artırılması antenin sadece empedansını değiştirmektedir. Bu devre yapısını da dipol anten gibi düşünürsek, yapının empedansının değişmesi ışınım seviyesine ciddi bir katkı yapmayacağı anlaşılmış olacaktır.



Şekil 3.17. Test 3 karşılaştırmalı benzetim sonuçları

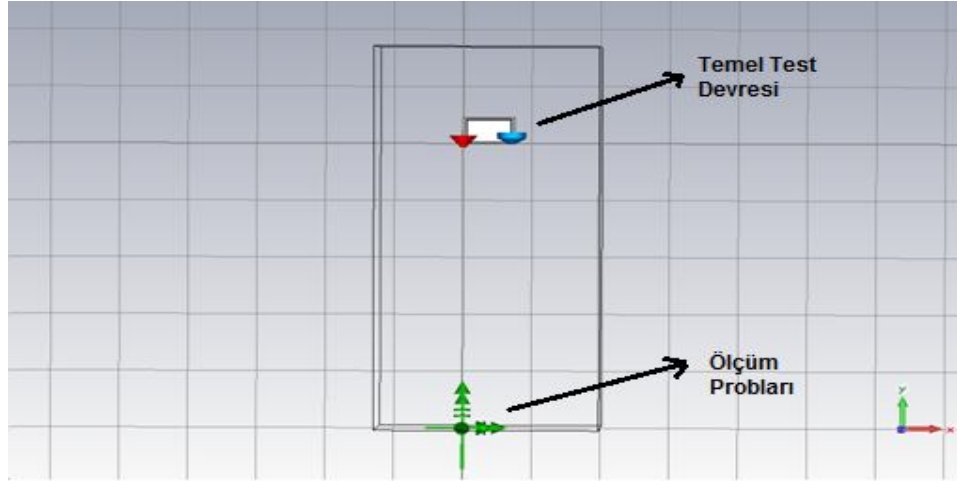
3.4. Test 4

Test 4, Şekil 3.18’de görülmekte olan temel test devresini uyarmak için kullanılmakta olan trapez dalga sinyalinin yükselme ve düşme zamanları değiştirilmesi şeklinde oluşmuştur. Bir devreye uygulanan sinyallerin değişik değerlerde yükselme, düşme ve durma zamanları olmaktadır. Burada, üç farklı değerdeki sinyal durumları incelenmiştir. Bu test çalışmasında bu etkiler araştırılmaktadır.



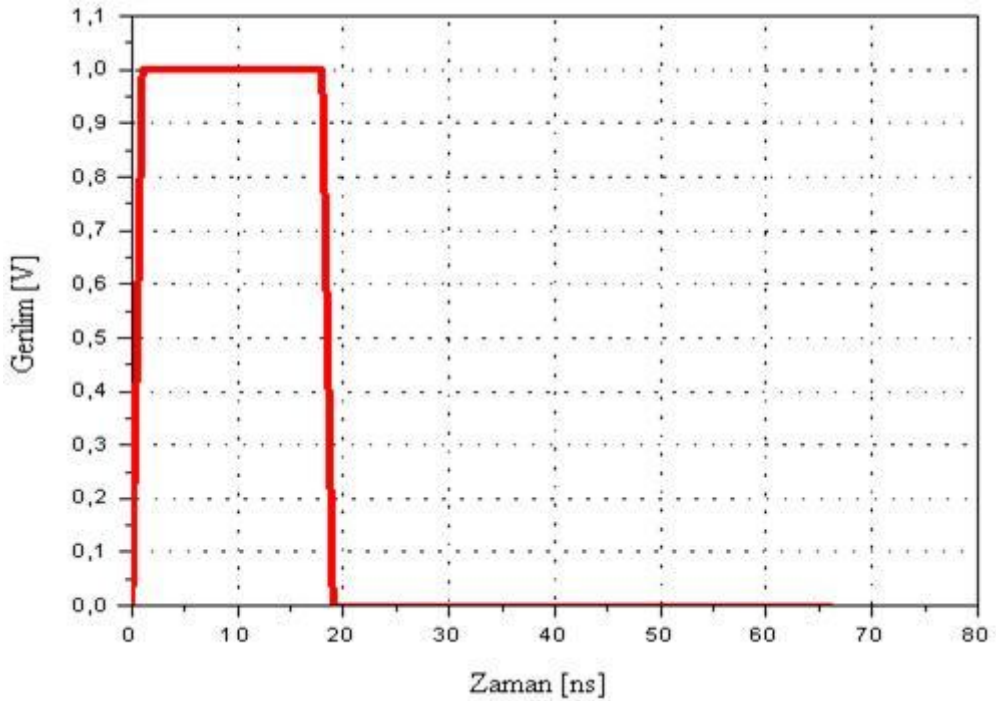
Şekil 3.18. Temel test devresi

Şekil 3.19’da, temel test devresi ve ölçüm problemlerinin konumları bulunmaktadır. Temel test devresini uyararak için farklı değerlerdeki sinyaller uygulanmaktadır. Bunun sonucunda ölçüm problemleri ile ışınma seviyeleri ölçülmüştür.



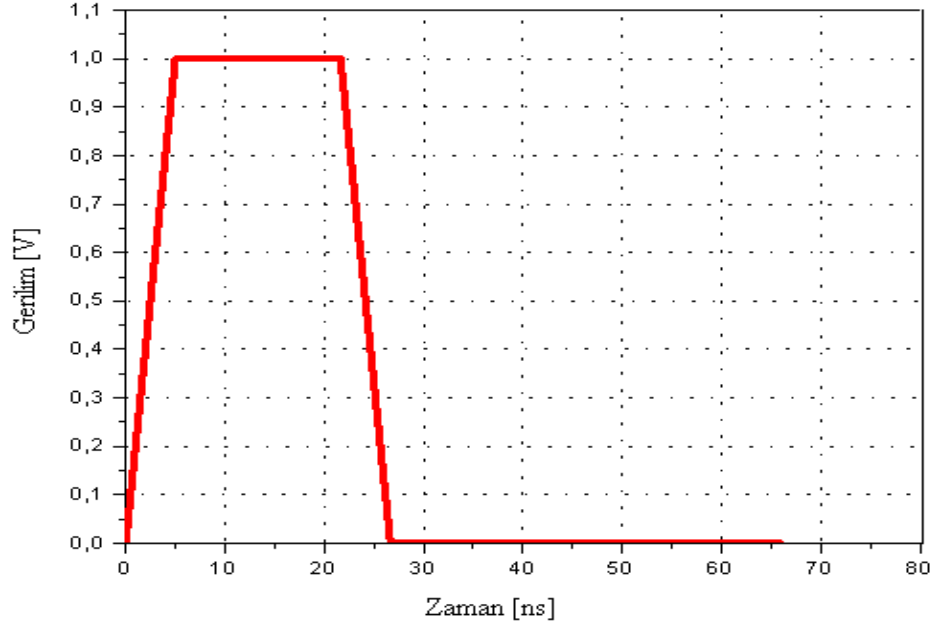
Şekil 3.19. Test devresinin simülörde tanımlanması

Şekil 3.20’de temel test devresini uyararak için kullanılan trapez dalga sinyali görülmektedir. Bu sinyal 1 ns yükselme, 1 ns düşme, 16,66 ns tutma ve 66,66 ns toplam zamana sahiptir. Ayrıca, bu sinyal 1 V genlik değerine sahiptir.



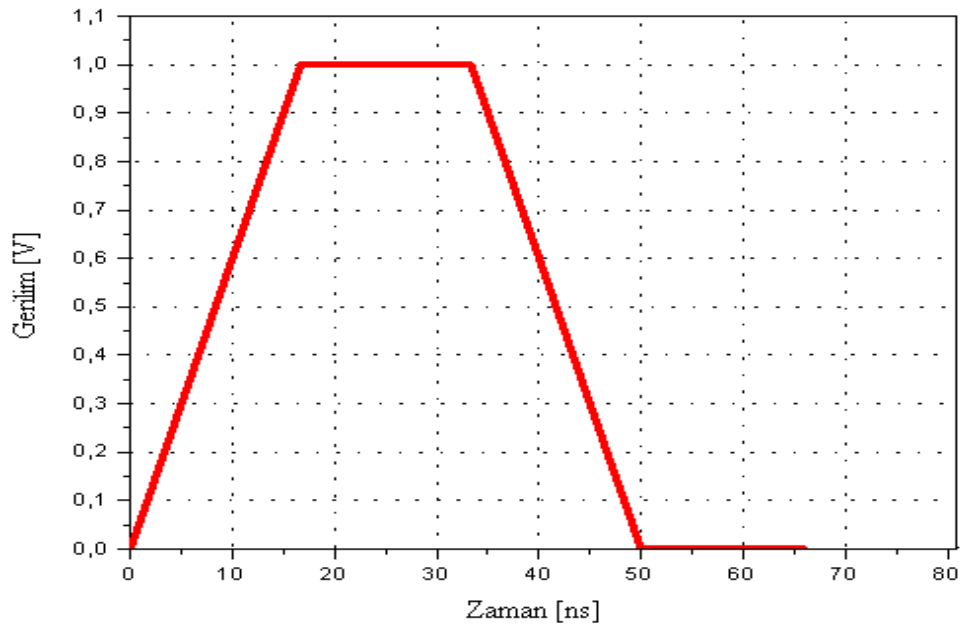
Şekil 3.20. Birinci durum dalga şekli

Şekil 3.21’de temel test devresini uyarmak için kullanılan trapez dalga sinyali görülmektedir. Bu sinyal, 5 ns yükselme, 5 ns düşme, 16,66 ns tutma ve 66,66 ns toplam zamana sahiptir. Ayrıca, bu sinyal 1 V genlik değerine sahiptir.



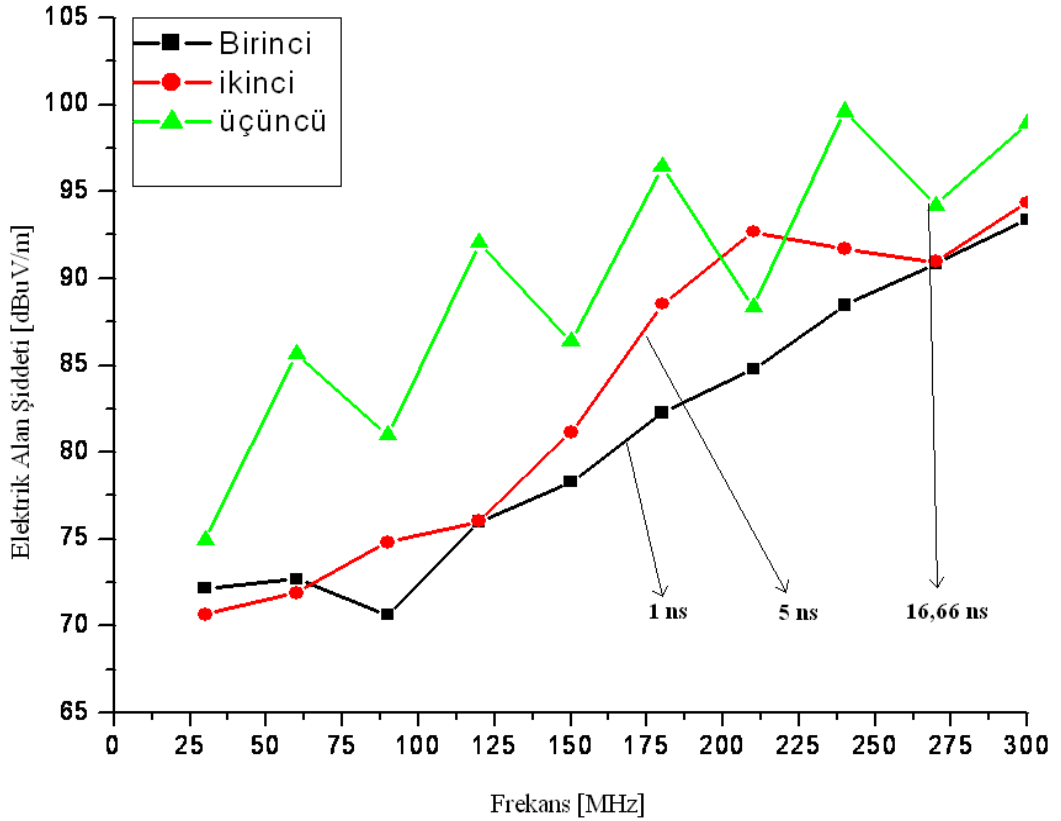
Şekil 3.21. İkinci durum dalga şekli

Şekil 3.22’de temel test devresini uyarmak için kullanılan trapez dalga sinyali görülmektedir. Bu sinyal, 16,66 ns yükselme, 16,66 ns düşme, 16,66 ns tutma ve 66,66 ns toplam zamana sahiptir. Ayrıca, bu sinyal 1 V genlik değerine sahiptir.



Şekil 3.22. Üçüncü durum dalga şekli

Şekil 3.23’de aynı enerji seviyelerinde fakat farklı yükselme ve düşme zamanlarına sahip uyarma sinyalleri arasındaki ışıma seviyesi farklılıkları görülmektedir. Bir kare dalga sonsuz sayıda sinüs sinyal dalgasından oluşmaktadır. Buradan hareketle, birinci durum en hızlı yükselme zamanına sahip olduğundan üzerinde bulunan enerji ölçüm yaptığımız frekans aralığına yayılmanın yanında birde ölçüm aralığımızdan çok daha yüksek frekanslara kadar dağıtılır. Bu yüzden ışıma seviyesi bu frekans aralığında (30 - 300 MHz) daha düşük çıkmaktadır. Ters durumda da, üçüncü durum en yavaş yükselme zamanına sahip olduğundan üzerindeki enerji düşük frekanslara daha çok dağılır. Bu nedenle ışıma seviyesi bu frekans aralığında (30 - 300 MHz) daha yüksek çıkmaktadır.

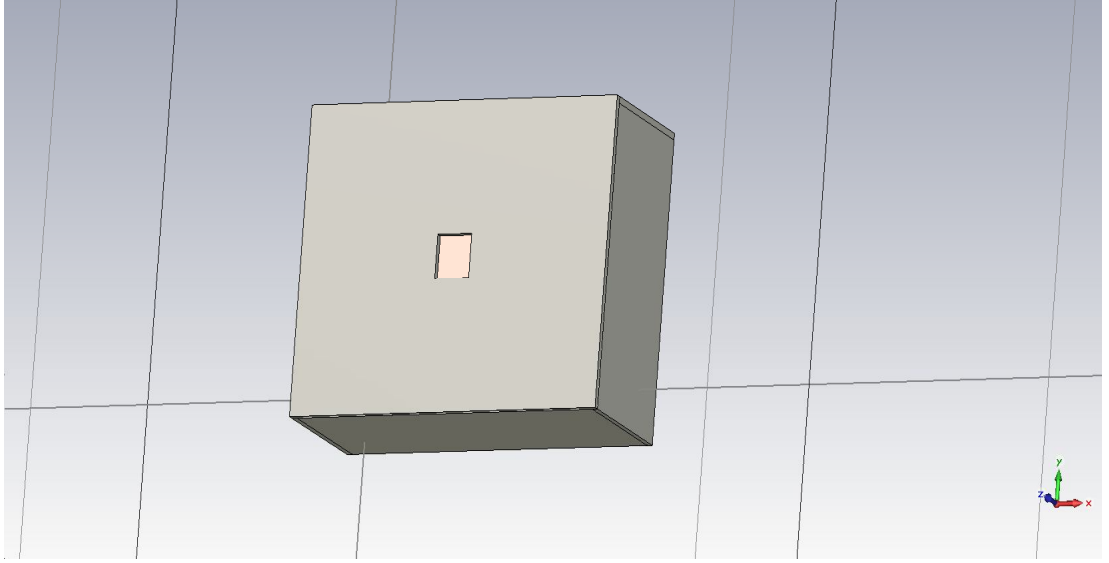


Şekil 3.23. Test 4 benzetim sonuçları

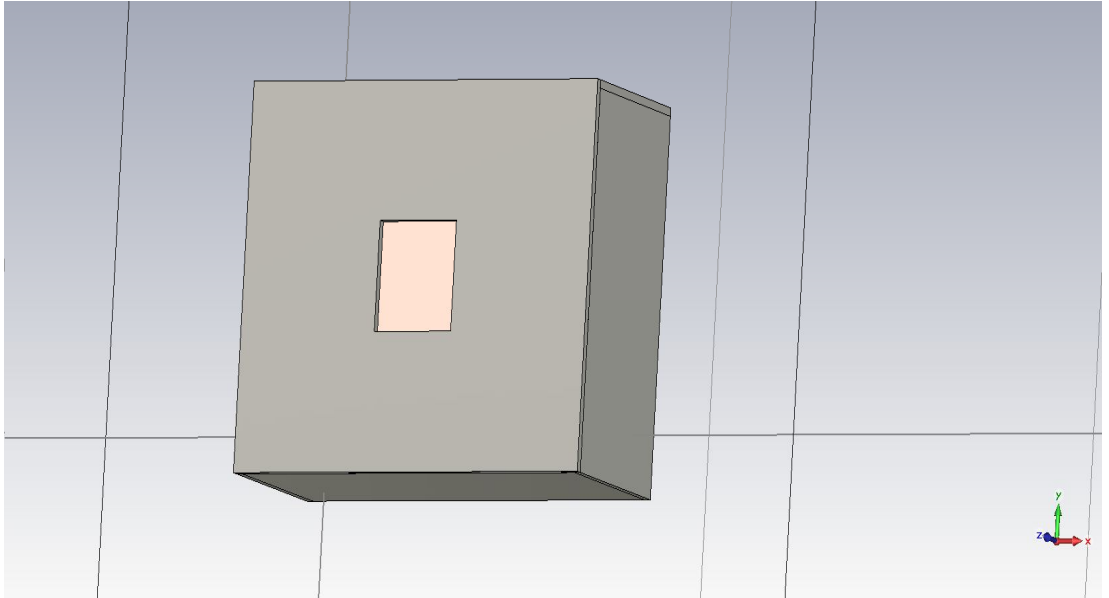
3.5. Test 5

Temel test devresi 18 x 14 x 6,7 cm boyutundaki tamamı metal kaplı bir kutuya yerleştirilmektedir. Metal kaplı kutunun metal kalınlığı 3 mm dir. Bu metal kaplı kutunun bir yüzeyinde değişik boyutlarda delikler açılmıştır. Bunlar üç farklı durumda incelenmiştir.

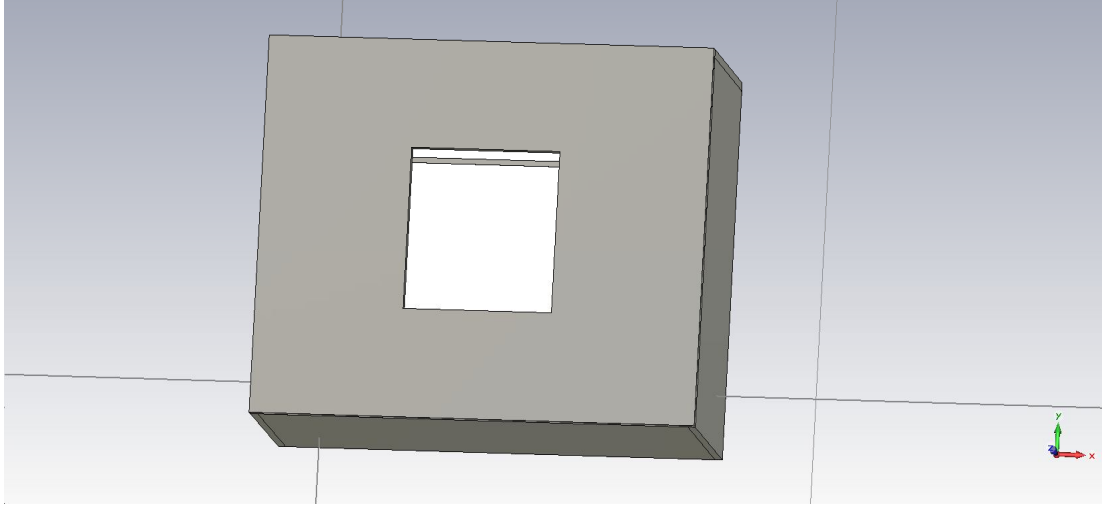
Birinci durum, Şekil 3.24’de görüldüğü gibi metal kutunun bir yüzeyine 2 cm x 2 cm boyutlarında delik açılarak oluşmuştur. İkinci durum, Şekil 3.25’de görüldüğü gibi metal kutunun bir yüzeyine 4 cm x 4 cm boyutlarında delik açılarak oluşmuştur. Üçüncü durum ise, Şekil 3.26’da görüldüğü gibi metal kutunun bir yüzeyine 6 cm x 6 cm boyutlarında delik açılarak oluşmuştur. Bu açılan delik boyutlarının test devresinin yayacağı ışımanın şiddeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 3.24. Metal kaplı kutuda delik açılması (Birinci durum)

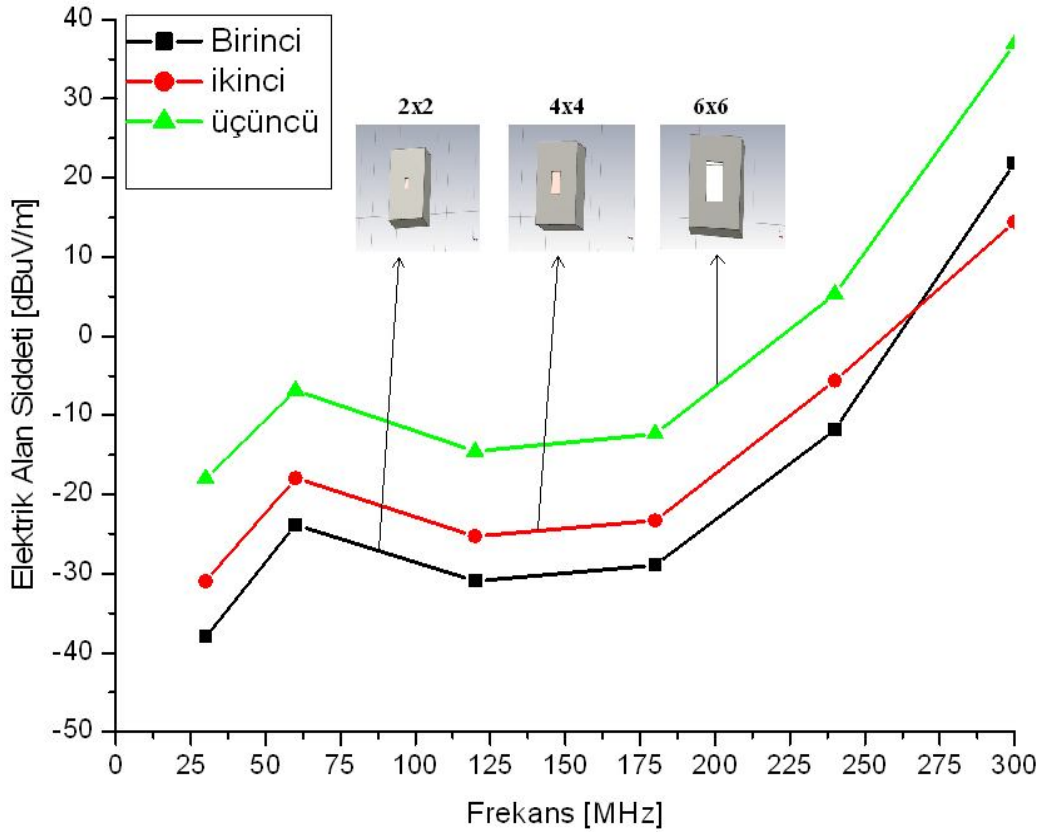


Şekil 3.25. Metal kaplı kutuda delik açılması (İkinci durum)



Şekil 3.26. Metal kaplı kutuda delik açılması (Üçüncü durum)

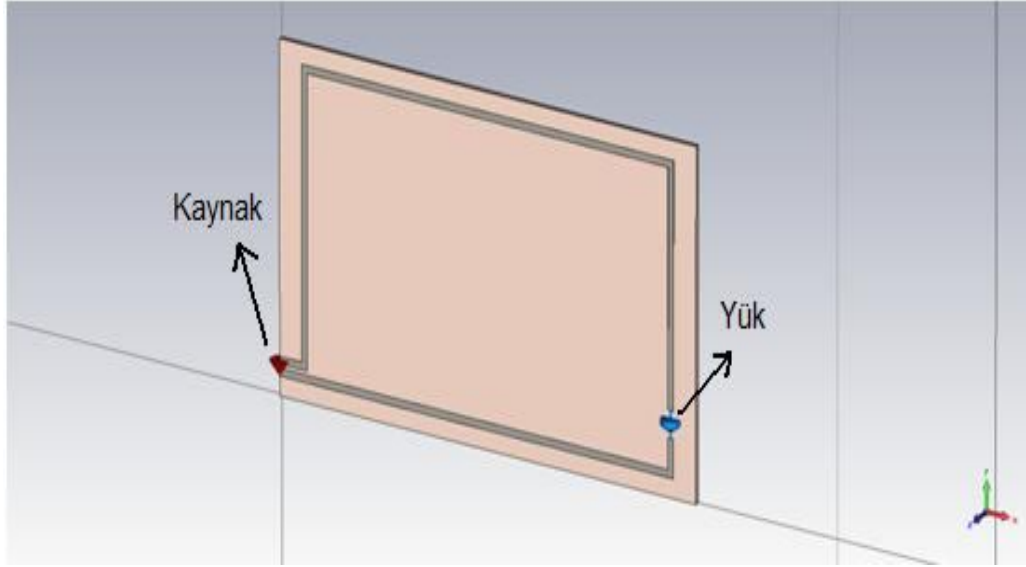
Şekil 3.27’de görülmekte olan benzetim sonuçlarına göre, metal kutu üzerinde bulunan deliklerin boyutları büyüdükçe yaymış oldukları ışımaya seviyeleri de o oranda artmaktadır. Birinci durum ile üçüncü durum karşılaştırıldığında zaman aralarında 10 - 20 dB gibi ciddi ışımaya seviye farkları oluşmuştur. Bu seviye farklılıkları EMC testleri sırasında çok fazla önem arz etmektedir.



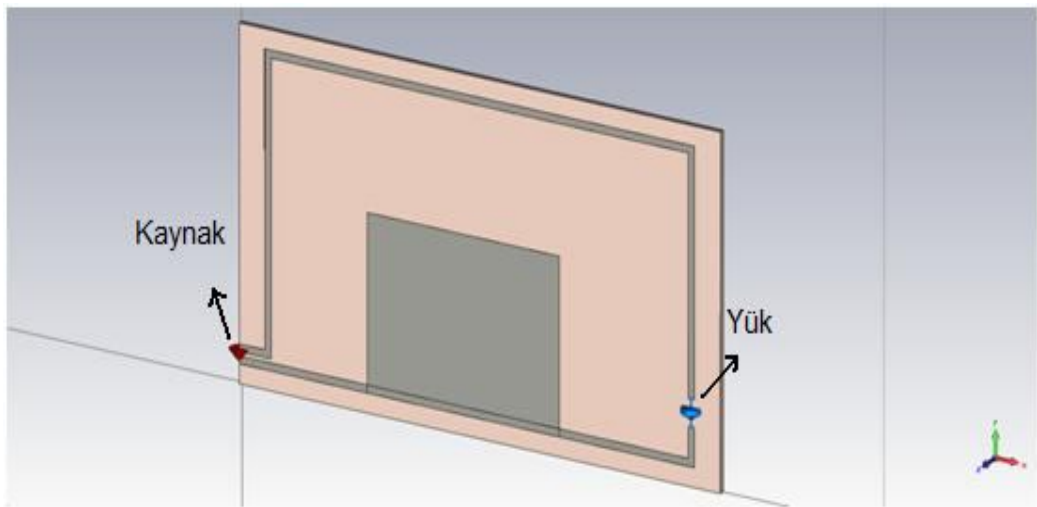
Şekil 3.27. Test 5 karşılaştırmalı benzetim sonuçları

3.6. Test 6

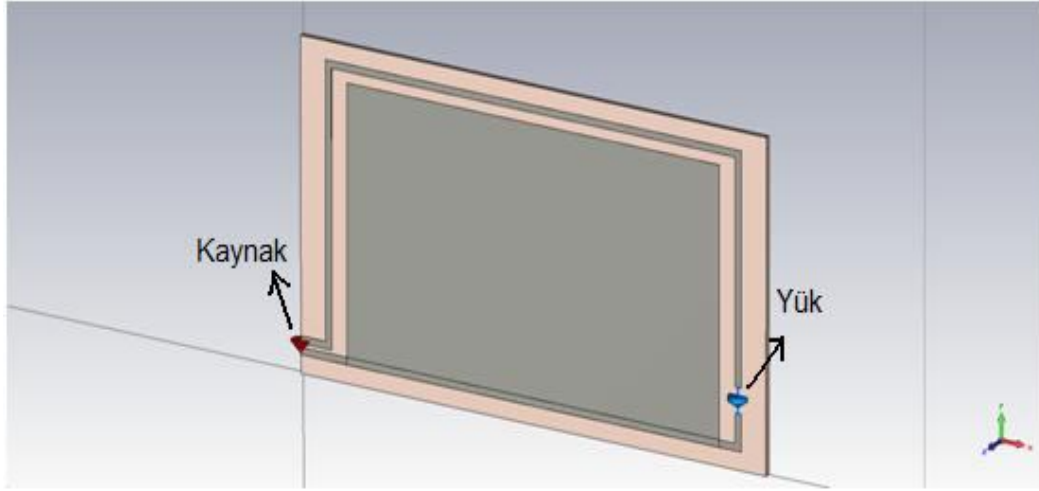
Test 6, temel test devresinin üzerinde bulunan sinyal hattı ile dönüş hattı arasındaki boş bırakılan alanın çeşitli büyüklükte toprak alanı ile doldurulması sonucunda oluşmaktadır. Şekil 3.28’de birinci durum olan temel test devresi görülmektedir. Şekil 3.29’da ikinci durum, temel test devresinin sinyal hattı ile dönüş hattı arasındaki boşluğun 60 mm x 45 mm genişliğinde toprak alanı ile doldurulması şeklinde meydana gelmiştir. Şekil 3.30’da ise üçüncü durum, temel test devresinin sinyal hattı ile dönüş hattı arasındaki boşluğun 120 mm x 75 mm genişliğinde toprak alanı ile doldurulması şeklinde meydana gelmiştir.



Şekil 3.28. Birinci Durum test devresi

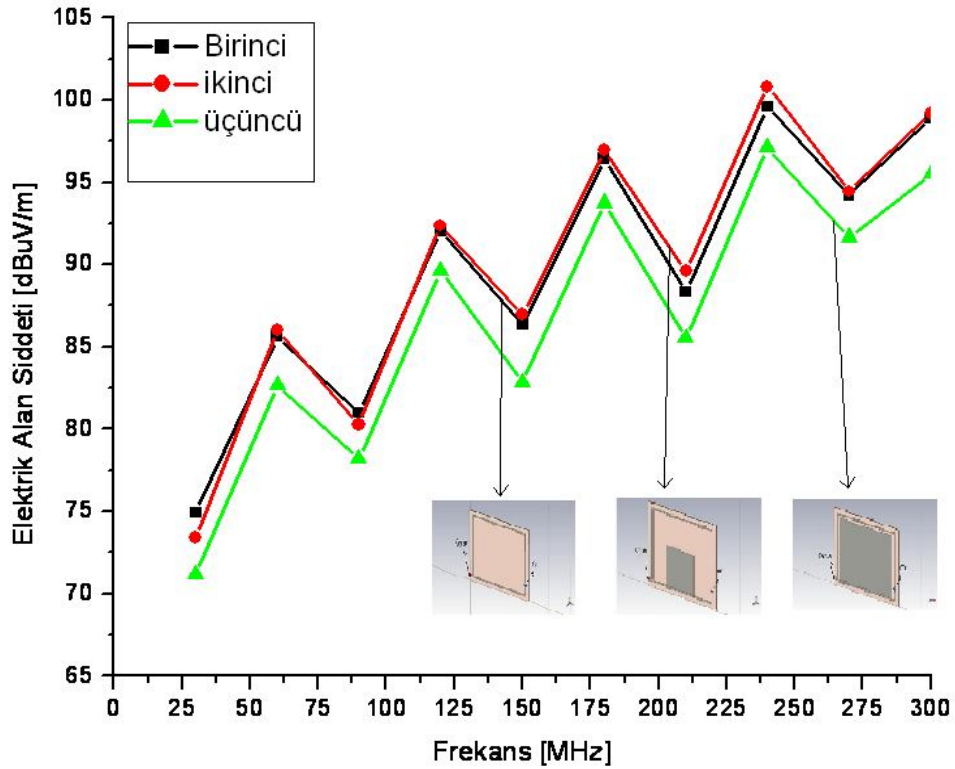


Şekil 3.29. İkinci durum test devresi



Şekil 3.30. Üçüncü durum test devresi

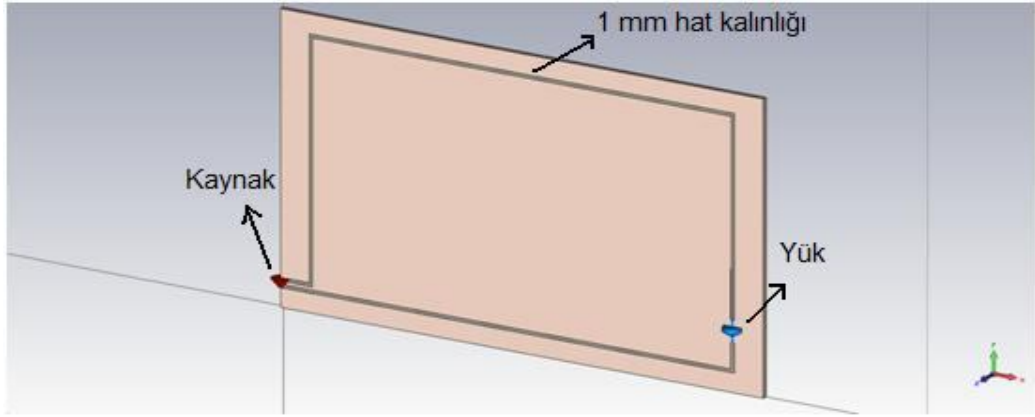
Şekil 3.31’de görülmekte olan benzetim sonuçlarına göre, birinci durum ile ikinci durum arasında 30 MHz ile 300 MHz frekans aralığında halka alanın yeterince doldurulmamasından dolayı ciddi bir ışıma seviye farkı görülmemektedir. Birinci durum ile üçüncü durumu karşılaştırıldığında, tüm frekans aralığında halka alanın toprak alanı ile doldurulmasından dolayı fark modu ışıma kısmen azaltılmış olmaktadır ve ışıma seviyesi 4 - 5 dB oranında düşmektedir.



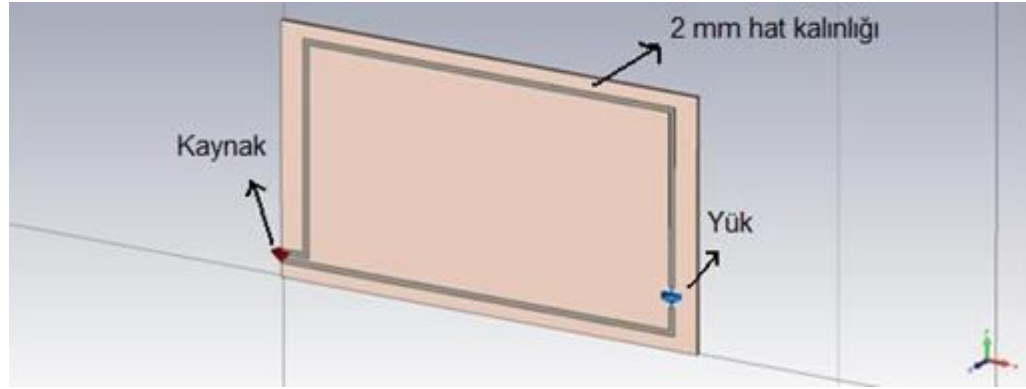
Şekil 3.31. Test 6 karşılaştırmalı benzetim sonuçları

3.7. Test 7

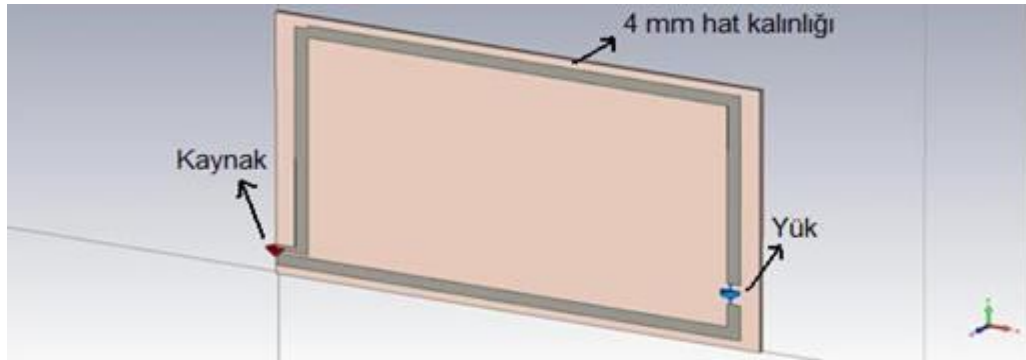
Test 7, temel test devresinin üzerinde bulunan sinyal hattı ile dönüş hattının yol kalınlıklarının değiştirilmesi ile oluşmuştur. Şekil 3.32’de görüldüğü gibi birinci durumun hat kalınlıkları 1 mm’dir. Şekil 3.33’de görüldüğü gibi ikinci durumun hat kalınlığı 2 mm ve Şekil 3.34’de görüldüğü üzere de üçüncü durumun hat kalınlığı 4 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 3.32. Temel test devresi 1 mm hat kalınlığı (Birinci Durum)

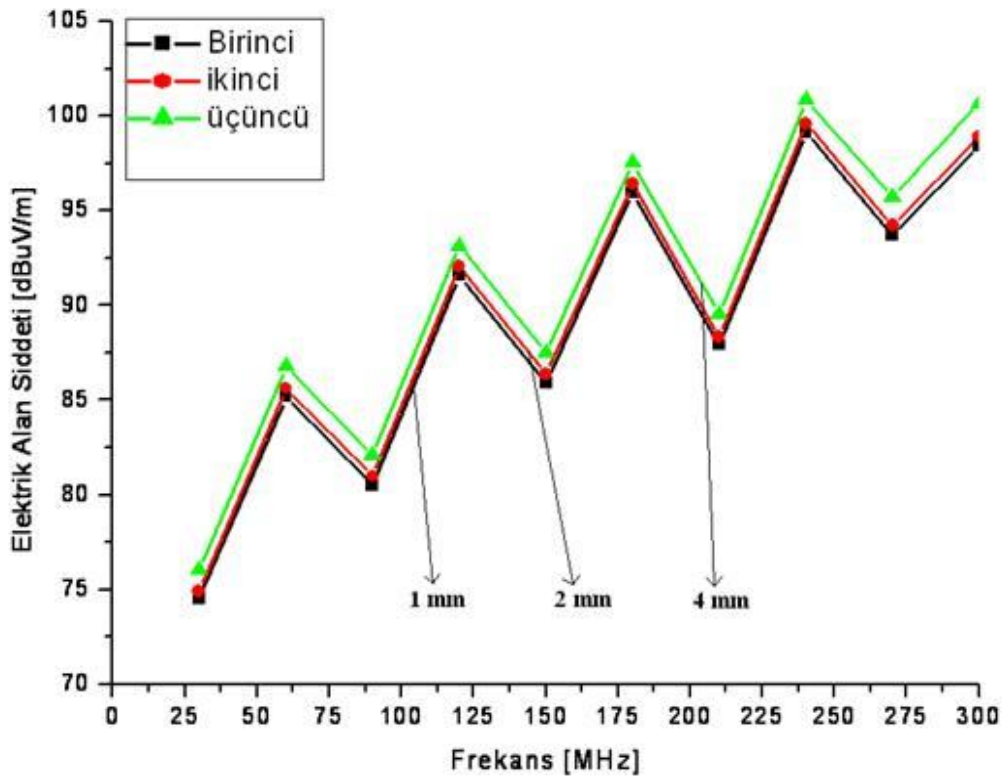


Şekil 3.33. Temel test devresi 2 mm hat kalınlığı (İkinci Durum)



Şekil 3.34. Temel test devresi 4 mm hat kalınlığı (nc Durum)

Şekil 3.35’de görülmekte olan benzetim sonuçlarına göre, baskı devre kartlarındaki sinyal veya dönüş hatlarının kalınlıklarının artırılması, o hattın direncini azaltmaktadır ve hattan daha fazla akım çekileceği için ışıma seviyesinde yükselmeler oluşturmuştur. Bununla birlikte, üçüncü durumdaki hat kalınlığı birinci durumdaki hat kalınlığından 8 kat daha fazla olmasına karşılık ışıma seviyesindeki artış miktarı yaklaşık 1 - 2 dB olmuştur. Böyle bir devredeki hat kalınlıklarının artması devrenin ışıma seviyesinde az miktarda yükselmeler yapmış olsa da bu seviye EMC açısından ciddi boyutlarda olmamıştır.



Şekil 3.35. Test 7 benzetim sonuçları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, baskı devre kartlarındaki tasarım şekillerine bağlı olarak devrelerden yayılan ışımayla emisyon (gürültü) incelenmiştir. Bu ışımaların hangi şekillerde oluştuğu araştırılmıştır. Genellikle bu ışımaların ortak mod ve fark modu şeklinde yayıldığı anlaşılmıştır. Bu araştırmaların sonucunda ortak mod ve fark modu yayılımları simüle eden bazı testler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak fark modu ışımayı gerçekleştirecek olan temel test devresi kurulmuştur. Daha sonra bu test devresine çeşitli eklemeler yapılarak ortak mod ışıma ve bu ışımaların azaltılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu test çalışmalarında, bazı testlerin baskı devre kartları yapılarak hem gerçek şartlarda hem de benzetim şartlarında ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu baskı devre kartları gerçek EMC ölçüm şartlarında (MIL-STD-461E/F, RE102) testleri ve benzetimleri karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen baskı devre kartlarında fark modu ışıma ve ortak mod ışımayı örnekleyecek şekilde devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testlerde fark modu ışıma için farklı, ortak mod ışıma için farklı önlemlerin alınması gerekliliği anlaşılmıştır. Ortak mod akımların baskı devreden ışımayla emisyonda oynadıkları baskın rol ortaya konmuştur. Sinyal gidiş dönüş hatlarının birbirine yakın tutulması, gereksiz yere uzun kabloların kullanılmaması, topraklama, ekranlama gibi önlemlerin ışımayla emisyonun azaltılmasındaki işlevleri testler ile gösterilmiştir.

Gerçek ölçüm sonuçları ile benzetim programındaki ölçüm sonuçları arasındaki paralellikten ötürü gerçek test şartlarında ölçüm yapamayacak olan araştırmacıların tasarım aşamasında benzetim yoluyla ölçümlerini gerçekleyebileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, yedi adet test devresi tasarlanarak benzetim ortamında kolaylıkla benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan test devrelerinin benzetim sonuçları birbirleri arasındaki fark durumları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Baskı devre kartlarından yayılan ışımaların kaynağının bilinmesi ve tasarım aşamasında bu ışımaların azaltılmasına yönelik çalışmalar bu ışımaların azaltılmasında etkili olmasına rağmen tek başına yeterli değildir.

Elektromanyetik ışımların azaltılması, baskı devre kartlarının tasarımından başlayıp cihazın kullanım amacına göre dizayn edilene (Optimum tasarım elde edilene) kadar devam etmesi gerekliliği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Ustüner F., Baran E., An EMC Experimental Kit for Demonstrating The Effect of Printed Circuit Board Layout on the Radiated Emissions, *General Assembly and Scientific Symposium*, Istanbul, Turkey, 13-20 August 2011.
- [2] Üstüner F., EMC Tasarımı eğitim dökümanları, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Kocaeli, Nisan 2012.
- [3] Yaman Ö., Electromagnetic Compatibility of Electric Power Quality Monitor According to EN 61326 Standard, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 177419.
- [4] Üstüner F., Elektromanyetik Uyumluluğa Giriş ve Temel Kavramlar, Eğitim Dokümanları, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü, Kocaeli, Nisan 2012.
- [5] Montrose M. I., Nakauchi E. M., *Testing for EMC Compliance, Approaches and Techniques*, 1st ed., Wiley - Interscience, USA, 2004.
- [6] Ozenbaugh R. L., *EMI Filter Desing*, 2nd ed. Revised and Expanded, New York, 31-32, 2001.
- [7] Öztürk B. M., EMI ve EMC, Löher Asansör ve Yürüyen Merdiven San. Tic. A.Ş., http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/efd3bde7f4981c9_ek.pdf, (Ziyaret Tarihi: 04 Şubat 2012).
- [8] Sevgi L., EMC ve Anten dizileri, Endüstri Otomasyon, http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/LS_EO_Subat06.pdf, (Ziyaret Tarihi: 12 Mart 2012).
- [9] Çağatay A., Yeni Nesil RFID Sistemlerinde Kullanılan Minyatür Anten Tasarımları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-15, 2001, 305442.
- [10] Balanis C. A., *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., New Jersey, USA, 2005.
- [11] Kraus J. D., *Antennas*, 2nd ed., Arcata Graphics / Halliday, USA, 1988.
- [12] Jhonson R. C., *Antenna Engineering Handbook*, 3rd ed., R. R. Donnelley & Sons Company, USA, 1993.
- [13] Bassen H. I., Smith G. S., Electric Field Probes-A Review, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Rockville, USA, 1983, **31**, 710-718.
- [14] Baran E., Elektrik Alan Probu (400MHz - 1GHz), Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002, 105484.

- [15] Williams T., *EMC For Product Designers*, 3rd ed., Newnes, Burlington, USA, 2001.
- [16] Paul C. R., *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2nd ed., Hoboken, New Jersey, Canada, 523-525, 2006.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Bulut F.**, Öztürk Y., Üstüner F., Güncel Standartlara Uygun ESD Hedefi Tasarlanması ve Gerçeklenmesi, *1.Ulusal EMC Konferansı*, Doğuş Üniversitesi, İstanbul, 14-16 Eylül, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih BULUT 09 Temmuz 1984'de İstanbul-Kadıköy'de doğdu. 2007 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği Bölümünden lisans derecesini aldı. 2007 Aralık Celbinde kısa dönem askerlik hizmetini tamamladı. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Şu an itibariyle tez aşamasındadır.

2000-2001 yılları arasında ARÇELİK A.Ş de AR-GE Bölümünde meslek lisesi stajını yapmıştır. 2005 yılında EMC Elektronik A.Ş de Üniversite 1. stajını 2 ay süresince yapmıştır. 2006 yılında TÜBİTAK-UME-EMC Laboratuvarında üniversite 2.stajını 3 ay süreyle tamamlamıştır. 2008-2012 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE'de Elektromanyetik Uyumluluk ve TEMPEST Test Merkezinde (ETTM) EMC Test Sorumlusu olarak çalıştı. Ocak 2012'den itibaren TÜBİTAK-UME'de EMC Laboratuvarında çalışmaktadır. TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü ETTM'de yaptığı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

- TÜBİTAK UEKAE tarafından geliştirilen cihazların EMC testlerinin gerçekleştirilmesi(2008-2012)
- TÜBİTAK'a bağlı diğer enstitüler ve diğer savunma sanayi kuruluşlarının ürettiği cihazların EMC testlerinin gerçekleştirilmesi(2008-2012)
- Elektromanyetik ekranlı odaların ekranlama etkinliği testlerinin standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmesi(2008-2012)
- Çeşitli malzemelerin(Kumaş, Cam, Tahta vb.) ekranlama etkinliği değerlerinin ölçülmesi
- Yonca-Onuk firmasının ürettiği botlara sistem bazında EMI testlerinin gerçekleştirilmesi(2008-2012)
- Tank, Uçak, Gemi ve benzeri platformlarda, sistem EMI/EMC testlerinin gerçekleştirilmesi(2008-2012)
- Anten kalibrasyonu çalışmaları(2008-2011)
- Güncel standartlara uygun ESD hedef tasarlanması ve gerçekleştirilmesi(2010)
- MILGEM EMI/EMC test faaliyetleri(2010-2011)
- Barış Kartalı projesinde yer destek merkezi'nin EMI/EMC testlerinin gerçekleştirilmesi 2012, Konya
- LCT Süratli amfibi gemisi EMI/EMC test faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi (2011-2012)
- Aselsan A.Ş Yeni kurulan ekranlı odaları dolayısıyla ekranlama etkinliği testi için danışmanlık verilmesi, 2012