

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Melek KAZANCI**

**OCAK 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA**

**Elektrik-Elektronik Mühendisi Melek KAZANCI**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"Elektronik Yüksek Mühendisi"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.12.2009  
Tezin Savunma Tarihi : 15.01.2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Cemal KÖSE**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Elektrikle çalışan aygıt ve cihazlar için kendi elektromanyetik alanlarından etkilenmemesi istendiği gibi aynı zamanda diğer elektrikle çalışan sistemlerinde etkilememesi istenmektedir. Her türlü elektrikle çalışan cihazların üzerinde yer alan CE işaretinin, deklarasyonu için günümüzde EMC/EMI ve Safety şartlarını da yerine getirebilmek zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada, EMC/EMI genel olarak ele alınıp, bir sistemin EMC performansı ve ölçümlerine yer verilmiştir.

Bu çalışmamda desteklerinden ötürü KAREL A.Ş.'ye ve Saygıdeğer aileme teşekkürlerim daim olsun isterim.

Melek KAZANCI  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. EMC Tarihçe.....	1
1.2.1. EMC/ EMI.....	4
1.2.1.1 EMI Kaynakları.....	5
1.2.1.2. EMI Ortamı.....	5
1.2.1.3. EMI Problemi.....	6
1.2.1.4. Elektromanyetik Bozulmalar.....	8
1.2.1.5. Uyumluluk Aralığı.....	9
1.3. EMC Mühendisliği.....	10
1.3.1. EMC Mühendisliği Uygulama Seviyeleri.....	10
1.3.1.1 Kuplaj Yolları.....	11
1.3.1.1.1 Havadan Yayılan Kuplaj Yolları.....	13
1.3.1.1.2 Ortak Mod ve Diferansiyel Mod.....	14
1.3.1.2 EMC ve Devre Elemanları.....	15
1.3.1.3 Ekranlama.....	17
1.3.1.3.1. Manyetik Ekranlama.....	20
1.3.1.3.2. Elektriksel Alan Ekranlama.....	20
1.3.1.3.3. Ekranlama İçin Seçilecek Malzeme.....	20
1.3.1.3.4. Ekranlama Performansı.....	21
1.3.1.3.5. Kablolar ve Ekranlama Etkinliği.....	21

1.3.1.4.	Toprak Bağlantısının Yapılması.....	25
1.3.1.5.	Filtreler.....	28
1.4.	EMC ve Antenler.....	31
1.4.1.	Giriş Empedansı.....	33
1.4.2.	Anten Etkin Yüzeyi.....	34
1.4.3.	Duran Dalga Oranı.....	34
1.4.4.	Işıma Gücü ve Direnci.....	35
1.4.5.	Yakın Alan-Uzak Alan.....	35
1.4.6.	Anten Verimi.....	36
1.4.7.	Polarizasyon.....	36
1.4.8.	Anten Yöneticiliği ve Kazancı.....	36
1.4.9.	Demet Genişliği.....	36
1.4.10.	Işıma Diyagramları.....	37
1.4.11.	EMC ve Anten Faktörü (AF / TAF).....	38
1.4.11.1.	Anten Faktörü (AF).....	39
1.4.11.2.	Verici Anten Faktörü (TAF).....	40
1.5.	EMC / EMI Modelleme Teknikleri.....	42
1.6	EMC Yönetmeliği.....	44
1.7.	EMC Standartlar.....	46
1.7.1.	Temel Yayınım Standartları.....	46
1.7.1.1.	EN 55022 ve EN 55011.....	46
1.7.1.2.	IEC 61000-3-2.....	47
1.7.1.3.	IEC 61000-3-3.....	47
1.7.2.	Temel Bağışıklık Standartları.....	48
1.7.2.1.	EN 61000-4-2.....	48
1.7.2.2.	EN 61000-4-3.....	48
1.7.2.3.	EN 61000-4-4.....	48
1.7.2.4.	EN 61000-4-5.....	49
1.7.2.5.	EN 61000-4-6.....	49
1.7.2.6.	EN 61000-4-8.....	49
1.7.2.8.	EN 61000-4-11.....	50
1.7.3.	Performans Kriterleri.....	50
1.8.	EMC Testleri.....	51

1.9.	Güç Kaynağı Nedir.....	51
1.10.	Güç Elektroniği.....	52
1.11.	Güç Kaynağı Çeşitleri.....	52
1.12.	EMC Açısından Güç Kaynakları.....	52
1.12.1.	AGK (Anahtarlama Güç Kaynağı, Switch Mode Power Supply).....	53
1.12.2.	AGK'nın Sebep Olacağı Bozulmalara Karşı Nasıl Tasarlanmalıdır.....	54
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR, TARTIŞMA.....	55
2.1.	Giriş.....	55
2.2.	EMC Ölçümleri Yapılan Sistemdeki Bileşen Güç Kaynağı.....	55
2.3.	EMC Ölçümleri.....	60
2.3.1.	Elektrostatik Boşalmaya Karşı Bağışıklık Testi.....	60
2.3.2.	Ani Yükselmelere Karşı Bağışıklık Testi (Surge).....	64
2.3.3.	Elektriksel Hızlı Geçici Rejim / Patlama Bağışıklık Testi (Burst).....	66
2.3.4.	Şebeke Frekanslı Manyetik Alan Bağışıklık Testi.....	67
2.3.5.	Yayımlı Bozulması (RE, Radiated Emission).....	68
2.3.6.	Bağlantı Ucu Gerilim Bozulması (CE, Conducted Emission).....	79
2.3.7.	RF Alanlar Tarafından Endüklenen İletime Karşı Bağışıklık Testi.....	82
2.3.8.	Işıyan, Radyo Frekans, Elektromanyetik Alan Bağışıklık Testi.....	84
2.3.9.	Gerilim Dalgalanmaları ve Kırpışma.....	87
2.3.10.	Sistem Performansı Değerlendirme.....	89
3.	SONUÇLAR.....	94
4.	ÖNERİLER.....	95
5.	KAYNAKLAR.....	96
	ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

Elektromanyetik uyumluluk konusunda yaklaşım, her türden elektrikle çalışan cihazların sadece kendi elektromanyetik alanlarından değil de aynı zamanda çevresindeki cihazlarında elektromanyetik alanından etkilenmemesi ile ilgilenir. Bu alanda cihazlara yönelik sınıflandırma ve cihazın tabi olduğu sınıflara göre de standartlar belirlenmiştir. Bir cihazı tasarlamak, üretmek ve satışa hazır hale getirmekle iş bitmiş olmuyor. Artık bir cihazın sadece tasarlandığı ülkede değil aynı zamanda uluslar arası platformda da satışını sağlamak için ilgili direktifin atıfta bulunduğu standartları da sağlaması gerekiyor.

Tezde ilk bölümde elektromanyetik girişime neden olabilecek parametrelere değinilmiş ve nasıl azaltılabileceği konusunda tasarım teknikleri ele alınmıştır.

Tezi asıl oluşturan kısım standartların öngördüğü ölçümlere yöneliktir. Bu nedenle örnek bir bileşen bilgi teknolojisi cihazının tabi olduğu standardın istediği ölçümlere son bölümde yer verilmiştir. Ölçümlerin tamamı Akredite edilmiş bir EMC Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik Uyumluluk, Elektromanyetik Girişim, Tasarım Teknikleri, EMC Standartları, Elektromanyetik Uyumluluk Testleri

## SUMMARY

### **Electromagnetic Compatibility Tests and a Sample Application**

The approach on Electromagnetic Compatibility deals not only with any kind of machine working with electricity not affected by its own electromagnetic field but at the same time its being not affected by the other devices' electromagnetic field around. In this field the standards are determined for the devices and the sort of the device that it belongs to. The process doesn't finish with designing producing and making the device ready for the sale. Anymore in order to make its selling not only in the country that the device is designed but also in the international area, the device needs to provide the standards that the related directives a script.

In the first chapter of the thesis the parameters that may cause of the electromagnetic interference is handled and the designing techniques are handled on how to reduce them.

The main part forming the thesis is intended for the measurements that the standards estimate. For this reason, the measurements that is needed for the standards of an information technology device is mentioned in the last chapter. All the measurements are made in accredited EMC Test Laboratory.

**Keywords:** Electromagnetic Compatibility, Electromagnetic Interference, Design Techniques, EMC Standards, Electromagnetic Compatibility Tests



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. HMS sheffilels .....	2
Şekil 2. CD player .....	3
Şekil 3. Elektromanyetik girişim kaynakları .....	5
Şekil 4. EMC test kategorileri .....	6
Şekil 5. İletkenlik problemine örnek .....	6
Şekil 6. Işınım problemine örnek .....	7
Şekil 7. Etki analizi .....	8
Şekil 8. Elektromanyetik bozulma .....	9
Şekil 9. Uyumluluk aralığı .....	9
Şekil 10. EMC sızıntı ve bağışıklık sınırları .....	10
Şekil 11. Kuplaj yolları .....	11
Şekil 12. Gerçek hayattaki kuplaj .....	12
Şekil 13. Havadan yayılan kuplaj yolları .....	13
Şekil 14. BDK'dan havaya yayılan yayınlar (Diferansiyel mod) .....	14
Şekil 15. Kablodan havaya yayılan yayınlar (Ortak mod) .....	14
Şekil 16. DM/CM dönüşümü .....	15
Şekil 17. Ekranlama etkinliğinin tanımı .....	18
Şekil 18. Elektrik ve manyetik dipoller için ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi .....	18
Şekil 19. Kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri .....	19
Şekil 20. İletim hattı tipleri ve ekranlama etkinliği performansları .....	22
Şekil 21. Kablo ekranlama örnekleri .....	23
Şekil 22. Kablo ekranlama ve etkileri .....	24
Şekil 23. Frekans aralığı .....	25
Şekil 24. Toprak hattı döngüsü .....	26
Şekil 25. Tek noktalı toprak hattı bağlantısı .....	27
Şekil 26. Üç boyutlu toprak hattı bağlantısı .....	27
Şekil 27. Filtre tipleri .....	29
Şekil 28. Ferit bilezik örnek devre yapısı .....	30
Şekil 29. Çubuk anten ve ışıma diyagramları .....	32

Şekil 30. Anten devresi .....	32
Şekil 31. Anten eşdeğer devresi ve tanımlanan empedanslar .....	33
Şekil 32. Alıcı anten eşdeğer devresi .....	34
Şekil 33. Uzak alan sınırı tanımı (Reflektör anten).....	35
Şekil 34. Ortadan / Uçtan ışımalı anten dizileri .....	37
Şekil 35. EMC antenlerinde anten faktörü tanımları (AF / TAF) .....	38
Şekil 36. Güç dönüşümü için genel sistem .....	52
Şekil 37. 220 VAC offline switcher circuit.....	56
Şekil 38. REG48 VDC devresi.....	57
Şekil 39. REG3,3 VDC devresi.....	58
Şekil 40. 48 VDC kontrol devresi .....	59
Şekil 41. 3,3 VDC kontrol devresi. ....	60
Şekil 42. EM test ditto ESD simulator .....	61
Şekil 43.ESD üretici çıkış akımının tipik dalga şekli .....	62
Şekil 44. Masa üstü cihazlar için test düzeneği örneği – Labaratuvar deneyleri .....	62
Şekil 45. Bağlaştırma düzlemleri üzerinden temasla boşalma deneyi. ....	63
Şekil 46. Havadan boşalma deneyi .....	64
Şekil 47. EM test UCS 500 M/4 ultra compact simulator.....	65
Şekil 48. Surge ve burst test kurulum örneği. ....	65
Şekil 49. Surge deneyi.....	65
Şekil 50. Bir hızlı geçici rejim/ani darbenin genel grafiği .....	66
Şekil 51. Burst deneyi. ....	67
Şekil 52. Manyetik alan deneyi .....	67
Şekil 53. ESCI Emi-test receiver.....	68
Şekil 54. VULP 9168 Trilog-Broadband Antenna.....	69
Şekil 55. AGK'nın ön yüzü, anten yatay .....	70
Şekil 56. AGK'nın ön yüzü, anten dikey .....	71
Şekil 57. AGK'nın sağ yüzü, anten yatay. ....	72
Şekil 58. AGK'nın sağ yüzü, anten dikey.....	73
Şekil 59. AGK'nın arka yüzü, anten yatay.....	74
Şekil 60. AGK'nın arka yüzü, anten dikey. ....	75
Şekil 61. AGK'nın sol yüzü, anten yatay.....	76

Şekil 62. AGK'nın sol yüzü, anten dikey.....	77
Şekil 63. RE deneyi.....	78
Şekil 64. CE test düzeneği.....	79
Şekil 65. CE line testi.....	80
Şekil 66. CE nötr testi.....	81
Şekil 67. CE deneyi.....	82
Şekil 68. CI test düzeneği.....	83
Şekil 69. CI deneyi.....	83
Şekil 70. E stacked double log per antenna.....	84
Şekil 71. RI test düzeneği.....	85
Şekil 72. RI test ortamı.....	85
Şekil 73. RI deneyi.....	86
Şekil 74. HAR1000 EMC-partner.....	87
Şekil 75. Flicker test sonucu.....	88
Şekil 76. Flicker deneyi.....	89
Şekil 77. Yankısız oda modelleme.....	92
Şekil 78. Harmonik hat akımı azaltılmamış giriş akımı, pasif olarak harmonik hat akımı azaltılmış giriş akımı ve aktif olarak hat akımı azaltılmış giriş akımı.....	93

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Diferansiyel mod/Ortak mod.....	15
Tablo 2. Lojik grubu.....	16
Tablo 3. Tipik ekranlama değerleri.....	20
Tablo 4. Yutucu özellikleri.....	93

## SEMBOLLER DİZİNİ

$A$	: Döngü Alanı
$A$	: Yutma Kaybı
$A_e$	: Alıcı Anten Etkin Yüzeyi
$AF$	: Anten Faktörü (Alıcı)
$B$	: İkincil Yansıma Etkileri
$D$	: Antenin Uzun Kenarı
$E$	: Girişim Seviyesi
$E$	: Uzaydaki Elektrik Alan
$E_{dış}$	: Dış Elektromanyetik Alan
$E(f)$	: Ekranlama Varken Elektrik Alan
$E_{iç}$	: İç Elektromanyetik Alan
$E_0(f)$	: Ekranlama Yokken Elektrik Alan
$f$	: Frekans
$f_0$	: Rezonans Frekansı
$f_c$	: Ekran Kesim Frekansı
$FM$	: Frekans Modülasyonu
$G$	: Kazanç
$I$	: Giriş (Input)
$I$	: Ürün Bağışıklığı
$IL$	: Araya Girme Kaybı
$L_s$	: Birim Boy Endüktansı
$O$	: Çıkış (Output)
$P_A$	: Alıcı Anten Gücü
$P_d$	: Uzaydaki Elektromanyetik Güç Yoğunluğu
$P_{dış}$	: Dış Elektromanyetik Güç
$P_{iç}$	: İç Elektromanyetik Güç
$P_{in}$	: Antene Aktarılan Giriş Gücü
$P_t$	: Işıma Gücü
$R$	: Yansıma Kaybı
$R$	: Antenden Olan Uzaklık

RC	: Zaman Sabiti
$R_L$	: Kayıplar
$R_r$	: Işınan Direnci
$R_s$	: Birim Boy Direnci
SE	: Ekranlama Etkinliği
$T$	: Osilasyon Periyodu
TAF	: Verici Anten Faktörü
$V_A$	: Anten Uçlarındaki Gerilim
$V_F$	: Ferrit Varken Yük Gerilimi
$V_{in}$	: Giriş Voltajı
$V_K$	: Kaynak Gerilimi
$V_{out}$	: Çıkış Voltajı
$V_0$	: Ferrit Yokken Yük Gerilimi
$X_A$	: Depolanan Enerji
$Z$	: Giriş Empedansı
$Z_A$	: Anten Empedansı
$Z_F$	: Ferrit Empedansı
$Z_K$	: Kaynak Empedansı
$Z_L$	: Yük Empedansı
$Z_Y$	: Yük Empedansı
$Z_0$	: Boşluğun Karakteristik Empedansı
AC	: Alternatif Akım
AGK	: Anahtarlama Güç Kaynağı
BDK	: Baskı Devre Kartı
BiCMOS	: Bi Polar Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CE	: İletim Yayınımı (Conducted Emission)
cm	: Santimetre
CMOS	: Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken (Complementary Metal Oxide Semi.)
CS	: İletim Bağışıklığı (Conducted Susceptibility)
dB	: Desibel
dBm	: Desibel Metre

dB $\mu$ V	: Desibel Mikro Volt
DC	: Doğrusal Akım
DDO	: Duran Dalga Oranı (SWR, Standing Wave Ratio)
EN	: Avrupa Standardı (Euro Norm)
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility)
EMI	: Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
ESD	: Elektrostatik Boşalma (Electrostatic Discharge)
GHz	: Gigahertz
GND	: Toprak (Ground)
HC CMOS	: Yüksek Hızlı Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken
Hz	: Hertz
IC	: Tümüleşik Devre (Integrated Circuit)
kHz	: Kilohertz
km	: Kilometre
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
LS-TTL	: Düşük Güçlü Schottky Transistör Transistör Lojik
LVD	: Düşük Gerilim Direktifi (Low Voltage Directive)
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Yüzey Alanı
MHz	: Megahertz
mm	: Milimetre
ms	: Milisaniye
MVA	: Mega Volt Amper
nH	: Nano Henry
ns	: Nanosaniye
pF	: Pikofarad
ppm	: Milyonda Bir
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulated)
RE	: Işınım Yayınımı (Radiated Emission)
RFI	: Radyo Frekans Girişimi (Radio Frequency Interference)
rms	: Karesel Kök Ortalama (Root Mean Squareroot)

RS	: Işınım Bağışıklığı (Radiated Susceptibility)
SMD	: Yüzey Monteli Cihaz (Surface Mount Devices)
STTL	: Standart Transistör Transistör Lojik
TTL	: Transistör Transistör Lojik
V	: Volt
W	: Watt
$\mu\text{A}$	: Mikro Amper
$\mu\text{sn}$	: Mikrosaniye
$\mu\text{H}$	: Mikro Henry
$\Delta V$	: Genlik Farkı
$\Omega$	: Ohm
$\theta$	: Düşey (z-ekseni) ile Yapılan Aç
$\varphi$	: Yatay (x-ekseni) ile Yapılan Aç
$\lambda$	: Dalga Boyu



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Sistemlerin kendi elektromanyetik alanlarında başka sistemleri etkilemeden uyum içerisinde çalışması istenir. Ancak bu, her zaman pek mümkün olamamaktadır. Özellikle son yıllardaki en büyük problem olarak gündeme gelen EMI (Electromagnetic Interference, Elektromanyetik Girişim) üzerine yapılan çalışmalar, sadece sistemlerin uyumluluk performansı ile ilgilenmeyip aynı zamanda EMC'nin (Electromagnetic Compatibility, Elektromanyetik Uyumluluk) Uluslararası standartlarla uygunluğunun sağlanmasını da gerektirmektedir.

Bu bölümde elektromanyetik uyumluluk, standartlar ve güç kaynakları hakkında genel bilgilere değinilmiştir.

### 1.2. EMC Tarihçe

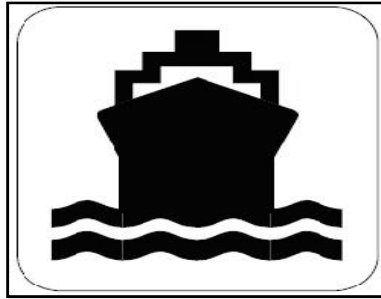
EMC'nin tarihten günümüze gelişi;

- Marconi' nin deneyleri (1800'lerin sonları). Marconi, kablo yardımı ile Atlantik öncesi iletişim (1900'lerin başları, yalnızca az sayıda radyo alıcı/vericisi bulunduğu için EMI problemi çözümü oldukça basit) [17].
- İlk teknik makaleler yayımlandı (1920'ler) [17].
- Motorlar, demiryolları gibi sistem ve cihazlarda RFI (Radio Frequency Interference) önemli bir sorun haline gelmeye başladı (1930'lar) [17].
- II. Dünya Savaşı, EMI önemli bir sorun haline geldi. Bu dönemlerde daha çok her sorun için ayrı ayrı çözüm aranmaya başlandı [17].
- 1950'lerde transistörün, 1960'larda tümeleşik devrelerin, 1970'lerde mikroişlemcilerin bulunuşu ve hızlı gelişimi sorunu daha çok ön plana çıkardı [17].
- Frekans bandı kalabalıklaştı ve frekans planlaması gereği ortaya çıktı [17].
- Sayısal işaret işleme uygulamalarının yaygınlaşması ve tümeleşik devre teknolojisinin buna katkıları önemli bir elektromanyetik gürültü kaynağı yarattı. EMI problemleri hızla çoğaldı [17].

- International Electrotechnical Commission (IEC) 1933'de Paris'de yapılan toplantıda International Spectral Committee on Radio Interference (CISPR)'nin oluşarak EMI problemleri üzerinde çalışması konusunda tavsiye kararı alındı [17].
- CISPR 1946'da II. Dünya Savaşı sonrası yeniden yapılandı. ABD'de Federal Communication Commission (FCC) 1979'da elektronik cihazlardan yayılıma ilişkin limitlerle ilgili standartlar yayınladı [17].
- Oluşan standartlar sonucunda bir elektronik ürünün pazarlanabilmesi açısından EMC çok önemli bir kriter haline geldi [17].
- Eğer bir ürün herhangi bir ülkenin Elektromanyetik Uyumluluk koşulunu sağlayamıyorsa o ülkede satılamaz [17].
- Teknolojinin gelişimi sonucunda, elektronik cihaz/sistem tasarımında elektromanyetik uyumluluk, diğer bilindik tasarım kriterleri kadar önemli bir tasarım kriteri haline geldi [17].

Tarihte karşılaşılan EMI ile ilgili bazı örnekler;

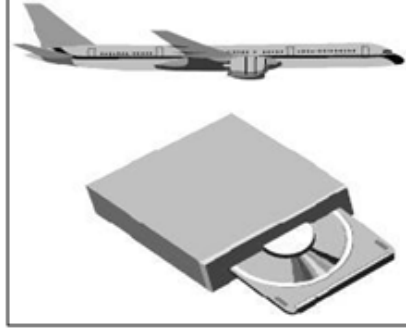
Falklands Savaşı: HMS Sheffield, uydu haberleşme sisteminde girişime neden olduğu için füze uyarı radarını kapattı ve bir düşman füzesi tarafından batırıldı [27].



Şekil 1. HMS sheffiels [27]

Tasarım süresini hızlandırmak için bir mühendislik firması CAD (Computer aided design, Bilgisayar destekli tasarım) sistemini kullandı. Ancak, sistem o kadar sıklıkla çöküyordu ki tasarım süreci daha da yavaşladı. Tedarikçilerle yapılan görüşmeler, yazılımla ilgili olduğu düşünülen sorunun çözülmesinde sonuç vermedi. Yapılan araştırmaların sonunda, sorunun, elektrik şebekesinde geçici rejimlere sebep olan, büyük bir yeniden üretim makinesinden kaynaklandığını ortaya çıkardı [27].

CD Player: Şubat 99'da JFK' ya yaklaşan DC10 uçağı düşme tehlikesi atlattı. Birinci sınıf bölümündeki CD (Compact disc) okuyucudan şüphelenildi [27].



Şekil 2. CD player [27]

CD okuyucuların uçaklar üzerindeki etkisi Lufthansa uşusundan sonra anlaşılmıştır [27].

Kağıt Fabrikası (Stanger-Güney Afrika): 1 MVA' lik değişen hızlı tahrik sisteminde sorun yaşanmıştı. 40 ms' den uzun süren %20' lik bir gerilim çukuru sistemi kapatmak için yeterliydi ve bu durum, sistemin yeniden çalışmaya başlamadan önce saatlerce kapalı kalmasına sebep olmaktadır. SMES (Superconducting magnetic energy storage, Süper iletken manyetik enerji depolama)'nin kurulmasıyla birlikte, 1997'den beri sistem kapanması meydana gelmedi [27].

Yukarıdaki örneklere ek olarak,

- Bir uzay gemisi fabrikasında, kurallara uygun şekilde bir plastik kaynakçı çalıştırılmaktaydı. Bu fabrikanın yakınında ise yatak fabrikası vardı. Bu fabrikalar birbirinden onlarca metre uzakta olmalarına rağmen, kaynakçı bir yatağın yanmasına sebep oldu [27].
- Amerika'da polis atan salonlarında elektronik oyunların kendi haberleşme sistemlerini etkilediği açıklandı.
- Bazı tip cep telefonlarının benzin istasyonlarındaki pompaların yanlış okumasına sebep olduğu belirlendi.
- Bazı tip manyetolu çakmaklar, otoyol ve parklarda araba giriş-çıkışını kontrol eden elektronik kontrollü bariyerlerin çalışmasını etkilediği anlaşıldı.
- Amerika'da havaalanına 2 km uzaktaki bir bankamatığın uçak ile kule arasındaki haberleşmeyi etkilediği anlaşıldı.

Yukarıda verilen örnekler sistemlerin birbiri elektromanyetik alanlarını etkilemesi sonucu yaşanan sorunlara örneklerdir. Bunlara ek olarak günümüzde karşılaşmış olduğumuz elektromanyetik parazitlerde aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Düşen bir yıldırımın telefon sistemlerini, evdeki elektronik cihazları çalışamaz duruma getirmesi [17].
- Evlerdeki elektrikli süpürgesi, saç kurutma makinesi vb. ev aletlerinin, televizyon görüntüsünde karlanmaya sebep olması [17].
- Bilgisayarların, FM dalga üzerindeki etkisi ile radyo yayınlarının bozulması.
- Flüoresan lambalar çalıştığında bilgisayar ekranının kırışması [17].
- Klima her devreye girdiğinde video cihazının saatinin sıfırlanması [17].
- Radyo kulesi yakınında uçan bir helikopterin kontrolden çıkabilmesi [17].
- Radyo dinlerken polis telsizlerinin araya girmesi [17].
- Havaalanı radarlarının dizüstü bilgisayarlardan etkilenmesi [17].
- Cep telefonlarının araç ABS (Anti-Lock Braking System) frenini etkilemesi [17].
- Baskı devrelerde sızıntı [17].
- Cep telefonu ile konuşurken bilgisayarda gürültü olması gibi [17].

### 1.2.1. EMC/ EMI

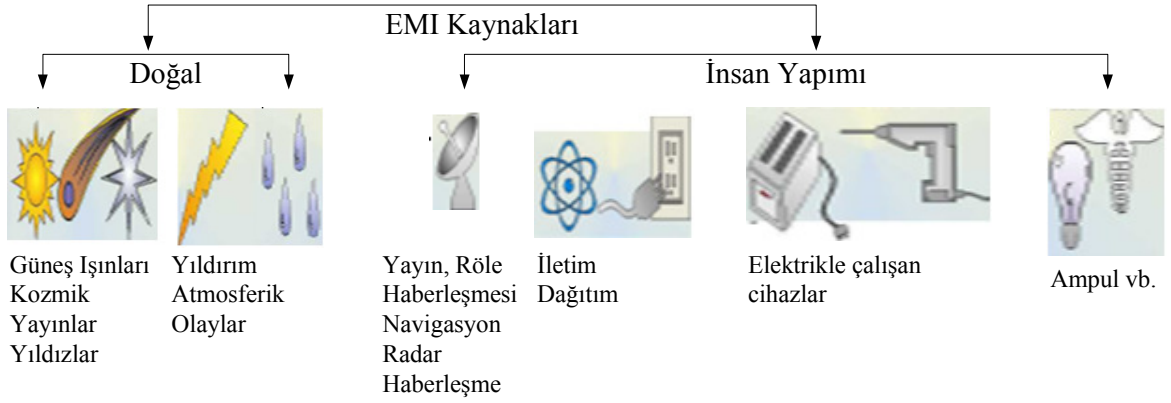
EMC, her türden elektronik ve elektrik ile çalışan aygıt, gereç ve sistemlerin içinde buldukları elektromanyetik (EM) ortamlarında, çok yüksek EM ışınlamalarını oluşturmamak şartıyla, normal çalışmalarını yerine getirebilmeleri, birbirlerine ve çevredeki diğer canlılara zarar vermemeleridir. Örneğin, aynı EM ortamda bulunan bir radardan, bir alıcı/verici telsizden ve bir uçağın savaş sistemlerini denetleyen mikroişlemci kartından çıkan EM dalgaların yüksekliklerinin ve sıklıklarının, bu aygıtların birbirlerine zarar vermeden, uyum içinde çalışabilecekleri şekilde tasarlanması gerekir. Gelişen teknoloji ile birlikte, elektronik cihazların ve özellikle sayısal sistemlerin hem endüstriyel, hem de askeri alanda kullanımının artması ve çalışma sıklıklarının yükselmesi, bu uyumu bozmaktadır, bununla birlikte elektromanyetik girişimi (electromagnetic interference) daha sık karşımıza çıkarmakla kalmayıp EMC konusunu da daha önemli kılmaktadır.

EMI, bir elektromanyetik işaretin başka bir elektromanyetik işaret ile karışması olarak tanımlanır ve elektrik ile çalışan sistemler ile ilgileri bulunan herkesi

ilgilendirmektedir. EMI kaynaklarının sayısı ve çeşitliliği arttıkça birbirinden farklı ve fark edilmesi de zor olan etkileri ortaya çıkarmaktadır.

### 1.2.1.1. EMI Kaynakları

EMI kaynakları doğal kaynaklar ve elektronik bileşenlerin etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bunlar; atmosferik, galatik gürültüler, yıldırım düşmesi, şimşek çakması gibi doğal kaynaklar olacağı gibi, güç kaynakları, ateşleme sistemleri, röleler, cpu saatleri, haberleşme sistemleri ve tüm elektronik sistemler gibi yapay kaynakları da kapsamaktadır [29].

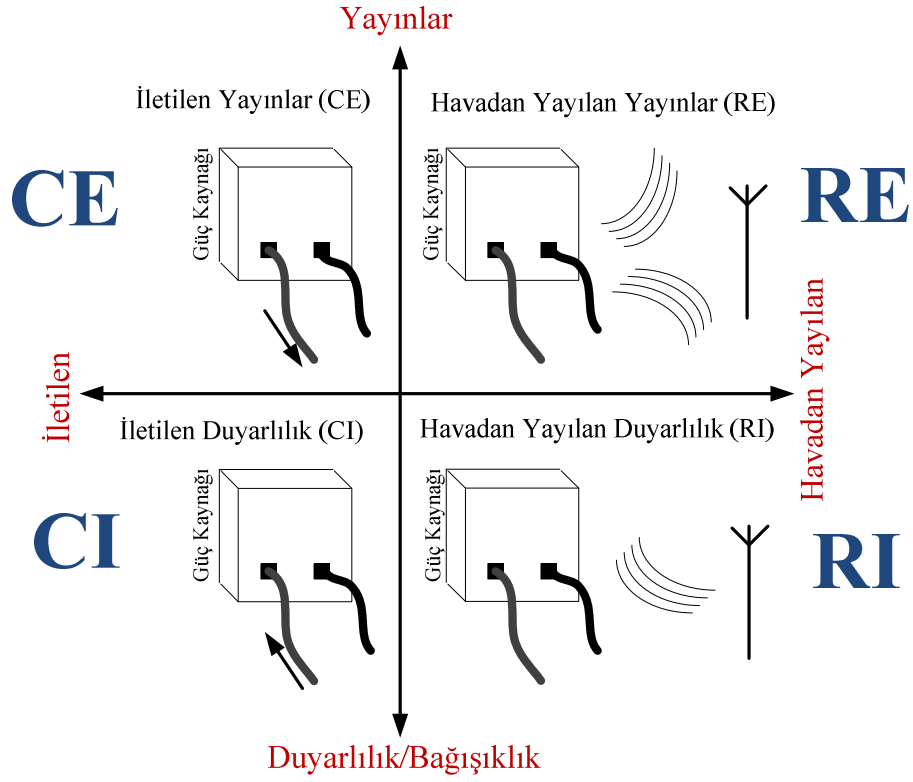


Şekil 3. Elektromanyetik girişim kaynakları [29]

### 1.2.1.1. EMI Ortamı

EMI, kaynaklar, kuplaj yolları ve kurbanlar şeklinde bir döngüdür. Kaynaklar, iletim yolu yayılım (CE, Conducted Emission) ve ışınlım yolu yayınımdır (RE, Radiated Emission). Kurbanlar, iletim yolu bağışıklık/alınganlık (CS, Conducted Susceptibility) ve ışınlım yolu bağışıklık/alınganlıktır (RS, Radiated Susceptibility) [17].

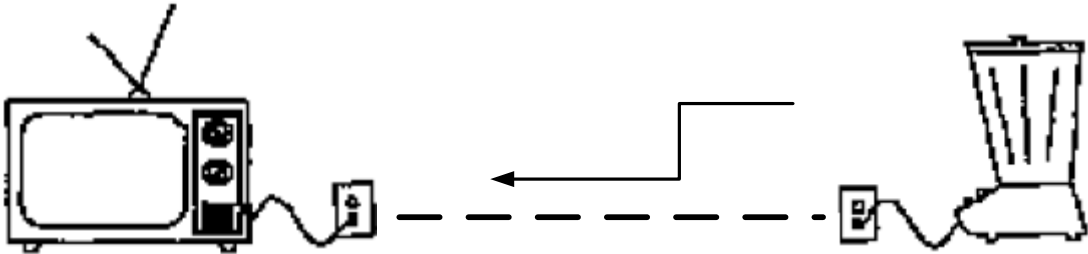
EMI ortamına göre EMC test kategorileri aşağıdaki şekildeki gibi örneklenebilir.



Şekil 4. EMC test kategorileri [27]

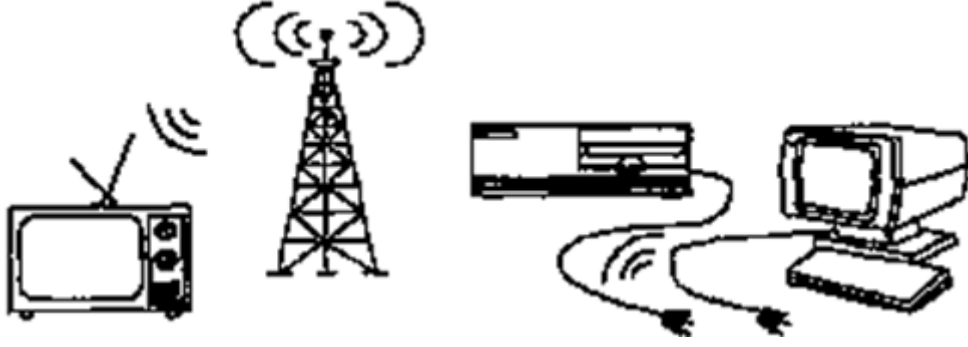
### 1.2.1.2. EMI Problemi

EMI problemi iletkenlik yolu ya da yayılım yolu kaynaklar nedeniyle oluşur. İletim, farksal ya da ortak mod da olabilir. Toprak iletkenleri, işaret kabloları, anten sürücüleri vb. düşük empedanslı yollar üzerinden gider. Çoğunlukla 30 MHz'in altındaki frekanslarda gözlemlenir. 30 MHz'in üzerinde zayıflama hızla artar [30].



Şekil 5. İletkenlik problemine örnek [30]

İşinim, farksal ya da ortak mod da olabilir. Toprak iletkenleri, işaret kabloları, anten sürücüleri vb. düşük empedanslı yollar üzerinden gider. Çoğunlukla 30MHz'in üstündeki frekanslarda etkilidir. 30 MHz'in altındaki ışınmalar ihmal edilebilir düzeydedir [30].



Şekil 6. Işınım problemine örnek [30]

EMI nedeniyle oluşabilecek problemler,

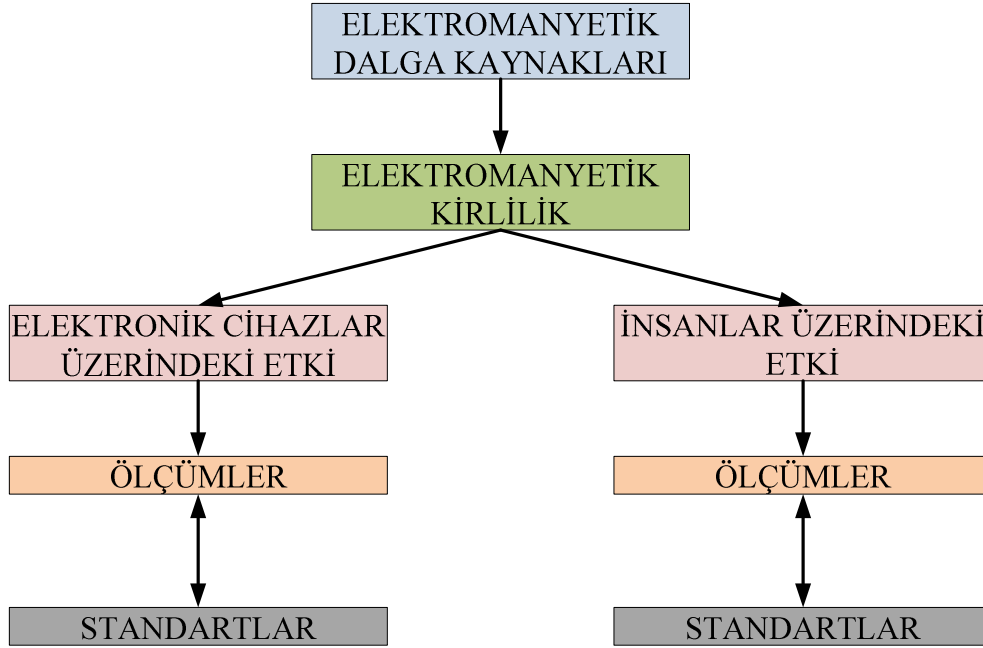
- Operator çalışma sorunları.
- Cihaz / Sistem arızaları.
- Elektronik sistemlerin devre dışı kalması.
- Canlılar üzerinde sağlık sorunları,
  - Herhangi bir atomun serbest elektronlarına kinetik enerji verir.
  - Atom ve moleküllerdeki dipollere etki eder. Polarizasyon olarak isimlendirilen bu olaya ilişkin sürtünme nedeniyle doku malzemelerinde ısı oluşur.
  - Malzemedeki mevcut dipolleri bir araya getirir. Bununla birlikte oluşan sürtünme malzemeye enerji transfer eder [28].

Bu nedenle EMC'yi tanımına uygun bir şekilde meydana getirmek için, EMI kaynakları bastırılmalı, kuplaj yolları azaltılmalı ya da zayıflatılmalı ve elektromanyetik ortamda çalışabilecek şekilde sistemler güçlendirilmelidir [28].

Temel EMC bağıntısı  $I > E$  olarak verilir. Burada I ürün bağışıklığını, E ise girişim seviyesini göstermektedir. Kısaca bir sistemin elektromanyetik girişimden etkilenmemesi, bulunduğu ortamdaki yayınıma olan bağışıklığına bağlıdır. EMC de kullanılan bir diğer tanım ise cihaz alınganlığıdır. Alınganlık, bağışıklığın girişime karşı koyamayacağı durumda sistemin işlevini yerine getirememesi durumu olarak açıklanır. Alınganlık ile oluşacak durumlar [28];

- Sistem işleyişinde düzeltilebilen küçük hatalar,
- Haberleşme sistemlerindeki gürültüler,
- Navigasyon işlemlerindeki hatalar,

- Kritik olmayan veri toplama,  
gibi daha önemsiz sorunlar ile birlikte,
- Büyük sistemlerin devre dışı kalması,
- Kritik cihazların kontrol kaybı,
- Haberleşme kaybı, temel navigasyon hatası gibi oldukça tehlikeli sorunlar olarak da ortaya çıkar [28].



Şekil 7. Etki analizi [29]

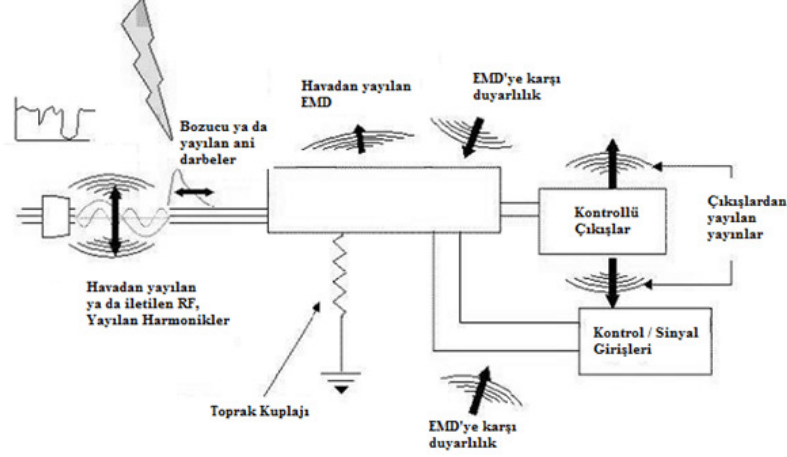
#### 1.2.1.4. Elektromanyetik Bozulmalar

Frekansa ya da kuplaj metoduna bağlı olmaksızın performansı kötü etkileyen her türlü elektromanyetik fenomen bozulmaya neden olur. Bozulmalar,

- Besleme gerilimi: kesintiler, çukurlar, ani darbeler, dalga biçimi bozulması, dalgalanmalar (yavaş rms ve hızlı rms kırışma bozulmaları), gerilim dengesizlikleri, frekans bozulmaları, AC şebekelerdeki DC işaret ve enerji hattı taşıyıcı işaretlemesi.
- Geçici aşırı gerilimler: besleme hatları, sinyal hatları, kontrol hatları (ışıklandırma, anahtarlama ve ESD (Electro Static Discharge, elektrostatik deşarj)).

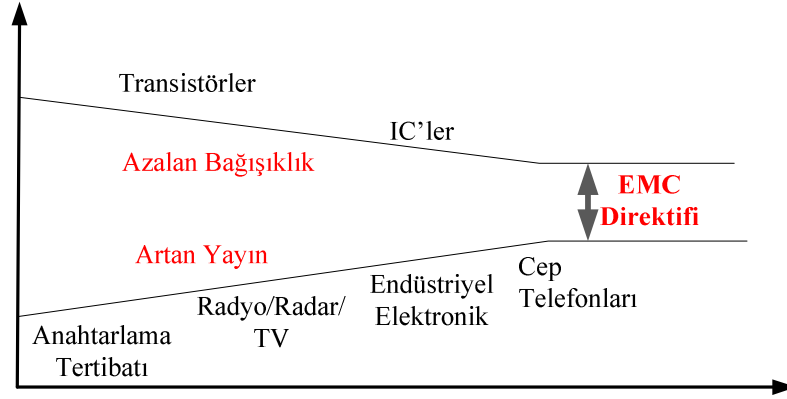


- Radyo Frekans alanları: darbeleri (radar), modüleli, cihaza doğrudan eşleşmiş ve bağlı kablolarla eşleşmiş.
- Manyetik ve elektrik alanlar.
- Nükleer elektromanyetik darbe şeklinde sınıflandırılabilir.



Şekil 8. Elektromanyetik bozulma [27]

### 1.2.1.5. Uyumluluk Aralığı



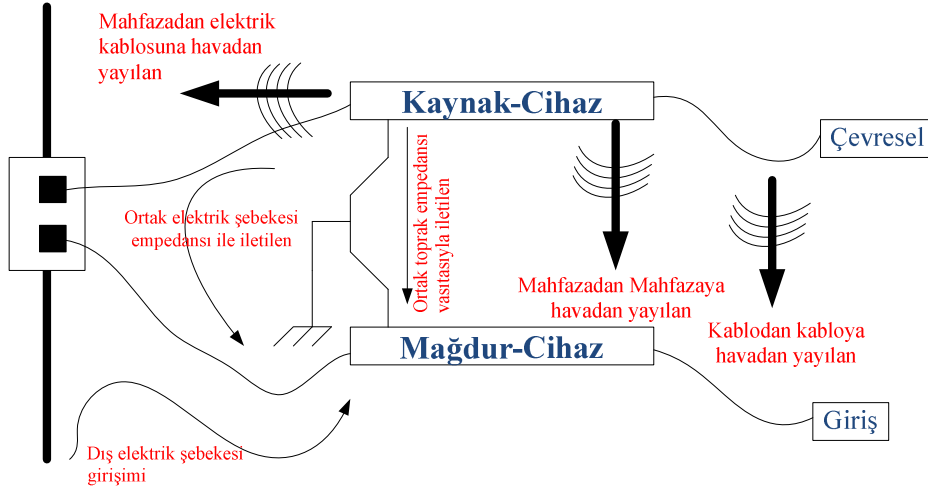
Şekil 9. Uyumluluk aralığı [27]

Elektromanyetik uyumluluk aralığı şekil 8'deki gibi verilebilir. Burada bileşenlerden (elektronik malzemeden) sistem bazına kadar bağışıklık düzeyi ve ışıyım örneklendirilmiştir. Optimum tasarım düzeyi EMC direktifini ortaya çıkarır. Şekil 10'da da sızıntı ve bağışıklık sınırları ele alınmıştır.



### 1.3.1.1. Kuplaj Yolları

Kuplaj bir sistem içindeki iki katın birbirinden ayrılması ama aralarındaki sinyal iletişiminin devam etmesi olayıdır. Ayrılma fiziksel olarak gerçekleşir ama iletişim manyetik veya optik olarak devam eder. Bu durumun bize faydası katlardan birinde olan fazla akım, yüksek voltaj gibi olumsuz, sisteme zarar verecek etkilerden diğer katları korumaktır. Bu nedenle belirli bir elektromanyetik ortamdaki bir cihaz birimi ile diğeri arasında uyumluluğu sağlamak için, kaynak mağdur kuplajını mümkün kılma yollarının kapsamlı şekilde ele alınması gerekir. Şekil 11’de bunun gerçekleştirilme şekillerine yer verilmiştir.



Şekil 11. Kuplaj yolları [27]

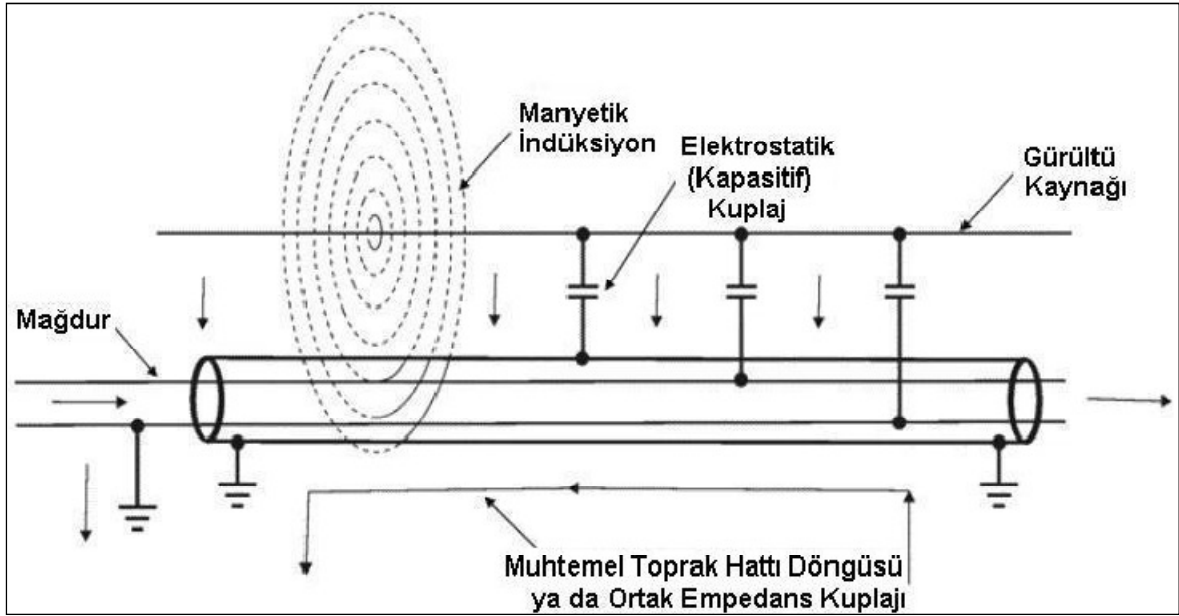
EMI’da her zaman bir “gürültü kaynağı”, “kuplaj yolu” ve “alıcı” mevcuttur. Kuplajın değiştirilmesine ilişkin, fiziksel uzaklık, ekranlayıcı malzemeler, emici malzemeler, kablolar, toprak hattı ara kuplajları, enerji hatları, devreler ve filtrelere önem verilmelidir. Kuplaj mekanizması ise, ortak empedans (iletilen), kapasitif (elektrostatik), indüktif (manyetik) ve elektromanyetik (havadan yayılan) parametrelerinin bir kombinasyonunu içerir [27].

Ortak empedans kuplajı: direnç, kondansatör ve bobinden kaynaklanır. Genelde bu malzemelerden biri devre dışı bırakıldığında problem çözülebilir.

Manyetik indüksiyon: bir iletkendeki AC akım manyetik bir alan oluşturur. Bu, yakındaki bir iletkenle eşleşebilir ve iletkende bir akım indükleyebilir. Genelde akımda

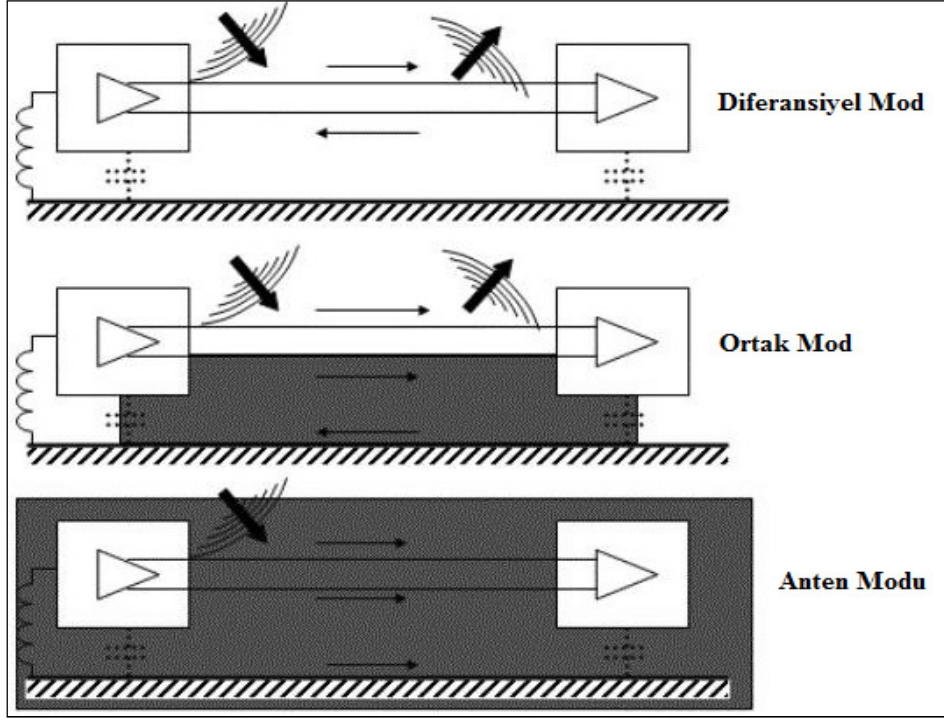
büyük ve/veya hızlı değişimlerin gerçekleştiği durumda ( $di/dt$  oranı) meydana gelir. Bunun gerçekleştirilmesi için ortak bir toprak hattına ihtiyaç yoktur. Birbirinden yalıtılmış devrelerde de bu durum gözlenebilir [27].

Elektrostatik kuplaj: Bir iletken, diğer bir iletkendeki değişen gerilimden etkilenebilir. Bunun derecesi, yükle kaynak arasındaki empedans oranına bağlıdır. Kaynak empedansı, iletkenler arasındaki uzaklık, iletkenlerin etkin alanları ve aralarındaki malzemenin (dielektrik) bileşimi tarafından belirlenir. Elektrostatik (kapasitif) kuplaj genelde gerilimde büyük ve/veya hızlı değişimlerin ( $dv/dt$ ) olduğu durumlarda gözlenir [27].



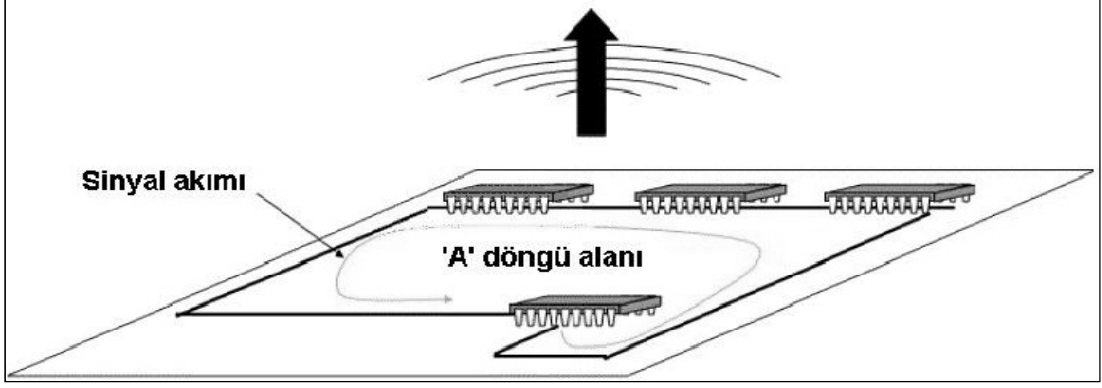
Şekil 12. Gerçek hayattaki kuplaj [27]

### 1.3.1.1.1. Havadan Yayılan Kuplaj Modları



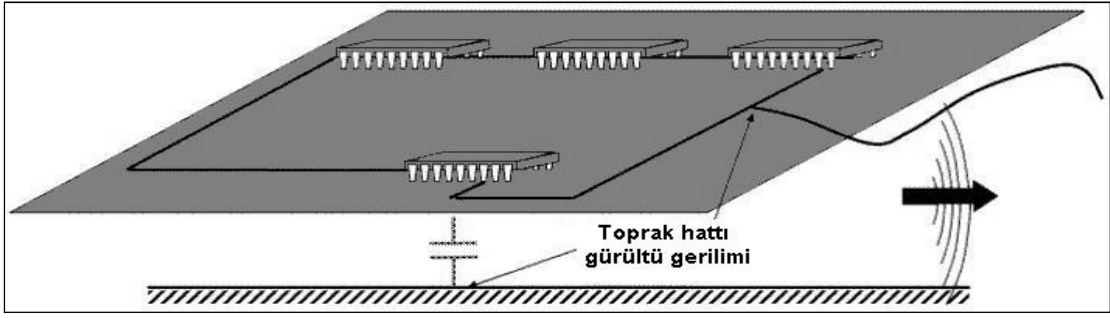
Şekil 13. Havadan yayılan kuplaj modları [27]

Birçok durumda istenen sinyal diferansiyel modda üretilir. Diferansiyel modda bir iletkende girişim sinyallerinin oluşması ve bu sinyallerin bu modda havadan yayılması da mümkün olmaktadır. Ancak toprak hattı bu kuplajda yer almaz. Kablolar ayrıca ortak modda içte de üretilen sinyalleri taşıyabilir. Bunlar, sıklıkla kaçak kapasiteler ve indüktanslar tarafından toprak hattını referans alır ve ortak mod sinyaller olarak havadan yayılabilir. Ortak mod sinyaller, diferansiyel moda dönüştürüldüğünde sorun olabilir ve bu sinyaller istenen sinyal ile karışabilir. Anten modunda ise, sinyal iletkenlerinde ve referans düzlemde eşleştiklerinde akım indüklenir. Diferansiyel moda dönüştürülürse, sorun haline gelir. Bu durumun bir BDK üzerinde meydana gelmesi de muhtemeldir [27].



Şekil 14. BDK'dan havaya yayılan yayınlar (Diferansiyel mod) [27]

“A” döngü alanı küçük tutulmalıdır. Çünkü alan, frekansın karesine bağlı olarak değişir ve burada gösterilen bu alan küçük bir döngülü anteni oluşturmaktadır.



Şekil 15. Kablodan havaya yayılan yayınlar (Ortak mod) [27]

Kablo yayını genelde ortak moddur ve diferansiyel moddakinden çok daha kötüdür. Ortak mod gerilimler, zayıf şekilde sonlandırmadan kaynaklı olabilir. Kablo yayın standartlarını karşılamak için ortak mod akımının genelde  $5 \mu\text{A}$ 'in altında olması gereklidir [27].

### 1.3.1.1.2. Ortak Mod ve Diferansiyel Mod

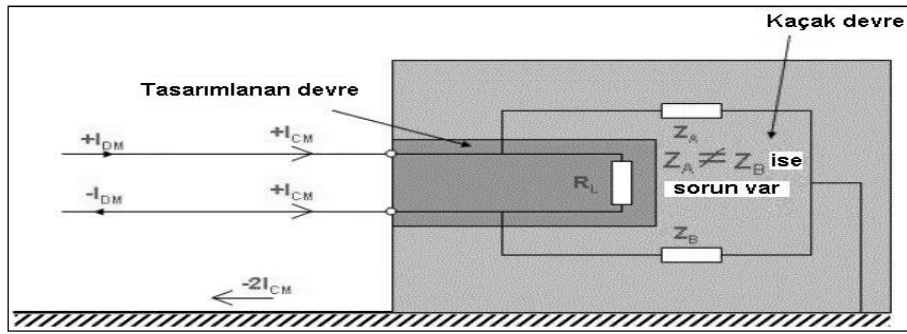
Diferansiyel mod, bir sinyal ve geri dönüş hattı arasındaki ya da bir devredeki pozitif ve negatif noktalar arasındaki alışageldik normal gerilimler ve akımlardır. Diferansiyel, iki hat arasındaki fark anlamına gelir [27].

Görelî gerilimlerin olabildiği ve akımların akabildiği başka bir referans ya da toprak hattı düzlemi var olduğunda ortak mod devreye girer. Ortak modda iki hat tek bir hat gibi görülür ya da iki hattın ortak referansı olarak da tanımlanabilir [27].

Tablo 1. Diferansiyel mod / Ortak mod [27]

Diferansiyel Mod	Ortak Mod
Normal devre çalışmasındaki akım akmaz	Normal devre çalışmasındaki akım akar
Akım, döngülerde akar	Parazit ve çoklu kuplaj yollarını içerir
Devre diyagramı olarak dökümante edilir	Dökümante edilemez
Anlaşılması kolaydır	Anlaşılması zordur

Ortak mod probleminin çözülebilmesi EMI sorununun çözümünde önemlidir. Ancak ortak mod sorununun anlaşılması çok kolay değildir.



Şekil 16. DM / CM dönüşümü [27]

$Z_A$  ve  $Z_B$  değerleri eşit olmadığı zaman ortak mod gürültüsü diferansiyel moda dönüştürülür. Aynı zamanda devrenin dengesiz olduğu durumlarda da diferansiyel akımlar, CM (common mode, ortak mod) akımının akmasına sebep olur.

### 1.3.1.2. EMC ve Devre Elemanları

EMC denildiğinde ilk olarak akla gelen elektrikle çalışan sistemleri oluşturan malzemelerdir. Bu nedenle temel devre elemanlarının EMC problemindeki etkilerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [16].

- 10-15 kHz'in üstündeki frekanslarda iletkenler direnç özellikleri yanında indüktif özellikte göstermeye başlar.
- Tel sarımlı bobinler genelde 50 MHz'e kadar kullanılabilir. Sarımlar arası kaçak sığa nedeniyle rezonans etkileri oluşmakta ve rezonans frekansı kabaca ( $L$   $\mu$ H olmak üzere) MHz cinsinden  $f_0 = 200/L_0$  şeklinde hesaplanmaktadır.
- EMI ferritlerinden oluşturulan endüktanslar yüksek frekanslarda rezistif özellik kazanmasına karşın 10 MHz – 1 GHz arası kullanışlıdır. Ancak çekirdek doymasına dikkat etmek gerekir.
- Yüzey montajlı kapasitörlerde, bobin değeri olarak  $L = 0,4$  nH/cm ve  $L = 8$  nH/cm kullanılabilir.
- Alimünyum elektrolitik, kağıt, mika ve seramik kapasitörler, sırasıyla 100 kHz, 5 MHz, 500 MHz ve 1 GHz frekanslarına kadar kullanılabilir [16].

Temel elemanların yanında, lojik grubu seçimindeki en önemli faktör en az yayınıma neden olanın seçimidir. Bu nedenle en yavaş lojiğin kullanımı EMI problemini azaltacağı unutulmamalıdır. Lojik gruplarına göre, bant genişliği  $1/(\pi t_r)$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır tablo 2' de lojiklerin ne kadar bant kullandığı görülmektedir [16].

Tablo 2. Lojik grubu [27]

Lojik Grubu	Yükselme süresi (ns)	Bant genişliği
CMOS	50 ns	6 MHz
TTL/BICMOS	10 ns	32 MHz
LS-TTL	6 ns	55 MHz
HC CMOS	4 ns	80 MHz
STTL/ABT-TTL/ALSTTL	3 ns	120 MHz
FACT CMOS/FAST TTL	2 ns	160 MHz
ECL 10kH	1 ns	315 MHz
ECLinPS3	0,5 sn	635 MHz
E-LITE ECL	0,25 sn	1200 MHz
GaAs	0,2 sn	1600 MHz



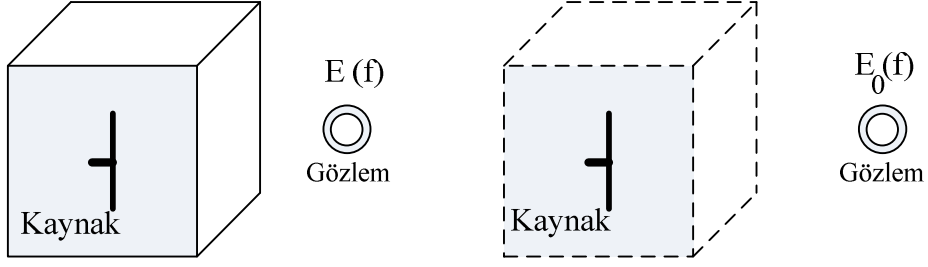
SMD (surface mount devices, yüzey monteli cihaz) yüzey monteli elemanlardır. Bu malzemelerin dezavantajları daha düşük enerji işleme tabii tutma kapasitesine sahiptirler. Avantajları ise, düşük profil cihazlardır yani daha düşük seviyede yayın yaparlar. Bu malzemelerde daha az parazit vardır [16].

Saat besleme, sayısal devrelerdeki temel yayın kaynağıdır. Bu nedenle yükselme sürelerini en aza indirmek gerekir. Saat izleri tek bir katmanda yönlendirilmelidir. Uzun saat hatları için alıcı uçta bir alıcı tampon kullanılmalıdır. En iyi çözüm yayılı spektrumlu saat beslemesi kullanmaktır. İz değişimi empedans süreksizliğine ve duran dalgaların oluşmasına neden olur. Bir alma tamponu, uzun izlerde yüksek seviyedeki akımların akmasını önler. Yayılı spektrumlu saat besleme, gerçekte yalnızca test sırasında ölçme cihazlarını kandıran bir çözümdür [16].

### **1.3.1.3. Ekranlama**

Ekranlama; kart, devre ya da cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik anlamda izole etmek diye tanımlanır. Ekranlamanın etkili olabilmesi ekranlanacak kaynağın cinsine bağlıdır. EMC problemlerinde iki tip girişim kaynağı söz konusudur; elektrik dipolü gibi davranan kaynaklar, manyetik dipol gibi davranan kaynaklar. İçinden akım geçen iletken tel parçaları elektrik dipol gibi, içinden akım geçen halka şeklindeki parçalar ise manyetik dipol gibi davranır. Elektrik dipol yakınında güçlü elektrik alan, manyetik dipol yakınında güçlü manyetik alan oluşur. Uzak alanda iki kaynağın etkileri açısından bir fark yoktur. Bu nedenle elektrik alan gibi davranan girişim yakınında elektrikselsel ekranlama ve manyetik alan gibi davranan girişim kaynağı yakınında da manyetik ekranlama yapılmalıdır [12].

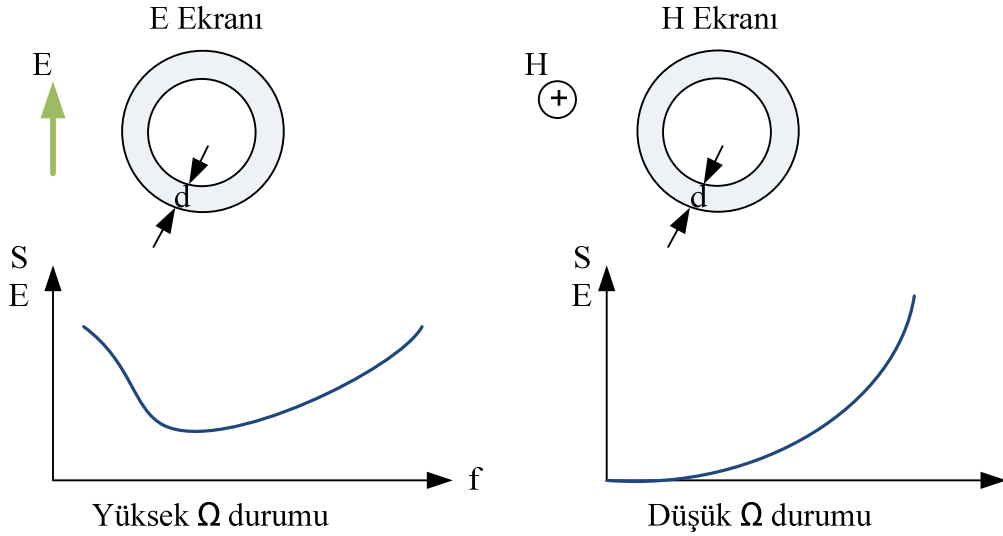
Ekranlamanın tipik bir ölçüsü olarak SE (Shielding effectiveness, kaynak ile kurban arasında ekran yokken oluşan alan şiddetinin, ekranlama varken oluşan alan şiddetine oranı) kullanılmaktadır. Birimi dB olarak verilmektedir. İyi bir ekranlama yüksek SE anlamına gelmektedir. Negatif SE ise çınlama (rezonans) yani işaretin kuvvetlenmesi anlamına gelmektedir [12].



$$\text{Ekranlama Etkinliği} \rightarrow SE = 20 \log [ E(f) / E_0(f) ] \text{ (dB)}$$

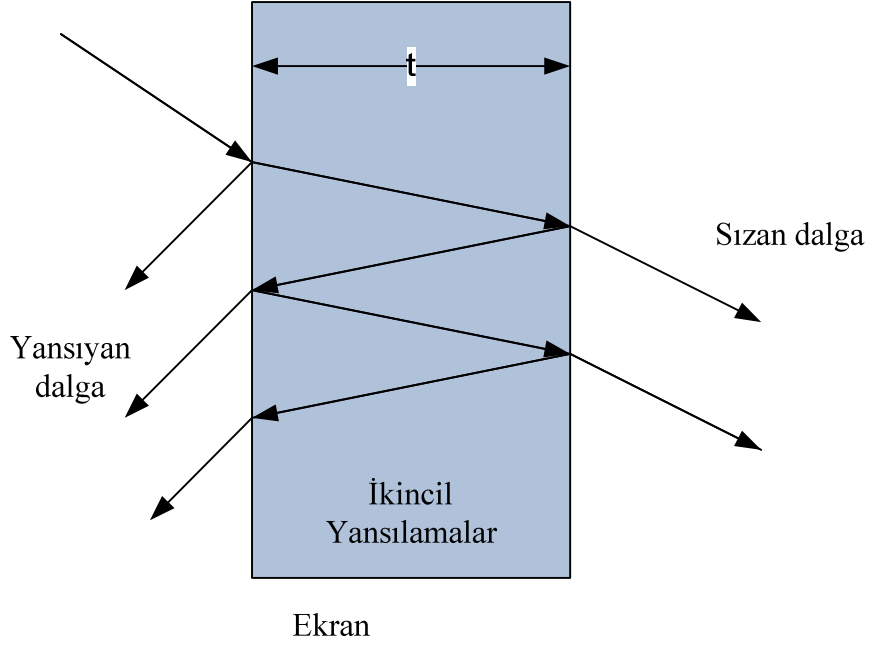
Şekil 17. Ekranlama etkinliğinin tanımı [12]

Ekranlama performansına Şekil 18’de değinilmiştir. Özdeş iki küre yakınlarında güçlü elektrik alan ve güçlü manyetik alan verken ekranlamanın frekansa bağlı değişimi verilmektedir. Metal küre ekranlama etkinliği elektrik dipol tipi girişim kaynakları için alçak frekanslarda yüksek iken, manyetik dipol tipi girişimler için ekranlama etkinliği neredeyse yok olmaktadır. Ancak yüksek frekanslara çıkıldığında her iki tip kaynak için ekranlama etkinliği frekans arttıkça artmaktadır [12].



Şekil 18. Elektrik ve Manyetik Dipoller için Ekranlama Etkinliğinin Frekansla Değişimi [12]

Elektriksel ekranlama için iletken duvarlar kullanılırken, manyetik ekranlama ferromanyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır. Alüminyum folyodan oluşan ince metal perdeler bile yeterli elektriksel ekranlama sağlayabilir [12].



$$SE = A + R + B \text{ [dB]}$$

Şekil 19. Kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri [12]

A: yutma kaybı, R: yansıma kaybı ve B: ikincil yansıma etkileridir.

- Ekranlama elektrik alanın düşük frekanslarda yansıtılması yüksek frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Ekranlama manyetik alanın düşük frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Yüksek iletkenlik, yansıma ve yutulmayı pozitif yönde etkiler.
- Yüksek manyetik geçirgenlik yüksek yutulmaya neden olurken, düşük yansıma oluşturur.
- Çok düşük frekanslı manyetik kaynakların ekranlanması durumunda yüksek manyetik geçirgenlikli malzemeler kullanılır.
- Ekran kalınlığı arttıkça yutulma artar.
- Manyetik alan için kalın ekranlara ihtiyaç duyulurken elektrik alan için ince yapılar kullanılabilir.
- Kaynak ile ekran arasındaki uzaklık yansıma özelliklerini değiştirir.
- Elektrik kaynaklar ekrana yakın, manyetik kaynaklar ekrana uzak yerleştirilir.

### 1.3.1.3.1. Manyetik Ekranlama

Pratik olarak düşük frekanslarda ( $f < 30$  MHz) önemlidir. Manyetik ekranlamada zayıflama frekansla artar. Bu nedenle ekran içindeki direnç minimum tutulmalıdır. Delikler ve açıklıklar daha az önemlidir [12].

### 1.3.1.3.2. Elektriksel Alan Ekranlama

Pratik olarak yüksek frekanslarda ( $f > 30$  MHz) önemlidir. Değişik parçalar arasındaki kontak direncinin kalitesi önemlidir (izole edilmiş parçalar anten gibi davranır). Delikler ve açıklıklar frekansa bağımlı olarak önemlidir. Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkiler. Değişik kaynaklarda verilen yaklaşık formüller genelde yarı sayı ve uzaklığa bağlı olarak ekranlama etkinliğini verir. Çoğunlukla bu hesaplarda pratikle teorik arası farklar yüzünden 30 dB'den büyük farklar gözlenir. Bu da formüllerin hangi uzaklık ve konumda geçerli olduğu belirtilmediğinden kaynaklanır [12].

### 1.3.1.3.3. Ekranlama İçin Seçilecek Malzeme

- Yüksek performanslı malzemeler: çelik, bakır, paslanmaz çelik gibi (80 ile 120 dB ekranlama etkinliği).
- Standart performanslı malzemeler: iletken metal tabakalar ya da metal parçacıklı plastikler (20 ve 40 dB ekranlama etkinliği).
- Zayıf performanslı malzemeler: metalleştirilmiş kumaş yapılar iletken kağıt malzemeler (iletken polimerler), (15 ve 30 dB ekranlama etkinliği).

Pratikte 30 dB ekranlama sorunları ortalama olarak çözerken, 40 dB'de daha iyi sonuçlar alınır. Bunun yanında askeri sistemlerde 100 ve 120 dB ekranlama etkinliği istenebilir.

Tablo 3. Tipik ekranlama değerleri ( $E$ : EM alan,  $P$ : EM güç) [12]

Ekranlama (SE)	$E_{dış} / E_{iç}$ (%)	$P_{dış} / P_{iç}$ (%)	Açıklama
10 dB	32	10	Kötü

Tablo 3'ün devamı,

Ekranlama (SE)	$E_{dış} / E_{iç}$ (%)	$P_{dış} / P_{iç}$ (%)	Açıklama
20 dB	10	1	Alt sınır
30 dB	3,6	0,1	Ortalama
60 dB	0,1	0,0001	İyi
90 dB	0,0031	0,001 (ppm)	Çok iyi
120 dB	0,0001	0,000001 (ppm)	Olağan üstü

ppm: milyonda bir.

#### 1.3.1.3.4. Ekranlama Performansı

Ekran performansını azaltan etkenlerin başında;

- Bağlantılar, lehimler ve perçinler (süreksizlikler)
- Havalandırma delikleri, düğmeler, sinyal lambaları, görüntü ekranı (zorunlu bırakılan açıklıklar) vb. gelir.

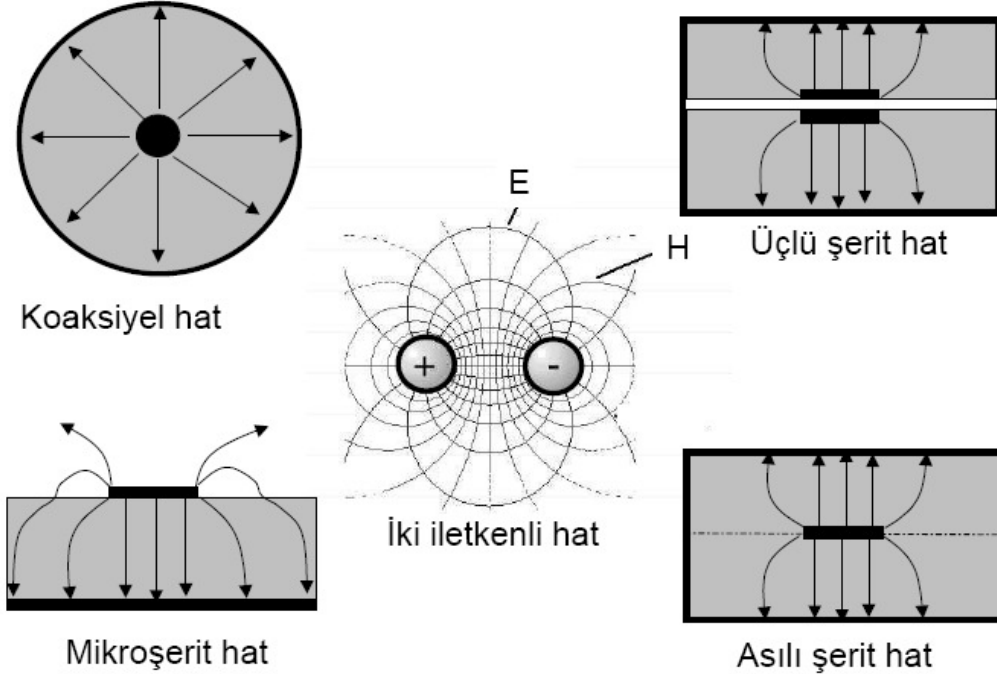
Bu nedenle tasarım yaparken bu parametrelere dikkat etmek gerekir. Açıklıkların boyutları engellenmek istenen elektromanyetik ışınım dalga boyundan küçük olmalıdır. Yüksek zayıflama elde edebilmek için, ekran kalınlığı, açıklık çapının en az iki katı olmalıdır. Açıklığın büyük kenarı ekran kalınlığının 1/6'sından da küçük olmalıdır.

Ayrıca Murphy's Kanununa göre;

- Toprak hattı düzlemlerinin kısmi ekranlama yapması önlenmelidir.
- Ekranlar > 0,5 mm'den kalın olmalıdır.
- Ekranlar dikdörtgen biçiminde tercih edilmelidir.
- Tasarımın imkan verdiği şekilde büyük ekranlar tercih edilmelidir.
- Farklı kenar uzunlukları tercih edilmelidir [12].

#### 1.3.1.3.5. Kablolar ve Ekranlama Etkinliği

Ekranlama etkinliği olarak birde bağlantı elemanları yani kabloların etkisi de unutulmamalıdır. Şekil 20'de alan çizgileri dağılımından iletim hatlarının ekranlama etkinliği performansı görülmektedir.



Şekil 20. İletim hattı tipleri ve ekranlama etkinliği performansları [30]

EMC kalitesini belirleyen ana etkenlerden biridir kablolar, çünkü istenmeyen işaretleri bir noktadan diğerine ilettikleri gibi (iletkenlik yoluyla girişim), üzerinde dolaşan işaretleri bir anten gibi uzaya da yayarlar (ışınım yoluyla girişim). Bir devrede ya da bir sistemde değişik boylardaki kablolar farklı frekanslarda rezonansa gelen yarım dalga dipol anten gibi davranırlar (geniş bantlı girişim). Ayrıca, yine bir devrede ya da sistemde en geniş çevrimi oluşturduklarından halka anten gibi de davranırlar. Bu nedenle kablolar hem güçlü elektrik hem de güçlü manyetik girişim kaynağı gibi etki edebilirler [12].

Kablo performansını belirleyen iki temel unsur ekranlama malzemesi/kalitesi ve kablo ekran topraklamasıdır. Kablo işarete sistemdeki son nokta olarak isimlendirilen yüke kadar kılavuzluk eder. Bu nedenle çevre girişiminin etken olacağı durumlarda kablolar ekranlanır ya da ekranlı kablolar tercih edilir [15].

Kablo ekranının etkin olması ekranda endüklenen akımların iç iletkene kuplajının engellenmesine ve elektrik alanlarının durdurulmasına bağlıdır. Her iki durumda da içten dışa enerji girişimini engellemek gerekir. Kablolarda ekranlama bozukluğu, uygun filtre kullanılmaması ve iyi ekranlama yapılmaması sonucu ortaya çıkar [15].

Belirli bir manyetik alan içinde bulunan kablo üzerinde, birim boy direnci ve birim boy endüktansı ile belirlenen bir gerilim düşümü olur. Bu gerilim düşümü ekransız kablolarda frekans arttıkça artar ve yüksek frekanslarda kabul edilemez gürültü gerilimleri

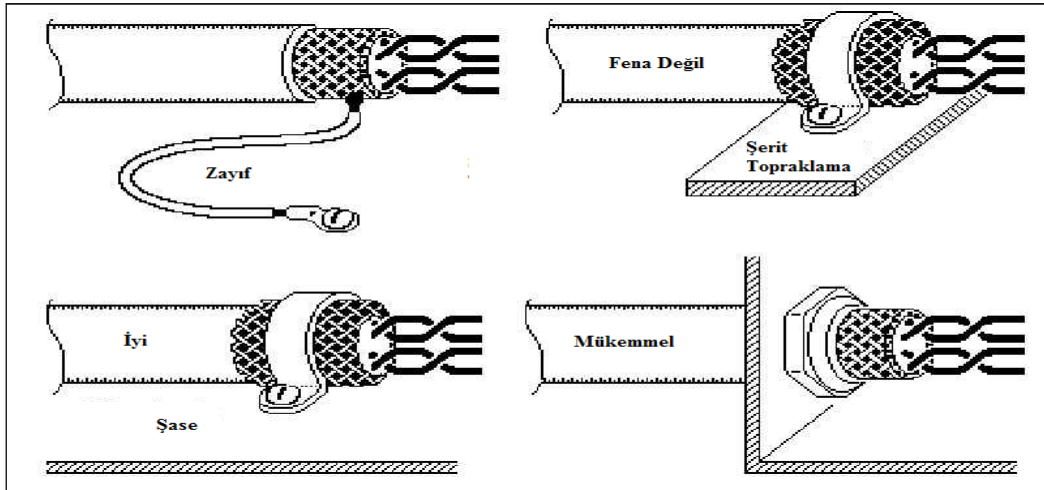
oluşturur. Ekranlı kablolarda ise kablo kesim frekansına kadar bu durum söz konusudur. Kablo direnci ve endüktansının belirlediği kesim frekansı üstünde ekranlı kabloda gürültü gerilimi frekansla artmaz. Bu nedenle kesim frekansı bilinmelidir. Bu frekanstan düşük frekanslarda ekranlama etkili değildir. Ancak kesim frekansının üstüne çıktığında ekranlama etkili olmaya başlar [15].

$$f_c = R_s / 2\pi L_s \quad (1)$$

$f_c$  : Ekran kesim frekansı

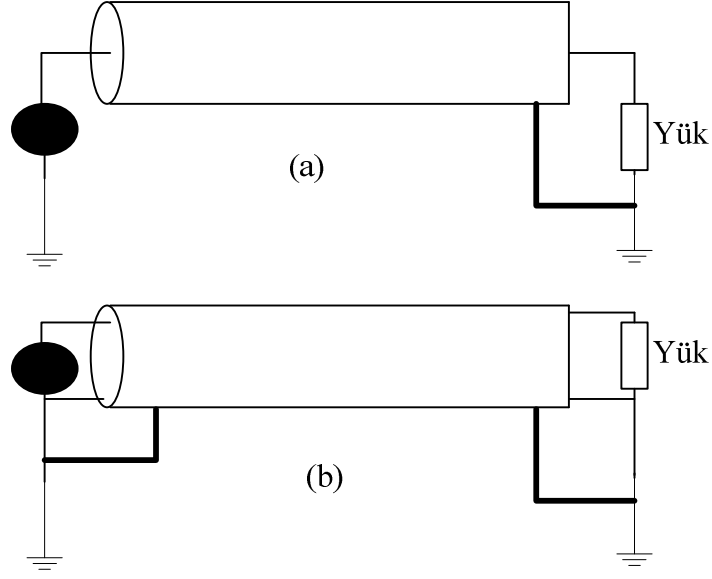
$L_s$  : Birim boy endüktansı

$R_s$  : Birim boy direnci



Şekil 21. Kablo ekranlama örnekleri [15]

Kablolarda ekranlamanın ne tarafa yapılacağı ve topraklama önemlidir. Şekil 22’de buna bir örnek gösterilmektedir. Sadece yük tarafından (a) ekranlanmış bir kabloda istenmeyen elektrik alanlar ekranlanmış olur, ancak manyetik alanların ekranlanması için bu yöntem yeterli değildir. Hem manyetik hem de elektrik alan ekranlaması için yük ve kaynak arası ekranlanmalıdır (b) [15]



Şekil 22. Kablo ekranlama ve etkileri [15]

Şekil 22 (b)'de burgulu çift iletken kullanılarak manyetik sızıntı azaltılmıştır. Burgulu iletken sayesinde zıt yönlü akımlar akması sağlanır ve iletkenler arası alan küçültülür. Kısaca, b'deki teknikle her iki taraftan da topraklama uygulandığında elektrik ve manyetik ekranlama etkin bir şekilde yapılmış olur [15].

Elektronik devrelerde sistemlerdeki açıklıklar, yarıklar elektromanyetik sızıntıya sebep olur bu nedenle bu açıklıkların kontak ve bağlantı elemanları ile uygun şekilde kapatılması gerekir. Bu süreksizliklerin EMC etkileri açısından önemli bazı noktalar şunlardır;

- Kabloları birbirine, bir panele ya da yüzeye bağlarken sıkı temas önemlidir.
- Çevre yüzeylerin iyi teması açısından iletken katkılı plastik, conta ya da yağlar kullanılmalıdır.
- Yüzey montajlarında iletkenlerin kontak yüzeyleri temiz olmalı ve tam temas sağlanmalıdır [15].

Yüzey montajlarında;

- Galvanik hareketlilik tablosu düşük olan metaller tercih edilmelidir.
- Birleştirilecek metallerin elektro-kimyasal yapıları birbirine yakın olmalıdır.
- Direk bağlantı teknikleri kullanılmalıdır.
- Metalden metale temiz bağlantı yüzeyi olduğundan emin olunmalıdır.
- Bağlantı noktaları nemden korunmalıdır [15].



Elektriksel işaretler (tüm güç beslemeleri, analog, sayısal veri işaretleri), bir gidiş bir dönüş iletkeni üzerinden, farksal modda iletilir. Gerilim iletkenler arasında oluşur. Genelde toprak empedansının düzeysizlikleriyle oluşan ortak mod akımı tüm iletkenler de aynı yönde akar ve toprak hattı üzerinden geri döner. Kablolar arasında ortak modda iletilen yüksek frekans parazitleri en temel EMC sorunudur. Ekranlı bağlantıların uygun olması durumunda, tek örgülü kablo kullanarak koruyucu etki birkaç MHz'den birkaç yüz MHz'e çıkarılabilir. Kablo / cihaz ekranının tek taraftan bağlanması alçak frekanslarda etkilidir, yüksek frekanslarda bu tip bir bağlantı etkili olmaz. Ekranın çift taraftan topraklanması en şiddetli parazitlere karşı koruma için kullanılır. Çift taraflı bağlantılarla ilgili sorun, alçak frekanslarda ekranlama üzerinden bir akımın akabilmesidir. Tüm sayısal ve elektrik kablolarında dış ekranlamaların her iki ucu, cihaza giriş noktalarına ve makine toprağına bağlanmalıdır [15].

#### 1.3.1.4. Toprak Bağlantısının Yapılması

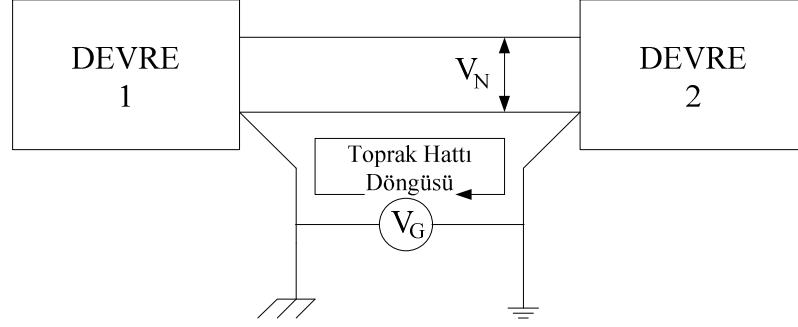
Toprak hattı bağlantısının yapılmasının amacı, hem akımın kaynağına dönmesi için kullanılan düşük empedanslı bir yol olması hem de EMI kontrolünde, girişimi en aza indirmek için akımı düşük empedanslı yollara yönlendirmek içindir. Bu düşük empedanslı yol frekansa bağlıdır.

Düşük Frekanslı Teknikler	Geçiş Bölgesi	Yüksek Frekanslı Teknikler
DC	10 kHz – 10 MHz	>> GHz

Şekil 23. Frekans aralığı [27]

Yüksek frekanslarda, tek nokta toprak hattı diye bir şey yoktur. Bir toprak hattı yapısına yakın herhangi bir iletken en azından birkaç pF kaçak kapasitansa sahip olacaktır. MHz bölgesinde (ve üstünde) bir pF kapasitansa bile akım akacaktır. Yüksek frekanslarda, devreler ve toprak hatları birbiriyle temas halinde olmayabilir ancak kaçak akım akmaya devam edecektir. Bu nedenle bu kaçak akımların önlenmesi gerekir [27].

Düşük frekanslı toprak hattı, toprak hattı döngülerinden ve ortak empedanslı kuplajdan etkilenir. En iyi çözüm yıldız toprak hattı topolojisini kullanmaktır.



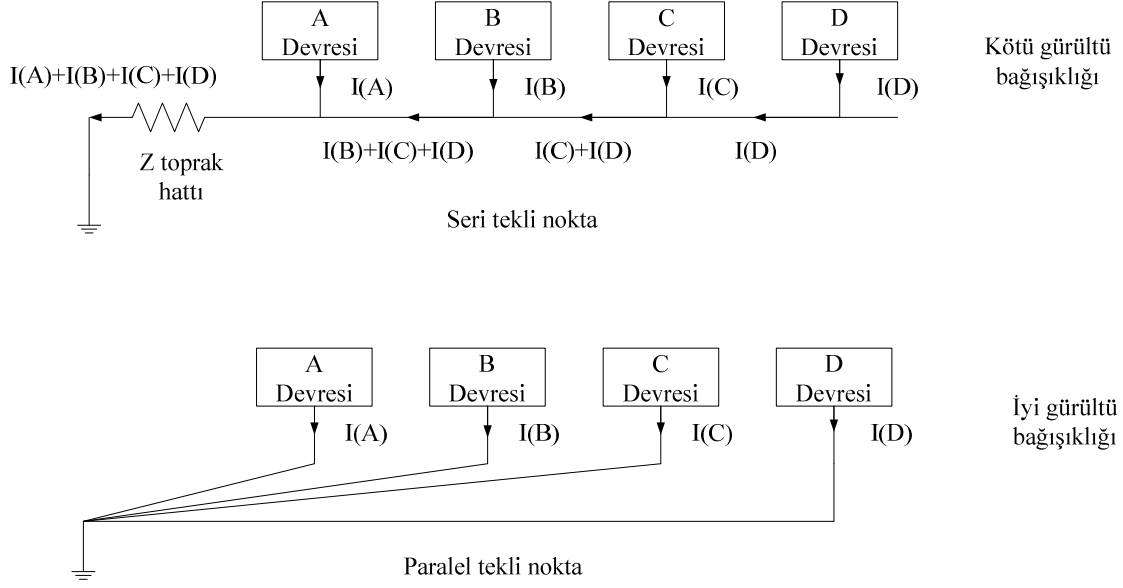
Şekil 24. Toprak hattı döngüsü [27]

Toprak hattı döngüleri problemdir. Çünkü akım, ayrı yollardan geri döner (toprak hattı devresinde). Ayrı yollar farklı empedanslara sahiptir ve birbirine göre kayan toprak hattı gerilimlerine neden olur. Bu toprak hattı 'kayması' devrelerde gürültü olarak görülür. Toprak hattı döngülerinin başka bir etkisi, manyetik/indüktif döngü (ya da anten) gibi davranmalarındır. Manyetik akı döngü üzerinden birleşir ve toprak hatlarını 'kaydıran' bir gürültü gerilimini indükler. Döngü, anten gibi davranabilir ve gürültü alıp yayabilir. Parazit kapasitif etkiden dolayı yüksek frekanslarda ortadan kaldırılması zordur [27].

Toprak hattı empedansı;

Düşük f: rezistif, orta f: indüktif ve yüksek f: iletim hattı ve anten etkileri oluşturur.

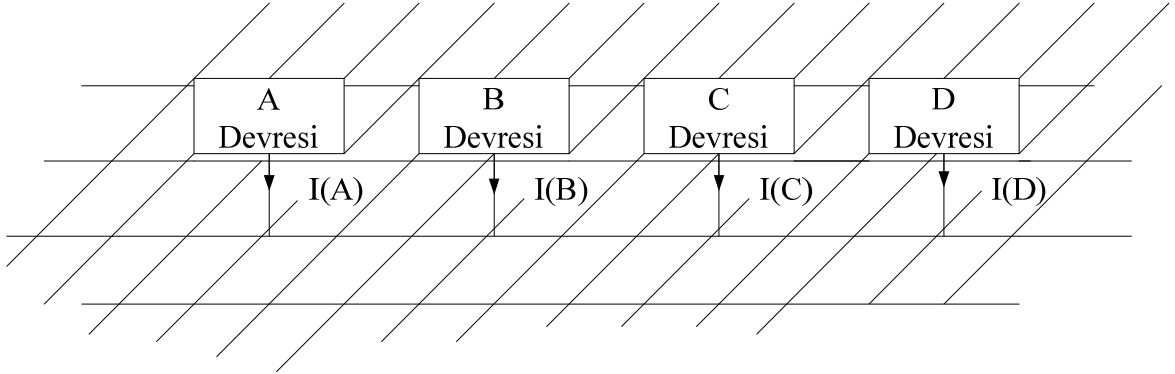
Tek noktalı toprak hattı, toprak hattı döngülerini ve ortak empedanslı kuplajı azaltır. Çok noktalı toprak hattı, yüksek frekanslı toprak hattı için kullanılır. Hibrit toprak hattı ise yüksek ve düşük frekanslı ortamlarda eş zamanlı toprak hattı bağlantısı için kullanılır. Hibrit toprak hattında, toprak hattı devresini tamamlamak için kapasitör kullanılır. Düşük frekanslarda, kapasitör toprak hatlarını ayıracaktır. Yüksek frekanslarda ise kapasitör kısa devre olur ve çok noktalı toprak hattı oluşur [27].



Şekil 25. Tek noktali toprak hattı bağlantısı [27]

“Z toprak hattı” üzerinden akan herhangi bir akım, sistemlerde gürültüye neden olacaktır.

Çok noktali toprak hattı bağlantısı, yüksek frekanslar içindir. Güvenlik, toprak ızgarası şeklinde olabilir.



Şekil 26. Üç boyutlu toprak hattı düzlemi [27]

Analog devrelerde toprak hattı bağlantısının yapılması, büyük / gürültülü toprak hattı akımlarının düşük seviyeli analog toprak hattı yollarından akmasının önlemek içindir. Bir sistemde birden fazla A / D (Analog / Sayısal) ya da D / A (Sayısal / Analog) dönüştürücü varsa birden fazla analog toprak hattı kullanılmalıdır [27].

Sayısal devrelerde toprak hattı bağlantısının yapılması, en küçük toprak hattı yol empedansını elde etmek içindir. Bunun için çok noktalı toprak hattı ya da toprak düzlemi kullanılmalıdır. Sistem metal bir mahfaza içinde ise, şaseye çoklu yüksek frekanslı toprak hattı sağlayın kapasitörler gibi. Bu, kart-kart ya da kart-kabin rezonanslarını azaltır. Sayısal devrelerde hızlı yükselme ve düşme sürelerinden dolayı, sayısal geri dönüş akımı yüksek frekanslıdır [27].

I/O (Input/Output, Giriş/Çıkış) toprak hattı bağlantısının yapılması, devrelerin istenmeyen verici/alıcı olma durumunu önlemek ve kabloların istenmeyen anten etkisini azaltmak içindir. Bunun için, giriş noktasında I/O filtreleri kabine (şaseye), toprak ile bağlanmalıdır [27].

Sinyal GND (toprak) = Şase GND (toprak) olmalıdır.

I/O filtrelerin şaseye toprak hattı bağlantısının yapılması gereklidir. Filtreler, şaseye giden gürültüyü azaltacak ve gürültünün kablolarla yayılmasını ya da şaseye girmesini önleyecektir [27].

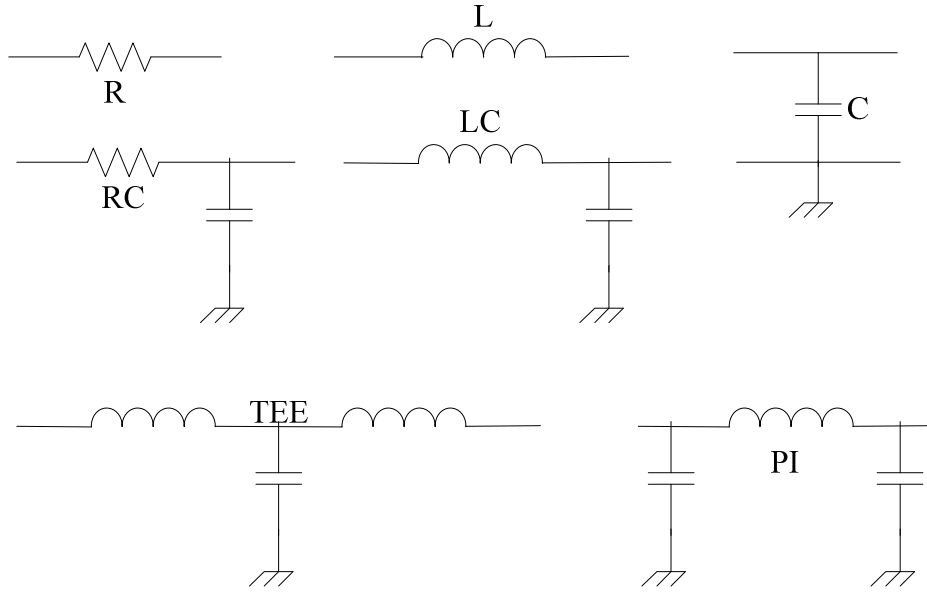
Toprak hattı haritası oluşturulurken, sistemdeki tüm toprak hattı topolojileri önceden belirlenmelidir [27].

### 1.3.1.5. Filtreler

EMC problemlerinin giderilmesinde kullanılan yaygın ve etkili tekniklerden biride filtrelerdir. Tüm elektriksel işaretler frekans bandında bir yer işgal eder. Bu nedenle sistemlerde, yararlı işaret ile istenilmeyen işaret farklı frekanslarda ise filtreler istenilmeyen bu işaretlerin süzülmesi için kullanılır. Filtreleme, temelde istenmeyen sinyallere kaşı yüksek seri ve düşük şönt empedans kombinasyonudur. Filtreler; elektronik filtreler ve ferrit bilezikler olarak sınıflandırılır [14].

Elektronik Filtreler:

Filtreleme, kaynak ve hedef karakteristikleri izin verirse, bir direnç takılarak gerçekleştirilebilir. RC filtreleri en basitidir ve muhtemelen en iyi şekilde öngörülen filtre tipidir. Pi ve Tee filtreleri, istenen sinyallerde düşük seviyede kayıp ve istenmeyen sinyallerde yüksek seviyede zayıflama sağlar ancak bu filtereler rezonant cihazlardır ve kaynak sonlandırma karakteristiklerinin etkililiğine bağlıdır. Şekil 27’de bu filtrelere yer verilmiştir [14].



Şekil 27. Filtre tipleri [14]

EMC problemleri için kullanılan filtreler şebeke güç kaynağı filtreleri, DC güç kaynağı filtreleri ve telekomünikasyon filtreleri olarak sınıflandırılabilir. Şebeke güç kaynağı filtreleri lineer yapıda olup elektromanyetik gürültünün sisteme girmesini engellemek amacı ile ekran içine ve şebeke güç kaynağı girişine konulur. DC güç kaynağı filtreleri de şebeke güç kaynağı filtreleri ile aynı yapıdadır. Telekomünikasyon filtreleri ise her türlü olabilir [14].

Filtre seçiminde, çalışma özellikleri (gerilim, akım ve sıcaklık), güvenilirlik (max. Sızıntı akımı, rutubet sınırları, izolasyon direnci), mekanik özellikler (boyutlar, montaj sorunları) en önemli seçim parametreleridir. Seçilen filtreden ise beklenen, araya girme kaybı, kesim frekansı, yükün kapasitif ya da indüktif oluşu, yüksek frekanslardaki cihaz empedansının belirlenmesi ve ortak/diferansiyel mod filtre gerekliliği önemli EMC özellikleridir [14].

Filtre performansı ise, ekrana montajı ile belirlenir. İyi bir performans için, filtre ekranlı gövdeye, güç kablosunun girdiği yere monte edilmelidir. Giriş kabloları ile çıkış kabloları arasında iyi bir dekuple olması gerekir. Bu nedenle gövde montajlı filtreler tercih edilmelidir. Aksi halde giriş çıkış arasında iyi bir yalıtım yapılması gerekir. Ayrıca filtre gövdesi ile toprak arasında elektriksel temas iyi olmalıdır [14].

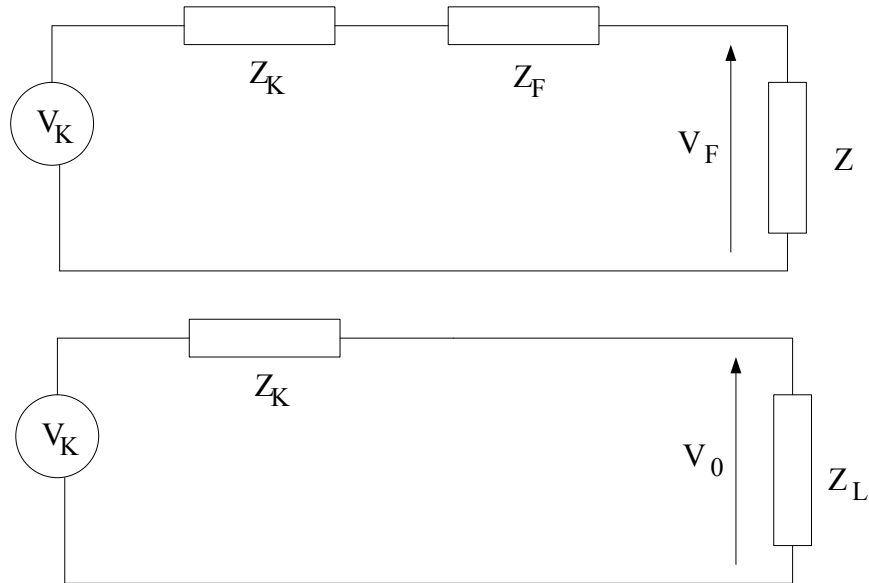
### Ferrit Filtreler:

Ferrit filtreler genelde kablolar aracılığıyla yapılan yayımlar için tercih edilen bir çözüm yöntemidir. Ferrit bilezikler ferromanyetik özelliğe sahip olduklarından manyetik alan depolama özelliğine sahiptirler. İçinden akım akan bir iletken etrafında oluşan manyetik alanı bloke etmek için ferrit bilezik kullanılır. Bir hatta gürültüyü süzerek işareti korumak için ortak moddan yararlanılır. Bunun içinde işaretin hem gidiş hemde dönüş iletkeni aynı ferrit filtre halkasından geçirilir. Bu hatlarda işaret (gidiş-dönüş) zıt fazlı olduğundan birbirini yok eden zıt manyetik alan oluşur. Gürültü her iki iletkende aynı fazda olduğundan filtre ile süzülür [14].

Ferrit filtre seçimi;

- En fazla araya girme kaybının gerektiği frekans aralığı belirlenir.
- Kablo tipine göre ferrit filtre tipi belirlenir.
- Etkili olacağı frekans bölgesindeki zayıflatma miktarı ve empedans belirlenir.

Şekil 28’de ferrit filtre eşdeğeri ve araya girme kaybı bağlantısı verilmiştir. Ferrit bilezik kaynak ile yük arasında seri bir empedans gibi etki eder. Bu durumda araya girme kaybı, eşdeğer devreden ferrit varken ve yokken devredeki yük gerilimlerinin logaritmik oranından elde edilir. Araya girme kaybı, kaynak ve yük empedansları ve ferrit bilezik eşdeğer empedansı tarafından belirlenir. Ferrit bilezik empedansı diğer ikisine göre ne kadar büyük olursa o kadar iyi araya girme kaybı oluşur [14].



Şekil 28. Ferrit bilezik örnek devre yapısı [14]

$V_F$  : Ferrit varken yük gerilimi (V)

$V_0$  : Ferrit yokken yük gerilimi (V)

$Z_K$  : Kaynak empedansı ( $\Omega$ )

$Z_F$  : Ferrit empedansı ( $\Omega$ )

$Z_L$  : Yük empedansı ( $\Omega$ )

$V_K$  : Kaynak gerilimi (V)

$IL$  : Araya girme kaybı (dB)

$$IL = 20 \log_{10} (V_0 / V_F) \quad (2)$$

$$IL = 20 \log_{10} [(Z_K + Z_F + Z_L) / (Z_K + Z_L)] \quad (3)$$

- İstenmeyen yüksek empedans ve diferansiyel mod için şönt kapasitörü kullanılmalıdır.
- İstenmeyen düşük empedans ve diferansiyel mod için seri indüktör kullanılmalıdır.
- İstenmeyen yüksek empedans ve ortak mod için her iki bacak lokal toprağa bağlanarak özdeş kapasitörler kullanılmalıdır (genelde şaseye bağlantı yapılır).
- İstenmeyen düşük empedans ve ortak mod için tüm sinyal bacaklarına bağlantı yapılır [14].

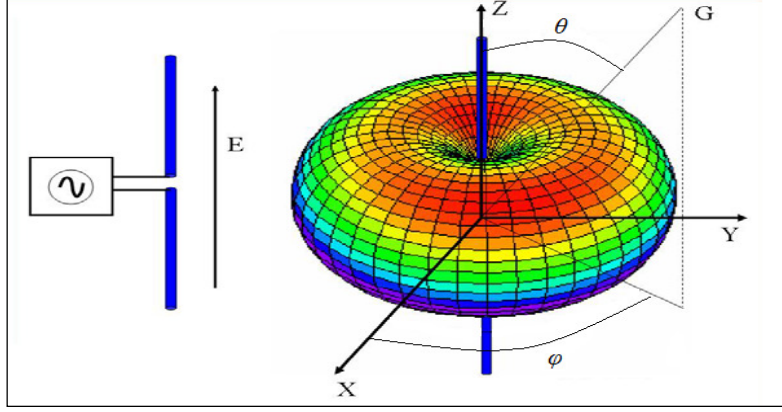
Kapasitörler, gürültünün yüksek kaynaklı empedanslardan şöntlenmesi için uygulanırken indüktörler, düşük empedanslı kaynaklardan gelen gürültüyü bloke etmek için tercih edilir [14].

#### 1.4. EMC ve Antenler

EMC'de önemli bir parametrede antenlerdir. Anten test ve ölçülerin en önemli parçası olduğu gibi, işaret taşıyan her elemanın belli koşullarda anten gibi davranmasından dolayı da önemlidir [13].

Anten verici olarak kullanıldığında besleme noktalarındaki gerilimi  $V/m$  (Volt/metre) büyüklüğündeki elektrik alana dönüştürür. Alıcı antende ortamdaki elektromanyetik dalgalardan aldığı  $V/m$  büyüklüğündeki elektrik alan enerjisinin uçlarına volt

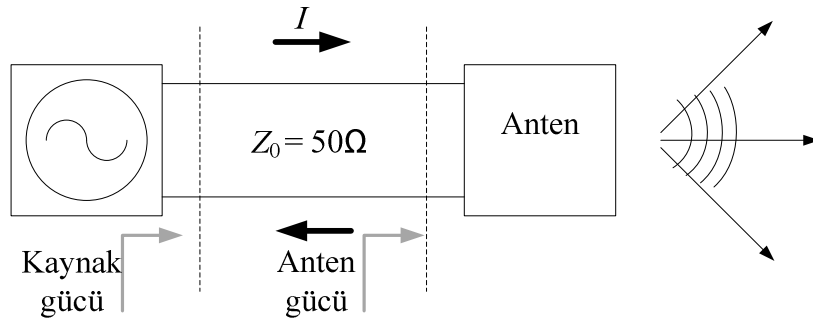
büyükliğündeki bir gerilim farkı olarak dönüştürür. Şekil 29’da tipik bir çubuk anten etrafında oluşan elektrik alan dağılımı gösterilmektedir [13].



Şekil 29. Çubuk anten ve ışınma diyagramı [13]

Antenin ışınma gücü boyu ile dalga boyu (çalışma frekansı) ilişkisine bağlı olarak değişmektedir. Boyu, işaret dalga boyundan çok küçük antenlerde ışınan güç sıfıra yakındır. Anten boyu yarım dalga boyuna eşit olan antenlerde yayılan güç en fazla olmaktadır. Bu tip antenlere rezonans antenler denilmektedir [13].

Anten ışınması, üç boyutlu uzayda ve küresel koordinatlarda iki açı ile belirtilmektedir.  $\theta$ : düşey (z-ekseni) ile,  $\varphi$ : yatay (x-ekseni) ile yapılan açılar. Bu düzlemlere ayrıca H-düzlemi ve E-düzlemi de denilmektedir. Anten için önemli parametreler, giriş empedansı, ışınma direnci, duran dalga oranı (DDO), giriş gücü, ışınma gücü, verim, ışınma diyagramları, polarizasyon, etkin yüzey, yöneticilik, kazanç, demet genişliği, yakın/uzak alan, anten faktörü ve anten kalibrasyonu olarak sınıflandırılabilir [13].



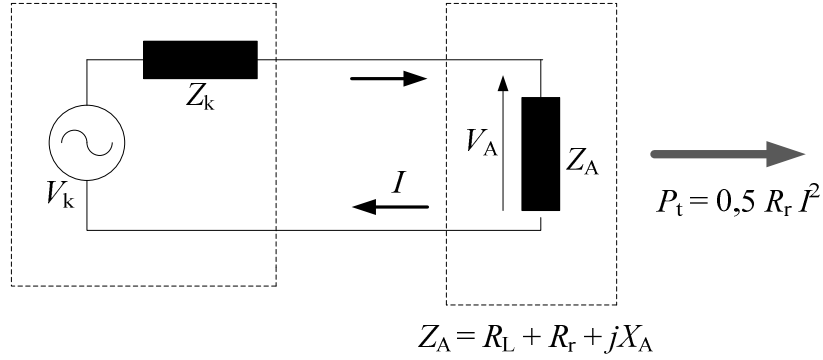
Şekil 30. Anten devresi



Kaynak ile iletim hattı girişi ve anten ile iletim hattı sonu arasında empedans uyumu olması durumunda kaynaktan çekilen güç maksimum olmakta ve bu gücün tamamı yüke (antene) aktarılmaktadır. Aksi durumda iletim hattının her iki ucunda da geri yansımalar olur. Bu yansımalar antenin ışıma gücünü azalttığı gibi kaynağa istenmeyen güç olarak döner, ısınmalara neden olduğundan kaynak ve iletim hattının ömrünü de azaltır [13].

#### 1.4.1. Giriş Empedansı

Anten, besleme noktasında iki kapılı bir devrenin giriş kapısı gibi davranır. Burada, besleme gerilim kaynağının bağlanacağı uçlar arasında bir empedans değeri gösterir. Bu değere giriş empedansı denir. Giriş empedansı, kaynaktan çekilecek ve antene aktarılacak güçler için önemlidir. Şekil 31’de anten eşdeğer devresi örneklendirilmektedir [13].



Şekil 31. Anten eşdeğer devresi ve tanımlanan empedanslar [13]

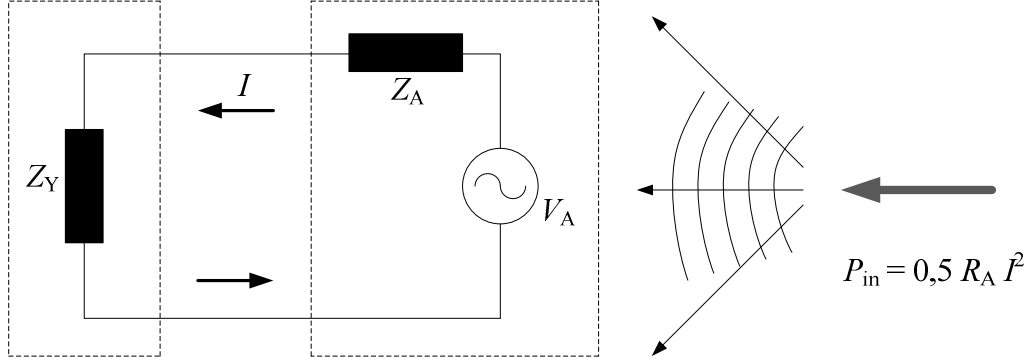
$V_k$  : Kaynak gerilimi (V)

$Z_k$  : Kaynak empedansı ( $\Omega$ )

$V_A$  : Anten gerilimi (V)

$Z_A$  : Anten empedansı ( $\Omega$ ), ( $R_L$  : Kayıplar,  $R_r$  : Işıma direnci,  $X_A$  : Depolanan enerji)

Kaynak empedansının sanal kısmı anten giriş empedansının sanal kısmını yok edecek şekilde (biri indüktif, diğeri kapasitif gibi) ise devrede güç birikimi olmaz. Kayıplar minimum edilirse antenin kaynaktan çekeceği gücün tamamı ışıyan güç olur. Bu idealde istenen durumdur. Bu nedenle genelde kaynak direnci ve iletim hattı karakteristik empedansı 50  $\Omega$  seçilir. Şekil 32’de alıcı anten örneklendirilmektedir [13].



Şekil 32. Alıcı anten eşdeğer devresi [13]

$Z_Y$  : Yük empedansı ( $\Omega$ )

$P_{in}$  : Antene aktarılan giriş gücü (W, watt)

$Z_A$  : Yükün gördüğü anten empedansı ( $\Omega$ )

#### 1.4.2. Anten Etkin Yüzeyi

Işıma gücü  $P_t$  olan bir antenden  $R$  kadar ötede güç yoğunluğu,  $P_t / (4\pi R^2)$ 'dir. Bu güç yoğunluğu anteni çevreleyen kapalı bir yüzey üzerinde toplandığında ışıma gücü elde edilir. Kayıpsız ortamlarda bu enerji korunumu ilkesinin sağlanması anlamına gelir. Ancak ortam kayıplıysa elektromanyetik dalgalar, ortam tarafından yutulacak ve zayıflatılacaktır. Bu durumda enerji korunumu kapalı bir yüzeyde yayılan güç ve yutulan gücün toplamı anten ışıma gücünü verecektir. Anten, etrafındaki güç yoğunluğundan güç çektiğine göre çekilen güç, var olan güç yoğunluğu ile yüzey alanı ( $m^2$ ) ile çarpımından hesaplanır. Bu  $m^2$  büyüklüğündeki parametreye 'etkin yüzey' denilmektedir. Parabolik ve horn tipi antenlerde etkin yüzey, anten yüzeyi ile ilişkilendirilirken, çubuk antenlerde böyle bir ilişki söz konusu değildir [13].

#### 1.4.3. Duran Dalga Oranı

Anten giriş empedansı genelde uçlarına bağlanan besleme kaynağının empedansından farklı olduğundan kaynak, iletim hattı ve anten arasında bir empedans uyumsuzluğu söz konusudur. Bu farkın belirlediği oranda antene gelen gücün bir kısmı

geri yansımaktadır. Aynı şekilde kaynak ucunda da bir uyumsuzluk söz konusu olduğundan güç yansıması olmaktadır. Anten girişinde yansıyan ve giden gerilim dalgalarının oluşturduğu maksimum gerilimin minimum gerilime oranı duran dalga oranı (DDO) olarak isimlendirilir. DDO, anten girişinde geri yansıyan gücü belirten bir parametredir [13].

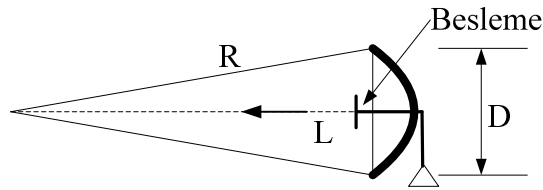
#### 1.4.4. Işıma Gücü ve Direnci

Antenin ışıma gücü  $P_t$ , uzaya elektromanyetik olarak yayılan güçtür. Işıma gücü ile üzerinden akan akım arasında Ohm yasasına göre bulunan dirence de ışıma direnci denilir ve  $R_r$  ile gösterilir. Işıma direnci anten gücü ile üzerinden akan akımı birbirine bağlayan sanal bir dirençtir [13].

#### 1.4.5. Yakın Alan – Uzak Alan

Anten ya da herhangi bir ışıma elemanına yakın olan bölge ‘yakın alan’ olarak tanımlanmalıdır. Yakın alan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin düzlem dalga karakteri göstermedikleri bölgedir. Bu nedenle ölçümler zorlaşır. Bu alandarda daha çok reaktif enerji birikimi olur. Uzak alan ise düzlem dalga yaklaşımının yapılabildiği bölgedir. Yakın ve uzak alan tanımları, anten cinsine ve etkileşimlerine göre, frekans, anten boyutları gibi parametreler cinsinden belirlenebilmektedir [13].

Basit ve düşük kazançlı antenler için uzak alan sınırı  $R \geq \lambda/2\pi$  olarak hesaplanabilmektedir. Karmaşık ve yüksek güçlü antenler için  $D$  antenin uzun kenarı (ya da çapı) olmak üzere,  $R \geq 2D^2 / \lambda$  şeklinde hesaplanabilmektedir. Bu, antenin yarattığı elektromanyetik dalgaların eş faz yüzeylerinin belli bir hata ile düzlem olarak kabul edilebildiği uzaklık olarak verilir. Şekil 33’de bu duruma örnek gösterilmektedir [13].



Şekil 33. Uzak alan sınırı tanımı (Reflektör anten) [13]

#### **1.4.6. Anten Verimi**

Antenin, kaynaktan çektiği gücün bir kısmı ısı kayıp olarak antende harcanır. Işıma gücü ve ısı kayıpların toplamı kaynaklardan çekilen güce eşittir. Anten verimi ışımaya gücünün kaynaktan çekilen güce oranı olarak tanımlanır. Bu nedenle ısı kayıplar ne kadar az ise verim o kadar yüksek olur [13].

#### **1.4.7. Polarizasyon**

Polarizasyon, elektrik alanının zamanla çizdiği şekle göre tanımlanır. Antenin yaydığı elektromanyetik dalgalar için iletim boyunca elektrik alan eğer zemine dik ise düşey, paralel ise yatay polarizasyonlu dalga adını alır [13].

#### **1.4.8. Anten Yöneticiliği ve Kazancı**

Anten yöneticiliği ve kazancı belli bir referans antene göre tanımlanan iki parametredir. Noktasal bir kaynak her yöne eşit ışımaya yapar. Bu tip bir kaynağa izotropik kaynak denir ve genelde referans olarak kullanılır. Bu kaynağın her yöne yaydığı güce eşit gücü, belli bir doğrultuya yayabilmesine anten yöneticiliği denir. Kazanç ise, kayıpsız antenlerde aynı zamanda yöneticiliktir. Ancak kayıplı antenlerde kazanç, yöneticilik ile kayıp oranının (verimin) çarpımından elde edilir [13].

Anten yöneticiliği analitik olarak hesaplanabilir. Ancak kazanç hesabı için, referans antene göre ölçümler yapılmalıdır [13].

#### **1.4.9. Demet Genişliği**

Anten demet genişliği, yöneticiliği olan antenlerde yöneticiliğin bir ölçüsüdür. Maksimum ışımaya doğrultusundaki gücün yarıya (3 dB) düştüğü (yatayda ya da düşeyde) açısız genişlik, anten ışımaya demeti olarak tanımlanır [13].

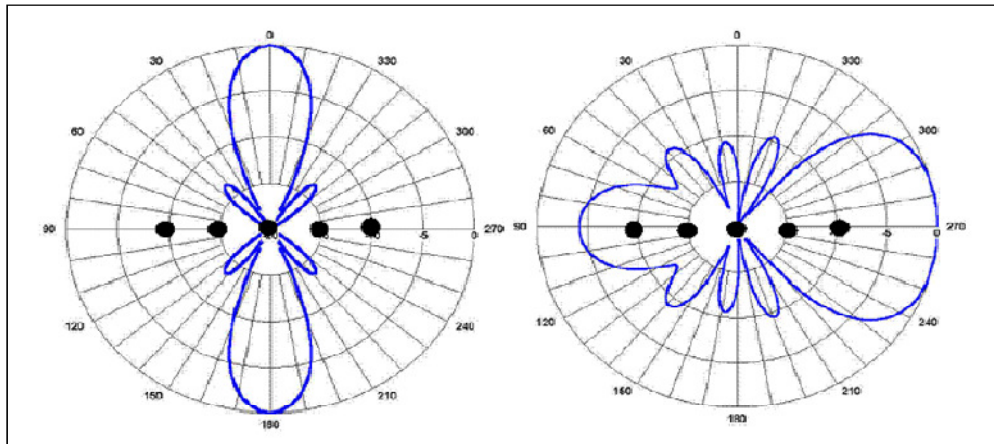
### 1.4.10. Işıma Diyagramları

Işıma diyagramları, antenlerin hangi yöne ne kadar güç yaydığına gösteren şekillerdir. Işıma diyagramları herhangi bir düzlemde söz konusu olsa da genelde, yatayda ve düşeydeki diyagramlarla ilgilenilir [13].

Işıma diyagramı ve yöneltilmiş antenlerde kullanılan tanımlar;

- Ana ışımaya kulakçığı: antenin en fazla ışımaya yaptığı yöndeki demet.
- Yan kulakçıklar: ana ışımaya kulakçığı etrafında oluşan istenmeyen kulakçıklar.
- Arka kulakçık: antenin gerisinde oluşan kulakçık.
- Ön-arka bastırma oranı: ana kulakçık/arka kulakçık güç oranı.
- Ön-yan bastırma oranı: ana kulakçık/yan kulakçık güç oranı.
- Işıma demeti: ana kulakçık gücünün yarıya düştüğü noktalar arasındaki açıdır [13].

Antenler gerek bireysel olarak gerekse bir dizi oluşturduğunda farklı yönlere ışımaya yapabilirler. Demet oluşturmaları ya da demet taramalı anten dizileri adı verilen bu sistemlerde iki farklı ışımaya yönü ayrıca belirtilir: ortadan ve uçtan ışımaya antenler (diziler). Şekil 34'de beş elemanlı izotropik antenlerden oluşturulan diziler örneklenmiştir. Şekilde solda olan ışımaya dizi eksenine dik yönde olan ortadan ışımaya, sağda ki ise, ışımaya dizi eksenine paralel olan uçtan ışımaya örneği verilmiştir [13].



Şekil 34. Ortadan / Uçtan ışımaya anten dizileri [13]

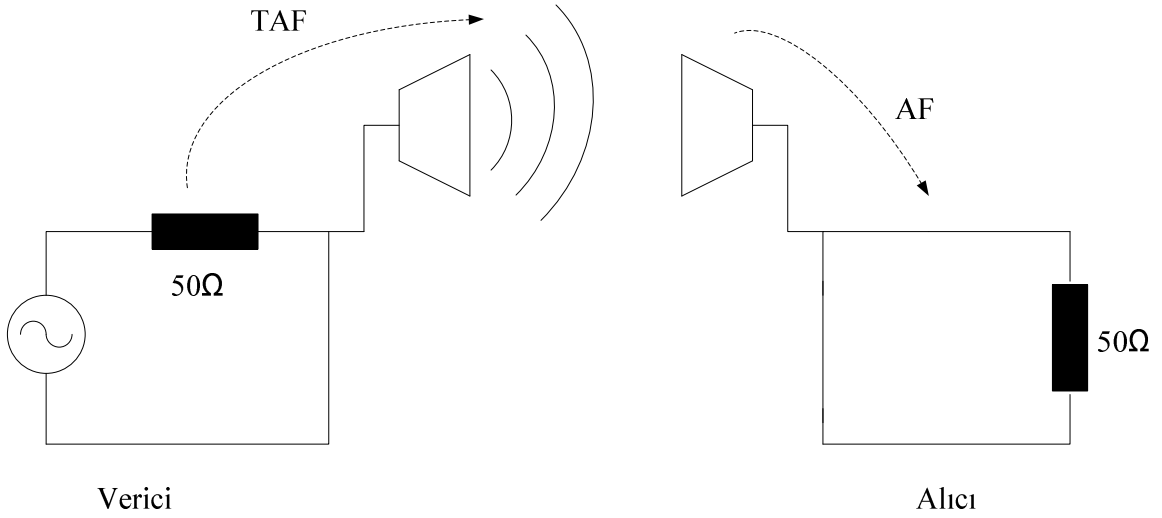
#### 1.4.11. EMC ve Anten Faktörü (AF / TAF)

Anten bir dönüştürücüdür; verici anten uçlarına uygulanan gerilimi uzayda yayılan elektromanyetik alana, tersine alıcı anten ise, uzaydan çektiği elektrik alanları uçlarına gerilim farkı olarak dönüştürmektedir. Antenler kullanım alanlarına göre iki gruba ayrılır; haberleşme antenleri ve EMC antenleri olmak üzere. Haberleşme antenleri uzak alanlarda etkili ve kullanılmakta olup EMC antenleri yakın alanlarda etkilidir [31].

EMC antenleri genelde, ekranlı ve yansız odada gücü ve çalışma frekansı değiştirilen bazen alıcı bazen de verici olarak kullanılmaktadır. Ancak açık alan ölçümlerinde de kullanılmaktadırlar [31].

EMC antenlerinin tasarımında belirleyici faktör band genişliğidir, ikincil parametre ise, ddo (duran dalga oranı), giriş empedansı, kazanç ve verimdir. Bunun ana sebebi ise standartlardır. Geniş bantlı anten tasarımında önemli parametre ise anten faktörüdür, ikincil parametreler ise performansını belirlemektedir [31].

EMC antenleri emisyon ve dayanıklılık testleri için kullanılır. Emisyon ölçümlerinde etkin parametre AF iken, dayanıklılık testlerinde bu parametre TAF' tır [31].



Şekil 35. EMC antenlerinde anten faktörü tanımları (AF / TAF) [31]

### 1.4.11.1. Anten Faktörü (AF)

Anten faktörü, anten civarındaki elektrik alan şiddetini EMI ölçü cihazının girişindeki gerilime karşı düşüren bir parametre olarak;

$$AF = \frac{E}{V_A} (m^{-1}) \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $E$ , uzaydaki elektrik alan şiddetini,  $V_A$  ise anten uçlarındaki gerilim farkını göstermektedir.  $m^{-1}$ ,  $AF$  ise logaritmik değer olarak (dB) verilmektedir [31].

$$E [dB\mu V / m] = V [dB\mu V] + AF [dBm^{-1}] \quad (5)$$

İdeal durumda,  $AF$  değerinin temel EM yasalardan ve basit devre eşdeğerlilikleri kullanılarak çıkarılması olasıdır. Anten etkin yüzeyi kullanılarak anten uçlarındaki güç (alıcı anten gücü) uzaydaki güç yoğunluğu cinsinden;

$$P_A = P_d \times A_e (W) \quad (6)$$

Burada  $P_A$  watt boyutundaki alıcı anten gücü,  $P_d$  ise  $W / m^2$  cinsinden uzaydaki EM güç yoğunluğu ve  $A_e$  alıcı anten etkin yüzeyini göstermektedir. Anten etkin yüzeyinin kazanç ile ilgili bağlantısı ise;

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} (m^2) \quad (7)$$

şeklindedir. Alıcı anten genelde bir kablo ile EMI ölçü cihazına bağlanır. EMI ölçü cihazının giriş empedansının frekansla değişmediği ve  $50 \Omega$  olduğu, ve kullanılan kablonun kayıpsız ve empedansının da  $50 \Omega$  olduğu ideal şartlar düşünülürse, şekil 35'de alıcı anten uçları arası empedans  $50 \Omega$  olarak gösterilebilir. Bu durumda anten çıkış gücü (EMI giriş);

$$P_A = \frac{V_A^2}{Z} = \frac{V_A^2}{50} (W) \quad (8)$$

olarak yazılır. Alıcı anten yakınındaki elektrik alan ile güç yoğunluğu arasında  $Z_0$  boşluğun (ortamın) karakteristik dalga empedansı olmak üzere;

$$P_d = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{120\pi} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (9)$$

ilişkisi kurulabilir. Bu bağlantı uzak alanda geçerlidir. Yukarıda kurulan (6), (8) bağlantıları (9) nolu denklemde kullanılırsa;

$$\frac{V_A^2}{Z} = \frac{E^2}{120\pi} \times \frac{G\lambda^2}{4\pi} \text{ (W)} \quad (10)$$

elde edilir. Bu denklemde  $E/V$  oranı oluşturularak giriş empedansı  $Z$  olan EMI alıcısı ve bağlantı kablosunun karakteristik empedansı  $Z$  olan test düzeni için  $AF$ ;

$$AF = \frac{E}{V_A} = \sqrt{\frac{480\pi^2}{ZG\lambda^2}} \text{ (m}^{-1}\text{)} \quad (11)$$

$Z = 50 \Omega$ 'luk sistemler için,

$$AF = \frac{9,73}{\lambda\sqrt{G}} \text{ (m}^{-1}\text{)} \quad (12)$$

Olarak elde edilir. Logaritmik olarak  $AF$ ;

$$AF[\text{dB}] = 19,8 - 20\log_{10}(\lambda) - 10\log_{10} G \text{ (m}^{-1}\text{)} \quad (13)$$

#### 1.4.11.2. Verici Anten Faktörü (TAF)

Verici anten faktörü  $TAF$  uçlarına uygulanan gerilim ile verici antenden belli bir uzaklıkta oluşturulan elektrik alan şiddeti arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır [31].

$$TAF = \frac{E}{V_A} \text{ (m}^{-1}\text{)} \quad (14)$$



Burada  $E$ , verici antenden  $R$  kadar uzaklıktaki elektrik alan şiddeti,  $V_A$  ise antenin besleme gerilimidir.  $TAF$ , verici antenin girişindeki gerilim, girişine uygulanan giriş gücü ve Friis formülü kullanılarak elde edilir. Işıma gücü  $P_t$ , kazancı  $G$  olan izotropik bir anten için Friis formülü, antenden  $R$  kadar uzaklıktaki güç yoğunluğunu;

$$P_d = \frac{P_t G}{4\pi R^2} (W/m^2) \quad (15)$$

olarak vermektedir. Aynı güç yoğunluğu boşlukta ortam empedansı ve elektrik alan şiddeti arasındaki Ohm yasası ile;

$$P_d = \frac{E^2}{120\pi} (W/m^2) \quad (16)$$

verilir. Bu iki denklem (15) ve (16)'dan,

$$E = \sqrt{\frac{30P_t G}{R}} (V/m) \quad (17)$$

elde edilir. Anten ışıma gücünün anten giriş gücüne eşit olduğu (kayıpsız anten) varsayımı ile  $P_t$ 'nin  $R_A$  direnci uçlarına uygulanan  $V_A$  gerilimi ile elde edildiği düşünülürse,

$$P_t = \frac{V_A^2}{R_A} (W) \text{ ya da } V_A = \sqrt{P_t R_A} \quad (18)$$

yazılabilir. Sonuç olarak  $TAF$ , (17) ve (18) denklemlerinin oranından;

$$TAF = \frac{E}{V_A} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{30G}{R_A}} (m^{-1}) \quad (19)$$

şeklinde elde edilir. Işıyan gücün  $R_i$  direnci üzerinde harcanan güç olduğu varsayılırsa;

$R_i = 50 \Omega$  için,

$$TAF = \frac{1}{G} \sqrt{0,6G} (m^{-1}) \quad (20)$$

olarak elde edilir.  $TAF$  elektrik alan şiddetinin ölçüldüğü noktanın antene uzaklığı ile ters orantılı, kazanç ile de doğru orantılıdır.  $TAF$  ayrıca, anten verimi, kablo kayıpları gibi parametreleride içermektedir.  $TAF$  logaritmik olarak;

$$TAF [dB] = G[dB] - 2,22 - 20\log_{10}R[m] \quad (21)$$

şeklinde hesaplanır [31].

Birimleri aynı olmasına karşın,  $AF$  ve  $TAF$  özdeş değildir. Aralarında antenlerde genelde olduğu gibi resiprokluk özelliği de yoktur. Ancak kullanılan antenler özdeş ise verici kazancının alıcı kazancına eşit olması kuralından  $AF$  ve  $TAF$  arasında bir ilişki kurulabilir. Bunun için (13) denkleminde alıcı anten kazancı yerine (21) denklemindeki verici anten kazancı konulursa, kalibrasyon mesafesinde geçerli olan;

$$TAF[dB] = 20\log_{10}f[MHz] + AF - 32,0 \quad (22)$$

elde edilir.  $AF$  ve  $TAF$  arasındaki (22) eşitliği ancak birisinden birisi ölçülürse geçerli olmaktadır. Örneğin,  $AF$  zemin üzerinde ölçülmüş ise  $TAF$  da zemin üzerinde geçerlidir [31].

### 1.5. EMC / EMI Modelleme Teknikleri

EMC problemlerinin çözümü için pek çok yol olmasına rağmen, en iyi yol, problemin daha ortaya çıkmadan önlenmesidir. Bunun için de, elektronik ve elektrikli aygıt, gereç ve sistemlerin tasarımlarının EM ışınlamını azaltacak şekilde tasarlanmasını gerektirir. EM ve özellikle sayısal EM alanlarında yapılan araştırmaların bu konuya önemli katkıları olabilir. Sayısal EM bilimi kullanılarak, tasarım aşamasındaki bir fiziksel sistem hakkında, henüz sistem üretilmeden, elektromanyetik çözümleme (analysis) ve benzetim (simulation) yoluyla önemli bilgiler elde edilebilir. Günümüzde, elemanların baskı devre kartı üzerinde yerleşimini yapmak devre tasarımını bitirmiyor. Sıklığın yüksekliği nedeniyle, bu kartın doğru çalıştığına ve elektromanyetik uyumluluk koşullarını sağladığına emin olmak için, artık devre tasarımının içine elektromanyetik çözümleme ve benzetimi de katmak gerekiyor [28].

Karmaşık yapıları nedeniyle EMC/EMI problemleri ancak ölçü/test ya da güçlü sayısal tekniklerle incelenebilmektedir. Ölçüm yapabilmek için gerekli olan test ortamları, cihazlar ve antenler pahalı çözümler olmak ile birlikte ayrıca zaman alıcı olarak öne çıkar. Ancak bu pahalı çözümlerin yanında güçlü sayısal etniklerin uygulanabilirliği de unutulmamalıdır. Günümüzde, frekans ve zaman domenlerinde geniş EMC problem gruplarına uygulanabilen sayısal teknikler: Zaman domeni TLM (Transmission Line Matrix) ve FDTD (Finite-Difference Time-domain) teknikleridir [28].

TLM yöntemi iletim hattı modellenmesidir ve alan teorisi devre teorisi eşdeğerliğine dayanır. TLM yönteminde üç boyutlu fiziksel problem uzayı çok sayıda küçük hücrelerin toplamı gibi düşünülmektedir [28].

FDTD ise alan teorisinden yola çıkarak, Maxwell denklemlerindeki kısmi türev operatörlerinin merkezi farklara dayalı sonlu farklar karşılıkları ile değiştirilip, doğrudan zaman ve konum domenlerinde sayısallaştırılmasına dayanan bir yöntemdir. Ele alınan hesap uzayının eş özellikli dikdörtgen prizmalardan oluştuğu varsayılır [28].

Bu tekniklerle doğrudan zaman domeninde dört boyutlu uzayda gerçek ve karmaşık yapılar etrafında elektromanyetik olaylar modellenmektedir. Eklenen serbest uzay (yutucu sınır) ve uzak alan ekstrapolasyonu gibi modüllerle teknikler hemen her türlü probleme uygulanabilir olmuştur. Her iki teknik de anten, saçılma, mikroşerit hatlı devre, EM dalga doku etkileşimleri gibi karmaşık problemlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde bu iki teknik ile modellenen tipik EMC örnekleri sunulmuştur [28].

EMC/EMI modellemelerinde kullanılan en önemli parametre iki noktayı birbirinden ayıran bir engelin elektromanyetik yalıtma oranını belirleyen elektromanyetik yalıtma ( $SE$ , Shielding Effectiveness) büyüklüğüdür.  $SE$  parametresi hesabı için, önce yalıtımı belirlenecek olan engel ortamda yokken girişim kaynağından belli bir uzaklıkta alan değeri ( $E_0$ ) ölçülür/hesaplanır. Daha sonra da aynı işlem,  $E$  değerinin elde edilmesi için girişim kaynağı ile gözlem noktası arasında, yalıtım malzemesi varken tekrarlanır.  $E$  ve  $E_0$  değerlerinin logaritmik oranı ise  $SE$  parametresini belirler.  $SE$  parametresi pozitif ve elektromanyetik yalıtım ne kadar etkili ise o kadar yüksek bir değer alır [28].

Ölçüm (ya da simulasyon) sırasında, sızıntı ya da girişim oranı belirlenecek olan cihaz dışarıdan izole, kapalı bir ortama konularak ölçülen her türlü girişimin sadece o cihaza ait olması garanti altına alınır. Test edilen cihaz bilgisayar, cep telefonu, radyo, televizyon vs. olabilir ve bu cihazların hepsinde de özellikle yüksek frekanslarda

elektromanyetik sızıntıya neden olan yarıklar, delikler ya da açıklıklar bulunur. Burada önemli olan, süreksizliklerin boyutları (yarık genişliği gibi) ile işaret dalga boyu arasındaki orandır [28].

Sızıntı ya da girişim oranının ölçüm ile belirlenmesi için, cihaz çevresinde değişik konumlarda, cihazın tüm çalışma durumları ve etkin olduğu bütün frekanslar için gerekli ölçümler yapılmalıdır. Bunun içinde modellemeler yetersiz kalabilir [28].

## 1.6. EMC Yönetmeliği

CENELEC tarafından geliştirilen standartlarda, genel asgari düzeyler ve test metotları gösterilmektedir. Uygunluk değerlendirmesi tamamlandığında yani standardın istediği uygunluğu taşıması durumunda, cihazın veya ambalajın üzerinde, görevli onaylanmış kuruluşça kullanılan ayırt edici işaretle (radyo vericilerinin kabulü için) birlikte belirli harf büyüklüklerinde yazılmış CE (Conformité Européenne) işareti bulunmalıdır. Kullanım talimatları, sisteme alma ve kullanım için gerekli koşullarda belirtilmelidir [11].

EMC Direktifinin getirdiği sistem 1 Ocak 1992'den itibaren uygulanabilmektedir. 22 Temmuz 1993'te, Konsey CE işaretinin yanında iliştiirdiği yılın da bulunması yükümlülüğü 1995'ten itibaren ortadan kaldıran 93/68/EEC sayılı Direktifi kabul etti. 1 Ocak 1996'dan beri de direktifin uygulanması zorunluluk kazanmıştır. Bu direktifin genişletilmiş kapsamı "89/336/EEC" 'dır [11].

Sistemlere yönelik direktifler ve direktiflerin öngördüğü standartların uygulanması CE deklarasyonu için gereklidir. Bu kapsamda;

- 73/23/EEC, Düşük Gerilim Direktifi (LVD, Low Voltage Directive)
- 92/59/EEC, Genel Ürün Güvenliği Direktifi
- 89/336/EEC, Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi
- 93/42/EEC, Medikal Cihaz Direktifi uygulanmaktadır [11].

"89/336/EEC sayılı Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) Direktifi" işleyişi diğer cihazları bozabilecek veya diğer cihazlardan etkilenip bozulabilecek bütün elektrikli ve elektronik cihazlara uygulanacak temel gerekleri belirlemektedir. Temel gerekler, cihazın oluşturduğu azami elektromanyetik bozucu etkilerin aşağıdaki cihazların kullanımını engellemeyeceğini belirlemektedir [11].

- Ulusal radyo ve televizyon alıcıları.
- Sanayi üretim ekipmanları.

- Mobil radyo donanımı.
- Mobil radyo ve ticari telsiz donanımı.
- Tıbbi ve bilimsel aletler.
- Bilgi teknolojisi donanımları.
- Ev aletleri ve elektronik ev eşyaları.
- Hava ve deniz radyo (telsiz) ekipmanları.
- Elektronik eğitim araçları.
- Telekomünikasyon ağları ve ekipmanları.
- Radyo ve televizyon yayını vericileri.
- Lambalar ve flüoresanlar [11].

Bu kapsama giren tüm elektrikle çalışan sistemler elektromanyetik ortamlara karşı bağışıklığı sağlanmış şekilde yapılmalıdır.

EMC Direktifi elektrikli ve elektronik cihazlarla elektrikli ve elektronik bileşenlerden oluşan tesisatların tamamını kapsar. Ancak sadece ilgili ürünün “cihaz” kavramının bu tanımına girmesiyle EMC direktifi uygulanmaz aktif ya da pasif olarak bozucu etki dolayısıyla belli bir sorumluluk mevcut olmalıdır. Bu da, bir cihazın diğer cihazların çalışmasını etkileyecek olması ya da onlardan etkilenecek olması hususunda belirli bir sorumluluğa sahip olması anlamını taşır. Bu kapsama girmeyen cihazlar olarak, sadece elektrik ampülü ile kullanılan aydınlatma donanımları gibi yine zor farkedilir düzeydeki enerji yayan ve sadece dışsal bir kaynakça bozulabilecek saatler gibi örneklendirilebilir.

Bir cihazın sadece emisyonla sebep olması ve bundan etkilenmemesi mümkün olmaktadır. Ancak emisyonla sebep olmayıp, fakat buna maruz kalan cihazlarda bulunmaktadır ya da tam terside olabilmektedir. Böyle durumlarda bu cihazlar için emisyon ve bağışıklık standartlarının uygulanması yeterli olmaktadır.

EMC Direktifi yanında uygulanan bazı direktiflerde vardır. Bunlar LVD (Low Voltage Directive, Alçak Gerilim Direktifi), Makineler Direktifi ve diğer yeni yaklaşım direktifleri olarak sınıflandırılabilir. Bu da ilgili direktife tabi olan sistemlerde, direktifin öngördüğü tüm hususların karşılanması gereklidir. Fakat EMC koşulları farklı direktifler içerisinde temel gereklerde geçiyorsa EMC direktifi göz ardı edilebilir. Bu da genelde yeni yaklaşım direktiflerini kapsar. Bu kapsamdaki cihazlara örnekler aşağıda sıralanmıştır.

- Tıbbi cihazlar.

- Otomatik olmayan tartı araçları.
- Sivil kullanım amaçlı patlayıcılar.
- Patlayıcı ortamlarda kullanılan teçhizat.
- Haberleşme terminal ekipmanı.
- Asansörler.
- Denizcilik ekipmanı olarak sıralanabilir.

## 1.7. EMC Standartlar

1 Ocak 1996'dan itibaren EMC Standartları, Avrupa Topluluğu ülkelerinde uyulması gereken zorunlu koşullar arasındadır. Gelişmiş ülkelerde elektromanyetik uyumluluk konusunda uyulması zorunlu yasal düzenlemeler mevcuttur. ABD'de FCC, Almanya'da VDE, İngiltere'de BSI ve Hollanda'da NNI tarafından hazırlanmış yönergeler yürürlükte. Avrupa Topluluğu'nun (AT) ürün güvenliği ve EM konusundaki düzenlemelerini ise CEN'in bir alt komitesi olan CENELEC yapıyor.

EMC konusunda yapılan çalışmalar arasında;

- Askeri ve sivil EMC standartlarının izlenmesi ve bu standartlara uymak zorunda olan gerek askeri ve gerekse sivil kuruluşlara bilgi desteğinin sağlanması.
- EMC sorununa yönelik bilgisayar simülasyonlarının geliştirilmesi.
- Askeri ve sivil EMC standartlarına uygunluk sağlayabilmek için standartlara uygun EMC ölçümlerinin yapılması için laboratuvarların kurulması gerekir.

Standartlar; CENELEC, CEN, ETSI, Avustralya Standartları, Kanada Standartları, Avrupa Standartları ve Diğer Standartlar olmak üzere sınıflandırılır.

### 1.7.1. Temel Yayınım Standartları

#### 1.7.1.1. EN 55022 ve EN 55011

EN 55022 ya da EN 55011'i temel standartlar uygulanır. EN 55022 iletişim teknolojisi cihazlarına yöneliktir. EN 55011 ise daha geniş kapsamlı olup endüstriyel ürünleri de içine alır. Güç kaynağı tarafından yayılım ve iletim yollu elektromanyetik girişim olur. Bu da CISPR22 olarak bilinir. Yayınım standardı için belirlenmiş Sınıf A ve

Sınıf B diye iki seviye vardır. Sınıf B, yayınımların alt sınırları için en genel olarak kabul edilendir. Güç kaynağı için bu kriter tercih edilecektir.

İletilen elektromanyetik (Conducted EMI, Electromagnetic Interference) girişim güç kaynağının giriş güç hattı içindeki radyo frekans enerjisidir. İletim yolu yayınımları azaltmak için güç kaynağı girişine filtre koyulur. Radyo frekans gürültüsü spektrum analizör ya da özel alıcı kullanılarak 150 kHz ile 30 MHz arasında ölçülür [1].

Yayınım yolu elektromanyetik girişim güç kaynağının giriş ve çıkış kabloları ve muhafazasından yayılan radyo frekans enerjisidir ve 30 MHz ile 1 GHz arasındaki frekans bölgesinde ölçülür. Ölçüm yapılacak ortamın tam yansımaz özellik de olması gerekir. Test edilecek birim büyük bir toprak düzlemi üzerindeki ahşap bir masanın üzerinde spektrum analizöre bağlı uygun alıcı antenden de uzaklığı 10 m mesafede olmalıdır [1].

#### 1.7.1.2. IEC 61000-3-2

Güç kaynağının izin verdiği AC şebeke kaynağından alınan harmonik akımlara sınır getirir. Bu standart faz başına 16 A giriş hat akımı ve minimum 75 W çıkış gücü olan güç kaynaklarına uygulanır. Bu standart tüm güç kaynaklarının tasarımında aktif ve pasif harmonik hat akımlarını azaltan çözümleri sunması açısından önemlidir. Bu standardın 4 (dört) sınıfı vardır. Bunlar;

- Sınıf A: 3 (üç) fazlı dengeli ekipmanlar ve aşağıda belirtilen diğer tüm donanımların dışındaki sistemlerde
- Sınıf B: Profesyonel olmayan taşınabilir cihazlar ve ark kaynağı cihazları
- Sınıf C: Aydınlatma ekipmanları
- Sınıf D: Giriş gücü  $\leq 600$  W. PC, PC monitörleri, radyo ve televizyon alıcılarıdır.

Giriş gücü  $\leq 75$  W'lı ekipmanlar, giriş gücü  $> 1$  k W'lı profesyonel ekipmanlar, giriş gücü  $\leq 200$  W'lı simetrik kontrollü ısıtma elemanları ve apul için bağımsız karartma cihazları için sınırlama yoktur yani bu standart uygulanmaz [2].

#### 1.7.1.3. IEC 61000-3-3

Test altındaki birimin voltaj değişiklik sınırları giriş güç kaynağı üzerine empoze edilebilir. Bu kırışma (flicker) olarak da adlandırılır. Normalde bu durum güç kaynakları ile ilgili bir problem olmadığı halde, bazı elektriksel ekipmanlarda, süreç kontrollü

devrelerde sürekli ya da rastgele aralıklarla güç kaynağı yüklenebilir. Bu durum titreşime neden olarak voltaj değişiklikleri yanında örneğin lambalardaki parlaklığında değişmesi şeklinde gözlenir [3].

## **1.7.2. Temel Bağışıklık Standartları**

### **1.7.2.1. EN 61000-4-2**

Elektrostatik boşalma bağışıklık deneyi. Bu standart, operatörlerden doğrudan temasla ve yakınında bulunan cisimlere statik elektrik boşalmalarına (deşarj) maruz kalan elektrik ve elektronik cihazlar için bağışıklık kurallarını kapsar. Elektrostatik boşalmalara maruz kalan elektrik ve elektronik cihazların çalışma niteliklerinin değerlendirilmesi için ortak ve tekrar edilebilir bir esası amaçlar. İlave olarak donanımın yakınındaki cisimlere personelden meydana gelecek elektrostatik boşalmaları da kapsar. Havadan ve temasla boşalma şeklinde uygulanır. Havadan boşalma için 8 kV, temasla boşalma için de 4 kV altında test yapılır. Sınıf B performans kriteri uygulanır [4].

### **1.7.2.2. EN 61000-4-3**

Radyo frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalan elektrikli ve elektronik cihazlar için uygulanan testtir. Bu test 26 MHz'den 1 GHz'e kadar olan frekans bölgesini kapsar. Sistemlere uygulanan elektromanyetik alan 1 V/m, 3 V/m ve 10 V/m'dir. Test elektromanyetik frekans enerjisini absorbe edebilen ekranlı tam yansız bir odada gerçekleştirilir. 10 V/m'lik elektrik alan altında test yapılır. Sınıf A performans kriteri uygulanır [5].

### **1.7.2.3. EN 61000-4-4**

Elektriksel hızlı geçici rejime ani darbeye karşı bağışıklık deneyidir. Elektrikli ve elektronik cihazların güç kaynağı, işaret, kontrol ve toprak uçlarında elektriksel hızlı geçici rejime ani darbelere maruz kalmaları durumundaki performanslarını değerlendirmek ve ortak ve tekrar edilebilir bir referans belirlemeyi amaçlar. Güç kaynağına uygulanan gerilim 2 kV'luk bir peak seviyesidir, 5 ns'ye içinde maksimum yükselme ve 50 ns'de



sıfıra düşme şeklindedir. Bu 5 kHz'lik bir tekrarlama oranında uygulanır. Sınıf B performans kriterini uygular [6].

#### **1.7.2.4. EN 61000-4-5**

Anahtarlama ve yıldırım geçici rejimleri esnasında meydana gelen aşırı gerilimlerin sebep olduğu tek yönlü ani yükselmelere maruz kalan elektrikli ve elektronik cihazlara uygulanan testtir. Bu test yıldırım voltajı olarak her bir hat ve toprak ve hatlar arasında uygulanır. Hat peak gerilimleri hattın hat'a uygulanır. Güç kaynakları için 4 kV ve 2 kV gibi değerlerde testler yapılır. Gerilim 1,2  $\mu$ s'lik bir zamanda yükselir, 50  $\mu$ s'lik zamanda da düşer. Sınıf B performans kriteri uygulanır [7].

#### **1.7.2.5. EN 61000-4-6**

Radyo frekans alanlar tarafından indüklenen iletilen bozulmalara karşı bağışıklık deneyidir. Elektrikli ve elektronik cihazların, 9 kHz'den 80 MHz'ye kadar olan frekans bölgesinde göz önüne alınan radyo frekans vericilerinden gelen elektromanyetik bozulmalara karşı iletilen bağışıklık kurallarını kapsar. Cihazı bozucu RF (Radyo Frekans) alanlarına bağlaştıracak en az bir iletim kablosu (besleme şebekesi, işaret hattı veya toprak bağlantısı gibi) bulunmayan cihazları kapsamaz. Güç kaynağı için 150 kHz'den 80 MHz'e kadar olan frekans bölgesinde uygulanır. Frekans 1 kHz'lik adımlarla artırılır ve taşıyıcı genlik modülasyonu 1 kHz'de %80'dir. Bu test için sınıf A performans kriteri uygulanır [8].

#### **1.7.2.6. EN 61000-4-8**

Şebeke frekanslı manyetik alan bağışıklık deneyidir. Elektrikli cihazların maruz bırakılacağı manyetik alanlar, cihaz ve sistemlerin güvenli olarak çalışmasını etkileyebilir. Bu test, belirli bir yer ve cihazın tesisi şartlarıyla (mesela cihazın bozucu kaynağa yakınlığı) ilgili olarak şebeke frekanslı manyetik alana maruz bırakıldığında, elektrikli cihazların bağışıklığını göstermek amacıyla yapılır. Şebeke frekanslı manyetik alan, iletkenlerdeki şebeke frekanslı akım veya daha ender olarak, cihazın yakınındaki diğer

elemanlar (mesela transformatör kaçakları) tarafından üretilir. Bu test sınıf A kriterine göre, 50 Hz'lik çift bobin (Helmholtz) kullanılarak yapılır [9].

#### **1.7.2.7. EN 61000-4-11**

Bu test gerilim çukurları, kısa kesintiler ve gerilim değişimleri ile ilgili bağışıklığı kapsar. Bu standart, 50 Hz ve 60 Hz AA (Alternatif Akım) şebekelerine yapılan bağlantılar için faz başına 16 A'yı aşmayan beyan akımına sahip elektrikli ve elektronik cihazlara uygulanır [10].

Gerilim çukuru elektrikli şebeke sistemindeki özel bir noktada ve belirli bir gerilim çukuru eşik değerinin altında oluşan ani gerilim düşmesi. Bu gerilim düşmesinden kısa bir süre sonra gerilim toparlanması meydana gelir. Bir gerilim çukuru genellikle, sistemlerde veya sistemlere bağlanan montajlarda kısa devrenin varlığı ve sonlandırılması veya bu gibi hücum akımı yükselmeleri ile ilişkilidir. Bir gerilim çukuru iki boyutlu bir elektromanyetik bozulmadır. Bu elektromanyetik bozulmanın seviyesi, gerilim ve zamanın her ikisi ile birlikte belirlenir [10].

Kısa kesintiler elektrikli şebeke sistemindeki özel bir noktada ve belirli bir kesinti eşik değerinin altında, bütün fazlarda oluşan ani gerilim azalmasıdır. Bu gerilim azalmasından sonra gerilim toparlanması meydana gelir. Kısa kesintiler genellikle, sistemlerde veya sistemlere bağlanan montajlarda kısa devrenin varlığı ve sonlandırılması ile ilişkili olan anahtarlama tertibatıdır [10].

Sadece AC girişli güç kaynaklarında giriş voltaj düşüşlerinden etkilenmesini tespit eden testtir. Diğer iki test çıkışta kayıp ya da azaltıcı etki oluşturabilir, bu nedenle müdahale ile çıkışın restore edilmesi gerekebilir. Test sırasında test edilen birim zarar görebilir. Sınıf B ve C performans kriteri uygulanır [10].

#### **1.7.3. Performans Kriterleri**

Bağışıklık testlerinden geçen sistemlere yönelik, geçen ya da başarısız kabul edilen 4 (dört) sınıf vardır.

- Sınıf A: Testlerin neden olduğu performans ya da fonksiyon kaybı olmayan.
- Sınıf B: Testlerde geçici fonksiyon ya da performans kaybı olan.
- Sınıf C: Fonksiyon ya da performans kayıpları restorasyon ile düzelen.

- Sınıf D: Kalıcı hasarlara uğrayan. Bu her zaman başarısız olarak kabul edilir.

### 1. 8. EMC Testleri

EMC mühendisliği, elektrikle çalışan cihaz/sistemlerin standartlara uygunluğunu test eder. Bu nedenle EMC işiyle ilgilenen mühendisler cihazlara yönelik ölçümler yapmakla birlikte aynı zamanda bunu raporlamaktadır. Emisyon ölçüleri test/ölçü için getirilen cihazların ilgili standartlarda belirtilen frekans aralığında izin verilen istenmeyen emisyon sınır değerlerinin saptanması için yapılmaktadır ve genelde geniş bantı (log-periyodik, spiral, bikonik vb.) antenlerle gerçekleştirilmektedir. Dayanıklılık testleri ise yine cihazların belirtilen yüksek seviyeli EM alanlar içerisinde çalışmalarını sorunsuz sürdürebilmeleriyle ilgilidir.

Polarizasyon, duran dalga oranı, kazanç, verim, ışınım karakteristiği, giriş empedansı gibi temel parametreler yanında bir diğer önemli parametrede verici ve alıcı anten faktörleri AF (anten faktörü), TAF (verici anten faktörü). Bu iki parametre yapılan ölçülerde kaydedilen, raporlanan rakamsal değerlerin ne anlama geldiğinin açıklamasıdır.

Emisyon ölçümlerinde anten kalibrasyonu yapılması ve standartların izlenmesi gereklidir. Dayanıklılık testlerinde ise anten kalibrasyonu ile birlikte kullanılan tüm EMC test düzeneği de kalibre edilmelidir. Ayrıca cihazın test edileceği ortamda istenen şiddette ve homojen alan oluşturulup oluşturulmadığının da belirlenmesi gereklidir.

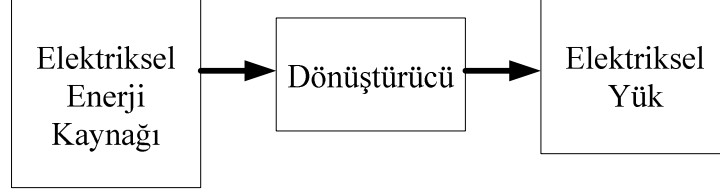
### 1. 9. Güç Kaynağı Nedir

Bir sistem ya da düzeneğin gereksinimi olan enerjiyi sağlamak için kullanılan birimlerin genel adıdır. Cep telefonu ya da el feneri pili, bir pili doldurmak için kullanılan adaptör, bir bilgisayarın gereksinimi olan gücü üreten donanım birer güç kaynağıdır.

Güç kaynakları göz önüne alınacak olursa dikkat edilecek hususlar; ne kadar güç verebileceği, şarj edilmeden veya yakıt ikmali yapılmadan ne kadar dayanabileceği, değişen koşullar altında çıkış gerilim ve akımlarının ne kadar stabil olduğu ve sürekli güç mü yoksa kesik akımlar mı sağladıklarıdır. Güç kaynaklarının çıkış gerilimi ve/veya akımı içine dahil edilmiş devreler aracılığı ile sabit tutulur. Güç kaynağının girişinde oluşabilecek çeşitli değişikliklere karşı çıkıştaki geriliminin etkilenmemesi gerekir. Bu çeşit güç kaynakları stabil olarak değerlendirilir.

### 1.10. Güç Elektroniği

Tüm güç elektroniği sistemleri yük ile kaynak arasındaki elektrik enerjisi akışını yönetir. Enerji akışı devre parçaları üzerinden olmalıdır, yani devredeki parçalar bu akışa engel olmamalıdır. Şekil 36’da genel bir güç dönüşüm sistemi verilmiştir.



Şekil 36. Güç dönüşümü için genel sistem

Güç dönüşümü işlemi yük ile kaynak arasında gerçekleşir. Bu nedenle dönüştürücü içindeki herhangi bir enerji tüm sistemde kaybolur.

### 1.11. Güç Kaynağı Çeşitleri

Elektronik cihazlar için güç kaynakları genel olarak anahtarlamalı ve doğrusal olmak üzere sınıflandırılır. Doğrusal kaynaklar, yüksek akımlı cihazlar için basit olarak tasarılan ve daha hantal bir yapıya sahip olanlar şeklinde değerlendirilir ve genelde gerilim regülasyonları açısından ele alındığında daha düşük verime sahip oldukları söylenebilir. Anahtar modlu güç kaynakları ise, daha yüksek verimde ve daha küçük yapıda tasarılan ama bunun yanında daha karmaşık yapıya sahip olan sistemlerdir. Güç kaynakları;

- Pil güç kaynağı
- Doğrusal güç kaynağı
- Anahtarlamalı güç kaynağı
- Kesintisiz güç kaynağı olmak üzere dört grupta incelenir.

### 1.12. EMC Açısından Güç Kaynakları

EMC açısından güç kaynakları iletim yollu bozulmalarda önem taşır. Enerji her zaman kaynağına geri dönecektir. Bu dönüş sırasında sistemde oluşturulan gürültü de

işaretin üzerine binerek iletim kanalları sayesinde şebekeye ulaşabilir, bu da sistemin şebekeye gürültü vermesi olarak adlandırılır. Genelde bu durum daha çok yüksek frekanslı çalışan sistemlerde gözlemlenir. Bu sistemlerde anahtarlama güç kaynaklarıdır.

### **1.12.1. AGK (Anahtarlama Güç Kaynağı, SMPS, Switch Mode Power Supply)**

Anahtarlama güç kaynaklarında şebeke gerilimi ilk adımda DC (Doğru akım) ye çevrilir. Doğrusal güç kaynaklarının sabit olan şebeke frekansında çalışma zorunluluğuna karşılık anahtarlama güç kaynaklarında elde edilen DC gerilim yardımcı devreler sayesinde tekrar istenilen frekansta (genellikle 40 – 200 kHz arası frekanslar kullanılır) AC (Alternatif akım)'ye çevrilir ve güç transformatörüne uygulanır. Anahtarlama mod denilmesinin sebebi yüksek frekanslı gerilimi elde edebilmek için anahtar vazifesi gören ve yardımcı devreler tarafından kontrollü bir şekilde istenilen çalışma frekansında devreyi açıp kapatan transistörlerin kullanılmasıdır. Yüksek çalışma frekansı sayesinde anahtarlama güç kaynaklarında kullanılan transformatör ve kapasitörlerin ebatları doğrusal güç kaynakları ile karşılaştırıldığında çok küçüktür.

AGK tekniğinin avantajları;

- Aktif alan dışındayken anahtarlama transistörleri az güç harcar.
- Doğrusal güç kaynaklarına nazaran daha küçük ebatlarda tasarım gerçekleştirilir.
- Verimliliği oldukça yüksektir ve daha az ısı üretimi sağlar.
- Anahtarlama gerilim regülatörlerinin çalışma frekansları şehir şebekesinden çok yüksektir (kHz). Bu nedenle tasarımlarında kullanılan bobin, trafo gibi komponentlerin fiziksel boyutları oldukça küçüktür.
- Doğrusal regülatörlerde regülesiz giriş gerilimi daima çıkış geriliminden büyük olmalıdır. Anahtarlama regülatörlerde çıkış gerilimi, giriş geriliminden büyük yapılabilmektedir.
- Anahtarlama gerilim regülatörlerinde birden fazla çıkış elde edilebilmekte ve çıkış geriliminin kutupları değiştirilebilmektedir.

Dezavantajları ise;

- Yapıları doğrusal güç kaynaklarına göre daha karmaşık ve zordur. Bu nedenle maliyetleri daha fazladır.

- Çıkış gürültü seviyeleri ve dalgalılık oranları daha yüksektir. Bu nedenle ilave filtreleme devreleri kullanımına gerek vardır.
- Yük akımlarında ve giriş gerilimlerinde meydana gelen değişimleri algılama ve tepki verme süreleri daha uzundur.
- Anahtarlama gerilim regülatörlerinden dolayı, elektromanyetik ve radyo frekanslı (EMI-RFI, Radio Rrequency Interference) girişimlere sebep olurlar. Bu nedenle özel filtre devreleri ve ekranlama gereksinimi oluşur.

AGK'ları giriş ve çıkış dalga formuna göre dört çeşit olarak sınıflandırılır.

- Giriş AC, Çıkış DC (Rectifier, doğrultma)
- Giriş DC, Çıkış DC (Converter, dönüştürme)
- Giriş AC, Çıkış AC (Frekans değişimi)
- Giriş DC, Çıkış AC (Inverter, Çevirici)

### **1.12.2. AGK'nın Sebep Olacağı Bozulmalara Karşı Nasıl Tasarlanmalıdır**

Bu güç kaynaklarının şebeke gerilimini bozmamaları için giriş kısımlarında hat filtresi olarak bilinen EMI filtreleme teknikleri kullanılmalıdır. EMI filtreleri, hat ve nötr terminalleri üzerindeki işaretleri birbirine eşitleyerek oluşabilecek diferansiyel moddaki gürültüyü sıfırlar. Bu nedenle kullanılacak filtrelerde bobin değerleri yüksek seçilmelidir. Yine güç kaynaklarının ani gerilim yükselmelerine karşı da çıkış voltajlarında bozulmanın olmaması için çıkış terminallerinde ki canlı uç ile toprak uç arasına uygun değerde ani darbe koruyucusu olarak bilinen varistör kullanılmalıdır.

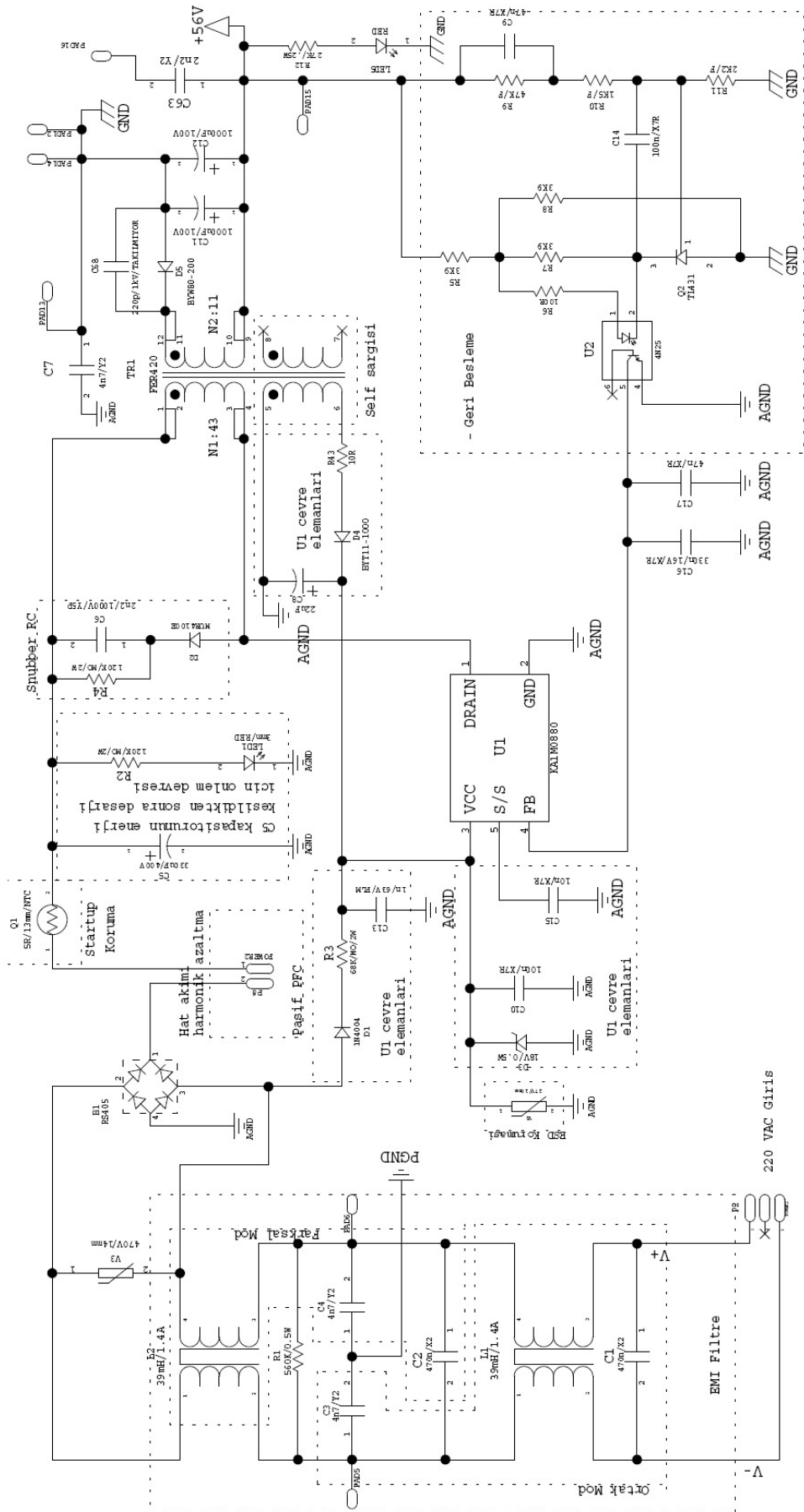
## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **2.1. Giriş**

Bu çalışmada, bilgi teknolojisi cihazı olan internet protokollü bir santralin EMC ölçümleri yapılmıştır. Bilgi teknolojisi cihazlarına yönelik, EN 55022 genel yayılım ve EN 55024 genel bağışıklık standartları uygulanır. Standardın istediği testler, sistemin çalışma esnasındaki ölçüm değerlerine göre yorumlanır. Yayılım testlerinde, ölçüm değerlerine göre sistem performansı değerlendirilirken, bağışıklık testlerinde standardın referans aldığı performans kriterlerine göre göz testi olarak yapılır ve değerlendirilir.

### **2.2. EMC Ölçümleri Yapılan Sistemdeki Bileşen Güç Kaynağı**

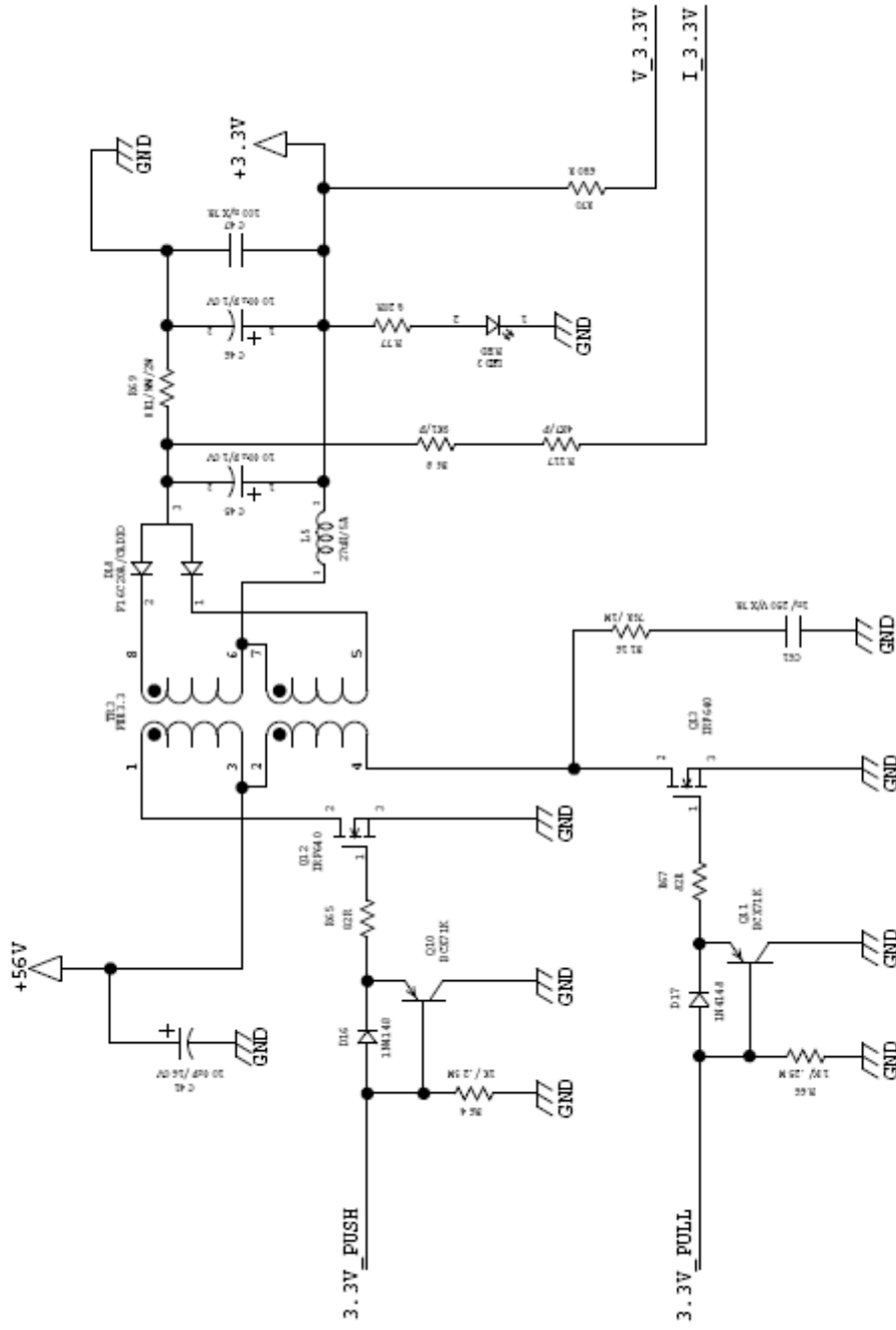
Ele alınan sistemin güç kaynağı, push-pull topolojisine göre tasarlanmış bir güç kaynağıdır. İlk olarak 220 VAC şebeke gerilimi doğrultulur ve güç trafosunda 56 VDC'ye dönüştürülür. Bu 56 VDC'den push-pull dc-dc trafolar kullanılarak, -48 VDC, -70VDC ve +3,3 VDC elde edilir. Güç kaynağı santrallere entegre edilmek için tasarlandığından çıkış değerleri bu şekilde ayarlanmıştır. -70 VDC santral tarafında zil sinyali üreten özel entegre kullanıldığından dolayıdır, -48 VDC abone çıkışları ve +3,3 VDC ise santrallerdeki diğer entegreleri beslemek içindir. Tüm çıkışlar % 100 (tam yükte) yük altında çalışırken güç kaynağından, -48 VDC / 1,6 A ve +3,3 VDC / 5A'lık güç çekilir.



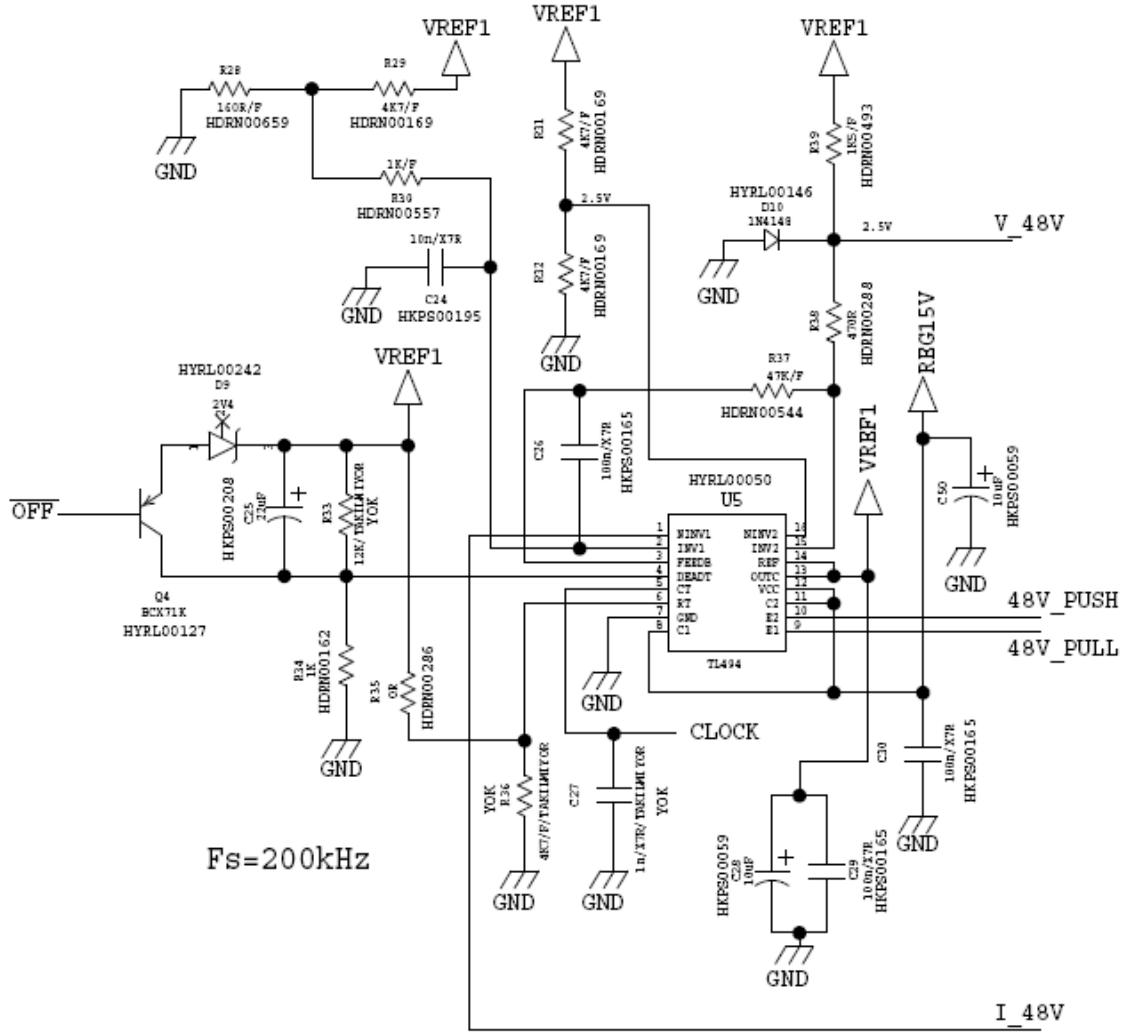
Şekil 37. 220 VAC offline switcher circuit [23]



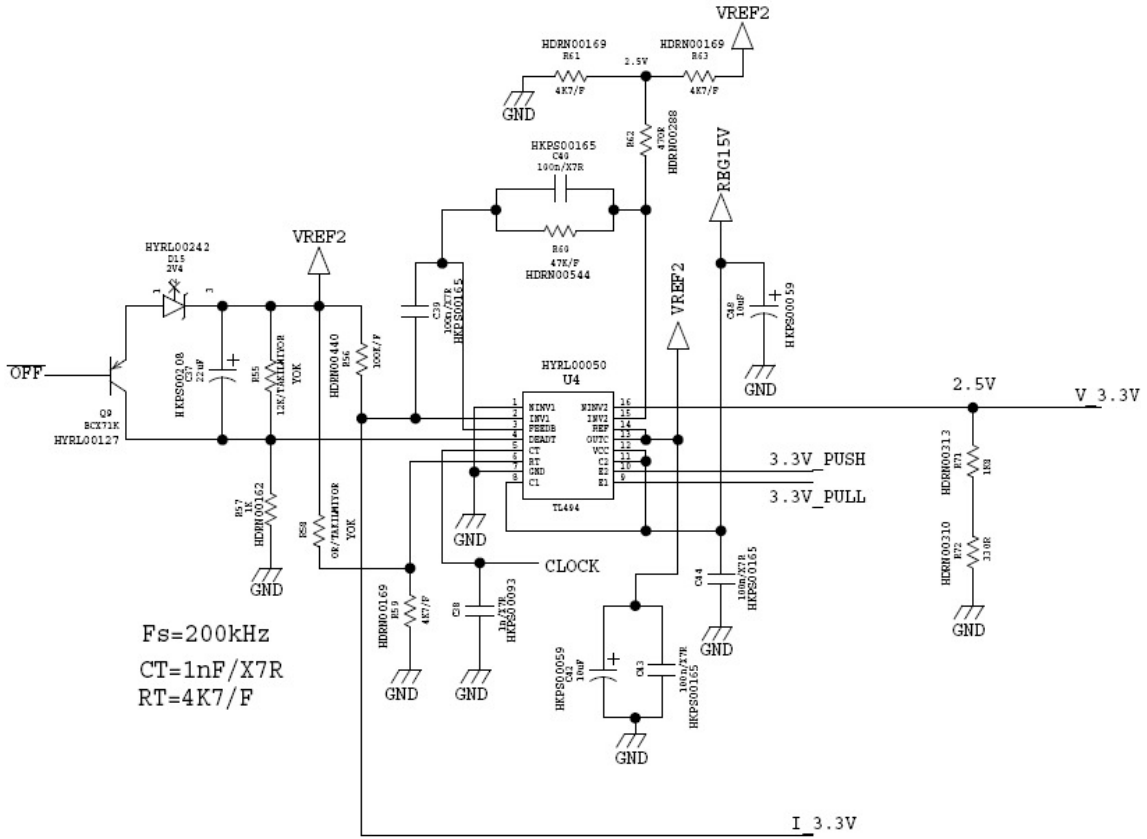




Şekil 39. REG3,3 VDC devresi [23]



Şekil 40. 48 VDC kontrol devresi [23]



Şekil 41. 3,3 VDC kontrol devresi [23]

Bu çalışmada EMI açısından alınan önlemler kaynağın giriş kısmındadır. Şekil 37’de gösterildiği gibi, 220 VAC giriş kısmında EMI filtre kullanılmıştır. Bu filtre yapısı güç kaynaklarına yönelik birçok uygulamada olan filtreleme türlerinden biridir. Hem ortak mod hem de farksal mod bir filtreleme tekniğidir. Bu filtre istenilmeyen gürültüyü % 90 azaltır. Bu filtreler zorro filtre olarak da bilinir.

## 2.3. EMC Ölçümleri

### 2.3.1. Elektstatik Boşalmaya Karşı Bağışıklık Testi

Çevre koşulları: 23,5 °C, % 28 RH, 900 mbar.

Test kurulumu: Deneyden geçirilen cihaz (DGC), ekranlı odada referans toprak düzlem üzerinde 80 cm yükseklikteki yalıtkan üzerine yerleştirildi. Test kurulumu 61000-4-2 standardına göre şekil 44’de gösterildiği gibi hazırlandı. DGC’nin iletken yüzeylerine ve

bağlaştırma düzlemine temasla boşalma, yalıtkan yüzeylere de havadan boşalma uygulandı.

Temasla boşalma voltajı: 4 kV

Havadan boşalma voltajı: 8 kV

Boşalma empedansı: 330  $\Omega$  / 150 pF

Boşalma faktörü:  $\geq 1$  s

Boşalma sayısı:  $\geq 200$  (50 pozitif, 50 negatif temasla boşalma)  
 $\geq 20$  (10 pozitif, 10 negatif havadan boşalma)

Boşalma metodu: doğrudan, temasla ve havadan boşalma

Polarizasyon: pozitif ve negatif

Boşalma alanı: yatay ve dikey bağlaştırma düzlemi

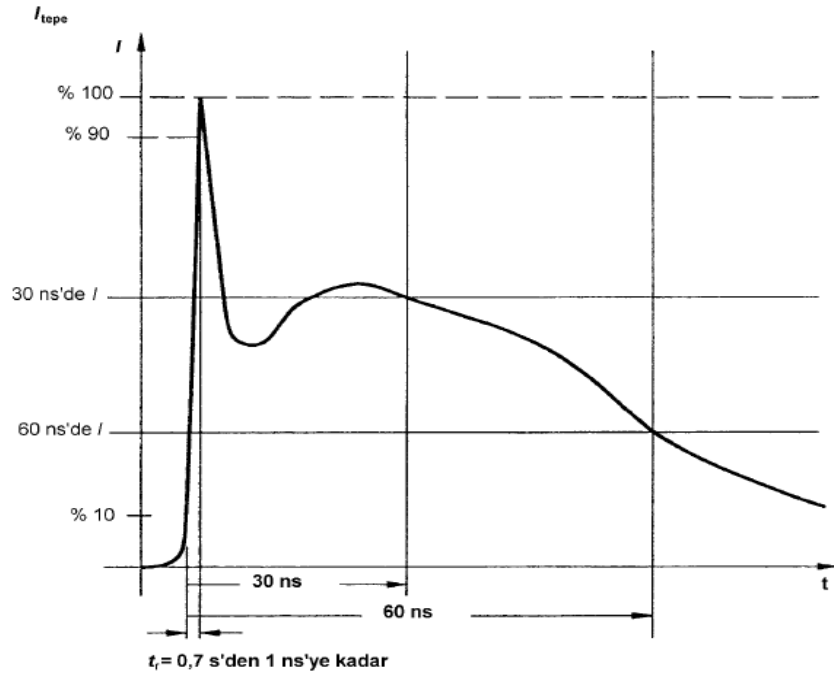
Performans kriteri: B

Test için aşağıda gösterilen ESD simülatörü (tabancası) kullanıldı.

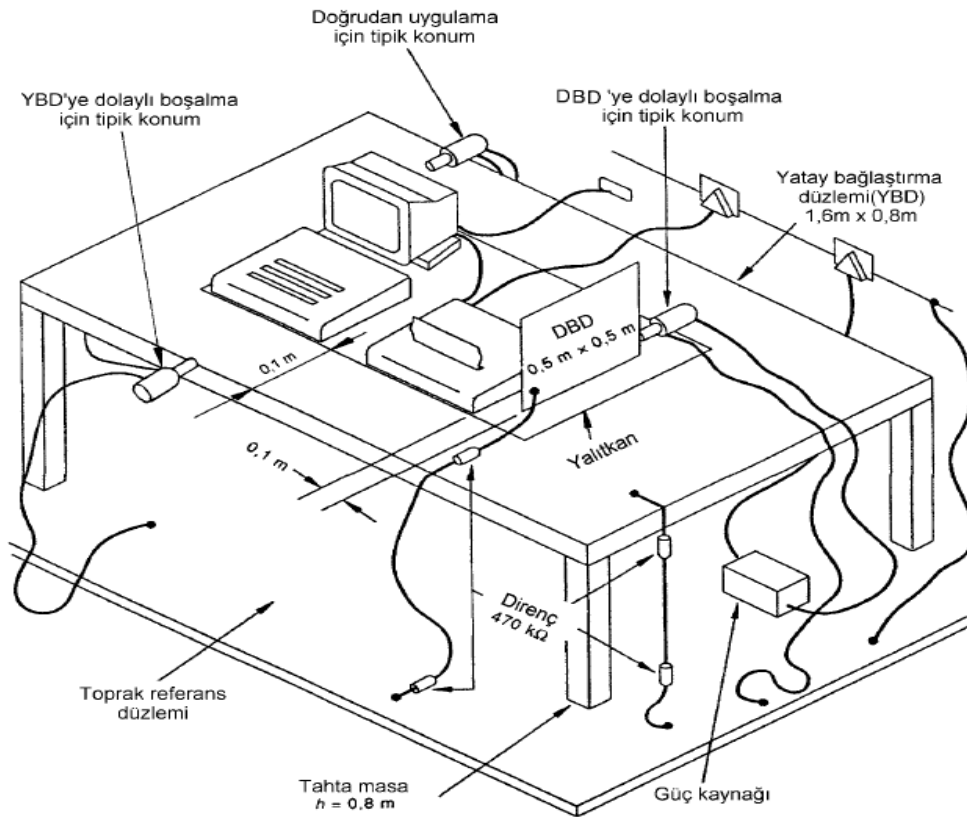


Şekil 42. EM test dito ESD simulator

ESD üreticinin çıkış akımının tipik dalga şekli aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 43. ESD üretici çıkış akımının tipik dalga şekli [4]



Şekil 44. Masa üstü cihazlar için deney düzeneği örneği – Laboratuvar deneyleri [4]

Yapılan bu testte DGC’de işlevde bir kayıp ya da bozulma gözlenmedi. Bağışıklık testleri olarak bilinen bu testler tamamıyla göz testi olduğu için teste yönelik veri çıktısı yoktur. Yapılan çalışmalara ait resimler aşağıda verilmiştir.



(a) Yatay bağlaştırma



(b) Dikey bağlaştırma

Şekil 45. Bağlaştırma düzlemleri üzerinden temasla boşalma deneyi



Şekil 46. Havadan boşalma deneyi

### 2.3.2. Ani Yükselmelere Karşı Bağışıklık Testi (Surge)

Çevre koşulları: 23,5 °C, % 28 RH, 900 mbar

Test kurulum: DGC, ekranlı odada referans toprak düzlem üzerinden 10 cm yükseklikteki yalıtkan üzerine yerleştirildi. Test kurulumu 61000-4-5 standardına göre şekil 48'deki gibi hazırlandı. Hat hat arası ve hat toprak arasına standardın belirlediği değerlerde surge sinyali uygulandı.

Test seviyesi: 1 kV (hat-hat), 2 kV (hat-toprak)

Etkin çıkış empedansı: 2  $\Omega$  (hat-hat), 12  $\Omega$  (hat-toprak)

Faz açısı: 0°, 90°, 270°

Polarizasyon: pozitif ve negatif

Uygulama sayısı: 5

Tekrarlama oranı: 1 dk.

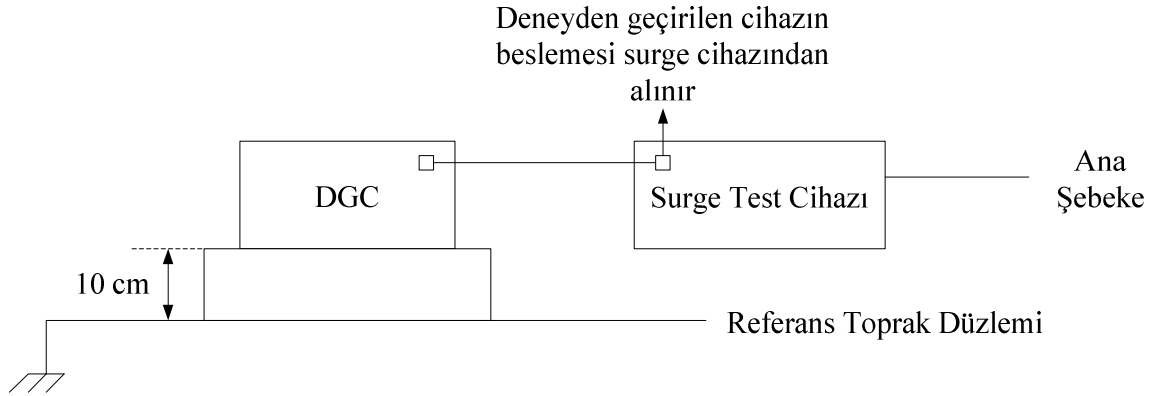
Performans kriteri: B

Test için aşağıda gösterilen sinyal jeneratörü kullanıldı. Burst testi için de bu jeneratör kullanılmaktadır.





Şekil 47. EM test UCS 500 M/4 ultra compact simulator



Şekil 48. Surge ve burst test kurulum örneği

Yapılan bu testte DGC'de işlev kaybı olup olmadığını gözlemleyebilmek için santralin analog abone kartına 2 (iki) adet telefon bağlandı, arama yapıldı. Telefonların görüşme sırasında bu test uygulandı. Teste ait resim aşağıda verilmiştir.



Şekil 49. Surge deneyi

### 2.3.3. Elektriksel Hızlı Geçici Rejim / Patlama Bağışıklık Testi (Burst)

Çevre koşulları: 23,5 °C, % 28 RH, 900 mbar

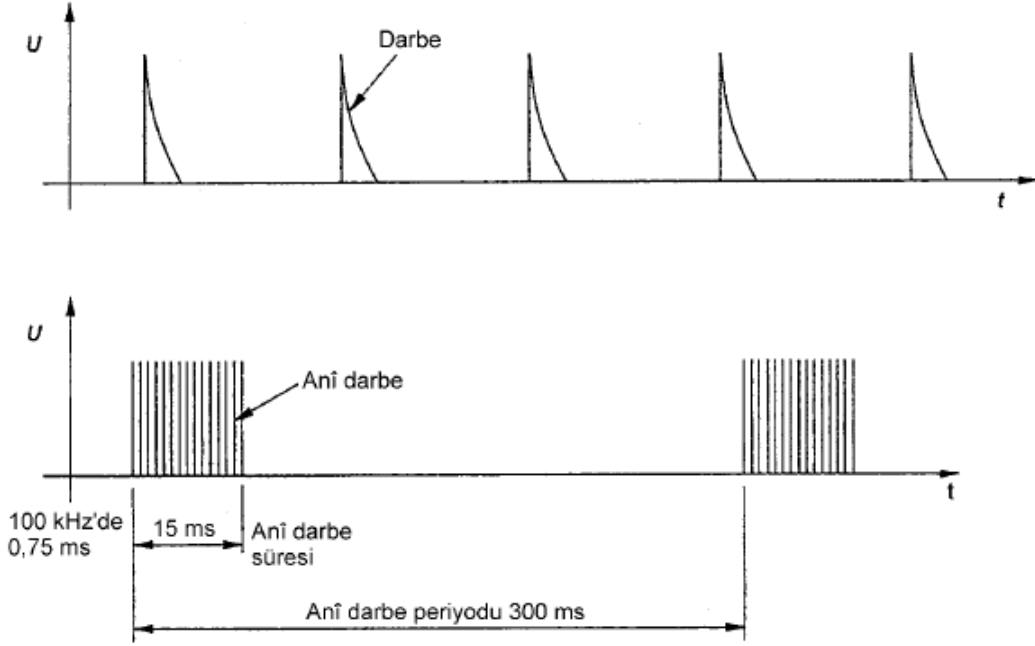
Test kurulum: DGC, ekranlı odada referans toprak düzlemi üzerinden 10 cm yükseklikteki yalıtkan üzerine yerleştirildi. Test kurulumunu 61000-4-4 standardına göre şekil 48'deki gibi hazırlandı. DGC çalışırken güç hattına burst sinyali uygulandı.

Test seviyesi: 0,5 kV, 1 kV

Patlama frekansı: 5 kHz

Uygulama süresi:  $\geq 60$  sn

Performans kriteri: B



Şekil 50. Bir hızlı geçici rejim/ani darbenin genel grafiği [6]

Yapılan bu testte DGC'de işlev kaybı olup olmadığını gözlemleyebilmek için santralin abone kartına 2 (iki) adet telefon bağlandı. Telefonların görüşme sırasında bu test uygulandı. Teste ait resim aşağıda verilmiştir.



Şekil 51. Burst deneyi

#### 2.3.4. Şebeke Frekanslı Manyetik Alan Bağışılık Testi

Çevre koşulları: 23,2 °C, % 28 RH, 900 mbar

Test kurulumu: DGC, kontrol odasında şekil 52'deki gibi antenin merkezine yerleştirdi.

Manyetik alan uygulandı.

Sürekli alan için deneyi seviyesi: 1 A/m

Frekans: 50 Hz – 60 Hz

Performans kriteri: A



Şekil 52. Manyetik alan deneyi

Yapılan bu testte DGC'de işlev kaybı ya da bozulma gözlenmedi.

### 2.3.5. Yayılım Bozulması (RE, Radiated Emission)

Çevre koşulları: 21,8 °C, % 26 RH, 900 mbar

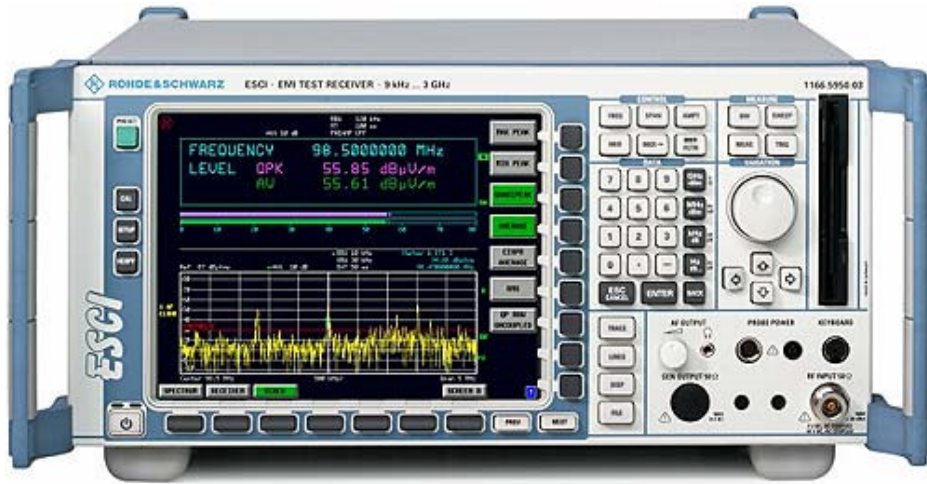
Test kurulum: DGC, yarı yansımaz odada yerden 80 cm yükseklikteki ahşap masaya yerleştirdi ve 220 VAC gerilim ile beslendi. Anten yatay ve dikey polarizasyondaiken DGC'nin 4 (dört) yöndeki ölçümleri EMI-Test receiver ile kaydedildi.

Test mesafesi: 3 m

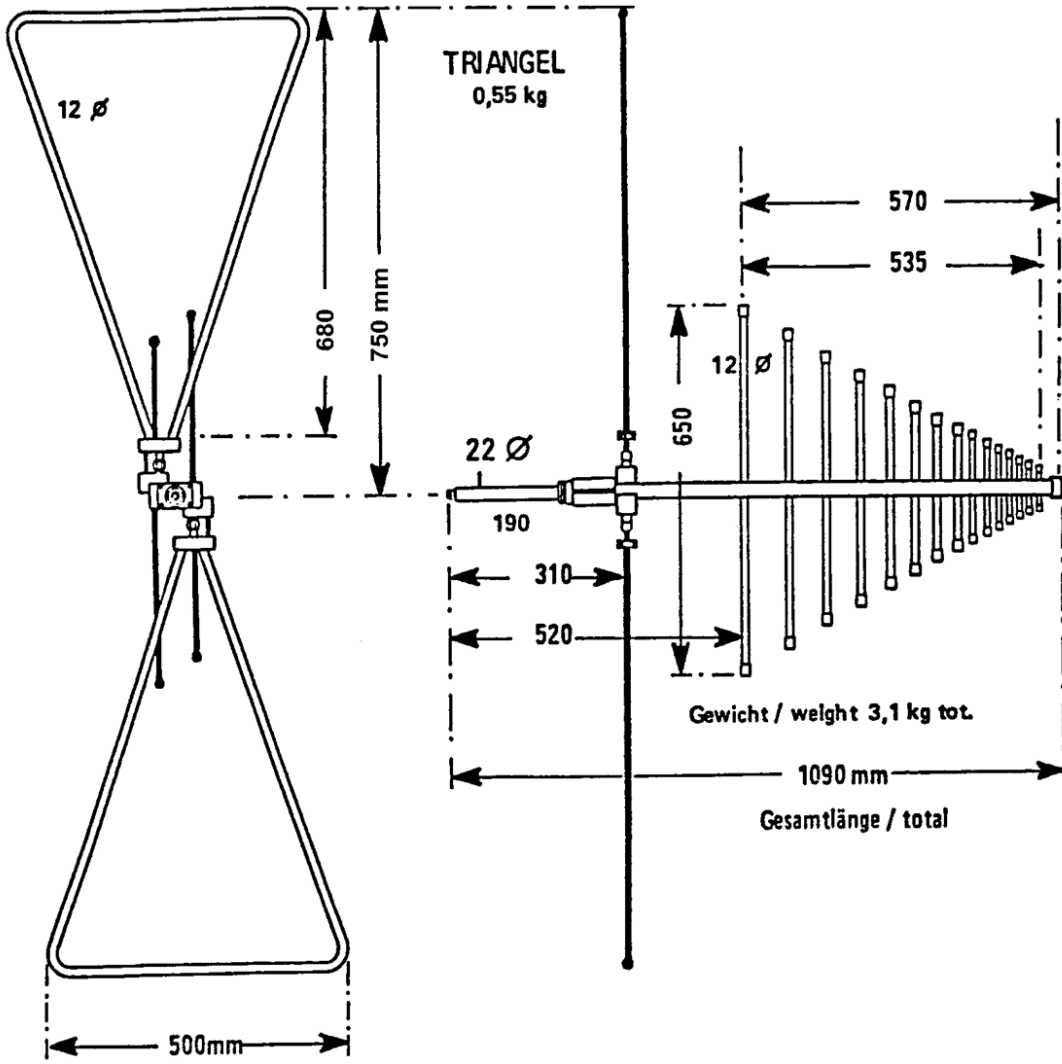
Frekans aralığı: 30 MHz – 1000 MHz

Anten polarizasyonu: Yatay ve dikey

Bu testteki ölçümler için aşağıda gösterilen anten ve receiver kullanılmıştır. CE testi içinde aynı receiver kullanılmıştır.



Şekil 53. ESCI emi-test receiver



Şekil 54. VULP 9168 trilob-broadband antenna

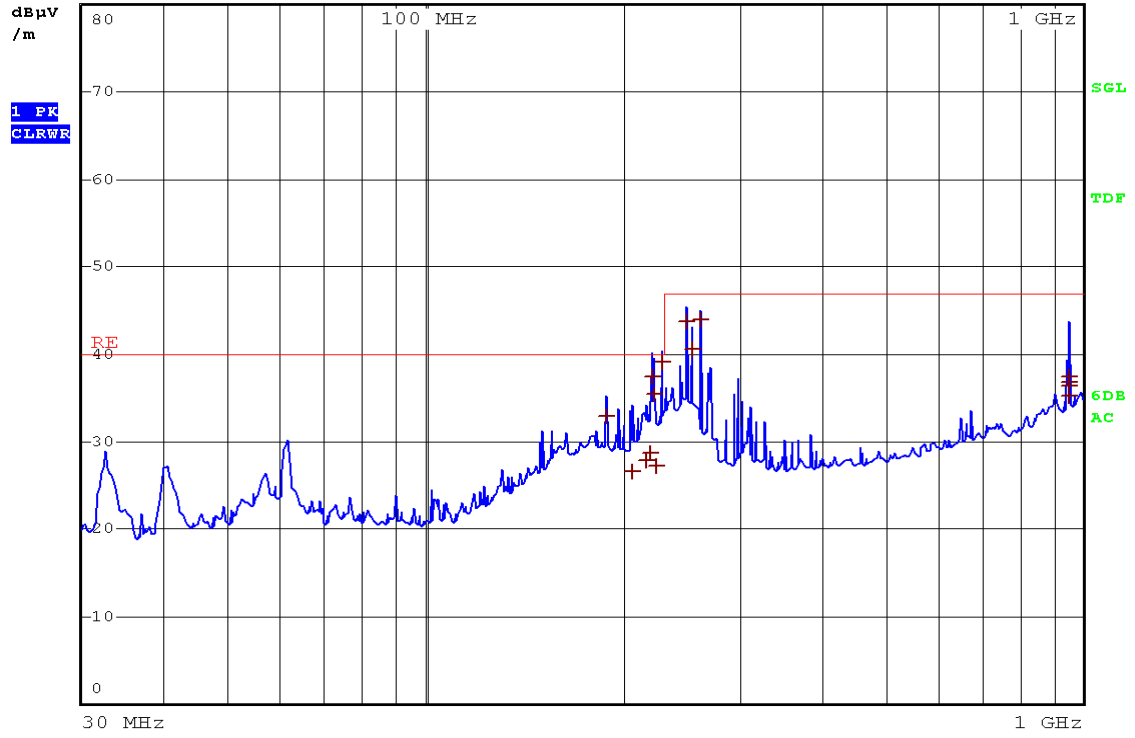
Bu testte, 30 MHz'den 1 GHz arasındaki spektrumdaki gürültü değerleri kaydedildi. Anten yatay ve dikey polarizasyondayken yapılan ölçümlere ait veriler aşağıdaki gibidir.



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:15

RBW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK ON YUZ ANTEN YATAY

Date : 17.NOV.2009 11:55:28

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
Trace1:	RE		
Trace2:	---		
Trace3:	---		
1 Quasi Peak	188.44 MHz	32.81	-7.18
1 Quasi Peak	206.04 MHz	26.61	-13.38
1 Quasi Peak	217 MHz	27.79	-12.20
1 Quasi Peak	219.24 MHz	28.74	-11.25
1 Quasi Peak	221.24 MHz	37.48	-2.51
1 Quasi Peak	222.32 MHz	35.42	-4.58
1 Quasi Peak	224.32 MHz	27.16	-12.83
1 Quasi Peak	229.4 MHz	39.22	-0.77
1 Quasi Peak	250 MHz	43.73	-3.26
1 Quasi Peak	253.96 MHz	40.73	-6.27
1 Quasi Peak	262.16 MHz	44.00	-2.99
1 Quasi Peak	950.92 MHz	35.08	-11.91
1 Quasi Peak	951.08 MHz	36.49	-10.50
1 Quasi Peak	952.2 MHz	37.44	-9.55
1 Quasi Peak	952.56 MHz	36.84	-10.15

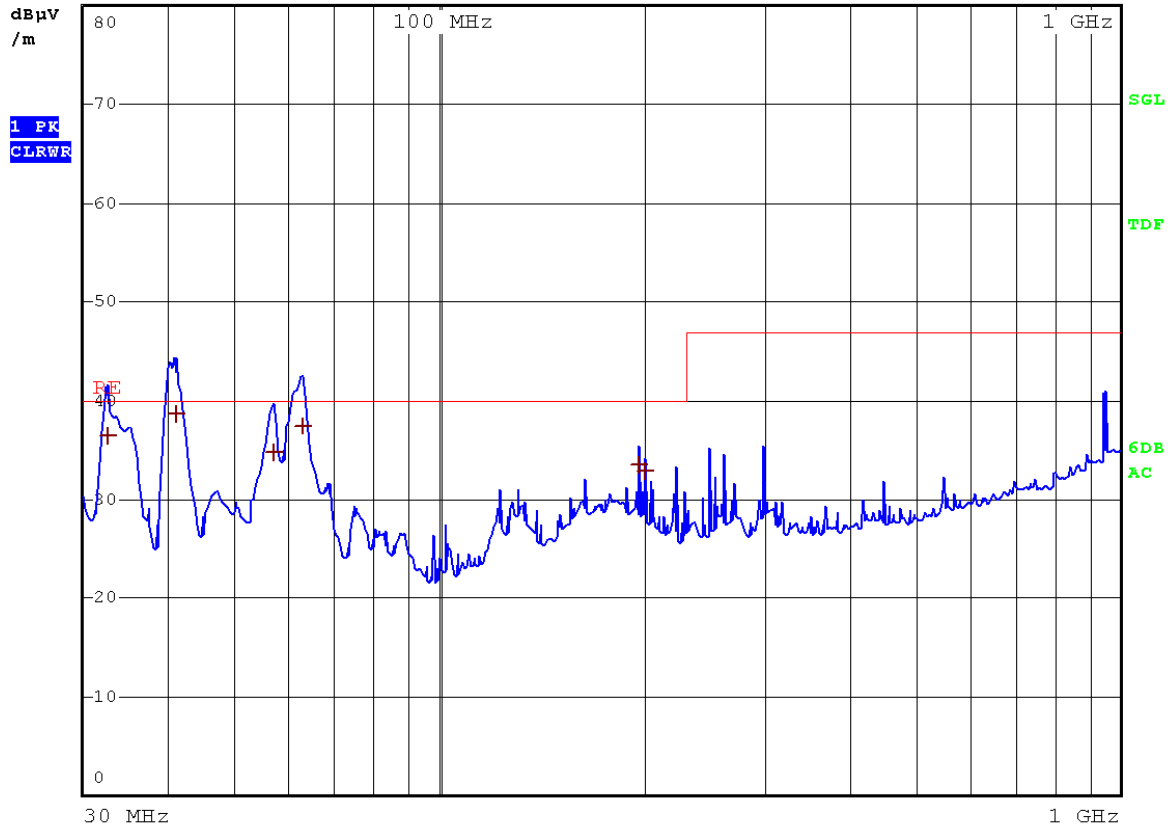
Şekil 55. AGK'nın ön yüzü, anten yatay



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:09

RBW 120 kHz  
MT 100 ms  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK ON YUZ ANTEN DIKEY

Date: 17.NOV.2009 11:09:48

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
Trace1: RE			
Trace2: ---			
Trace3: ---			
1 Quasi Peak	32.56 MHz	36.52	-3.47
1 Quasi Peak	40.96 MHz	38.70	-1.29
1 Quasi Peak	57 MHz	34.67	-5.32
1 Quasi Peak	63.04 MHz	37.48	-2.51
1 Quasi Peak	196.64 MHz	33.48	-6.51
1 Quasi Peak	200 MHz	32.82	-7.17

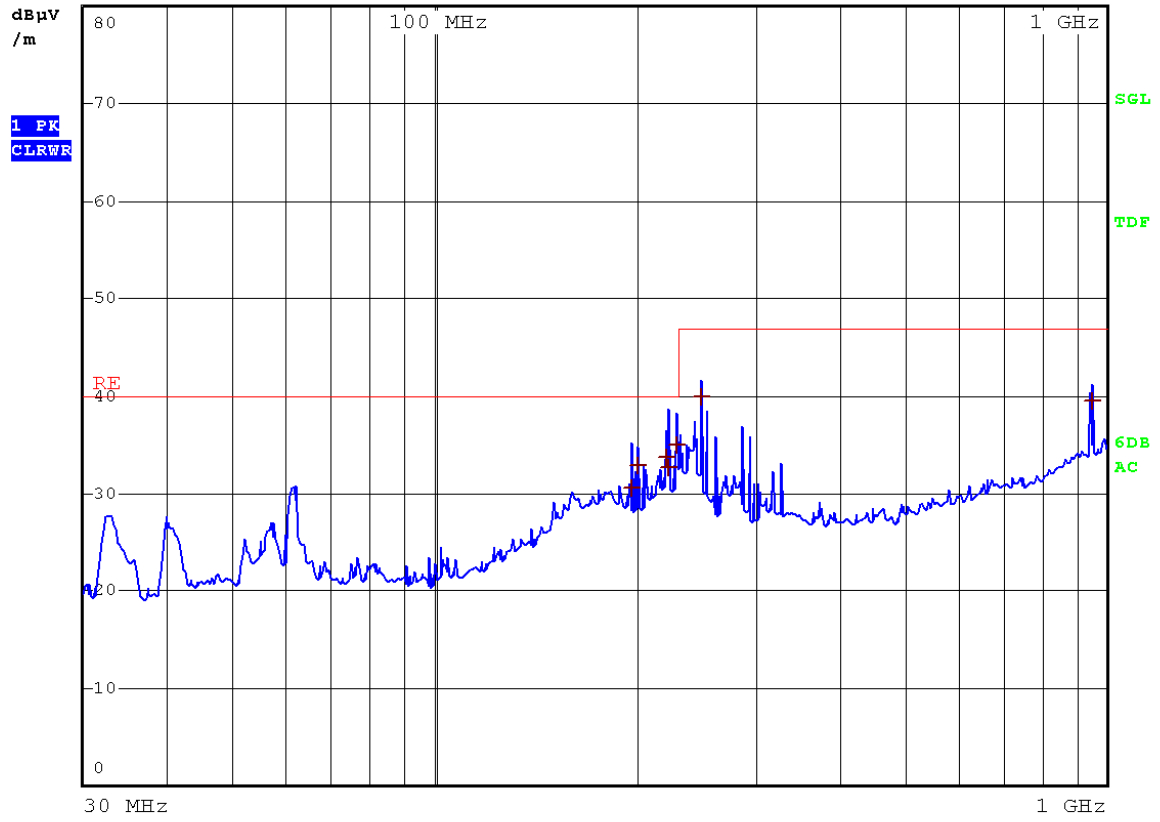
Şekil 56. AGK'nın ön yüzü, anten dikey



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:21

RBW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK SAG YUZ ANTEN YATAY

Date: 17.NOV.2009 11:21:06

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
Trace1: RE			
Trace2: ---			
Trace3: ---			
1 Quasi Peak	196.68 MHz	30.57	-9.42
1 Quasi Peak	200 MHz	32.83	-7.16
1 Quasi Peak	221.24 MHz	33.80	-6.19
1 Quasi Peak	222.28 MHz	32.71	-7.28
1 Quasi Peak	229.44 MHz	35.02	-4.97
1 Quasi Peak	250 MHz	39.97	-7.02
1 Quasi Peak	951.08 MHz	39.58	-7.41

Şekil 57. AGK'nın sağ yüzü, anten yatay

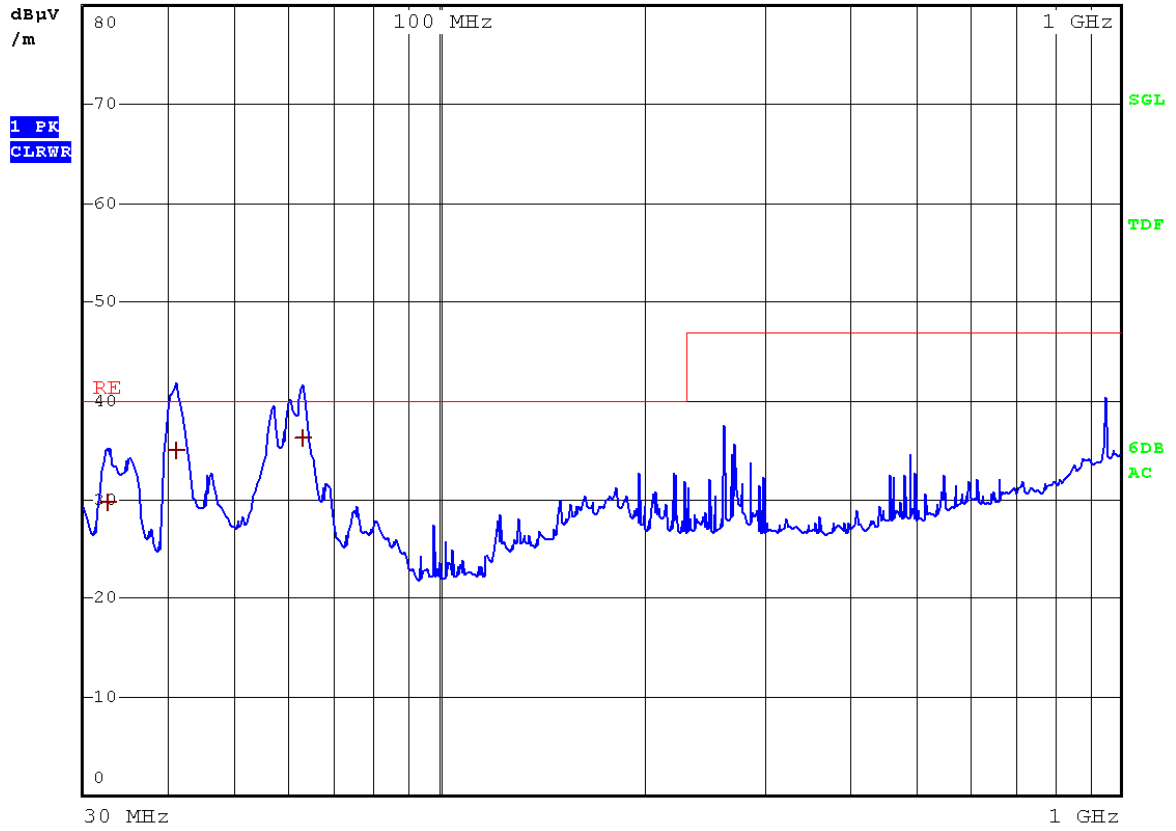




RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:26

RBW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK SAG YUZ ANTEN DIKEY

Date: 17.NOV.2009 11:26:18

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
Trace1: RE			
Trace2: ---			
Trace3: ---			
1 Quasi Peak	32.52 MHz	29.69	-10.31
1 Quasi Peak	41 MHz	34.97	-5.02
1 Quasi Peak	62.96 MHz	36.23	-3.76

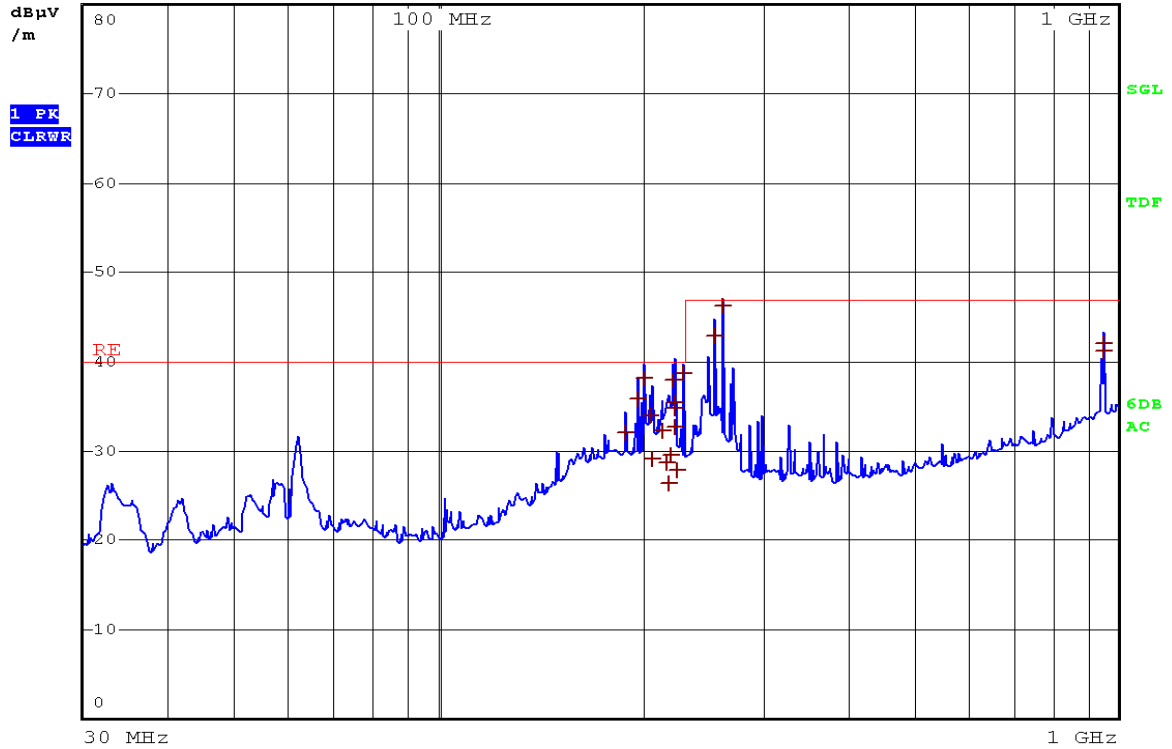
Şekil 58. AGK'nın sağ yüzü, anten dikey



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:38

RBW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK ARKA YUZ ANTEN YATAY

Date: 17.NOV.2009 11:38:31

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
Trace1: RE			
Trace2: ---			
Trace3: ---			
1 Quasi Peak	188.44 MHz	32.11	-7.88
1 Quasi Peak	196.68 MHz	35.84	-4.15
1 Quasi Peak	200 MHz	38.02	-1.97
1 Quasi Peak	204.84 MHz	33.97	-6.02
1 Quasi Peak	205.68 MHz	29.15	-10.84
1 Quasi Peak	206.4 MHz	29.03	-10.97
1 Quasi Peak	213 MHz	32.23	-7.76
1 Quasi Peak	217.04 MHz	28.63	-11.36
1 Quasi Peak	217.6 MHz	26.37	-13.62
1 Quasi Peak	219.2 MHz	29.50	-10.49
1 Quasi Peak	221.24 MHz	37.93	-2.06
1 Quasi Peak	222.12 MHz	32.57	-7.42
1 Quasi Peak	222.36 MHz	35.37	-4.62
1 Quasi Peak	222.44 MHz	34.79	-5.20
1 Quasi Peak	223.56 MHz	27.85	-12.14
1 Quasi Peak	229.4 MHz	38.73	-1.26
1 Quasi Peak	254 MHz	43.03	-3.96
1 Quasi Peak	262.2 MHz	46.20	-0.79
1 Quasi Peak	950.96 MHz	41.34	-5.65
1 Quasi Peak	952.2 MHz	42.05	-4.94

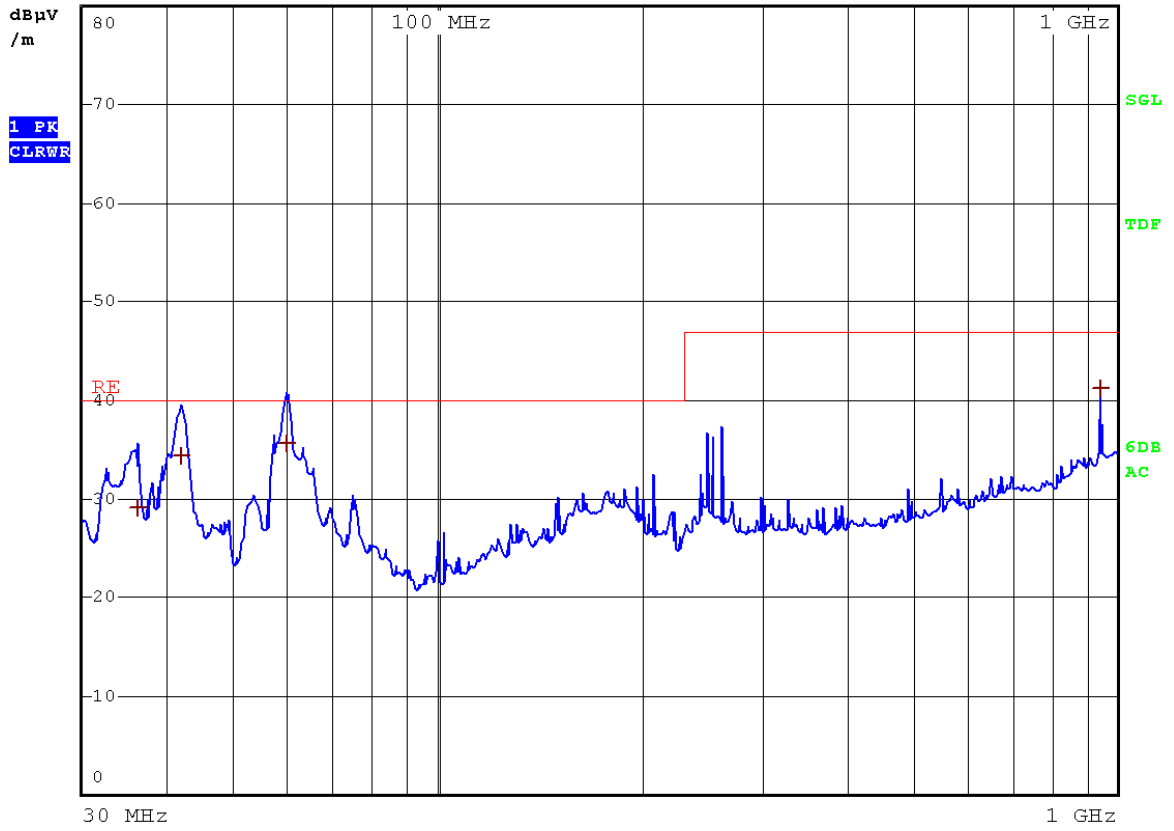
Şekil 59. AGK'nın arka yüzü, anten yatay



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:31

RBW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK ARKA YUZ ANTEN DIKEY

Date: 17.NOV.2009 11:31:31

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)				
Trace1:	RE			
Trace2:	---			
Trace3:	---			
TRACE		FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
1	Quasi Peak	36.12 MHz	29.04	-10.95
1	Quasi Peak	42 MHz	34.25	-5.74
1	Quasi Peak	60.2 MHz	35.68	-4.31
1	Quasi Peak	946.84 MHz	41.33	-5.66

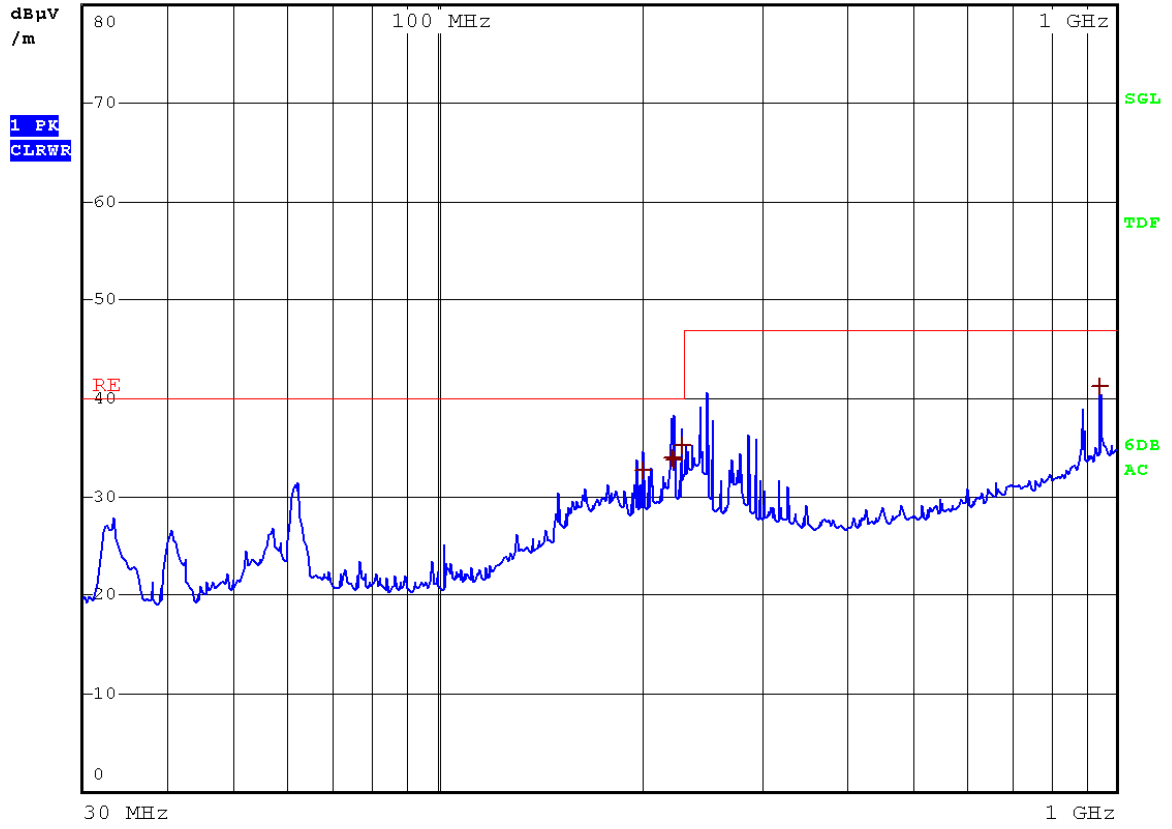
Şekil 60. AGK'nın arka yüzü, anten dikey



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:43

RBW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK SOL YUZ ANTEN YATAY

Date: 17.NOV.2009 11:43:19

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
Trace1: RE			
Trace2: ---			
Trace3: ---			
1 Quasi Peak	200 MHz	32.71	-7.28
1 Quasi Peak	221.24 MHz	34.01	-5.98
1 Quasi Peak	222.36 MHz	33.80	-6.19
1 Quasi Peak	229.44 MHz	35.17	-4.82
1 Quasi Peak	946.88 MHz	41.25	-5.74

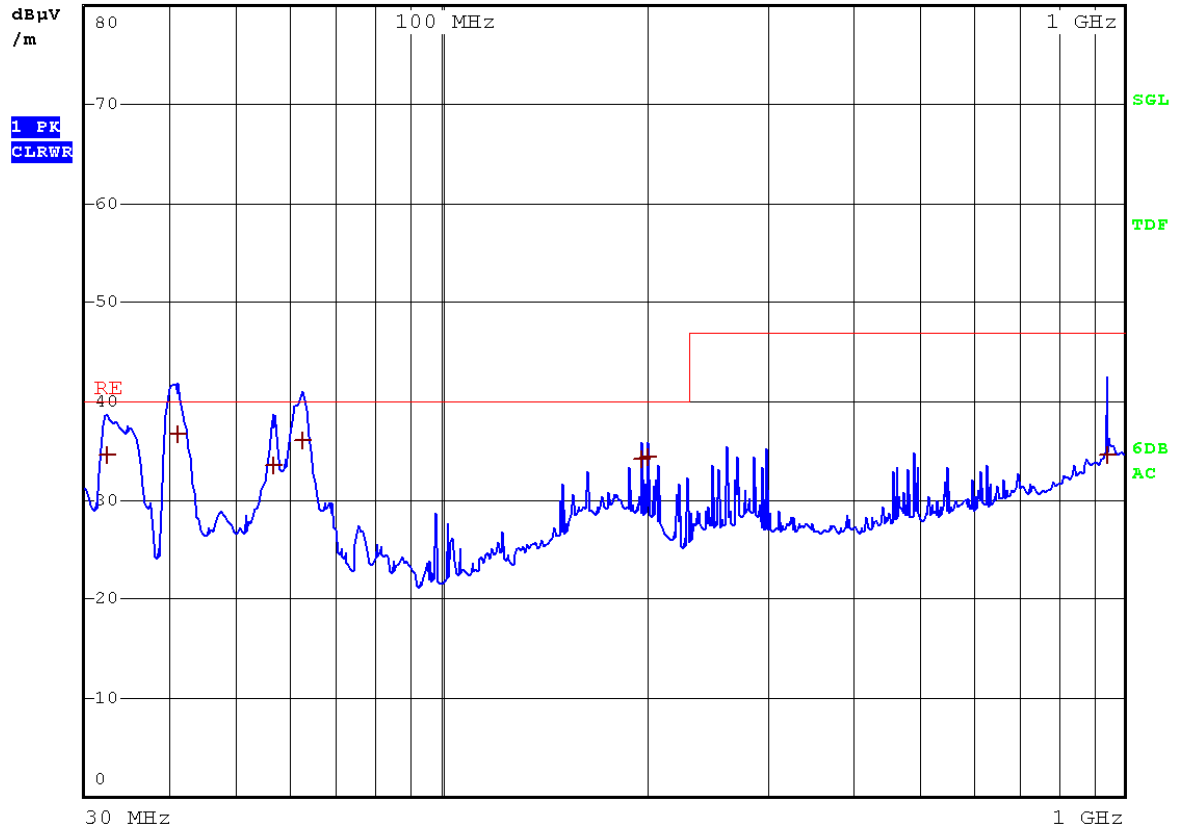
Şekil 61. AGK'nın sol yüzü, anten yatay



RADIATED EMISSION  
17.Nov 09 11:50

REW 120 kHz  
MT 1 s  
PREAMP OFF

Att 0 dB



AGK SOL YUZ ANTEN DIKEY

Date: 17.NOV.2009 11:50:49

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBµV/m	DELTA LIMIT dB
1 Quasi Peak	32.4 MHz	34.52	-5.47
1 Quasi Peak	41 MHz	36.57	-3.42
1 Quasi Peak	56.84 MHz	33.41	-6.58
1 Quasi Peak	62.8 MHz	36.05	-3.94
1 Quasi Peak	196.64 MHz	34.03	-5.96
1 Quasi Peak	200 MHz	34.25	-5.74
1 Quasi Peak	946.88 MHz	34.59	-12.40

Şekil 62. AGK'nın sol yüzü, anten dikey

Yapılan deneyde alınan ölçümler doğrultusunda, AGK'nın (anahtarlamalı güç kaynağı) yayınım yapmadığını gözlemlendi. Deneye ait resimler aşağıda verilmiştir.



(a) Anten dikey



(b) Anten yatay

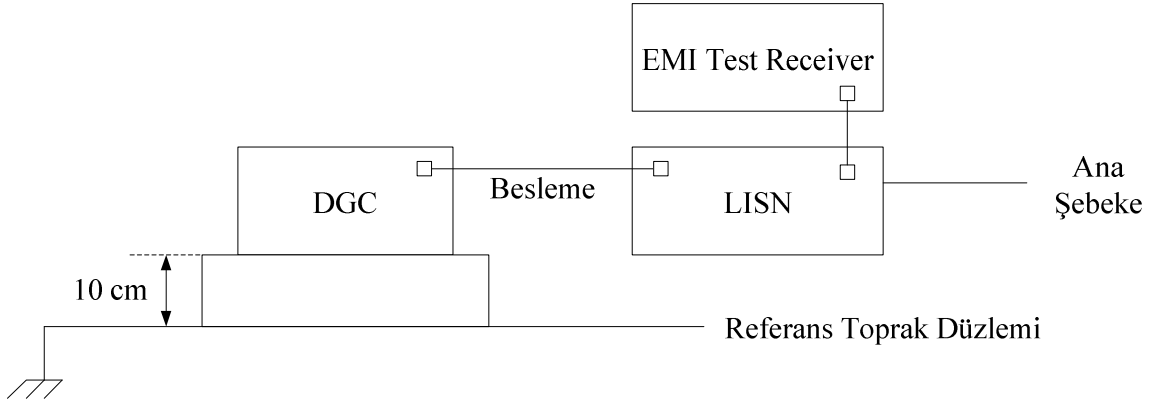
Şekil 63. RE deneyi

### 2.3.6. Bağlantı Ucu Gerilim Bozulması (CE, Conducted Emission)

Çevre koşulları: 22,7 °C, % 31 RH, 900 mbar

Test kurulumu: DGC, yarı yansız odada Lisn cihazının L (Line), N (Notr) ve PE (Ground) bağlantı ucundan beslendi. Lisn, şebekeden beslenen ve şebekeden gelen tüm gürültüleri filtrelemeyi sağlayan bir kaynaktır. Lisn ile EMI-Test receiver bağlantısı yapıldı. DGC'nin şebekeye verdiği gürültü EMI-Test receiver ile kaydedildi. Test için kurulum 55022 standardına göre şekil 64'deki gibi hazırlandı.

Frekans aralığı: 0,15 MHz – 30 MHz



Şekil 64. CE test düzeneği

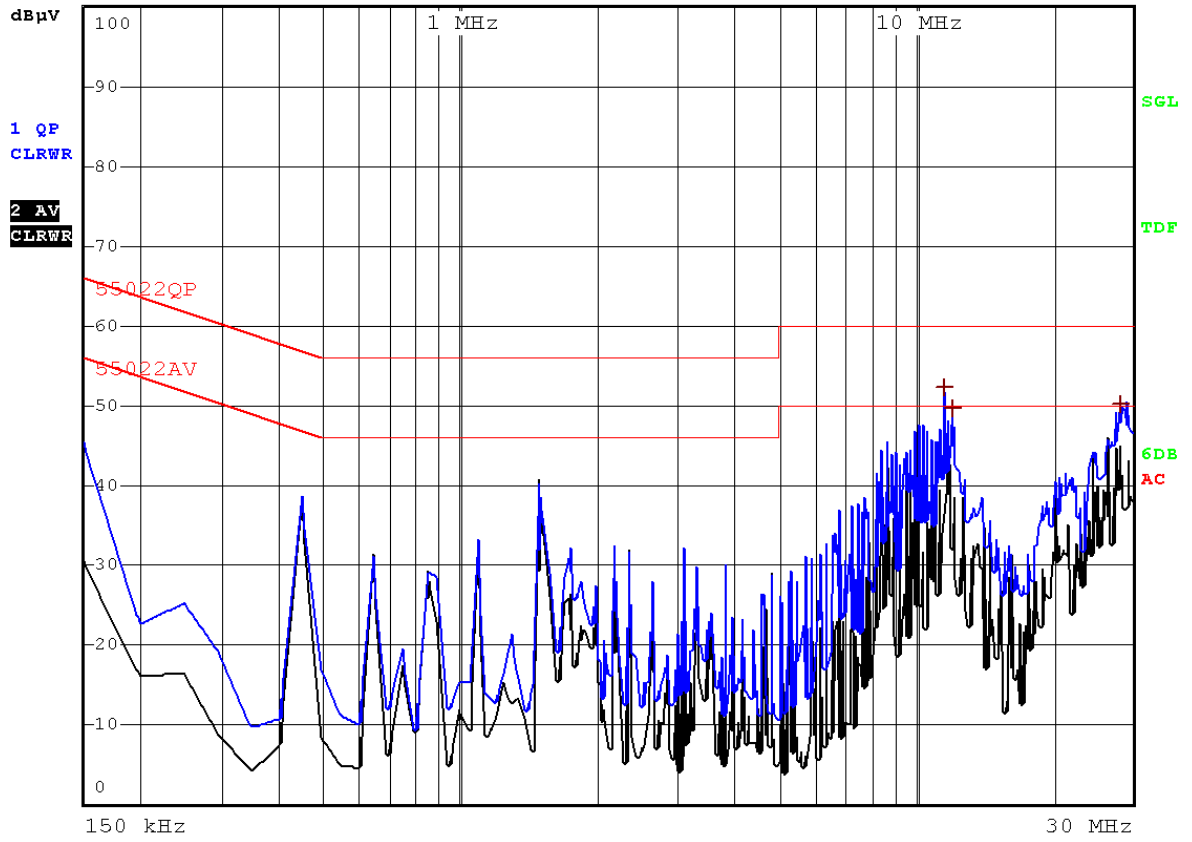
Bu testte, 0,15 - 30 MHz arasındaki spektrumdaki DGC'nin şebekeye verdiği gürültü değerleri kaydedildi. Ölçüm line ve notr'de yapıldı.



CE  
17.Nov 09 10:58

RBW 9 kHz  
MT 1 s

Att 10 dB AUTO PREAMP OFF

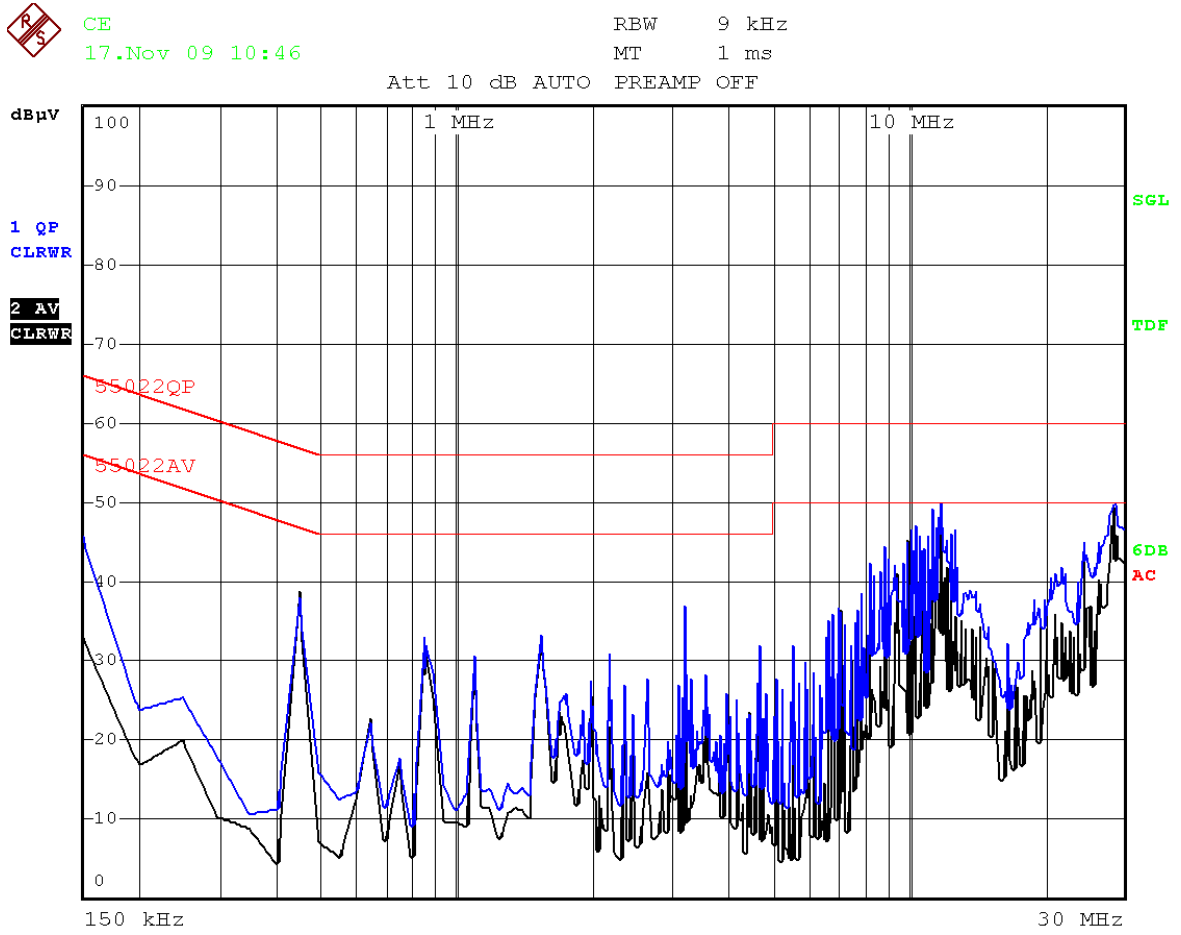


AGK LINE TAM YUK ALTINDA

Date: 17.NOV.2009 10:58:24

Şekil 65. CE line testi





AGK NOTR TAM YUK ALTINDA

Date: 17.NOV.2009 10:46:57

Şekil 66. CE nötr testi

Yapılan ölçümlerde, referans alınan kriterlere göre AGK testten geçti. Grafiklerde mavi ile gösterilen Quasi Peak, siyah ile gösterilenler ise Average değerleridir. Grafikteki referans maskelerde dB (desibel) değerlerine göre test sonucu değerlendirilir. Yapılan teste yönelik resim aşağıda verilmiştir.



Şekil 67. CE deneyi

### 2.3.7. RF Alanlar Tarafından Endüklenen İletilen Bozulmalara Karşı Bağışıklık Deneyi (CI, Conducted Immunity)

Çevre koşulları: 22,2 °C, % 30 RH, 900 mbar

Test kurulumu: DGC'nin besleme uçları, CDN cihazına bağlandı. DGC ekranlı odada referans toprak düzlem üzerinden 10cm yükseklikteki ahşap masa üzerine yerleştirildi.

Test kurulumunu 61000-4-6 standardına göre şekil 68'deki gibi hazırlandı. İletimle bozulmalar için gerekli sinyaller uygulandı.

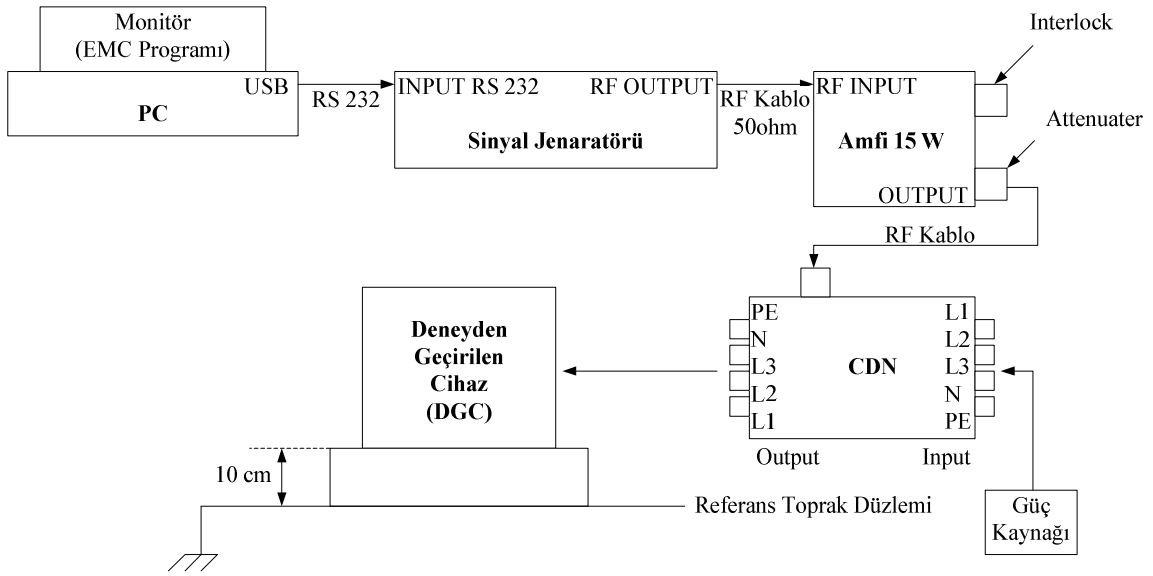
Alan şiddeti: 3 V/m

Frekans aralığı: 0,15 MHz – 80 MHz

Modülasyon: AM % 80 genlik, 1 kHz sinüs

Frekans adımı: % 1 adımlarla, 2 sn bekleme süresi

Performans kriteri: A



Şekil 68. CI test düzeneği

Şebekeden alınan enerji CDN üzerinden DGC'ye verilir. CDN iletim yoluyla DGC'ye bozucu sinyaller uygulanır. Yapılan bu testte DGC'de işlev kaybı ya da bozulma gözlenmedi. Teste ait resim aşağıdaki gibidir.



Şekil 69. CI deneyi

### 2.3.8. Işıyan, Radyo Frekans, Elektromanyetik Alan Bağışıklık Testi (RI, Radiated Immunity)

Çevre koşulları: 22,3 °C, % 28 RH, 900 mbar

Test kurulumu: DGC, yansımaz odada yerden 80 cm yükseklikte ahşap masa üzerine yerleştirilip, 220 VAC gerilimle beslendi. Test kurulumunu 61000-4-3 standardına göre şekil 71'deki gibi hazırlandı. Anten yatay ve dikey konumdayken, DGC dört yönde çevrilerek test edildi.

Frekans aralığı: 80MHz – 1000MHz

Alan şiddeti: 3 V/m

Anten – DGC arası uzaklık: 3 m

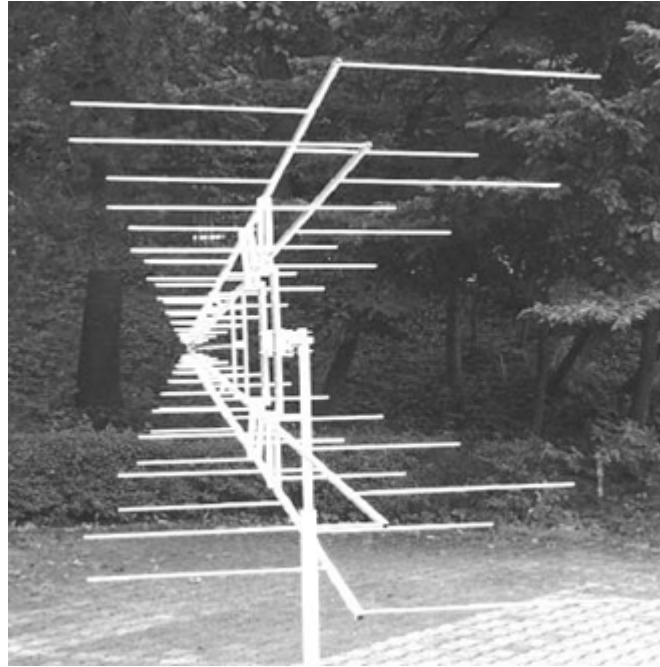
Modülasyon: AM % 80 genlik, 1 kHz'lik sinüs

Frekans adımı: % 1 adımlarla, 2 sn bekleme süresi

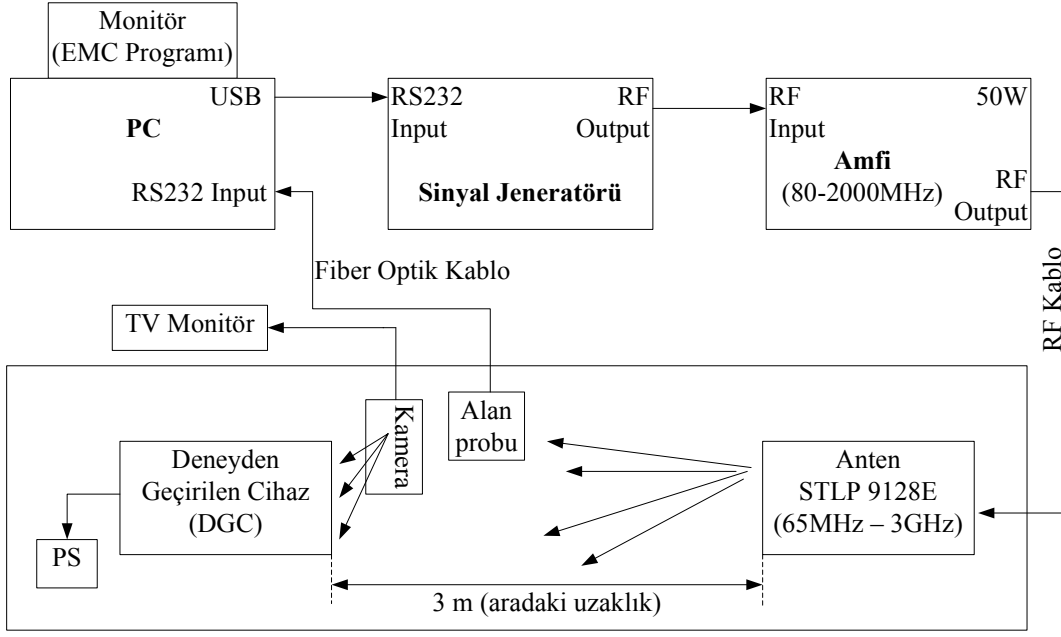
Anten polarizasyonu: Yatay ve dikey

Performans kriteri: A

Deneyde aşağıda verilen anten kullanılmıştır.

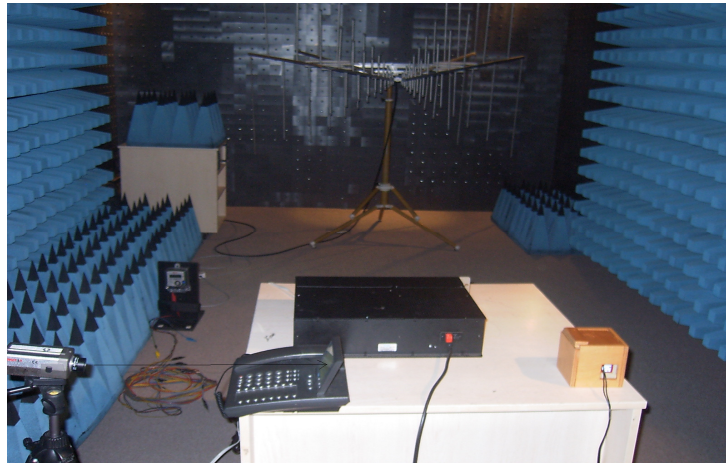


Şekil 70. E Stacked double log. per. antenna

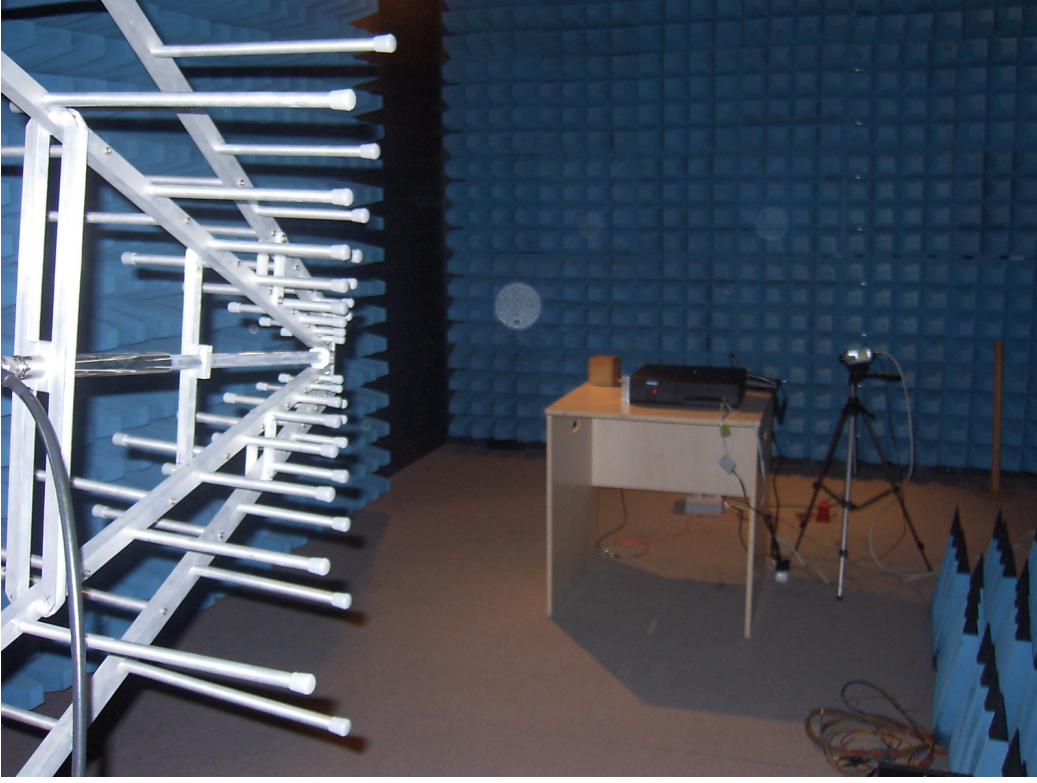


Şekil 71. RI test düzeneği

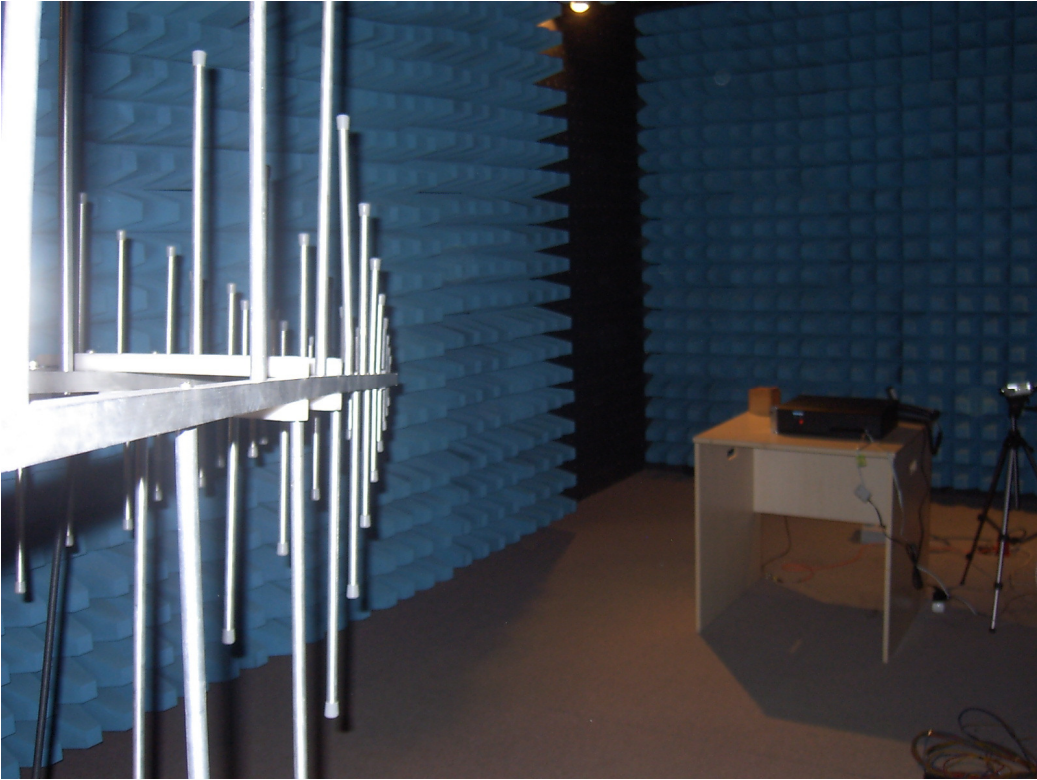
Yapılan bu testte DGC'deki işlev kaybı ya da bozulmayı gözlemleyebilmek için, santralin sayısal abone kartı ile hybrid kartı çıkışlarına telefonlar bağlandı. Test ortamında, sayısal (lcd ekranlı) telefonu bırakıldı, dışarıya da basit telefonu çıkartıldı. Telefonlar görüşme sırasında standardın belirlediği şekilde ölçümler alındı. AGK'da test sırasında oluşabilecek bozulmalar için test ortamında lcd ekranlı telefonun ekranın görebilecek şekilde kamera yerleştirildi. Test sonunda AGK'da işlev kaybı ya da bozulma gözlenmemiştir. Teste ait resimler aşağıdaki gibidir.



Şekil 72. RI test ortamı



(a) Anten dikey



(b) Anten yatay

Şekil 73. RI testi

### 2.3.9. Gerilim Dalgalanmaları ve Kırpışma

Çevre kurulum: 21,4 °C, % 28 RH, 900 mbar

Test kurulum: DGC'nin güç kablosu Harmonics 1000 cihazına bağlandı. Santral kısmındaki slotlara kartlar takıldı. Abone kartına 2 (iki) adet telefon bağlanıp, görüşme kurulup, test başlatıldı.

Limit Koşulları:

Kısa süreli kırpışma: 1.00

Bağlı sürekli durum gerilim değişimi: % 3.30

En büyük bağlı gerilim değişimi: % 4

Testte kullanılan harmonics 1000 cihazı aşağıdaki resimde verilmektedir.



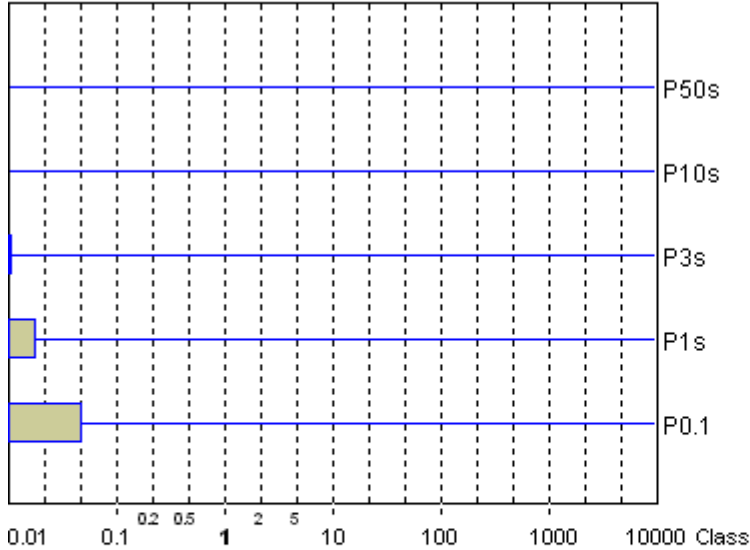
Şekil 74. HAR1000 EMC-partner

Yapılan flicker (kırpışma) deneyine ait veriler aşağıdaki gibidir.

Flicker Emission - IEC 61000-3-3 , EN 61000-3-3 , (EN60555-3)  
EMC PARTNER AG, SWITZERLAND

HARCS Setup File : [unnamed](#)  
HARCS Report File : [unnamed](#)

Flickermeter 1000-4-15 for 230V/50Hz



**Actual Flicker (Fli): 0.00**

**Short-term Flicker (Pst): 0.08**

Limit (Pst): 1.00

**Long-term Flicker (Plt): 0.08**

Limit (Plt): 0.65

**Maximum Relative Volt. Change (dmax): 0.00%**

Limit (dmax): 4.00%

**Relative Steady-state Voltage Change (dc): 0.00%**

Limit (dc): 3.30%

**Maximum Interval exceeding 3.30% (dt): 0.00ms**

Limit (dt>Lim): 500ms

**Flicker Emission - IEC 61000-3-3 , EN 61000-3-3 , (EN60555-3)**

20.11.2009 12:31:38

Urms = 230.1 V P = 29.67 W  
Irms = 0.185 A pf = 0.698

Range: 0.5 A  
V-nom: 230 V  
TestTime: 120 min (10000%)

**Test completed, Result: PASSED**

HAR-1000 EMC-Partner

Full Bar : Actual Values  
Empty Bar : Maximum Values  
Circles : Average Values  
Blue : Current , Green : Voltage , Red : Failed

## Measurement

Date : 20.11.2009 12:31:38

V4.14

Urms = 230.1V Freq = 50.052 Range: 0.5 A  
Irms = 0.185A Ipk = 0.451A cf = 2.441  
P = 29.67W S = 42.53VA pf = 0.698

Test - Time : 12 x 10min = 120min ( 10000 %)  
LIN (Line Impedance Network) : L: 0.24ohm +j0.15ohm N: 0.16ohm +j0.10ohm  
Limits : Plt : 0.65 Pst : 1.00  
dmax : 4.00 % dc : 3.30 %  
dtLim: 3.30 % dt>Lim: 500ms  
Test completed, Result: PASSED

Şekil 75. Flicker test sonucu



Yapılan teste ait resim aşağıda verilmiştir.



Şekil 76. Flicker deneyi

AGK'nın bağlı olduğu santrale tüm kartlar takıldığında AGK'dan çekilen güç 30 W civarında olduğu için harmonik testi yapılmamıştır. Harmonik testi 75 W'ın altındaki cihazlara uygulanmamaktadır.

### 2.3.10. Sistem Performansı Değerlendirime

Deneyden geçirilen cihazın, tabi olduğu standarda göre genel yayılım ve zorlamalara karşı bağışıklığı ölçülür. Deney çıktılarına göre sistem performansı olumlu ya da olumsuz sonuçlanır.

Yayılım testleri havadan yapılan yayılımın ölçülmesi ve iletken üzerinden olmak üzere test edilir. Sistemlerin genelde yayılım emisyonu ölçümlerinde yaptığı yayınımlara göre, sistemdeki hızlı lojikler, kristal, osc ve yüksek hızlı sinyalleşmeler referans alınarak değerlendirilir. Yayılım karakteristiğinde genelde yayınıma neden olan işaretin çift katlarındaki harmonikleri gözlenir. Yayılımın bastırılması için işaretlerin baskılı devre

kartlarında uygun şekilde olması gerekir, yine cpu, lojik grubu vb. cihazların power hatları üzerine ilgili malzemenin çekeceği akım değerinin üzerindeki bir değerde ferit bead yerleştirilmelidir. En iyi yöntemlerden biri hızlı işaretlerin özellikle çok katlı bdk'lerde tek hatla (kırınım yapılmadan) taşınması ve uygun şekilde sonlandırılmasıdır. Yine çok katlı bdk'lerde hızlı işaretlerin toprak hatları arasında (sandviç) taşınması yayılım performansı için olumlu sonuç verebilir. Bunların yanında kristallerin gövdelerinin topraklanması, sistemlerin mümkünse metal bir kabinet için ekranlama etkinliği iyi yapılmış şekilde yerleştirimi yine performansı olumlu etkileyecektir.

Sistem yayılımı ya da ortamdaki yayınıma karşı sistemin göstereceği performans ölçümleri yankısız odalarda gerçekleştirilir. Yankısız oda modellemesi 3 m, 5 m ve 10 m olmak üzere yapılabilmektedir. Yapılan çalışma 3 m bir yankısız oda da gerçekleştirilmiştir ve oda özelliği ışınan yayılım (radiated emissions) ve ışınan bağışıklık (radiated immunity) ölçmelerinin çeşitli uluslararası standartlara göre tam uyumlu olarak yapılması için gereken deney ortamını sunacak yapıdadır.

Genel olarak bir yankısız oda, belirli bölgeleri ya da tümü RF Yutucu malzemelerle kaplanmış RF Ekranlı bir odadan oluşur; çeşitli deney ve ölçmelerin gerçekleştirilmesinde kullanılır. Panashield odaları tipik olarak Panabolt modüler ekranlama sistemiyle yapılandırılırlar. EMC yankısız deney odaları, elektrik/elektronik cihazların, EN 50147 Kısım 2 / ANSI C63.4 / EN55022 / EN61000-4-3 gibi çeşitli uluslararası standartlara ve çeşitli CISPR belgelerine göre, ışınan yayılım (radiated emissions) ve ışınan bağışıklık (radiated immunity) deneylerinden geçirilmesinde kullanılırlar. Yankısız odalar aynı zamanda MIL STD 4612E, DO 160 ve DEF STD 59-41 gibi askeri ve havacılık standartlarına uygun EMC deneyleri için de tasarlanırlar. EMC uygulamaları için kullanılan RF yutucular, ya 1 GHz'in üzeri kullanım için uyumlu hibrid yutucularla birleştirilmiş ferrit plakalardan, ya da karbon yüklenmiş sünger tabanlı, genellikle piramit ya da prizma biçimli rezistif yutuculardır. Serbest Uzay Odaları (Free Space Chambers), anten diyagramı, radar kesit alanı ( RCS (radar cross section)), uçuş benzeşimi (flight simulation) v.b uygulamalar için 'serbest uzay' ortamı oluşturmak amacıyla kullanılırlar. Bu tip odalar RF yutucu malzemeyle tümüyle kaplanır; boyutları gerekli sessiz bölge (quiet zone) başarımı ve ölçme frekansına göre belirlenir [25]. 3 metre EMC yankısız odası, ışınan yayılım (radiated emissions) ve ışınan bağışıklık (radiated immunity) ölçmelerinin çeşitli uluslararası standartlara göre tam uyumlu olarak yapılması için gereken deney ortamını sunar. Bu kanıtlanmış tasarım, ANSI C63.4 ve EN50147 Kısım 2 (yayılım)

standartlarında belirtilen +/-4 dB NSA düzeyini sağlayan ölçülmüş değerlere sahiptir; aynı zamanda EN61000-4-3 (bağışıklık) standardına da tam uyumludur. Bu odalar kendiliğinden ayakta duran yapıya sahiptir; kullanışlı Panabolt modüler panolu RF ekranlama sistemiyle yapılır ve yüksek ekranlama verimliliği sağlar.

Tipik Boyutlar: 8.7 m uzunluk x 6 m genişlik x 5.1 m yükseklik (Yükseltilmiş yansıtıcı toprak düzlemiyle 5.4 m)

Frekans Aralığı: Yayılım 30 MHz - 18 GHz / 40 GHz

Standard Özellikleri:

- Kendiliğinden ayakta duran yapı
- Tek kanatlı RF ekranlı kapı (1200 en x 2100 mm yüksekliğinde), ya da
- İki kanatlı RF ekranlı kapı (1800 en x 2100 mm yüksekliğinde)
- İki N tipi konnektörle birlikte, iki adet konnektör panosu
- Dört adet dalgakılavuzu açıklık 300 x 300 mm
- 30 A güç şebeke süzgeci
- Her bir aydınlatma noktası için 5 A süzgeç
- Topraklama için saplama

Yutucular:

- Duvarlar ve tavan ferrit yutucularla kaplanır.
- Bağışıklık ölçmeleri için anten ve EUT arasında bir bölgeye bir miktar ferrit yutucu yerleştirilir.
- EUT tarafındaki duvar tümüyle hibrit yutucularla kaplanır.
- Duvar ve tavanın kritik bölgeleri hibrit yutucularla kaplanır.
- Tabandaki ferritlerin üzerine hibrit yutucular yerleştirilir

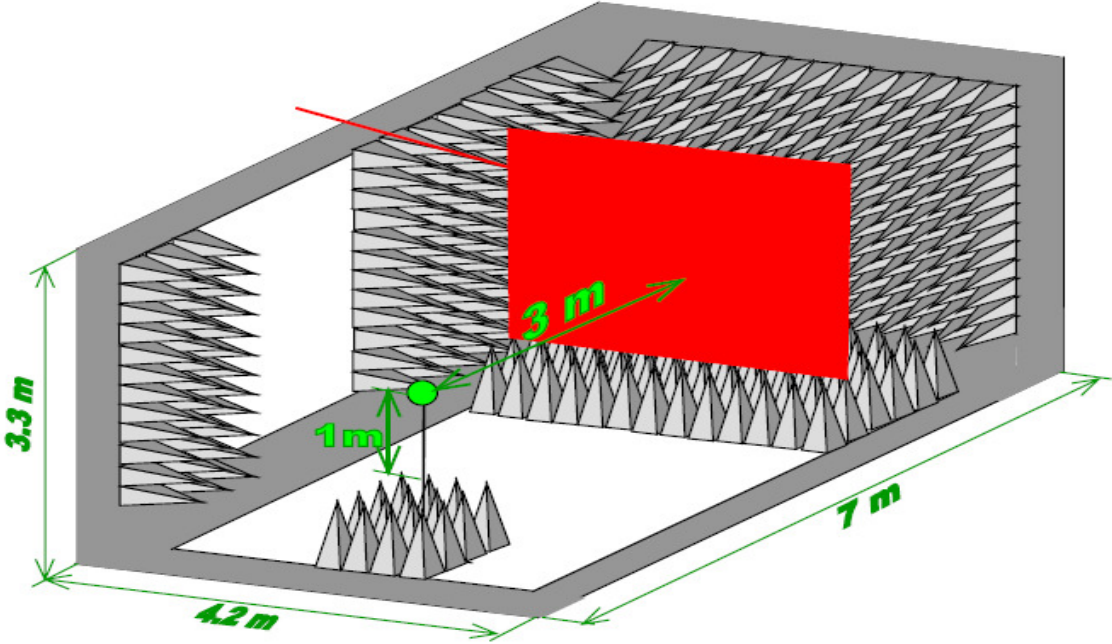
Tipik Seçenekler:

- RF ekranlı kontrol odası ve yükselteç odası seçeneği
- Daha geniş RF ekranlı kapı
- Yükseltilmiş toprak düzlemi döşeme
- Tümleşik dönertabla, 1.5 m, 2 m ya da daha büyük
- Yüksekliği ayarlanabilen anten direği
- Fiber optik bağlantılı ikili kontrol cihazı
- CCTV izleme sistemi
- Ek süzgeçler

- RF ekranlama verimliliğinin ölçülmesi
- Alan Düzgünlüğünün (field uniformity) EN 61000-4-3'e göre ölçülmesi
- Normalleştirilmiş bölge zayıflamasının (normalised site attenuation) EN50147-2 / ANSI C63.4'ye göre ölçülür.

Tipik Standartlar:

- EN 50147-Kısım 2
- ANSI C 63.4-2000 SAE
- EN55011 / CISPR 11
- EN55016 / CISPR 16
- EN55024 / CISPR 22
- EN / IEC 61000-4-3
- Çeşitli standartlar



Şekil 77. Yankısız Oda Modelleme [24]

Şekil 77’de yayılım bağışıklığı ölçümlerinde kullanılabilecek bir 3 m yankısız odaya ait modelleme bilgileri verilmektedir.

Yankısız odalarda kullanılan yutuculardan kesik piramit RF yutucu, özellikle düşük frekans uygulamaları için geliştirilmiştir; tipik olarak endüstriyel ve askeri standartlara

göre yayılım ve bağıklık ölçmelerinde kullanılacak EMC deney odalarının tasarımı sırasında kullanılır [25].

Tablo 4. Yutucu Özellikleri [25]

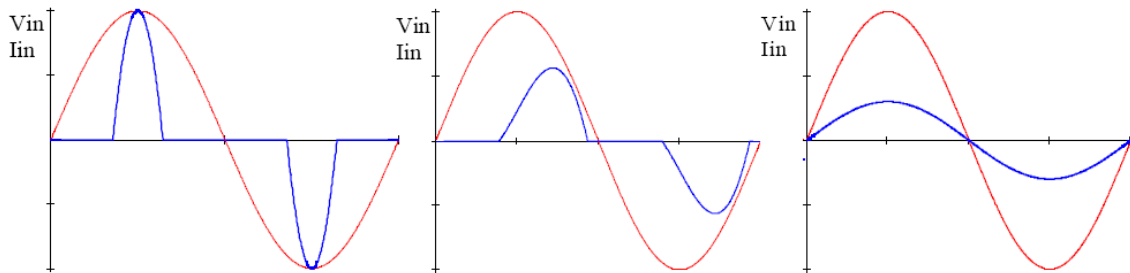
Ağırlık (kg)	Yutucu Derinliği (mm)	Yansıtıcılık				
		80 MHz	250 MHz	500 MHz	1000 MHz	10.000MHz
7.7	510	-8 dB	-22 dB	-35 dB	-38 dB	< -40 dB
15.9	760	-15 dB	-27 dB	-27 dB	-40 dB	< -40 dB

İletim yolu yayılımı genelde güç katındaki enerjinin kaynağına geri dönüşünde karşılaşılan problemdir. Bunun için, güç katının giriş kısmında emi filtrelemenin yapılması önem kazanır. Bu filtreler genel yapısı itibari ile zorro tip filtreler olarak bilinir ve standart dergerlerde kullanılırlar. Temelde bu filtreleme için aşağıdaki bağlantılar kullanılmaktadır.

ESD'ye karşı sistemin performansı için özel ESD diyotlar tercih edilmelidir.

Burst, surge gibi ani darbelere karşı sistemin hataya girmemesi için ani darbe koruyucusu olarak varistörler kullanılmalıdır.

Harmonik hat akımını azaltmak için çeşitli yöntemler kullanılır, en genel kullanılanlar giriş hat filtresi, pasif komponent kullanımı ve aktif elektronik devrelerdir. Harmonik akımı azaltmak için kullanılan pasif elemanlar (kapasitör ve enüktans) aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bir iyileştirme yapar. Harmonik hat akımını azaltmada kullanılan aktif elektronik devreler giriş voltajına eklenerek orantılı olarak bir elektronik ekipmanın giriş akımını şekillendirir böylece hat voltajı içinde sinüsoidal bir giriş akımı verilir. İlgili elektronik devre güç faktörü düzeltme (PFC) devresi olarakda bilinir aslında güç faktörü düzeltme doğru bir ifade değildir ama harmonik hat akımı için özdeşleşmiştir. Harmonik hat akımını azaltmak için kullanılan pasif komponentler pasif PFC olarak bilinir [26].



Şekil 78. Harmonik hat akımı azaltılmamış giriş akımı, pasif olarak harmonik hat akımı azaltılmış giriş akımı ve aktif olarak hat akımı azaltılmış giriş akımı [26]

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ürün grubunun dahil olduğu standartlara yönelik EMC ölçümleri yapılmıştır. Testler, sistemin yayılım analizi ve zorlamalara karşı bağışıklığı konusunda fikir vermiştir. Ayrıca test verilerinin sistemin EMC açısından olumlu sonuçlar vermesi CE deklarasyonu için de önem arz etmektedir.

1. EMC ölçümlerinin sistemin EMC performansı açısından ne durumda olduğu konusunda net bir fikir verebilmesi için testlerin birçoğu Akredite edilmiş bir laboratuvar ortamında alınmalıdır.
2. EMC performansı açısından yapılan testlere yönelik RE ve CE gibi yayılım bozulması testleri genelde en çok sorun yaşanan testler olmasına rağmen sistemin yayılım bozulmalarına karşı iyi tasarlandığı gözlenmiştir.
3. EMC testlerinde RE ve CE gibi çok sık sorun yaşanan diğer testler ESD, Surge ve Burst testleridir. Bu testler sistemin göstereceği bağışıklığı ölçmeye yönelik yapılır. Test sonucundaki gözlemler sistemin ani darbelere karşı bağışıklığının iyi olduğunu göstermiştir.

#### 4. ÖNERİLER

1. Bu çalışmada, test edilecek birimin tabi olduğu standarda göre EMC ölçümleri yapılmıştır. Sonuçların doğru bir fikir verebilmesi açısından test kurulumunun standardın belirlediği şekilde olması önemlidir.
2. RE, RI gibi yansız odada yapılacak testler için sadece test ölçüm cihazlarının değil aynı zamanda odanın da düzenli olarak kalibrasyonu yapılmalıdır. RE testlerine başlamadan önce, antenin hem yatay hem de dikey polarizasyonunda, boş oda testi yapılmalıdır. Bu sayede, cihazın yayını hakkında daha doğru sonuçlar alınabilir.
3. RE testi, deneyden geçirilen cihazın 30 MHz'den 1 GHz'e kadar olan frekans spektrumundaki yayını ölçmek için yapılır. Bu testlerde, yayına neden olabilecek cpu, osc, hızlı lojikler vb. için yayını yapacağı frekanslara göre uygun filtrelemeler yapılması EMC performansı açısından önemlidir.
4. Yüksek frekanslı sinyallerin taşındığı durumlarda, baskılı devre kartlarının çok katlı olması EMC performansı açısından önemlidir. Bu ve benzeri yapıya sahip baskılı devre kartlarında sinyallerin ara katlarda olması (sandviç), toprak hatlarının üst ve alt katlara alınması EMC performansını iyileştirebilir.
5. CE testleri güç hattı üzerinden sistemin şebekeye verdiği gürültüyü ölçmek için uygulanmaktadır. Güç kaynağı giriş kısmında EMI filtreleme tekniği, malzeme yerleşimi, güç kablosunun yerleşimi CE performansını iyileştirmede önemlidir. Bu nedenle güç kablosunun sinyallerin taşındığı kartlardan uzakta olması gerekir.
6. Burst, surge gibi ani yükselmelere karşı sistemin göstereceği bağışıklık testleri için ani darbe elemanı olarak kullanılan varistörler önemlidir.
7. Sistem ESD'ye havadan ya da bağlaştırma düzlemlerinden maruz kalır. Havadan boşalmaların en çok yalıtkan yüzeylerden sisteme bozucu etkisi olduğu için, sızıntıyı önleyecek önlemlerin alınması performansta etkili olabilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. EN 55022, Information Technology Equipment - Radio Disturbance Characteristics – Limits of Methods of Measurement, CISPR 22:2005 modified, European Standard, September 2006.
2. IEC 61000-3-2, Limits for Harmonic Current Emissions for Electronic Equipment, 2001.
3. IEC 6000-3-3, Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low Voltage Supply System for Equipment, 2002.
4. EN 61000-4-2, Electromagnetic Compatibility – Part 4-2: Testing and Measurement Techniques – Electrostatic Discharge Immunity Test, February 2005.
5. EN 61000-4-3, Electromagnetic Compatibility – Part 4-3: Testing and Measurement Techniques – Radiated, Radio – Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test, 2002.
6. EN 61000-4-4, Electromagnetic Compatibility – Part 4-4: Testing and Measurement Techniques – Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test, April 2006.
7. EN 61000-4-5, Electromagnetic Compatibility – Part 4-5: Testing and Measurement Techniques – Surge Immunity Test, 2001.
8. EN 61000-4-6, Electromagnetic Compatibility – Part 4-6: Testing and Measurement Techniques – Immunity to Conducted Disturbances, Induced by Radio – Frequency Fields, November 2005.
9. EN 61000-4-8, Electromagnetic Compatibility – Part 4-8: Testing and Measurement Techniques – Power Frequency Magnetic Field Immunity Test, April 2004.
10. EN 61000-4-11, Electromagnetic Compatibility – Part 4-11: Testing and Measurement Techniques – Voltage Dips, Short Interruptions and Voltage Variations Immunity Tests, October 2006.
11. Arı, G., AB Uyum Sürecinde Teknik Mevzuat Uyumu Elektronik Ürünlerde Uygunluk Değerlendirmesi, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Ankara, Haziran 2005.
12. Sevgi, L., EMC ve Kouma Yöntemleri: I – Ekranlama, Doğuş Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliğı Bölümü, İstanbul, 2004.
13. Sevgi, L., EMC ve Antenler: I – Tanımlar, Doğuş Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliğı Bölümü, İstanbul, 2005.



14. Sevgi, L., EMC ve Koruma Yöntemleri: III – Filtreler, Doğu Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2004.
15. Sevgi, L., EMC ve Koruma Yöntemleri: IV – Kablo ve Konnektörler, Doğu Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2004.
16. Sevgi, L., EMC ve Devre Elemanları, Doğu Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2005.
17. Dural, G., EMC/EMI, ODTÜ, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Ankara, 2008.
18. L. Sevgi, F. Akleman, L.B. Felsen, “Electromagnetic Wave Propagation in Guiding Environments: Modeling and Simulation” (a half day short course) 2003 IEEE AP-S International Symposium & USNC/CNC/URSI National Radio Science Meeting, June 22-27, 2003, Columbus, Ohio, USA.
19. Paul, Clayton R., Electromagnetic Compatibility, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, 2006.
20. Brown, M., Power Supply Cookbook, Second Edition, Newnes, Boston, 2001.
21. Ozenbaugh, Richard L., EMI Filter Design, Second Edition, Marcel Dekker, Inc., California, 2001.
22. Brown, M., Practical Switching Power Supply Design, MOTOROLA, Series in Solid State Electronics, Academic Press. Inc., San Diego, 1990.
23. Anonim, Push-Pull Topolojili Anahtarlama Güç Kaynağı Şeması, KAREL A.Ş., Ankara, 2009.
24. Mazanek, M., Klepal, M., Pechac, P. and Polivka, M. Anechoic and EMC Chamber –Modelling, Design, Testing  
[http://www.aws.cit.ie/personnel/mklepal/PastPapers/ICAP2000\\_Chamber.pdf](http://www.aws.cit.ie/personnel/mklepal/PastPapers/ICAP2000_Chamber.pdf)  
29 Nisan 2009
25. <http://www.esenel.com/index.php?page=p-05#Kesik> 22 Ocak 2010.
26. [http://www.epsma.org/pdf/PFC%20Guide\\_April%202005.pdf](http://www.epsma.org/pdf/PFC%20Guide_April%202005.pdf) 12 Kasım 2009.
27. [http://www.eee.metu.edu.tr/~design/emc\\_arcelik.pdf](http://www.eee.metu.edu.tr/~design/emc_arcelik.pdf) 17 Mart 2009.
28. [http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/EMC\\_YAZI/emc\\_tbd.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/EMC_YAZI/emc_tbd.pdf) 20 Nisan 2009.
29. [http://www.nilufer.bel.tr/kentsaglik/2\\_gun%5Csalon\\_b%5Cchamid\\_ramiz.pdf](http://www.nilufer.bel.tr/kentsaglik/2_gun%5Csalon_b%5Cchamid_ramiz.pdf) 21 Nisan 2009.
30. [http://www.etmd.org.tr/teknikkutuphane/ls\\_emc1.pdf](http://www.etmd.org.tr/teknikkutuphane/ls_emc1.pdf) 15 Mart 2009.
31. Sevgi, L., EMC ve Antenler: II –Anten Faktörü, Doğu Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2005

## ÖZGEÇMİŞ

Melek KAZANCI 1983 yılında Trabzon'da doğdu. İlk öğrenimini Gazipaşa İlköğretim Okulunda, Orta öğrenimini Zehra Kitapçıoğlu İlköğretim Okulunda ve Lise öğrenimini Affan Kitapçıoğlu Lisesi'nde yaptı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans Programı'na başladı ve 2006 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programı'na başladı. KAREL A.Ş.'de Donanım Destek ve Test Mühendisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.