

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİR TRAKTÖR İÇİN EMC UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Mühendisi Mustafa ÇETİNEL

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR TRAKTÖR İÇİN EMC UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Mühendisi Mustafa ÇETİNEL

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ


Bu tez 02/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ

Jüri Başkanı


Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU

Üye


Y. Doç. Dr. İhsan PEHLİVAN

Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın deneysel bölümleri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) bünyesindeki Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde (UME) gerçekleştirilmiştir. UME, ülkemizde yapılan ölçümleri güvence altına alan ve bu ölçümlerin uluslar arası sisteme entegrasyonunu sağlayan bir kurumdur.

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması süresince her türlü yardım ve fedakârlığı gösteren, değerli fikirleriyle beni her zaman destekleyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım saygıdeğer hocam Sn. Prof. Dr. Osman ÇEREZCi'ye, TÜBİTAK-UME'de yapılan test ve ölçüm uygulamaları sırasında her türlü konuda yardımlarını gördüğüm UME Elektromanyetik Metroloji Laboratuvarı EMC birimi çalışanı Sn. Osman ŞEN'e ve diğer UME çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anne ve babama, çalışmalarım esnasında gösterdiği sabırdan ve desteğinden dolayı sevgili eşim Dr. Gökçen ÇETİNEL'e, varlığıyla bana her zaman huzur ve mutluluk veren biricik kızım Elif Buse'me sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mustafa ÇETİNEL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK VE STANDARTLAR.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. EMC' ye Genel Bakış.....	6
2.2.1. EMC'nin tanımı ve özellikleri.....	6
2.2.2. Temel kavramlar ve tanımlar.....	7
2.2.3. EMC'nin tarihçesi.....	9
2.2.4. Türkiye'de EMC'nin tarihçesi.....	10
2.2.5. EMC problemine geçmişten örnekler.....	11
2.3. Bilgi Casusluğu ve TEMPEST.....	13
2.4. Elektromanyetik Girişim Kaynakları.....	15
2.4.1. Doğal kaynaklar.....	15
2.4.2. Yapay (insan yapısı) kaynaklar.....	17
2.5. EMC ve Standartlar.....	21
2.5.1. EMC kuruluşları.....	22

2.5.2. EMC standartları.....	24
BÖLÜM 3.	
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TEST VE ÖLÇÜMLERİNDE	
TEMEL FAKTÖRLER.....	26
3.1. Giriş.....	26
3.2. EMC’de Yayınım, Bağışıklık ve Alınanlık Kavramları.....	27
3.3. Pratikte Kullanılan EMC Birim ve Büyüklükleri.....	28
3.4. EMC Test ve Ölçüm Ortamları.....	30
3.4.1. Açık saha test alanı (ASTA).....	32
3.4.2. Özel odalar.....	34
3.4.2.1 Yansımaz ve yarı-yansımaz odalar.....	35
3.4.2.2 Ekranlı odalar.....	38
3.4.3. Hücreler.....	40
3.4.3.1 TEM hücreleri.....	40
3.4.3.2 GTEM hücreleri.....	43
3.5. EMC Test ve Ölçümlerinde Kullanılan Cihazlar.....	44
3.5.1. EMI alıcıları ve dedektör tipleri.....	46
3.5.2. Sinyal kaynağı.....	47
3.5.3. Güç amplifikatörü.....	48
3.5.4. LISN (Hat Empedansı Sabitleme Ağı).....	49
3.5.5. EMC antenleri.....	50
3.5.5.1 Anten faktörü –AF.....	51
3.5.5.2 Verici anten faktörü –TAF.....	52
BÖLÜM 4.	
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TEST VE ÖLÇÜMLERİNİN	
GERÇEKLENMESİ.....	54
4.1. Giriş.....	54
4.2. Yayınım (Emisyon) Test ve Ölçümleri.....	56
4.2.1. Yayınım test düzeneği ve konfigürasyonu.....	57
4.2.2. İletkenlik yollu yayınım ölçümleri.....	59
4.2.3. Işınım yollu yayınım ölçümleri.....	63

4.2.3.1. Bir dijital uydu alıcısına uygulanan ışınlım yolu yayınım test örneği.....	66
4.3. Bağışıklık (Duyarlılık) Test ve Ölçümleri.....	68
4.4. Ölçümlerde Hata Analizi.....	73
BÖLÜM 5.	
OTOMOTİVDE EMC TEST VE ÖLÇÜM UYGULAMALARI.....	75
5.1. Giriş.....	75
5.2. Kapsam ve Tarifler.....	75
5.3. Özellikler ve Ölçüm Yöntemleri.....	78
5.3.1. Genel özellikler.....	78
5.3.2. Araçlardan ışınan genişbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler.....	78
5.3.3. Araçlardan ışınan darbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler.....	81
5.3.4. Araçların elektromanyetik ışınmaya karşı bağışıklıklarını ölçme yöntemi ve ilgili özellikler.....	83
5.3.4.1. Test sırasında araç durumu.....	84
5.3.4.2. Test şartları (frekans aralığı, uygulanma süreleri, polarizasyon).....	85
5.3.4.3. Kalibrasyon ve gerekli alan şiddetinin oluşturulması.....	86
5.3.5. ESA'lar tarafından ışınan genişbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler.....	87
5.3.6. ESA'lar tarafından ışınan darbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler.....	88
5.3.7. ESA'ların elektromanyetik ışınmaya karşı bağışıklıklarını ölçme yöntemi ve ilgili özellikler.....	90
5.3.7.1. Genel test şartları ve yöntemleri.....	91
5.3.7.2. Özel test şartları ve yöntemleri.....	92
5.4. Bir Traktöre Uygulanan EMC Test ve Ölçümleri.....	94
5.4.1. Bir traktöre uygulanan ışınmaya karşı bağışıklık testi.....	94
5.4.1.1. Ön hazırlıklar ve kalibrasyon işlemi.....	94

5.4.1.2. Test işleminin gerçekleştirilmesi.....	97
5.4.1.3. Traktörde gözlenen fonksiyonlar ve aksamlar.....	99
5.4.1.4. Test sonucu.....	99
5.4.2. Bir traktöre uygulanan ışınımla yayılım testi.....	100
5.4.2.1. Darbant ışınımla yayılım testi.....	101
5.4.2.2. Genişbant ışınımla yayılım testi.....	105
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR.....	109
KAYNAKLAR	112
EK A. EN TİPİ STANDARTLAR VE KAPSAMA ALANLARI	114
ÖZGEÇMİŞ.....	117

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ac	: Alternatif Akım
AF	: Anten Faktörü
ALSE	: Soğurucu Astarlı Kılıflı Muhafaza
AM	: Genlik Modülasyonu
ASTA	: Açık Saha Test Alanı
BCI	: Yığın Akım Enjeksiyon
BEM	: Biyoelektromanyetik
CB	: Halk Bandı
CE	: Avrupa Normlarına Uygunluk
CENELEC	: Elektroteknik Normalizasyon Avrupa Komitesi
CISPR	: Comite International Special des Perturbations RadioElectriques
COMPUSEC	: Bilgisayar Güvenliği
COMSEC	: Haberleşme Güvenliği
dB	: Desibel
dc	: Doğru Akım
EFT	: Hızlı ve Yüksek Seviyeli Darbeler
EM	: Elektromanyetik
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	: Elektromanyetik Girişim
EMP	: Elektromanyetik Darbe
EN	: Avrupa Normu
ERP	: Yayılan Etkin Güç
ESA	: Elektrik/Elektronik Alt Tertibat
ESD	: Elektrostatik Deşarj

EUT	: Test Altındaki Cihaz
FCC	: Ulusal Haberleşme Komisyonu
GHz	: Gigahertz
GTEM	: Gigahertz Enine Elektromanyetik
ICNIRP	: Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
INFOSEC	: Bilgi Güvenliği
ISO	: Uluslararası Standartlaşma Kurulu
LISN	: Hat Empedansı Sabitleme Ağı
MHz	: Megahertz
kHz	: Kiloherz
NSA	: Normalize Saha Zayıflatması
PM	: Faz Modülasyonu
RF	: Radyo Frekansı
RFI	: Radyo Frekans Girişimi
SCR	: Silikon Kontrollü Doğrultucu
SMES	: Süperiletken Manyetik Enerji Depolama Sistemi
STU	: Ayrık Teknik Ünite
TAF	: Verici Anten Faktörü
TEM	: Enine Elektromanyetik
TLS	: İletim Hat Sistemleri
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TYO	: Tam Yansız Oda
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
VSWR	: Gerilim Duran Dalga Oranı
YYO	: Yarı-yansız Oda

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Elektromanyetik Girişim Kaynakları.....	15
Şekil 2.2.	EMP çalışmalarında kullanılan test darbesinin profili.....	18
Şekil 2.3.	Arka plandaki elektromanyetik ışımanın eğilimi.....	20
Şekil 2.4.	Uluslararası EMC kuruluşları ve bağlı komiteler.....	22
Şekil 3.1.	EMC Test ve Ölçümleri.....	27
Şekil 3.2.	Dikdörtgen kesitli dalga kılavuzu.....	31
Şekil 3.3.	Mükemmel iletken rezonatör.....	31
Şekil 3.4.	Tipik açık alan (ASTA) ölçüm ortamı.....	33
Şekil 3.5.	Tipik bir yansımaz oda.....	36
Şekil 3.6.	Yansımaz oda prensibi ve minimum gerekler.....	37
Şekil 3.7.	Yansımaz malzemeli ekranlı özel oda konfigürasyonu.....	40
Şekil 3.8.	Tipik TEM hücrelerinin çeşitli konfigürasyonları.....	41
Şekil 3.9.	Tipik bir TEM Hücresi.....	42
Şekil 3.10.	Tipik bir GTEM hücresinin fotoğraf ve diyagramı.....	44
Şekil 3.11.	Tipik bir bilgisayar kontrollü ölçüm düzeni.....	45
Şekil 3.12.	Tipik bir LISN Devresi.....	50
Şekil 4.1.	Bir otomobile yapılan ışıyan emisyon EMC.....	55
Şekil 4.2.	Bir otomobile yapılan EMC testi.....	55
Şekil 4.3.	Tipik bir EMC yayılım test düzeneği.....	58
Şekil 4.4.	Masaüstü donanımların yayılan ve iletilen emisyonlar için test konfigürasyonu.....	58
Şekil 4.5.	CISPR ve FCC için iletim yollu yayılım limitleri.....	59
Şekil 4.6.	EN 61000–6–3 standartlarına göre iletim yollu yayılım test düzeneği.....	60
Şekil 4.7.	İletim yollu yayınımlar için test konfigürasyonu (masaüstü sistemler için).....	61

Şekil 4.8.	İletim yollu yayınımlar için test konfigürasyonu (zeminde duran cihazlar için).....	62
Şekil 4.9.	Işınım yollu yayınım limitleri (FCC ve CISPR'a göre).....	64
Şekil 4.10.	Uyumluluk ölçüm prosedürü.....	65
Şekil 4.11.	Yansımasız odada ışınan emisyon ve bağışıklık testleri için temel kurulum.....	69
Şekil 4.12.	İletim yollu bağışıklık test düzeneği.....	70
Şekil 4.13.	EFT test düzeneği.....	71
Şekil 4.14.	ESD test düzeneği.....	72
Şekil 4.15.	EMC ölçümlerinde sonuçlarının değerlendirmesi.....	73
Şekil 5.1.	72/245/AT Yönetmeliğinin elektrikli/elektronik alt tertibatlarla (ESA) uygulanabilirliği.....	76
Şekil 5.2.	95/54/EC-Araç-anten mesafesi 10m.de araçtan ışınan genişbant emisyon sınırı.....	79
Şekil 5.3.	95/54/EC-Araç-anten mesafesi 3m.de araçtan ışınan genişbant emisyon sınırı.....	80
Şekil 5.4.	95/54/EC-Araç-anten mesafesi 10m.de araçtan ışınan darbant emisyon sınırı.....	82
Şekil 5.5.	95/54/EC-Araç-anten mesafesi 3m.de araçtan ışınan darbant emisyon sınırı.....	83
Şekil 5.6.	95/54/EC- ESA'dan ışınan genişbant emisyon sınırı.....	88
Şekil 5.7.	95/54/EC- ESA'dan ışınan darbant emisyon sınırı.....	89
Şekil 5.8.	75/322'ye göre ışınımına karşı bağışıklık kalibrasyon test düzeneği.....	95
Şekil 5.9.	Bir traktöre uygulanan ışınımına karşı bağışıklık test düzeneği...	97
Şekil 5.10.	Testte kullanılan saf sinüs işareti AM (genlik modülasyonu)....	97
Şekil 5.11.	Bir traktöre uygulanan ışınımına karşı bağışıklık testi.....	98
Şekil 5.12.	Bir traktörün ön paneli ve göstergeleri.....	99
Şekil 5.13.	Bir traktöre uygulanan ışınım ile yayınım test düzeneği.....	101
Şekil 5.14.	Işınım ile yayınım testinde anten yüksekliği ve traktör-anten mesafesi.....	102
Şekil 5.15.	Darbant ışınım ile yayınım ölçüm değerlerinin limit değerleriyle karşılaştırılması.....	104

Şekil 5.16.	Bir traktöre sağ taraftan uygulanan genişbant ışınlama yayılım testi.....	106
Şekil 5.17.	Genişbant ışınlama yayılım ölçüm değerlerinin limit değerleriyle karşılaştırılması.....	108

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Frekans bantları tablosu.....	19
Tablo 3.1.	EMI Alıcısı ve Spektrum Analizörünün karakteristik özellikleri ve karşılaştırılması.....	46
Tablo 4.1.	Yayınım ölçümlerinde bant genişlikleri ve ölçüm süresi.....	57
Tablo 4.2.	EMI alıcısının dijital uyduya yapılan ışıınım yollu yayınım testinde kaydettiği değerler.....	67
Tablo 4.3.	CISPR-16 ışıınım yollu yayınım için elektrik alan limit değerleri.	68
Tablo 5.1.	Araç genişbant referans sınırları (10 metre için).....	79
Tablo 5.2.	Araç genişbant referans sınırları (3 metre için).....	80
Tablo 5.3.	Araç darbant referans sınırları (10 m. için).....	82
Tablo 5.4.	Araç darbant referans sınırları (3 m. için).....	83
Tablo 5.5.	İşımaya karşı bağışıklık testi için test şartları ve başarısızlık kriterleri.....	85
Tablo 5.6.	ESA'dan ışıınan genişbant emisyon sınırı.....	88
Tablo 5.7.	ESA'dan ışıınan darbant emisyon sınırı.....	89
Tablo 5.8.	Traktöre uygulanan işıınıma karşı bağışıklık test bilgileri.....	95
Tablo 5.9.	Traktöre uygulanan işıınımla yayınım test bilgileri.....	100
Tablo 5.10.	Ortamdan yayılan darbant yayınım gürültü ölçüm sonuçları.....	102
Tablo 5.11.	Traktörden yayılan darbant elektromanyetik işıınımların ölçüm sonuçları.....	103
Tablo 5.12.	Ortamdan yayılan genişbant yayınım gürültü ölçüm sonuçları....	105
Tablo 5.13.	Traktörden yayılan genişbant elektromanyetik işıınımların ölçüm sonuçları	106
Tablo EK A.1.	EN tipi standartlar ve kapsama alanları.....	114

ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik Uyumluluk, CE, bağışıklık, yayınım, otomotiv, yarı-yansız oda.

Günümüzde elektronik cihaz kullanımının hızla artmasından ve bu nedenle elektrikli ve elektronik cihazlarının birbirine yakın ve bir arada çalışmak zorunda olmalarından dolayı Elektromanyetik Uyumluluk (EMC), ülkeler açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Bu elektromanyetik karmaşa içerisinde cihazların, birbirini ve insan sağılığını bozmadan çalışabilme gerekliliğı EMC konusunun önemini arttırmaktadır.

EMC, istenmeyen işaretin yayınıını ve istenmeyen işarete karşı bağışıklığı içerir. Her cihaz, hem yayınım hem de bağışıklık koşullarını sağılamak zorundadır. Avrupa Birliğı (AB), elektromanyetik uyumluluk çalışmalarına seneler önce başlamış ve bu konuda standartlar geliştirmiştir. Tam üye olmayı hedeflediğimiz AB'nin 1992 yılında başlattığı yasal elektromanyetik uyumluluk düzenleme çalışmaları, dört yıllık bir geçiş sürecinden sonra 1996 yılında zorunlu hale gelmiştir. Bu tarihten sonra AB pazarına girecek her elektrikli ve elektronik ürün veya cihaz EMC markası CE'yi taşımak zorundadır.

Bu çalışmada, temel olarak EMC, EMC kavramları ve EMC standartları anlatılmıştır. Daha sonra EMC test ve ölçümlerindeki temel faktörlerden bahsedilerek EMC test ve ölçümlerinin gerçekleştirilmesi açıklanmıştır. Test ve ölçümlerde referans alınan limit değerleri, tablo ve grafiklerle gösterilmiştir. Son olarak, otomotivde EMC test ve ölçümlerinin ilgili standartlara göre nasıl gerçekleştirildiğı anlatılmıştır. Uygulama kısmında ise, bir traktöre TÜBİTAK-UME'deki yarı-yansız odada ışınım karşı bağışıklık ve ışınım yayını testleri uygulanmıştır. Test sonuçları, standartta belirtilen kıstaslarla ve sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır.

EMC APPLICATION FOR A TRACTOR

ABSTRACT

Keywords: Electromagnetic Compatibility, CE, immunity, radiation, automotive, semi-anechoic room.

Nowadays, electromagnetic compatibility (EMC) has gained importance for countries due to increasing usage of electronic devices and consequently necessity of running together or in close range of these devices. In this electromagnetic chaos, requirement of operating without harming each other and human health for electronic devices increases the importance of EMC issue.

EMC includes radiation of undesired signals and immunity against undesired signals. Every instrument has to comply with both radiation and immunity conditions. European Union (EU), started to work on electromagnetic compatibility several years ago and has developed European standards on this subject. Compatibility regulation works which were started in 1992 by EU, a union that Turkey wants to be a member, became obligatory for EU members in 1996 after a transition period for four years. After that, every electrical and electronic device or equipment to enter European market has to have CE mark of EMC.

In this study, EMC and EMC concepts also EMC standards were introduced basically. Then, main parameters of EMC tests and measurements were given and performing of EMC tests and measurements were explained. Reference limit values for tests and measurements were shown in tables and figures. Finally, performing tests and measurements according to relevant standards for automotive sector was described. In the application section, immunity against radiation and radiated emission tests have been applied to a tractor in the semi-anechoic room of TÜBİTAK-UME. Furthermore, test results have been compared with limit values and criterias defined in relevant standard.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknolojinin çok hızlı ilerlemesinden, kullandığımız elektrikli ve elektronik cihazlara her geçen gün bir yenisinin eklenmesinden, özellikle cep telefonları abone sayısının 64 milyona yaklaşmasından, bilgisayar işlemci hızlarının yükselmesinden, özel radyo ve televizyonların sayılarının artmasından, kullandığımız bu gibi elektriksel ve elektronik cihazlarının birbirine yakın ve bir arada çalışmak zorunda olmalarından dolayı elektromanyetik bir karmaşanın oluşması kaçınılmazdır. Bu karmaşa içerisinde cihazların, birbirini ve biz insanların sağlığını bozmadan çalışabilme gerekliliği Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) konusunun önemini ortaya çıkarmaktadır.

EMC, cihazın ürettiği girişimi belirli sınırlar içerisinde tutarken cihazı belirli miktarda elektromanyetik girişime (EMI) bağışık hale de getirecek şekilde, cihazın çalışması ve tasarımı ile ilgili bir bilim ve mühendislik dalıdır. EMC, elektriksel kaynaklarla çalışan hemen hemen tüm cihazları kapsadığından oldukça geniş bir faaliyet alanına sahiptir. Uygulamada, mühendislik sistemlerinin tümü güç koşullama ve bilgi işleme birimleri içerdiğinden EMC'nin kapsamındadır. İlgilenilen frekans sahası doğru akımdan ışığa kadar uzanır ve bu spektrumun belirli bölümlerinde, cihazı EMI'ye bağışık hale getirmek ve yayını (emisyon) kontrol etmek için uluslararası bir düzenleme sistemi kurulmuştur.

Avrupa Birliği (AB), elektromanyetik uyumluluk çalışmalarına seneler önce başlamış ve bu konuda standartlar geliştirmiştir. Tam üye olmayı hedeflediğimiz AB'nin 1992 yılında başlattığı yasal elektromanyetik uyumluluk düzenleme çalışmaları, dört yıllık bir geçiş sürecinden sonra 1996 yılında zorunlu hale gelmiştir. Bu tarihten sonra AB pazarına girecek her elektriksel ve elektronik ürün veya cihaz EMC markası, CE'yi (Avrupa Normlarına Uygunluk) taşımak zorundadır. CE markası taşıyan ürünler ilgili standartlarca öngörülen koşulları sağlamış demektir. Bu

marka hem üretici hem de tüketici açısından ürünün güvenilirliğini ifade etmektedir. Türkiye bir Avrupa Birliği üyesi ülke olmayı hedeflediği için bu ürün güvenilirliğini sağlamak ve korumak durumundadır. Bu nedenle Türkiye’de Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından, 30.12.2006 tarihli 26392 sayılı resmi gazetede “Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliği (89/336/AT)” çıkarılmıştır [1, 2].

EMC konusu yeni bir alan değildir. Radyonun ilk günlerinden bu yana, hem tasarımcılar hem de dinleyiciler gürültüye, girişime ve duyma problemlerine karşı uyarılmışlardır. Ancak, radyo haberleşmesinin, sayısal sistemlerin ve hızlı işlemcilerin kullanımının artması, yeni tasarım uygulamalarının ortaya çıkması EMC’yi tasarımda ön plana çıkarmıştır. Üç teknolojik eğilim bu değişiklikler için hızlandırıcı olmuştur. İlk olarak, modern sayısal mantık ve işaret işleme, elektronik valflara (birkaç yüz voltluk) dayalı eski teknolojilere kıyasla nispeten düşük eşik voltajlarına (birkaç volt) dayalıdır. İkincisi, daha yüksek işleme hızı arayışı sürecinde uzun mesafeler boyunca ışınımsal mekanizmalar vasıtasıyla yayılım özelliğine sahip, yüksek frekanslarda önemli miktarda enerji sağlayan daha düşük darbe-yükselme zamanları kullanılmıştır. Üçüncüsü, cihazların modern fiziksel tasarımının metale tercihen giderek plastik kullanımına dayalı hale gelmesidir. Bu, tam-metal bir kabine özgü elektromanyetik ekranlamayı önemli miktarda azaltır. Bu listeye EMC problemlerine katkıda bulunan minyatürleştirme ve kompakt tasarım eğilimi gibi çeşitli maddeler eklenebilir. Cihazın doğru bir şekilde çalışması ve uluslararası EMC yönetmeliklerini karşılaması için tasarımın tüm aşamalarında EMC’ye önem verilmelidir.

EMC’ye farklı iki açıdan yaklaşılabilir. İlk olarak, tasarım yapılmadan cihazın elektromanyetik imzasını öngörmek için tam bir EMC çalışması yapılmalı ve harici olarak üretilen girişime karşı dayanıklılığı araştırılmalıdır. Böyle bir çalışma yaparken, gerekli analitik ve nümerik araçlar henüz mevcut olmadığından ve cihazın bulunduğu ortam tam olarak belirlenemediğinden zorluklarla karşılaşmaktadır. İkincisi, bu alanda ortaya çıkabilen herhangi bir problem geçici bir kaynak ile ilgilidir.

Modern tasarımların karmaşıklığından ve EMC'nin sonradan akla gelen ucuz ve kolay çözümleri imkânsızlaştırmasından bu yaklaşımın tehlikeleri açıkça görülmektedir. EMC için dengeli bir yaklaşım, tasarımcılar için mevcut tüm araçları bu alana dahil etmektir. Bu yaklaşım, nümerik araçları, ev-içi pratik uygulamaları ve EMC ile elektromanyetik etkileşimlerin kuvvetli fiziksel kavrayışını kapsamaktadır. Bunlardan hiçbiri tek tek kullanılamaz ve bu nedenle doğru deneyimlerden oluşan takımlar kurmak ve EMC tasarımı için odak oluştururken problem çözümüne yönelik yaklaşım oldukça önemlidir. Uzun yıllardır sayısal tasarımda mühendislik eğitime verilen önem, mezunlar arasında radyo frekans (RF) tasarım konularının kavranmasını tehlikeli derecede düşük seviyelere indirmiştir. Bu nedenle, EMC farkındalığını pekiştirilmesi ve akademik ve endüstriyel alanda temel RF tasarım tekniklerinin kavranması daha önemli hale gelmiştir.

EMC; elektrik, elektronik ve mekanik olmak üzere tasarımın tüm yönlerini etkileyen bir kavram olarak düşünülebilir. EMC yalıtımda yeterince ele alınmaz. Tipik olarak, tam bir tasarım işaret ve güç kabloları üzerinden ve reaktif (kapasitif ve/veya indüktif) veya ışınımsal mekanizmalar üzerinden birbirini etkileyen birden fazla alt sistemden oluşabilir. Sistemin bütününe EMC davranışı, mevcut EMC araştırmalarının bunu başarmak için gerekli yöntem ve araçları geliştirmeyi amaçlamalarına rağmen, davranışı bilinen bir alt sistemden kolayca kestirilemez. Bu zorluklar, şiddetli harici elektromanyetik (EM) tehditler mevcutken yeni ve eski teknolojilerin bir arada kullanıldığı geniş kapsamlı sistemlerde daha çok göze çarpar. Tasarımcı bir cihaz parçası içerisinde çeşitli alt sistemler arasındaki etkileşimden kaynaklanan EMC problemlerini çözmek için her türlü çabayı göstermek zorundadır. Bununla birlikte, EMC problemlerinin büyük çoğunluğunun harici olarak üretildiği görülmektedir. Genellikle farklı kaynaklardan beslenen farklı yapıdaki birçok malzemenin bir araya getirildiği tümleşik bir sistemde EMC problemleri ortaya çıkabilir. Her bir birim belirli EMC sınırlamalarına uymuyorsa ve sistem seviyesinde EM etkileşimlere yeterince özen gösterilmemişse bu problemler çözümleri zor problemler haline gelir.

Bir tasarımcı doğru bir şekilde çalışan bir sistem tasarlarlarken dahili olarak üretilen EMI ile de ilgilenmelidir. Ulusal ve uluslararası standartlarda EMC için kesin sınırlar

belirlenmiştir. Belirli koşullar altında çeşitli ölçümler yapılarak bu sınırlara uyulup uyulmadığı gösterilebilir. Bu testler, cihazdan gelen EMI yayılımını, cihazın harici olarak üretilen girişime karşı alınganlığını ve bağışıklığını ölçer. Bir yayılım testinde standartlara bağılı olarak cihaz ekranlı bir odada ya da açık bir alanda bulunmaktadır ve ölçümler belirli bir frekans sahasında belirli bir bant genişliğine sahip alıcılar kullanılarak belirli bir uzaklıktan yayılmış elektromanyetik alanlardan yaralanılarak yapılır. Mümkün olduğunca tekrarlanabilir bir ölçüm yapabilmek için kullanılan antenin türü ve polarizasyonu da belirlenmelidir. İletkenler üzerindeki EMI voltajını ölçüldüğü iletilen emisyon testinden ayırt etmek için, bu test türü “ışınan emisyon testi” olarak adlandırılır. Her bir durumda ölçülen miktar belirlenen sınırların altında olmalıdır. Bu sınırların seçimi ve test yöntemleri Bölüm 4’te ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Bağışıklık testinde cihaz harici olarak üretilen bir alana ya da iletkenler üzerine yüklenen girişim akımına maruz kalır. Gerek şart cihazın çalışır durumda kalmasıdır. Bu testler geniş bir frekans sahasını kapsayabilir ve cihazın geçişlere ve elektrostatik deşarjlara cevabını kontrol etmek için darbe tipi elektromanyetik işaretler gerektirebilir. Birden fazla çalışma modu içeren karmaşık cihazlar için bağışıklığı göstermek zor olabilir.

Tasarımcı, cihazın farklı kısımlarından gelen EM yayılımının tipini ve harici olarak üretilen bir girişimin sistemin bütününe etkisini tespit etmek zorundadır. Tasarımcı mümkün olduğunca girişim üretimini kaynağında en küçük yapmaya çalışır, ekranlama, filtreleme ve topraklama uygulamaları vasıtasıyla bağlantı yollarını azaltır ya da ortadan kaldırır, doğal EMI bağışıklığına sahip bir donanım tasarlar ve yüksek seviyeli EMI bağışıklığına sahip bir yazılım geliştirmek için koruyucu programlama uygulamaları yapar. Bu seçeneklerden çok azı maliyetsizdir. Çoğu normal çalışma karakteristikleri, hacim, görünüm ve cihaz ağırlığı üzerinde istenmeyen etkiler gösterir. Birbirinden bağımsız oldukça fazla parametreye bağılı böyle bir tasarım problemine optimum bir çözüm bulmak kolay değildir. EMC’de araştırmamanın amacı, en başından hatta tasarımın fikir aşamasında EMC sorunlarının dikkate alındığı ve en az maliyetli mantıklı seçeneklerin bulunduğu, optimum EMC tasarım yöntemlerini mümkün kılan metotlar ve araçlar geliştirmektir.

Bu çalışmada, Bölüm 2’de, EMC ve konuyla ilgili diğer temel kavramlara ait tanımlar verilerek EMC’nin dünyada ve Türkiye’de tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Geçmişte yaşanan EMC problemlerine örnekler verilip EMC’nin önemi irdelenmiştir. EM kirlilikten yararlanma, bilgi casusluğu ve TEMPEST konularından kısaca bahsedilmiştir. Ayrıca, elektronik cihazların performansını bozan doğal ve yapay kaynaklar açıklanmıştır. Bölümün sonunda ise, EMC ile ilgili kuruluşlar tanıtılarak, dünyada ve özellikle Avrupa’da kabul gören EMC standartları hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 3’de yayılım, bağışıklık gibi temel kavramlar kısaca açıklanmış, EMC test ve ölçümlerinde kullanılan birim ve büyüklükler, ilgili denklem ve eşitliklerle gösterilmiştir. Sonrasında, EMC test /ölçüm ortamları ve parametreleri, ayrıntılı biçimde şekillerle açıklanmıştır. Nihayetinde EMC test ve ölçümünde kullanılan cihaz ve sistemler tanıtılmıştır.

Bölüm 4’de, EMC test ve ölçümlerinin gerçekleşmesi çerçevesinde, yayılım ve bağışıklık testleri ve bunlarla ilgili konfigürasyon ve test düzenekleri şekillerle birlikte verilmiş ve test yöntemleri açıklanmıştır.

Bölüm 5’de, 2004/104/EC sayılı Avrupa Birliği Komisyon Direktifinin 72/245/AT Yönetmeliği (Araçlar ve Bir Araca Takılmış Elektrikli/Elektronik Alt Tertibatların Sağlaması Gereken Şartlar) gereğince otomotive ve otomotiv elektrik/elektronik alt tertibatlarına (ESA) uygulanan darbant-genişbant yayılım ve bağışıklık testleriyle ilgili limitler verilmiş ve test yöntemleri açıklanmıştır.

Son olarak, TÜBİTAK-UME (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Ulusal Metroloji Enstitüsü) yarı-yansız odasında bizzat iştirak edilen, bir traktöre uygulanan ışınlama yayılım ve ışınlama karşı bağışıklık test ve ölçümleri anlatılmıştır.

Bölüm 6’da yani sonuç bölümünde ise, bundan sonraki süreçte otomotivde EMC uygulamasıyla ilgili yapılabilecek çalışmalar yer almaktadır.

BÖLÜM 2. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK VE STANDARTLAR

2.1. Giriş

Günümüzde elektronik cihaz kullanımının hızla artması ile haberleşme sektörü için elektromanyetik spektrum tahsisi ve korunması gibi konulardan dolayı EMC, ülkeler açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Çünkü hemen önlem alınmazsa, bu kontrolsüz durum devletler için büyük bir sorun haline gelebilirdi. İşte bu yüzden, çoğu ülke hükümeti, ilgili bakanlıkları aracılığıyla gerekli düzenlemeleri yapma kararı aldı ve nihayetinde EMC standartlarını oluşturma ihtiyacı ortaya çıktı [3].

Bu bölümde EMC ve konuyla ilgili diğer temel kavramlara ait tanımlar verilerek EMC'nin dünyada ve Türkiye'de tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Geçmişte yaşanan EMC problemlerine örnekler verilip EMC'nin önemi irdelenmiştir. EM kirlilikten yararlanma, bilgi casusluğu ve TEMPEST konularından kısaca bahsedilmiştir. Ayrıca, elektronik cihazların performansını bozan doğal ve yapay kaynaklar açıklanmıştır. Bölümün sonunda ise, EMC ile ilgili kuruluşlar tanıtılarak, dünyada ve özellikle Avrupa'da kabul gören EMC standartları hakkında bilgi verilmiştir.

2.2. EMC'ye Genel Bakış

2.2.1. EMC'nin tanımı ve özellikleri

Bir uluslararası elektroteknik kuruluşu olan IEC'in (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) tanımına göre EMC, "Bir sistem veya cihazın içinde bulunduğu elektromanyetik ortamda fonksiyonlarını, bu ortamda telafi edilemez bir elektromanyetik bozulma yapmaksızın yerine getirebilme yeteneği" şeklindedir [4].

Bir EMC probleminde üç unsur bulunur [5].

- 1- Elektromanyetik girişim kaynağı
- 2- Girişimden etkilenen kurban
- 3- Kaynak ile girişimden etkilenen kurban arasındaki girişim yolu

Girişim kaynağı ya da kurban bazen ayırt edilmese bile bu üç unsur bir arada EMC problemini oluşturur. EMC probleminin bir özel hali kurbanın canlı olması durumudur. Bu durumda etkileşim, EM (elektromanyetik) enerji ile canlı dokular arasındadır. Bu etkileşimle ilgilenen dala da özel olarak BEM (Biyoelektromanyetik) adı verilmiştir. EMC mühendisliğinin amacı bu üç unsurdan en az birinin ortadan kaldırmak veya etkilerini en aza indirmek iken BEM mühendisliğinin amacı EM enerjinin canlı dokularda meydana getireceği kısa, orta ve uzun süreli etkilerini incelemek ve en aza indirmek yönündedir.

EMC, cihaz-cihaz etkileşimini göz önüne alır. Elektronik cihazların bir arada, birbirini rahatsız etmeden ve birbirinden en az etkilenererek çalışabilmesi için gerekli düzenlemelerle ilgilenir. Örneğin evlerde kullanılan buzdolabı, fırın, elektrik süpürgesi gibi yüksek akım çeken cihazların şehir şebekesinden enerji çekerken şehir şebekesine gürültü aktarmaması için üreticinin alması gereken önlemleri ayrıntılı olarak sıralar ya da televizyon üreticisine ürünün ne tür etkilere karşı dayanıklı olması gerektiğinin belirtir. Ayrıca, kişisel bilgisayarlardan çevreye istenmeyen sızıntının frekansa ve uzaklığa göre en fazla ne olması gerektiğini belirler ve bunlarla ilgili standartları oluşturur [2].

2.2.2. Temel kavramlar ve tanımlar

Elektromanyetik Girişim: Boş alanda veya sinyal kablolarıyla iletilen, elektriksel ve elektronik sistemde zayıflamaya neden olan; ses, istenmeyen sinyal veya yayınımdır ki bu olay cihaz, alet ya da sistemin performansında, elektromanyetik bozulma sonucu azalma oluşturabilir.

Elektromanyetik Bozulma: Bir cihaz, alet veya sistemin performansını azaltan elektromanyetik bir olaydır. Bir elektromanyetik bozukluk, elektromanyetik gürültü, istenmeyen sistem veya ortam propagasyonundaki bir değişiklikten kaynaklanabilir.

Elektromanyetik Işıma: Akımlar ve yükler tarafından üretilen manyetik ve elektrik alanlara bağlı, tamamıyla kapalı sistemler arasını kapsayan reaktif bir olaydır. Başka bir deyişle; enerjinin, orijinal kaynak kapatılsa bile elektromanyetik dalga olarak uzayda yayılmasıdır.

Elektromanyetik Bağışıklık: Bir cihaz veya sistemin, bant içi emisyonunu da içeren belirli elektromanyetik bozulmalar altında, performans kaybı olmaksızın, tasarlandığı şekilde çalışabilmesidir.

Elektromanyetik Uyumluluk Seviyesi: Belirli durumlarda çalışan bir cihaz veya sistemin çalışmasını etkileyecek maksimum elektromanyetik bozulma seviyesidir.

Bağışıklık Seviyesi: Bir cihaz veya sistemin, gereken bir düzeyde performans gösterebilmesi için gerekli maksimum elektromanyetik bozulma düzeyidir.

Bağışıklık Limiti: Belirlenmiş bağışıklık seviyesidir.

Bağışıklık Sınırı: Bir cihaz veya sistemin bağışıklık limiti ile elektromanyetik uyumluluk arasındaki farktır.

Elektromanyetik Uyumluluk Sınırı: Bir cihaz veya sistemin bağışıklık seviyesinin, referans bozulma seviyesine oranıdır [6].

Elektromanyetik Ortam: Verilen bir konumda mevcut olan elektromanyetik olayların tamamıdır.

Genişbant Emisyon: Belirli bir ölçme cihazı veya alıcının bant genişliğinden daha büyük bir bant genişliğine sahip bir emisyonudur.

Darbant Emisyon: Belirli bir ölçme cihazı veya alıcının bant genişliğinden daha küçük bir bant genişliğine sahip bir emisyonudur.

2.2.3. EMC'nin tarihçesi

Elektromanyetik uyumluk konusu, bir yüzyılı aşkın bir süredir bilinmesine rağmen özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra daha fazla ilgi duyulan bir konu olmuştur. Son yıllarda ise teknolojinin baş döndürücü bir şekilde artmasıyla, kullanılan cihaz veya sistemlerin tamamına yakınının elektriksel veya elektronik olmasından dolayı EMC'ye yoğun bir ilgi vardır. EMC'nin kısa tarihçesi şöyledir:

- (i) 1800'lerin sonlarında Marconi ilk deneylerini gerçekleştirdi.
- (ii) 1900'lerin başlarında Marconi, kablo yardımı ile Atlantik ötesi iletişimi gerçekleştirdi. Fakat az sayıda radyo alıcısı ve vericisi bulunduğu için EMI problemi pek sorun olmadı.
- (iii) 1920'li yıllarda bu konudaki ilk teknik makaleler yayınlanmaya başlandı.
- (iv) 1930'larda motorlar, demiryolları gibi sistem ve cihazlarda Radyo Frekans Girişimi (RFI) önemli bir sorun haline gelmeye başladı.
- (v) 1933'te Uluslararası Elektroteknik Komisyonu, Paris'te yapılan toplantıda Comite International Special des Perturbations RadioElectriques (CISPR)'ı oluşturarak EMI problemleri üzerinde çalışması konusunda tavsiye kararı aldı.
- (vi) 1945 yılında patlak veren II. Dünya Savaşı'nda EMI önemli bir sorun haline geldi. Belki de dünya dengelerini değiştirecek bu hayati savaşta kullanılan savaş uçakları ve teçhizatları ile haberleşmede EMI'den kaynaklanan problemler, EMC konusunun başlangıç noktası oldu diyebiliriz.

(vii) 1950'lerde transistörün, 1960'larda tümleşik devrelerin, 1970'lerde ise mikroişlemcilerin bulunuşu ve hızlı gelişimi EMC problemlerini iyice gün yüzüne çıkardı.

(viii) 1970'li yıllardan sonra gün geçtikçe frekans spektrumu kalabalıklaştı ve frekans planlaması gereği ortaya çıktı.

(ix) Sayısal işaret işleme uygulamalarının yaygınlaşması ve tümleşik devre teknolojinin buna katkıları önemli bir elektromanyetik gürültü kaynağı meydana getirdi. EMI problemleri hızla çoğaldı.

(x) 1979 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), Ulusal Haberleşme Komisyonu (FCC), elektronik cihazlardan yayılıma ilişkin limitlerle ilgili standartlar yayınladı.

(xi) AB, 1992 yılında başlattığı EMC düzenlemelerini 4 yıllık bir geçiş sürecinin ardından 1996 yılında zorunlu hale getirmiştir. Buna göre, artık bir ürün herhangi bir ülkenin EMC koşullarını sağlamıyorsa o ülkede satılamayacaktır [7].

2.2.4. Türkiye'de EMC'nin tarihçesi

AB'nin 1996 yılında aldığı bu karardan sonra Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Nisan 1996'da TS EN 501666-2 Sayı ve "İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması - Yüksek Frekanslar (10 kHz-300 GHz)" başlıklı bir standart yayımlamıştır. Ayrıca TC Çevre Bakanlığı'nın 11 Mayıs 2000 tarihli genelgesi bulunmaktadır. Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.7.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan "10 kHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" ile Türkiye'de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde ICNIRP (Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu) Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca

sınırlama getirilmiştir. Son olarak, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından, 30.12.2006 tarihli 26392 sayılı resmi gazetede “Elektromanyetik Uyumluluk Yönetmeliği (89/336/AT)” çıkarılmıştır.

2.2.5. EMC problemine geçmişten örnekler

Günlük hayatımızda EMC problemlerine birçok örnek vardır. Cep telefonu ile konuşurken televizyonda ya da radyoda gürültü oluşması, evlerde kullanılan elektrik süpürgesi ve saç kurutma makinesi gibi küçük ev aletlerinin televizyon görüntüsünde karlanmaya sebep olması, radyo dinlerken polis telsizlerinin araya girmesi, düşen bir yıldırımın telefon sistemlerine ve evdeki elektronik cihazları çalışamaz duruma getirebilmesi, havaalanı radarlarının dizüstü bilgisayarlarından etkilenmesi gibi daha yüzlerce örnek verilebilir.

Dünyada geçmiş yıllarda basit düzeyden tehlikeli düzeye kadar çok sayıda EMI problemi ile karşılaşmıştır. Muhtemelen çok bilinen örneklerden biri, elektrikli süpürge veya bir dc motor içeren ev aleti çalıştırıldığı zaman, bir televizyon ekranı yüzeyinde oluşan çizgi olayıdır. Bu problem, dc motorun fırçalarında oluşan arklanma yüzündendir. Böylece ortaya çıkan gürültü işareti spektral içerik bakımından çok zengindir ve bu işaretin TV antenine doğrudan ışınması ve aygıtın ac güç kablosu vasıtasıyla evdeki ortak güç şebekesine geçişi ile problem oluşur.

Şubat 1999’da JFK’ ye (John Fitzgerald Kennedy Uluslararası Havalimanı) yaklaşan DC 10 yolcu uçağı neredeyse düşüyordu. 1. sınıf kısmındaki bir CD oynatıcıdan şüphelenildi.

Stanger’daki (Güney Afrika) bir kâğıt fabrikası, 1 MVA’lık değişken hızlı tahrik sisteminde sorun yaşamıştı. 40 ms’den uzun süren % 20’lik bir gerilim çukuru sistemi kapatmak için yeterliydi ve bu durum, sistemin yeniden çalışmaya başlamadan saatlerce önce kapalı kalmasına neden olmaktaydı. Süperiletken Manyetik Enerji Depolama Sistemi (SMES) sistemin kurulmasıyla birlikte, 1997’den beri sistem kapanması meydana gelmemiştir.

Bir uzay gemisi fabrikasında, kurallara uygun şekilde bir kaynakçı çalıştırılmaktaydı. Yakında ise bir yatak fabrikası vardı. Bu fabrikaların birbirinden onlarca metre uzakta olmasına rağmen, kaynakçı bir yatağın yanmasına neden olmuştu [8].

Büro donanımı üreticilerinden biri, bir kopyalama makinesinin ilk prototipini işyerine kurar. İşyerindeki bir idareci, her kopyalama işlemi yapıldığında, koridordaki saatlerin bazen sıfırlandığını veya yanlış gösterdiğini fark eder. Problemin, kopyalama makinesinin regülatör devresindeki Silikon Kontrollü Doğrultucular (SCR) yüzünden olduğu anlaşılır. Bu elemanlar, düzenli bir dc akımı üretmek amacıyla ac akımı kıymak için açılıp kapanırlar. Bu işaretler de, akımdaki ani değişim yüzünden spektral içerik bakımından zenginler ve kopyalama makinesinin ac güç kordonu yoluyla binanın ortak güç hattına bağlanırlar. Bu da saatlerin, bu işaretleri sıfırlama işareti olarak algılamasına yol açar.

Yeni bir otomobil modeli, mikroişlemci kontrollü emisyon ve yakıt izleme sistemine sahip olarak tasarlanır. Otomobilin belli bir caddeden geçerken durduğu şikâyeti yapılır. Bu cadde etrafında yapılan ölçümlerde, yasadışı bir FM radyo vericisi bulunduğu belirlenir. Bu vericiden yayılan işaretler, işlemciye giden iletken tellerle girişime sebep olarak onun çalışmamasına neden olmaktadır.

Bir çekici kamyonun elektronik fren sistemi takılır. Yanından geçen bir otomobildeki bir CB (Halk Bandı) vericisinin açılması, bazen kamyonun frenlerinin kilitlenmesine yol açmaktaydı. Problemin kaynağının CB işaretinin, fren sisteminin elektronik devresiyle girişime sebep olmasıydı. Devrenin ekranlanması problemi çözdü.

Ticari bir havaalanının yakınına büyük bir bilgisayar sistemi kurulur. Rastgele zamanlarda sistemin veri kaybettiği veya yanlış veri depoladığı fark edilir. Problemin, havaalanı gözetleme radarının, bilgisayar merkezinin bulunduğu yeri aydınlatmasıyla eş zamanlı olduğu anlaşılır. Bilgisayar merkezinin geniş bir şekilde ekranlanması ile girişimin önlendiği görülür.

1982'de İngiltere, bir destroyerini, bir Exocet füze yüzünden Falklands Savaşı'nda kaybeder. İngiltere ile haberleşme için kullanılan destroyerin radyo sisteminin, geniş

anti-füze algılama sistemi çalışırken, iki sistem arasındaki girişimi önlemek için anti-füze sistemini geçici olarak kapatılır. Bu sırada karşı kuvvetler tarafından fırlatılan bir Exocet füzesi destroyerin batmasına sebep olur.

1982'den beri ABD ordusundaki Black Hawk (bir saldırı helikopteri) kazalarının çoğuna, (bu kazalarda 22 kişinin öldüğü rapor edilmektedir) radar vericilerine, radyo vericilerine ve muhtemelen bir halk bandı vericisine çok yakın uçuşların sebep olduğunu gerekçe gösterilmiştir. Helikopterin elektronik olarak kontrol edilen uçuş kontrol sisteminin, bu elektromanyetik dalgalara duyarlı olması bu kazaların nedeni olarak değerlendirilmiştir.

1967'de Kuzey Vietnam'da bir ABD uçak gemisinde bulunan uçaklardaki füzelerden biri, istemeyerek harekete geçer ve bir başka uçağa çarpar. Bunun sonucunda, yakıt tankları patlar ve 134 görevli ölür. Problemin sebebinin, geminin yüksek güçlü arama radarının, ekranlanmış bir konnektörün kontakları arasında radyo frekanslı gerilimlerden kaynaklandığı sanılmaktadır [9].

Yukarıda verilen birçok örnekten de anlaşılacağı üzere EMC ve EMI, hayatımızın birçok evresinde karşımıza çıkmaktadır. EMC, günlük hayatta karşımıza çıkan bir konu olduğu gibi, stratejik öneme sahip birçok konuda hayati öneme sahiptir. EMC, özellikle ülke güvenliğini ilgilendiren soğuk ve sıcak savaşlarda, mutlaka göz önüne alınması gereken bir husus olarak ortaya çıkmıştır.

2.3. Bilgi Casusluğu ve TEMPEST

Bilgi teknolojilerine giderek artan bağımlılık yüzünden, haberleşme ve bilişim sektöründe bilgi güvenliği ön plana çıkmıştır. Bugün, internet dünyasının hemen her noktaya ulaşabilmesiyle birlikte bilgi güvenliği can alıcı bir öneme sahip olmuştur. Bilgi ve haberleşme güvenliğine karşı tehditler, kabaca üç başlık altında toplanabilir:

(i) Sisteme yetkisiz giriş, gizlice dinleme, bilgi çalma, casusluk ve TEMPEST (Elektromanyetik kirlilikten yararlanarak elektromanyetik dalgalardan bilgiyi oluşturma) gibi kasıtlı eylemler.

(ii) Bilgi ağı ve haberleşme sisteminin doğal afetler sonucu kısmen ya da tamamen çökmesi.

(iii) Teknolojinin ve malzemenin kötü kullanımı ya da işletme hataları.

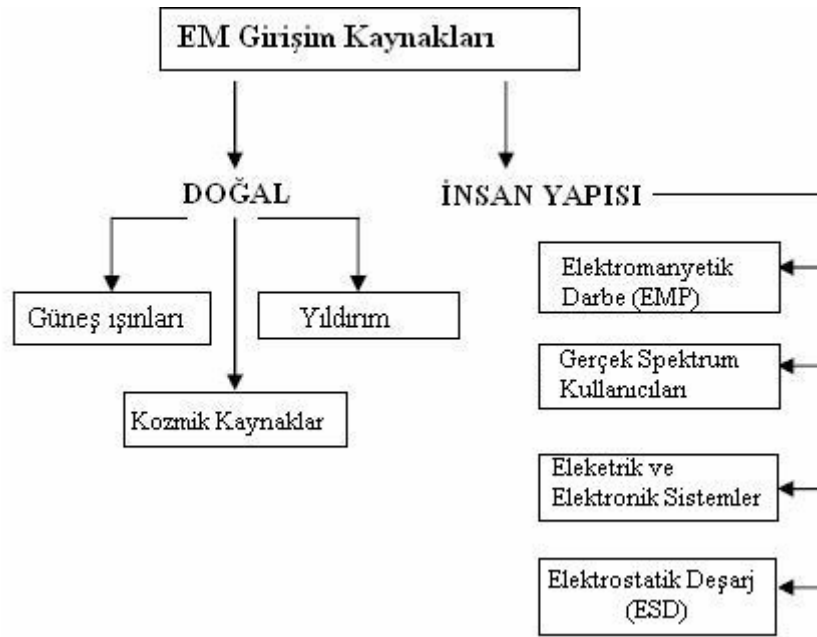
Bu ve benzeri tehditlere karşı alınacak önlemler de değişik başlıklar altında toplanabilir:

Haberleşme Güvenliği (Communication Security – COMSEC) : Bilgi ve haberin iletişim kanallarından güvenli iletimiyle ilgilidir. Bilgisayar sistemine ağ girişleri ve dış dünyaya bağlantı sağlayan noktalarda güvenlik teknolojileri ile ilgilidir.

Bilgisayar Güvenliği (Computer Security – COMPUSEC) : Bilgi ve haberin bilgisayar ortamında oluşturulması ve depolanması sırasında yetkisiz kişilerce erişimin engellenmesine yöneliktir. Daha çok işletim sistemleri ve yazılım güvenlikleri ile ilgilidir.

Bilgi Güvenliği (Information Security – INFOSEC) : İşlenen, depolanan ve gönderilen bilgi ve haber yanında, diğer tüm elektronik sistemlerin de güvenliği ile ilgilidir. (bilgi teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak; haberleşme, yazılım ve donanımların iç içe geçmesi sonucu COMSEC ve COMPUSEC disiplinlerinin birleştirilmesine verilen ad)

TEMPEST: Elektromanyetik kirlilik tartışmalarının bilinmeyen bir yönü de, kirlilikten yararlanmaktır. TEMPEST, geçici elektromanyetik darbe oluşum standardı anlamına gelip, elektromanyetik kirlilikten yararlanma, bilgi casusluğu ve istihbarat temeline dayanır. Mademki, elektronik cihazlar, kablolarından ya da havadan istenmeyen elektromanyetik yayılıma neden oluyorlar, acaba bu yayılım kaydedilerek bilgiye ulaşmak mümkün müdür sorusunun cevabı evettir. Yani uzayda serbest halde bulunan istem dışı yayılmış elektromanyetik dalgaların analizinden bilgi ya da veri elde edilebilir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik Girişim Kaynakları

Tipik bir TEMPEST alıcısının hemen tüm özellikleri, bir spektrum analizörü ya da EMI cihazından çok daha üstün olmak zorundadır. Elektromanyetik sızıntıdan bilgi üretileceği için, geniş bantlı, hassas ve dinamik sınırı yüksek alıcı bir anten ile buna bağlı bir EMI cihazı ve TEMPEST amaçlarına uygun ilave devre ve cihazlarla elektromanyetik dinleme gerçekleştirilebilmektedir [2].

2.4. Elektromanyetik Girişim Kaynakları

Elektromanyetik girişim kaynakları, Şekil 2.1’de olduğu gibi doğal ve insan yapısı olarak başlıca iki gruba ayrılır. Elektrik ve manyetik alanlarda zamana bağlı değişimler oluşturabilecek herhangi bir sistem, elektriksel girişim doğurabilecek bir yapıya sahiptir.

2.4.1. Doğal kaynaklar

Kozmik Kaynaklar ve Güneş Işınları: Güneşteki ışımadan dolayı iyonosferde oluşan değişiklikler, iyonosferik yansımanın değişmesine (2–30 MHz bandları içerisinde) göre, radyo iletişimde ve yine iyonosferik yansımanın değişmesine (150-500 MHz bandları içerisinde) göre, uydu haberleşmesinde problemler

doğurmaktadır. Diğer kozmik kaynakların ışıması ise, geri planda kalır ve 100-1000 MHz aralığında oldukça önemli RF sinyalleri üretir.

Yıldırım: Yüklü bulutlarla yer arasında olan elektriksel boşalmalar, bazı durumlarda ciddi elektriksel girişimlere yol açabilir. Bu yüzden tasarımcıların, cihazların kullanılacağı ülkenin, cihazların yapıldığı kendi ülkesinden daha sık ve şiddetli fırtınaların etkisi altında olabileceğini unutmamaları gerekir. Yıldırım düşmesi sonucu binalarda oluşan fiziki zararlar için geliştirilmiş olan paratoner hattı, elektromanyetik problemleri nadiren engellemektedir.

Yıldırımların doğurduğu elektromanyetik bozulmalar genel olarak üç çeşittir:

(i) Havai bir besleme hattında olduğu gibi, iletkenlere düşen bir yıldırım, bütün sistemlerde ani bir yüklenmeye yol açar. Yıldırımın düştüğü noktaya yakın olan sistemin parçaları, toprağa bağlı olduklarından ve toprağın efektif empedansına (direnç veya endüktans) bağlı olarak 100-200 kV sınırını aşan gerilimlere maruz kaldıklarından, korunmaları zordur. Ayrıca yıldırımlar sonucu oluşan yer akımları, toprak altındaki hatlarla kuplaj yapar.

(ii) Yüklü fırtına bulutlarından dolayı, yer seviyesinde daima 1-10 kV / m seviyesinde bir elektrik alan vardır. Yıldırım düştüğünde, bulutların boşalan bölgelerine göre bu alan çöker ve çevredeki iletkenlerde geçici durumlar endükler. Elektrik alanlarındaki bu değişiklikler, girişim oluşturmalarının ötesinde, oluşabilecek potansiyel tehlikeye sahip fırtınaların belirlenmesinde de kullanılır.

(iii) Boşalma kanalları boyunca ani oluşan akım değişiklikleri, oldukça geniş bandlı (50–100 MHz) RF sinyalleri yayarlar. Bu ışına atmosferik gürültülerin temel kaynağı olduğu gibi, fırtınaların belirlenmesinde de önemli rol oynar.

Yıldırımlar bu yüzden, potansiyel anlamda tehlikeli bir geniş bandlı kaynak olarak kabul edilmekle birlikte; telefonda, güç sistemlerinde, uçaklarda ve geniş yerleşim yerlerine dağılmış bilgisayar sistemlerinde problemler meydana getirmektedir.

2.4.2. Yapay (insan yapısı) kaynaklar:

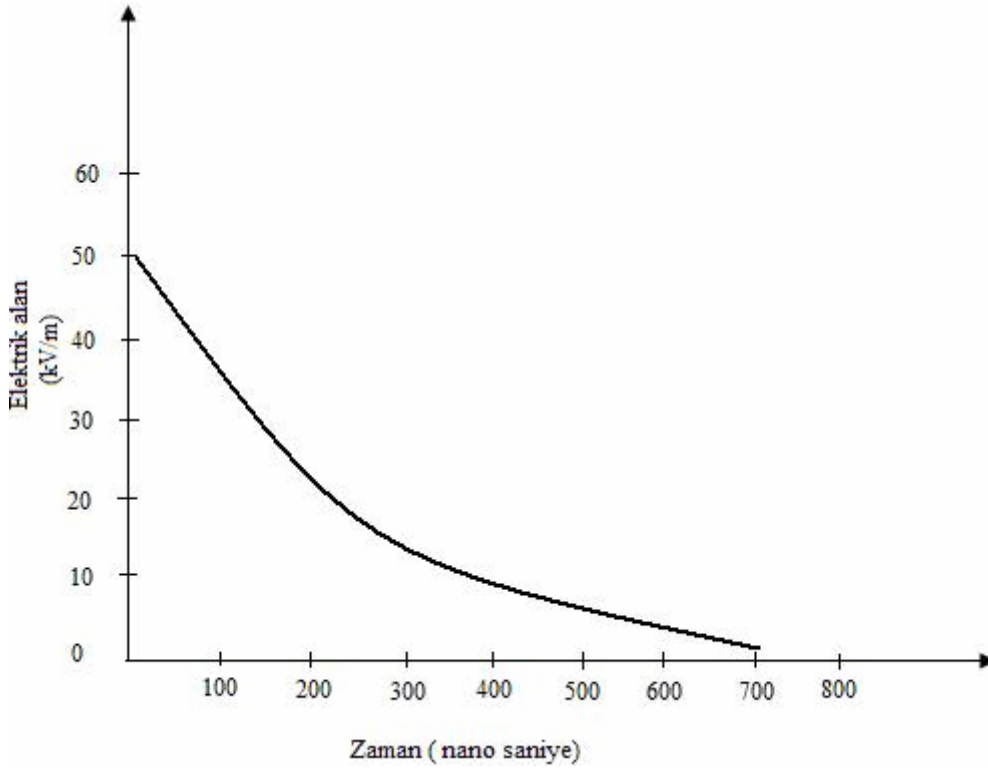
Elektromanyetik Darbe (EMP): Nükleer patlamalara bağlı olan elektromanyetik darbelerdir. Gürültü kaynakları esas olarak askeri sistem tasarımcılarını ilgilendirse de, nükleer olmayan ülkelerde bile ciddi sivil uygulamalar vardır.

Nükleer malzemelerin her patlatılışında çok büyük elektromanyetik darbeler üretilir. Darbenin büyüklüğü ve etkilenen alan eksoatmosferik patlamaların ilgi alanına girer. Örneğin 1962 yılı haziran ayında Pasifik'deki Johnson Adası'nın 250 metre ötesinde patlatılan 1,4 Mega tonluk bir bomba, Starfish adındaki bir deneyin sadece bir parçasıydı ve patlama 3500 mil uzaklıktan dahi algılanabildi.

Atmosferin ötesinde bir patlama gerçekleştirildiği zaman, gama ve X ışınları düz hatlar halinde, atmosferin yoğun akımların bulunduğu üst tabakalarına kadar yayılır. Bu ışınlar iyonizasyon sebebiyle iki farklı yüksekliğe dizilirler. İkincil elektronlar ise, çok büyük radyo kaynakları oluşturan ve ışık hızında akan akımlar doğururlar.

Verilen bir noktadaki gözlenen elektromanyetik darbenin büyüklüğü, patlamada yayılan gamma ve X ışınlarının miktarına, patlamanın ısısına ve ışımanın atmosfere geliş açısına karşı oldukça duyarlıdır.

Radyo kaynağının çapı, birkaç yüz kilometre ve dünya yüzeyindeki elektrik alanlarının değeri ise, 50000 V/m olabilir. Bu denli yoğun alanlar, etkileşimde oldukları iletkenlerde oldukça yüksek akım endükleyebilecekleri gibi, çok ciddi girişimler de doğurabilir. Güç ve iletim ağları gibi sistemler, bu tür olaylar tarafından ciddi şekilde tehdit edilebilirler. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, yükselme zamanı yaklaşık olarak 10 ns olan EMP darbesi kullanılarak yapılan testlerde, sistemlerin bu tür olaylara cevapları tayin edilebilir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da, gerekli enerjinin çok büyük olmasından dolayı bu büyüklükteki bir elektromanyetik alanın, bütün araziye uygulanamayacağıdır.



Şekil 2.2. EMP çalışmalarında kullanılan test darbesinin profili

Gerçek Spektrum Kullanıcıları: Elektromanyetik spektrum, iletişim için geniş olarak kullanıldığından, temel ışıma çevresi, bütün yasal ve yasal olmayan kullanıcıları içerir. Her ülke kendi bünyesinde frekansları tahsis etmiştir. Burada önemli olan, spektrumun tamamı kullanıcılar tarafından yoğun bir şekilde doldurulmuş olduğundan, tahsis edilen frekansların dışına çıkmanın çok ciddi problemler doğurabileceğidir. Cihaz tasarımcıları, bahsedilen kaynaklardan doğan girişimlerin, vericilere çok yakın bulunduğu daha da artacağını unutmamalıdır.

On yıl önce 16-32 MHz işlemci hızına sahip bilgisayarların, 600-900 MHz frekans bölgesinde çalışan bir TV alıcısını veya 2-4 GHz bölgesindeki bir radar alıcısını etkilemesi söz konusu değildi. Oysa bugün 2-4 GHz işlemci hızlarına sahip kişisel bilgisayarların aynı frekansları kullanan cep telefonlarının, askeri ve sivil radarları etkilemesi nedeniyle doğal olarak ciddi EMC önlemleri konuşulmaktadır.

Tablo 2.1. Frekans bantları tablosu

Bant No	Sembol Açıklaması	Frekans Aralığı
4	VLF (Çok Düşük Frekans)	3–30 kHz
5	LF (Düşük Frekans)	30–300 kHz
6	MF (Orta Frekans)	300–3000 kHz
7	HF (Yüksek Frekans)	3–30 MHz
8	VHF (Çok Yüksek Frekans)	30–300 MHz
9	UHF (Ultra Yüksek Frekans)	300–3000 MHz
10	SHF (Süper Yüksek Frekans)	3–30 GHz
11	EHF (Ekstra Yüksek Frekans)	30–300 GHz
12		300–3000 GHz

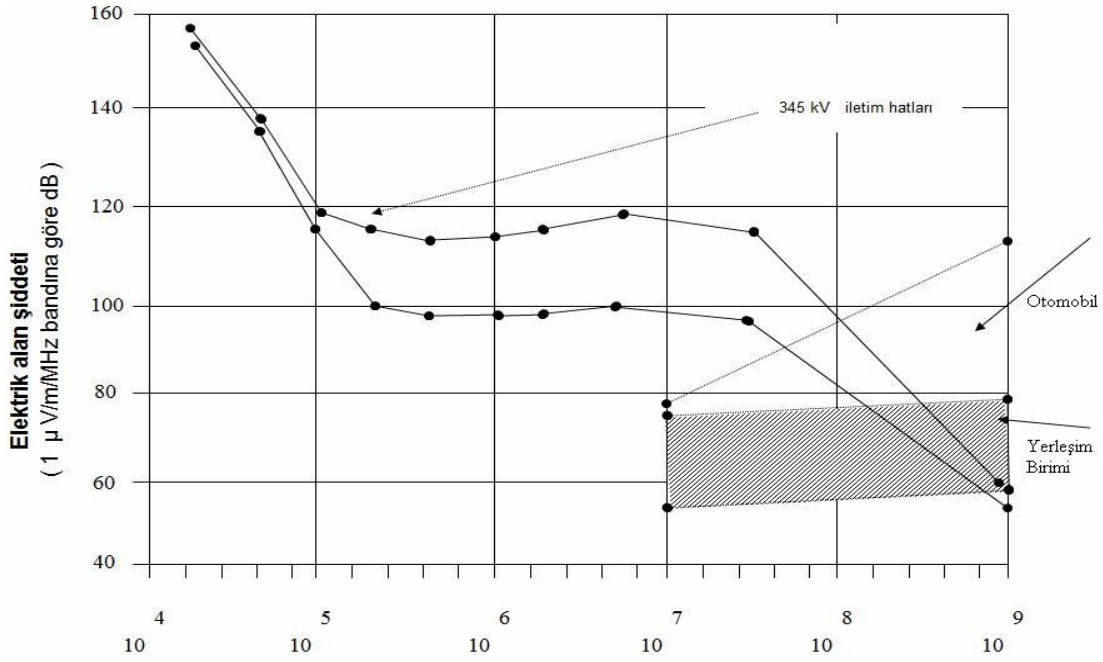
2 Temmuz 2009 tarihli 27276 sayılı Resmi Gazetede, Spektrum Yönetimi Yönetmeliği yayınlanmıştır. Yönetmeliğe göre, elektronik haberleşme amacıyla kullanılan frekans aralığı; 9 kHz den 3000 GHz'ye kadar olan aralık olup, uluslararası düzenleme yapılması halinde 3000 GHz'nin üzerindeki frekanslar da bu aralığa dahil edilir. Millî Frekans Planında frekans aralıkları her biri Tablo 2.1'de belirtilen dokuz frekans bandına bölünür. Frekans birimi Hz olduğundan, frekanslar:

3- 3000 kHz'e kadar (3000 kHz dahil), kHz,

3- 3000 MHz'e kadar (3000 MHz dahil), MHz,

3 - 3000 GHz'e kadar, GHz cinsinden ifade edilir.

Elektrik ve Elektronik Sistemler: Bunlar, doğal çevredeki en yaygın girişim kaynaklarıdır ve genel olarak önemlerine göre sıralanabilirler. Ayrıca özel durumlarda, herhangi bir devrede çok önemli olabilirler. Bunlara örnek olarak, otomobil gürültü kaynakları, güç dağıtım sistemleri ve endüstriyel teçhizatlar verilebilir.



Şekil 2.3. Arka plandaki elektromanyetik ışımanın eğilimi

Şekil 2.3’de bütün bu nedenlere bağlı olarak oluşan temel ışımanın toplam eğilimi gösterilmektedir. Bu şekilde önemli olan nokta, otomotiv sistemlerinin genel elektromanyetik kirliliği oluşturmadaki önemleridir.

Bir teçhizatın herhangi bir parçası ele alındığında, geçici gerilim ve akımın gerçek kaynağı üç maddeye ayrılabilir:

- (i) Sayısal sistemlerdeki yüksek frekans darbe katarları
- (ii) Yüksek frekans osilatör devreleri
- (iii) Basit anahtarlama işlemleri sonucu oluşan geçici devre durumları

Elektrostatik Deşarj (ESD) : Birbiriyle temas eden ve biri diğerine göre hareket eden cisimler, diğerine zıt yükleyecek şekilde elektron değiş tokuşu yapabilecek kapasitedirler (tribo elektrik etkisi). Böyle yüklemeler, birkaç mJ’luk gizli enerjileri olan önemli potansiyeller (10–25 kV) doğurabilir ve bu tür yüklerin boşalması, hızlı yükselen akım darbeleri oluşturur. Bu darbeler insanlara ve elektrikli cihazlara zarar verebilirler. ESD’nin meydana getirdiği başlıca problemler şöyledir:

- (i) Süper tankerlerde, tankların temizlenmesi sırasında oluşan problemler

(ii) Mikroçiplerin personel tarafından kullanımı sırasında doğan hasarlar

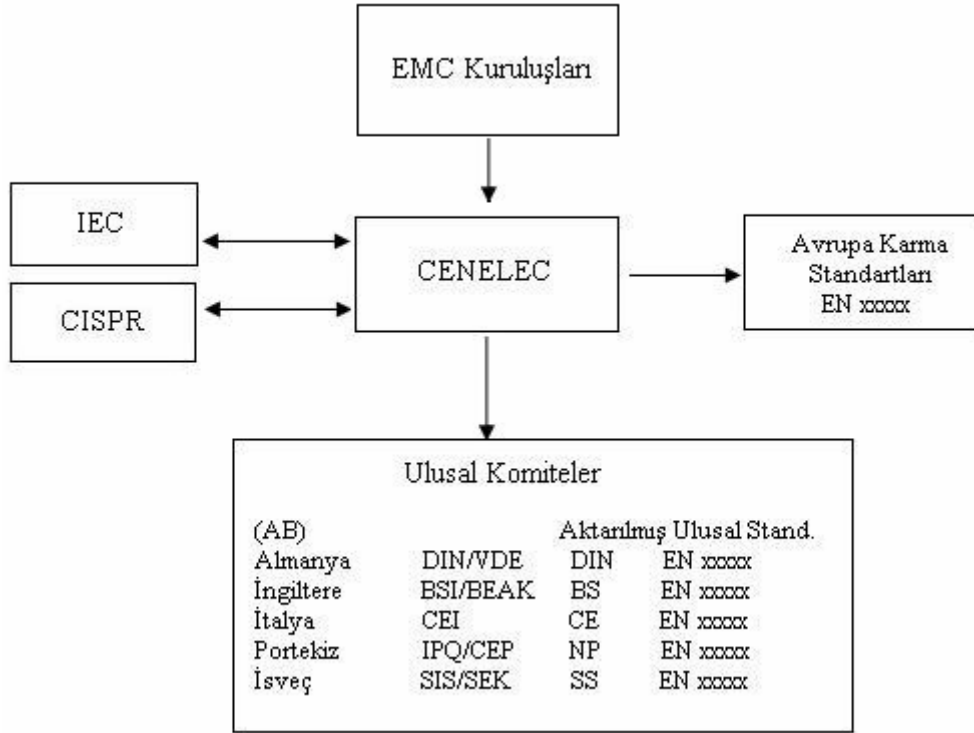
(iii) Uçakların yakıt ikmalleri sırasında yer alan patlamalar

(iv) Araba elektronik sistemlerindeki arızalar

Birçok EMC uygulamasında ESD testleri mevcuttur. Doğada ESD darbelerinin büyüklükleri istatistiksel olduğundan, tipik darbeler ve test akımları önceden belirlenmiştir. Bir ürünün ESD'ye karşı duyarlılığı, ışıyan ve iletilen emisyonlardaki düzenli kurallara uyma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Bir ürünün ESD duyarlılığı, dolayısıyla çalışma güvenilirliği her anlamda önemlidir. ESD konusu, ESD olayının kaynağı, ESD olayının etkisi, önleyici tasarım teknikleri gibi birkaç alt başlık altında incelenebilecek geniş bir konudur [6].

2.5. EMC ve Standartlar

EMC standartları, birçok ülkede değişen derecelerde esnekliklerle uygulanmaktadır. Ancak, AB'nin 1992 yılında başlattığı yasal elektromanyetik uyumluluk düzenleme çalışmaları, 1996 yılında zorunlu hale gelmiştir. Bu tarihten sonra AB pazarına girecek her elektriksel ve elektronik ürün veya cihaz EMC markası, CE taşımak zorundadır. Amerika gibi bazı büyük ülkeler ise, FCC gibi organizasyonlar ile kendi EMC değerlerini benimsemişlerdir. Özel bir sınırlamanın olmadığı durumlarda ve genel hallerde, EMC mühendisliği ekonomik değerler açısından önemli bir rol oynar. Buna rağmen genellikle EMC değerlerinin daha en başta, yani tasarım aşamasında belirlenmesi, üretim aşamasındayken cihaz üzerinde değişiklik yapmaktan daha ucuza gelir.



Şekil 2.4. Uluslararası EMC kuruluşları ve bağlı komiteler

2.5.1. EMC kuruluşları

EMC problemleriyle profesyonelce uğraşan ülkelerin, teknik kurum ve kurulların aynı dili konuşmalarını sağlayan, teknik gereksinimleri karşılamak üzere organizasyonlara giden önemli kuruluşlar Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bu kuruluşlar IEC, CISPR ve CENELEC (Elektroteknik Normalizasyon Avrupa Komitesi)'tir.

IEC

IEC, 1906 yılında kurulmuştur ve sanayileşmiş elliye yakın ülkenin ulusal elektroteknik kurullarından oluşmuştur. (İrlanda hariç tüm Avrupa ülkeleri üyedir) ISO (Uluslararası Standartlaşma Kurulu)'nun elektrik ve elektronik koludur. Bazı özel konular dışında elektrik, elektronik ve haberleşme sistemlerindeki standartları organize eder. Çalışmalar 100 teknik komiteye dağıtılmıştır. Her bir komite genel bir alanı kapsar ve birçok ürün komitesi mevcuttur. Teknik komiteler (TC, Technical Committee), Alt komiteler (SC, Sub-Committee) ve Çalışma gruplarından (WG, Working Group) oluşur.

Örneğin;

TC 77 Elektromanyetik Uyumluluk

SC 77A Alçak Frekans Davranışları

SC 77B Yüksek Frekans Davranışları

SC 77C EM Darbelere Karşı Bağışıklık

TC 65 Endüstriyel Proseslerin Ölçüm ve Kontrolü

WG 4 Elektromanyetik Karmaşa

CISPR

EMC kontrolü için standartlar geliştirme görevi 1934 yılında CISPR oluşumu ile başlamış olduğu söylenebilir [10]. İlk amacı ışınım kaynaklı EMC problemleridir. Şu anda çalışma alanları IEC ile paralel duruma getirilmiştir. Ana amacı, radyo ve TV yayınlarının haberleşme teknolojisi cihazlarından korunumudur. Çalışmalar 7 komiteye dağıtılmıştır. Bunlardan bir tanesi ölçme; diğer altısı ise farklı alanları kapsar. Çalışmaların sonuçları CISPR yayınları olarak duyurulur ve yayınlam ölçmeleri konusunda referansları oluşturur. Alt grupları olarak;

CISPR/A, Radyo girişim ölçümleri ve istatistiksel yöntemler,

CISPR/B, Endüstriyel, bilimsel ve tıbbi cihazlar ile ilgili girişim,

CISPR/C, Yüksek gerilim ve havai hatlar ile ilgili girişim,

CISPR/D, Motorlu cihazlar ve içten yanmalı motorlarla ilgili girişim,

CISPR/E, Radyo alıcıları ile ilgili girişim,

CISPR/F, Aydınlatma, evsel cihazlarla ilgili girişim,

CISPR/G, Haberleşme cihazları ile ilgili girişim sayılabilir.

CENELEC

CEN, 1961'de 300 farklı komiteden oluşturulmuştur. CEN çok geniş alanda standardizasyon işlemlerini yürütür. CENELEC, elektrik-elektronik ve dolayısıyla EMC alanındaki standardizasyon ile sınırlandırılmıştır. Avrupa üyesi ülkeler, 3 EFTA üyesi ülke, Ulusal Standardizasyon komitelerini bir araya getirmektedir. CENELEC'in amacı Avrupa Standardı (EN) oluşturmaktır ve 100'den fazla teknik

komiteden oluşmuştur. 1972'de CENELCOM (1958) ve CENEL'in (1960) birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

Sonuç olarak; IEC, CISPR ya da CENELEC EMC düzenlemeleriyle ilgilenir. Değişik ürünler için sağlaması gereken limitleri belirler, bu limitlerin nasıl denetleneceğini, hangi tip ölçü ve test düzenekleriyle ölçülebileceğini ve test edilebileceğini, söz konusu ölçü ve testlerin nasıl yapılması gerektiğinin belgelerini ayrıntılı olarak hazırlar.

2.5.2. EMC standartları

Satılmak, pazarlanmak veya kullanılmak istenen ürünler Avrupa Topluluğu direktiflerinin temel güvenlik kurallarını sağlamış olmalıdır. Temel güvenlik kurallarını sağlamaya yönelik bilgiler içeren standartlar bu konuda son derece yardımcı olurlar. Bu durumda birleştirilmiş Avrupa standartları ile diğer standartlar ayrı olarak ele alınmalıdır. Direktiflerde "Ulusal Standartlar" olarak bilinen bu standartlar onaylanmış olmasına rağmen diğer teknik özellikler ve yönetmelikler de dâhil olmak üzere henüz belirli bir direktif altında birleştirilememiştir.

Onaylanmış standartların tümünü uygulayan bir üretici güvenlik teknolojisini de tamamı ile sağlamış olur.

Avrupa standartları olarak onaylanmış bütün standartlar belirli bir direktifin altında birleştirilmiş olsun veya olmasın üye ülkelerin ulusal standartlarında da hiçbir değişikliğe uğramadan bulunmalıdır. Aynı konuyu ele alan ulusal bir standart varsa iptal edilmelidir. Böylece belirli bir zaman sürecinden sonra Avrupa'da hiçbir çelişki olmaksızın tek bir yönetmelikler seti oluşturulmuş olacaktır.

AB, EMC tanımlarından yola çıkarak bazı direktifler hazırlamıştır. Bu direktiflerin temel referansları EMC standartlarıdır. Dört tip standart mevcuttur:

Temel Standartlar: Belirli bir EMC oluşumunu belirleyici özelliktedir. Bağımsızlığa ilişkin temel EMC standartları IEC, yayınıma ilişkin temel EMC standartları CISPR

tarafından düzenlenmektedir. Örneğin, IEC 1000–4–2 Elektrostatik Deşarj standardıdır. Yani özel bir cihaza yönelik olarak uygulanmazlar.

Genel Standartlar: Belirli bir ortama özgüdür. Minimum temel gereksinimleri ve test yöntemlerini belirtir. Ortamda çalışan tüm ürün ve sistemlere uygulanabilir. Ürün, ürün ailesi, sistem ya da kurumun standartlarında ikinci dereceden önemlidir. Temel EMC Standartlarına kaynak oluşturur. Yayınım ve bağışıklığı ilgilendiren test ve gereksinimleri içerir. Teknik ve ekonomik olarak en az sayıda testleri ve sınırlı sayıdaki gereksinimleri belirler.

Ürün Ailesi Standartları: Bir grup ürün ailesi için tanımlanan EMC standartlarıdır. Örneğin CISPR 22, Bilgi Teknolojisi Cihazları için yayınım standardıdır. Ürün ailesi standardı birçok temel standardı içerebilir.

Ürüne Özel Standart: Özel bir ürün için tanımlanan standartlardır. Örneğin prEN50220, işleme cihazları için bağışıklık standardıdır.

AB EMC direktiflerine uyum için standartların uygulanış biçimi şöyledir:

- (i) Öncelik, varsa, ürüne özel standartlardadır.
- (ii) Ürüne özel standart yoksa ya da uygulanamıyor ise ürün ailesi standardı uygulanır.
- (iii) Ürüne ya da ürün ailesine özel standartlar uygulanamıyor ise genel standartlar uygulanır.

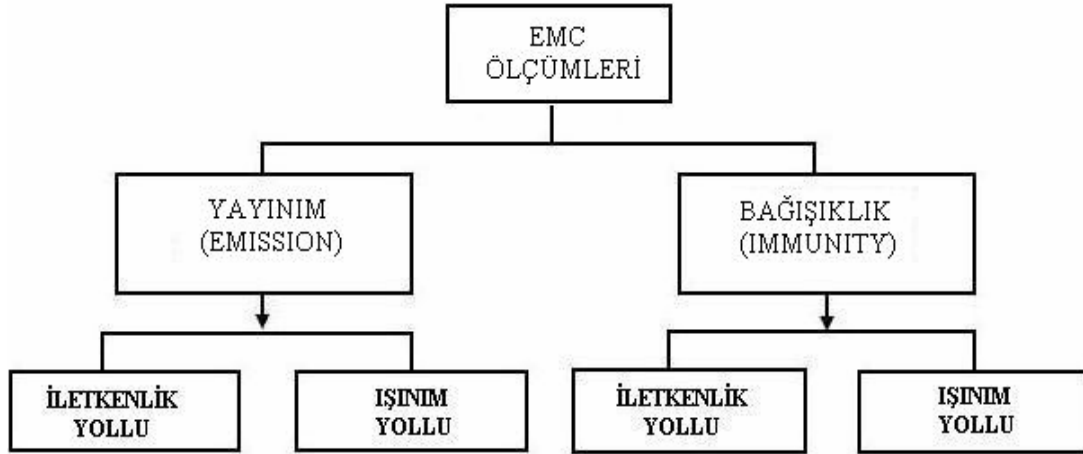
AB'nin 03.04.1998 tarihli resmi gazetesinde ve ulusal resmi gazetelerde yayınlanmış ve sonunda, Ulusal EMC yasaları ile birleştirilen EN tipi standartlar ve kapsama alanları EK-A'da verilmiştir.

BÖLÜM 3. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TEST VE ÖLÇÜMLERİNDE TEMEL FAKTÖRLER

3.1. Giriş

Her EMC problemi, bir kaynak ve kaynaktan etkilenen bir kurbandan oluşur. Bu nedenle EMC, istenmeyen işaretin yayını ve istenmeyen işarete karşı bağışıklığı içerir. Her cihaz, hem yayını hem de bağışıklık koşullarını sağlamak zorundadır [11,12]. Uluslararası uzman kuruluşların belirlediği EMC yayını ve bağışıklık limitleri ve bunlarla ilgili standartlar, söz konusu cihazların çevresindeki diğer cihazlarla birlikte, kendinden beklenen performansları yerine getirebilmeleri için sağlanması zorunlu kuralları belirler. Bu kurallar, en üst seviyede istenmeyen yayını limitleri ile en alt seviyedeki bağışıklık (dayanıklılık) limitlerini tayin eder. Bu limitlere uyulup uyulmadığını görmek için, gerekli ürün ve cihazlara EMC testleri yapılması gerekir. Aslında EMC testleri ve ölçümleri çok karmaşık değildir. Çünkü ilgili standartlarda her testin ya da ölçümün koşullarını ayrıntılı biçimde verilmiştir.

Tipik EMC test ve ölçümleri, Şekil 3.1'de görülmektedir. EMC test ve ölçümleri; temel olarak, ele alınan cihazın yaydığı istenmeyen EM sızıntı miktarının frekansa göre belirlenmesi (yayını ölçülmesi) ve bu cihazın EM olarak kirli bir ortamda kendinden beklenen işlevleri, belirlenen limitler içerisinde yerine getirip getirmediğinin incelenmesi (bağışıklığın test edilmesi) olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki durumda da iletkenlik yolu (yani kablo ve diğer bağlantılar üzerinden) ve yayını yolu (yani kablosuz, atmosfer yoluyla) olmak üzere iki başlık mevcuttur.



Şekil 3.1. EMC Test ve Ölçümleri

Bu bölümde, yayınım ve bağışıklık gibi temel kavramlar kısaca açıklanmış, EMC test ve ölçümlerinde kullanılan birim ve büyüklükler, ilgili denklem ve eşitliklerle gösterilmiştir. EMC test/ölçüm ortamları ve parametreleri ayrıntılı biçimde, şekillerle açıklanmıştır. Son olarak, EMC test ve ölçümünde kullanılan cihaz ve sistemler tanıtılmıştır.

3.2. EMC’de Yayınım, Bağışıklık ve Alınanlık Kavramları

EM uyumluluk bulunan tasarımlarda dikkat edilmesi gereken hususlar, EM girişim kaynaklarının söndürülmesi, kuplaj yollarının ortadan kaldırılması ve cihazların EM açıdan yeterince güçlendirilmesidir. I ürün bağışıklığı, E girişim seviyesi olmak üzere, temel EMC bağlantısı, $I > E$ şeklinde tanımlanır. Yani, bir cihazın çevre girişiminden etkilenmemesi ancak EM yayınıma olan bağışıklığı ile sağlanabilir. EM uyumlulukta önemli olan bir başka kavram ise alınanlıktır. Alınanlık, bağışıklığın tersi olarak düşünülebilir. Yani düşük bağışıklık yüksek alınanlık, yüksek bağışıklık ise düşük alınanlık demektir. Haberleşme sistemindeki gürültüler, sistemlerin devre dışı kalması, kritik cihazlarda kumanda kaybı, haberleşme kaybı ve yön bulma hatası, otomotiv sisteminde istenmeyen işlevlerin çalışması ve roket, füze gibi kitle imha silahlarının tetiklenmesi gibi oldukça tehlikeli problemler tipik alınanlık sonuçlarından bazılarıdır.

3.3. Pratikte Kullanılan EMC Birim ve Büyüklükleri

EMC test ve ölçümlerinde kullanılan temel üç tane vardır. Bunlar gerilim, akım ve elektrik alan birimi volt /metre (V/m) şeklinde oluşan iletim emisyonlarıdır. İletim emisyonları türünde, ek olarak güç birimi watt ve güç yoğunluğu W/m^2 sayılabilir. Örneğin EMC’de, elektrik alanlar $1 \mu V/m$ ile $200 V/m$ arasında değişebilir. EMC testlerinde, birimlerin sayılarla ifade edilmesi desibel (dB) biriminin kullanılmasına yol açmıştır. Bu birimle, sonucun sıkıştırılmış biçimde ifadesi mümkündür. Örneğin, 10^8 seviyesindeki bir gerilimin, 160 desibel ile ifadesi mümkündür.

Desibel ilk olarak, telefon devresindeki gürültü etkisini logaritmik olarak tanımlamak için kullanılmıştır. Kulak, sesleri logaritmik olarak işitir. Bu nedenle, gürültünün dB olarak tanımlanması sayesinde, doğa ile bir bakıma uyum sağlanmış olur. Örneğin, bir yükselteç devresinde güç kazancı, Eşitlik (3.1)’de gösterilmiştir.

$$\text{Güç Kazancı} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}^2 R_{in}}{V_{in}^2 R_L} \quad (3.1)$$

Güç kazancı desibel biriminde, Denklik (3.2)’deki gibi tanımlanır.

$$\text{Güç Kazancı dB} \equiv 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (3.2)$$

Benzer şekilde, gerilim ve akım kazançları da, dB olarak Denklikler (3.3) ve (3.4)’de olduğu gibi yazılabilir.

$$\text{Gerilim Kazancı dB} \equiv 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (3.3)$$

$$\text{Akım Kazancı dB} \equiv 20 \log \left(\frac{I_{out}}{I_{in}} \right) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki eşitliklerden de görüldüğü üzere, dB biriminde güç kazancı, iki büyüklüğün oranlarının 10 log işlemine tabi tutulmasıyla elde edilir. Gerilim ve akım kazancının dB ile tanımında ise, 20 log işlem söz konusudur.

Güç, gerilim ve akım değerlerinin tümünü dB biriminde ifade etmek mümkündür. Örneğin gerilimler, Eşitlik (3.5)'deki gibi 1 μV 'a göre, dB μV olarak ifade edilmektedir.

$$\text{dB}\mu\text{V} = 20 \log \left(\frac{\text{volt}}{1 \mu\text{V}} \right) \quad (3.5)$$

O zaman 1 Volt değerinin dB μV cinsinden değeri Eşitlik (3.6)'daki gibi hesaplanabilir.

$$20 \log \left(\frac{1\text{V}}{10^{-6}\text{V}} \right) = 20 \log 10^6 = 120 \text{ dB}\mu\text{V} \quad (3.6)$$

Işınan elektromanyetik alanlar, elektrik alan (V/m) veya manyetik alan (A/m) birimleriyle ifade edilir. 1 $\mu\text{V/m}$, 1 mV/m, 1 $\mu\text{A/m}$ veya 1 mV/m için en çok kullanılan EMC referans birimleri sırasıyla, dB $\mu\text{V/m}$, dBmV/m, dB $\mu\text{A/m}$ veya dBmA/m'dir. Örneğin ışınım elektrik alanlarında, genel sınır değeri olan 100 $\mu\text{V/m}$ şiddetindeki bir elektrik alan dB cinsinden 40 dB $\mu\text{V/m}$ 'e eşittir. Bu dönüşüm, Eşitlikler (3.7) ve (3.8)'deki gibi verilmiştir.

$$\text{dB}\mu\text{V/m} = 20 \log \left(\frac{\text{V/m}}{1 \mu\text{V/m}} \right) \quad (3.7)$$

$$\text{dB}\mu\text{V/m} = 20 \log \left(\frac{100 \mu\text{V/m}}{1 \mu\text{V/m}} \right) = 20 \log 10^2 = 40 \text{ dB}\mu\text{V/m} \quad (3.8)$$

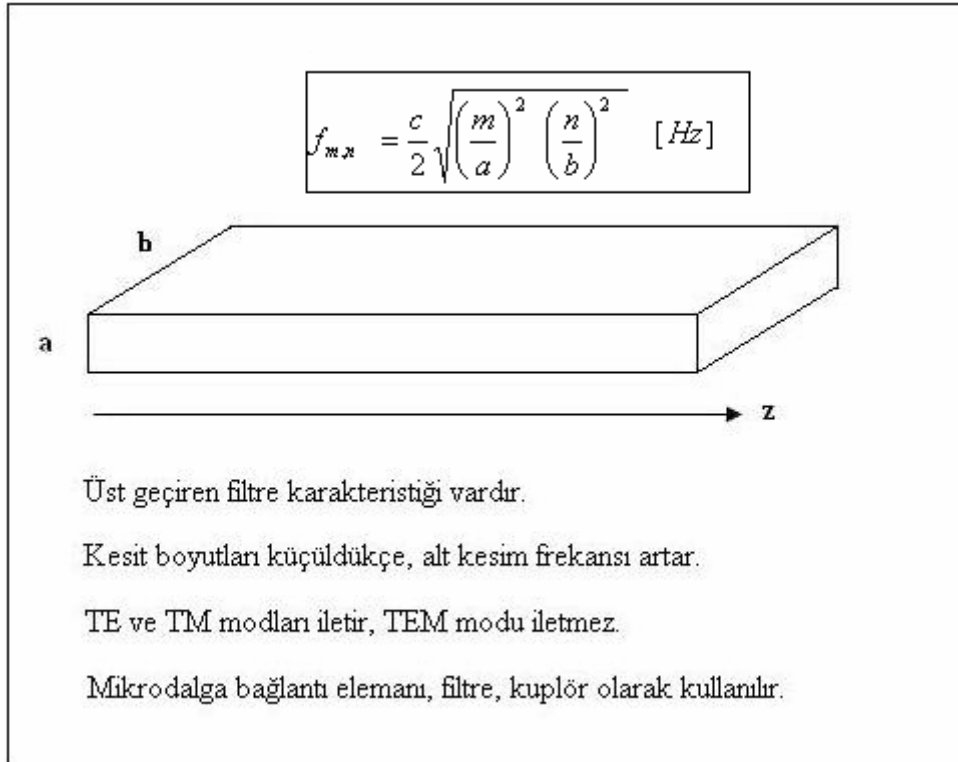
3.4. EMC Test ve Ölçüm Ortamları

EMC test ve ölçümleri, cihazların gerçek çalışma ortamlarında ve cihazlar çalışır durumda iken yapılır. Cihazların çalışma ortamları geniş anlamda tanımlandığından, EMC test ve ölçümlerinde aynı ortamı meydana getirmek ancak yaklaşık olarak mümkündür. EMC ölçümlerinde, istenmeyen girişimin test edilen cihazdan kaynaklandığından emin olmak gerekir. Tam yansısız bir odada ölçülen yayılım, sadece test edilen cihazdan kaynaklanacaktır.

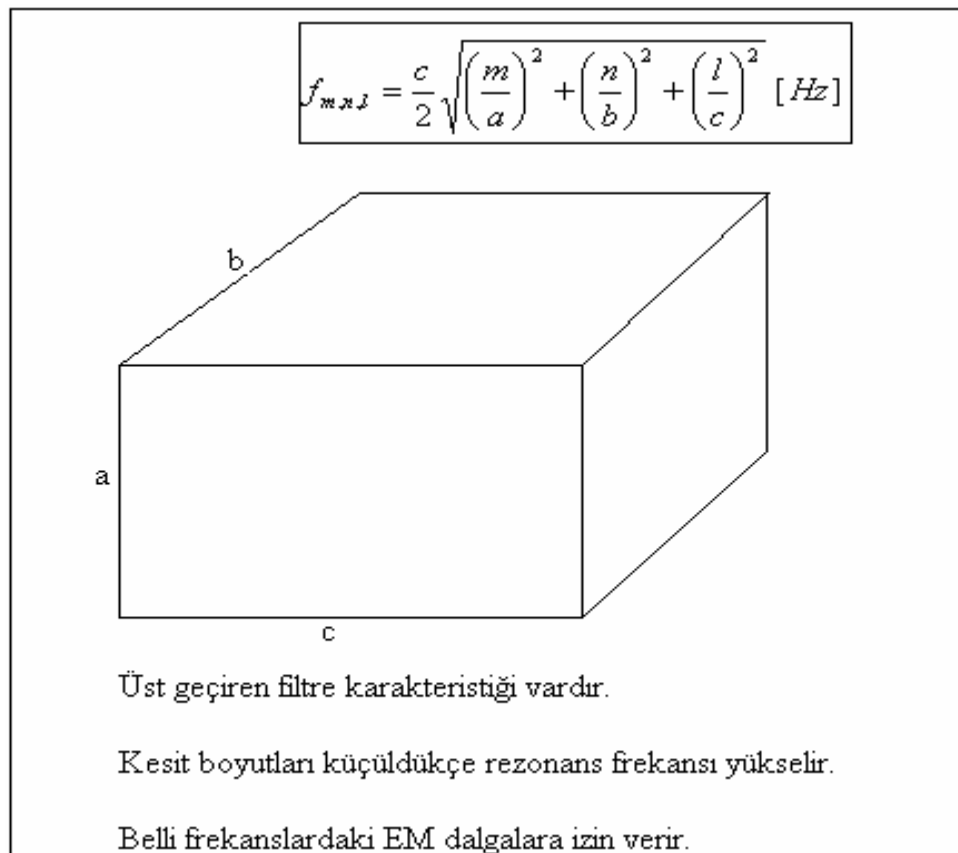
Hem yayılım hem de bağışıklık testlerinde, elektromanyetik ölçümler özel koşullar altında yapılmak zorundadır. Testin amacı, ister düzenleyici bir standarda yönelik geçerli belge almak olsun, ister tüketici gereksinimleri veya sorun takibi için olsun, testler mutlaka dış ortamdaki etkenlerin tesirlerinden uzak şekilde, ölçüm yapmaya müsait bir ortamda yapılmalıdır. Bu ortamlar hakkında bilgi vermeden önce, dalga kılavuzları ve rezonatörlerden kısaca bahsetmek gerekir.

Şekil 3.2’de uzunlukları a ve b olan dikdörtgen kesitli bir dalga kılavuzu gösterilmiştir. Bu dalga kılavuzu, z -ekseni boyunca, bir ucundan verilen belli frekandaki EM dalgaları diğer uca iletir, yani dalgaları kılavuzlar. Elektromanyetik anlamda, tam yansıtıcı duvarlara sahip olan böyle yapılar, doğru akım ve alçak frekansları geçirmezler. Ancak a ve b boyutlarının belirlediği bir kesim frekansının üstündeki dalgaları iletirler. Kesim frekansının formülü de, Şekil 3.2’de verilmiştir. Dalga kılavuzunun kesiti ne kadar küçülürse, kesim frekansı o kadar büyür.

Şekil 3.3’de ise, eni, boyu ve yüksekliği sırasıyla a , b , c ve kenarları EM olarak tam yansıtıcı olan bir rezonatör gösterilmiştir. Bu rezonatör, kesim frekansı formülünden de görüleceği gibi, ancak belli frekandaki dalgaların içeride oluşmasına olanak sağlar. Bu frekanslara, rezonans frekansları denir.



Şekil 3.2. Dikdörtgen kesitli dalga kılavuzu



Şekil 3.3. Mükemmel iletken rezonatör

3.4.1. Açık saha test alanı (ASTA)

Aşağıda açık saha test alanının belirgin özellikleri verilmektedir.

Serbest yansıtma alan boyutları: > 100 m x 100m

Topraklanmış yüzey genişliği: 18 m x 22 m

Maksimum ölçüm mesafesi: 10 m

Döner tabla: Çap 3m, tonaj 3 ton

Anten kulesi tarama yükseklik aralığı: 1 – 4 m

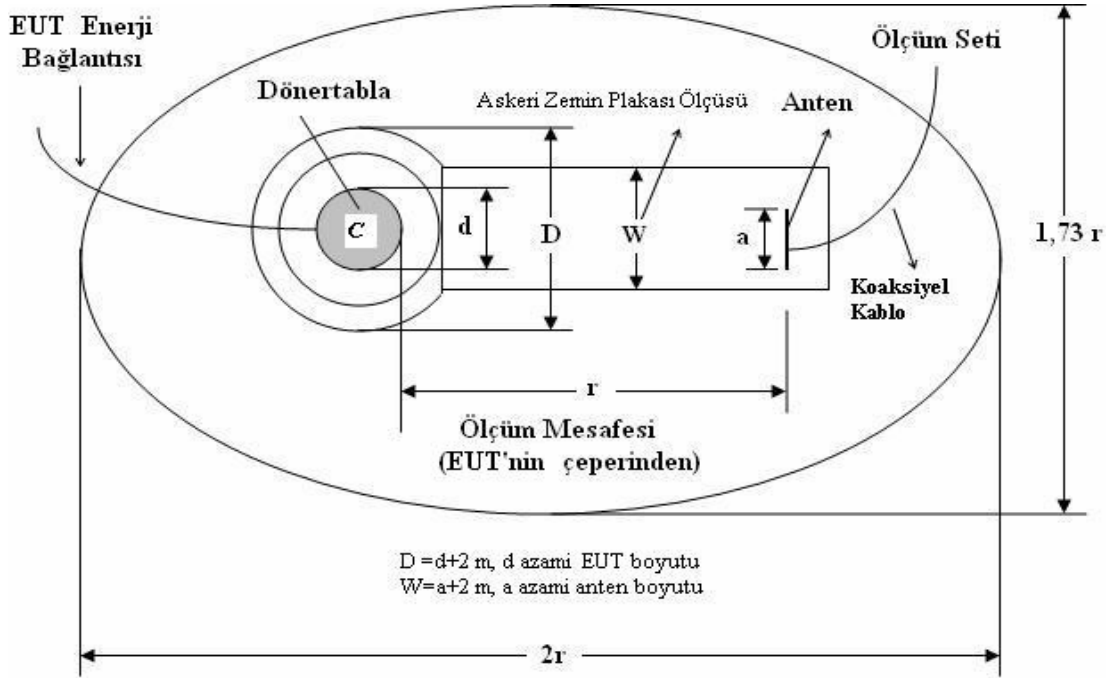
NSA (Normalize Saha Zayıflatması) değeri: ± 1 dB (30 MHz - 1000 MHz)

ASTA'da yapılan kalibrasyonlar: 30 MHz - 40 GHz frekans aralığında yönlü antenler

ASTA'da yapılan testler: 30 MHz - 40 GHz frekans aralığında ışınlama yayını [13].

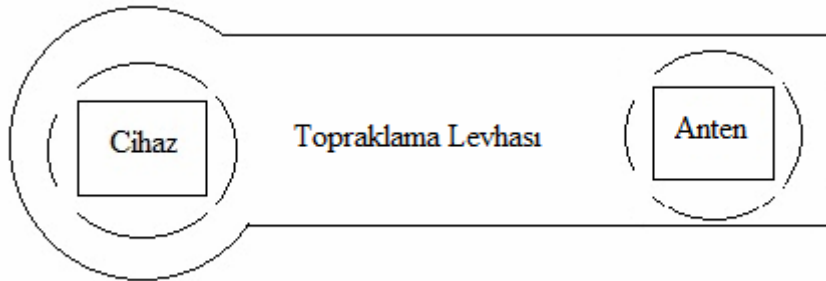
ASTA'lar, ışınan emisyon testlerinin büyük çoğunluğunun yapılması için tanımlanmış tesislerdir. ASTA, en kesin ve kabul görmüş yaklaşımı sağlar. ASTA'lar kalibre edilmiş bir alıcı anten, uygun zemin plakası, kaliteli koaksiyel kablolar gerektirir ve metal nesnelere şiddetli elektromanyetik alanların bulunduğu yayın kuleleri ve enerji nakil hatları gibi yerlerden uzakta kurulmuş olmalıdır. Bu işlem, ölçülecek EUT'den (Test Altındaki Cihaz (araç, donanım)) yayılan emisyonun doğru olmasını sağlar. Benzer şekilde, özel cihazlar üzerinde duyarlılık testleri için kalibre edilmiş bir verici anten kullanmak, özellikle de gönderilecek frekans, iletişim için ayrılan frekans bandına düşmüyorsa, özel saha ve test koşulları altında incelenebilecek bir durumdur.

ASTA kullanmanın en önemli dezavantajı, ölçülen EUT'nin yaydığı sinyalden daha güçlü gürültüye sahip olabilecek EM ortamda, istenmeyen emisyonlar için tüm frekans spektrumunun ölçülmesini gerektirmesidir. Örnek olarak, Kanada ve ABD'de 199.25 MHz frekansında yayın yapan bir televizyon sinyalinin bulunduğu bir ortamda, zayıf bir 200 MHz saat sinyalinin ölçülmesi verilebilir. Ayrıca, EUT'nin yakınlarındaki metal nesnelere saçılan sinyaller yanlış ölçüm sonuçlarına yol açabilir [14].



Alan Ölçüleri

$r = 3 \text{ m.}$	$r = 10 \text{ m.}$	$r = 30 \text{ m.}$
6 m. x 5,2 m.	20 m. x 17,3 m.	60 m. x 52 m.



Şekil 3.4. Tipik açık alan (ASTA) ölçüm ortamı

Test sahası düz olmalıdır, havai hatlar olmamalıdır ve yansıtıcı yapılardan uzak olmalıdır. Şekil 3.4'de elips şeklinde tanımlanan açık alan için minimum uzaklıklar gösterilmiştir. D harfiyle gösterilen ölçümü yapılacak cihaz ile alıcı anten arasındaki temel uzaklık " r " olarak alınır ve diğer uzaklıklar buna göre belirlenir. O halde, elips şeklindeki ölçüm sahasının büyük çapı (genişliği) $2r$, küçük çapı (eni) $\sqrt{3} r$ ($1.73 r$) olmalıdır. Cihaz ile alıcı ölçüm anteni arasında genellikle 3m./10m./30m. uzaklıklar kullanıldığından, örneğin $r = 3 \text{ m.}$ ise, elips şeklindeki ölçüm sahasının büyük çapı (genişliği) 6 m, küçük çapı (eni) 5.2 m civarında olmalıdır. $r = 10 \text{ m}$ içinse bu mesafeler sırasıyla 20 m ve 17 m civarında olmalıdır.

Farklı test sahalarında tekrarlama yapılabilmesi için çevresinde yansıtıcı yapılar olmayan geniş bir alan seçilmesi tavsiye edilir. Buna test cihazlarının olduğu kontrol odası da dâhildir. Uzaktaki bir kontrol odasına alternatif olarak, bu tesis katı bir zemin plakası ile ayrılarak ASTA'nın tam altına yerleştirilebilir veya binada makul mesafedeki uygun bir oda kullanılabilir.

3.4'de altta ise, taban topraklama ağının yerleşimi gösterilmiştir. EM dalgalar için zemin, kayıplı bir yansıtıcıdır. Yansıtma ve yutma oranları frekansa, dalga polarizasyonuna ve dalga geliş açısına göre değişebilir. Bu farklı etkilerden kurtulmak için iki teknik kullanılır. Ya zemin, şekilde görüldüğü gibi mükemmel iletken levha ile kaplanır ya da zemine cihaz ile anten arasına yutucu bir plaka konur. Yutucu plaka konması durumunda, antene gelen yayının sadece cihazdan geldiği söylenebilir. Topraklama ağı ile kaplandığında ise cihazdan çıkıp alıcı antene doğrudan ve yerden tam yansıyarak gelen yayımların girişimi göz önüne alınmak zorundadır. İki farklı yoldan gelen dalgalar, fazlarına göre ya birbirini yok eder ya da kuvvetlendirir. Eğer iki farklı yoldan gelen dalgalar, eş fazlı ise genlik iki katına, güç ise dört katına (6 dB fazla) çıkabilir. Bu 6 dB'lik farkın etkisi alıcı anten tutucusu üzerinde yukarı aşağı oynatılarak görülebilir.

3.4.2. Özel odalar

Bir özel odada test yapmanın temel avantajı, odanın çalışmak için temiz (RF olmayan) bir ortama sahip olmasıdır. Işınan emisyon testinde, özellikle ortam sinyallerinin frekansları, test altındaki cihazların frekansları ile çakıştığı için ve bu sinyalleri gerçeklerinden ayırmak için vakit harcanmayacağından önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlanır. Bağışıklık testlerinin, EM spektruma sızabilecek girişimleri engellemek için özel odalarda yapılması gereklidir.

Ekranlı oda veya özel odalar, elektriksel donanımlar ve personel erişiminin sağlandığı, tamamen metal kaplı bir muhafazadan ibarettir. Çıplak duvar kısıtlamalarının temelinde rezonans etkileri vardır. EUT'den veya bir test anteninden yayılan EM enerji, özel odanın rezonans frekansları ile karmaşık bir şekilde etkileşecektir. Rezonans frekansı, odanın boyutlarıyla belirlendiğinden her özel oda

farklı davranacaktır. Rezonanslar, üretilen EM olarak yayılan duran dalgalar nedeniyle düşük ve yüksek seviyeler üretecektir. Bu durum, ölçülen değerlerin yüksek doğrulukta olmasını zorlaştırır. Alan gücü değişimlerinin 10–20 dB kadar olduğu kaydedilmiştir. Bu rezonans faktörleri, yansıma etkilerine ilave edilir.

3.4.2.1 Yansımaz ve yarı-yansımaz odalar

Yarı-yansımaz bir odanın (YYO) tipik özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

İç boyutlar: 18 m (u) x 13 m (g) x 9 m (y)

Soğurucu malzeme: Ferrit ve hibrid

Ek odalar: Kontrol ve Güç Yükselteç odaları

Frekans aralığı: 9 kHz - 40 GHz

Elektrik alan şiddeti: 200 V/m

Maksimum ölçüm mesafesi: 10 m

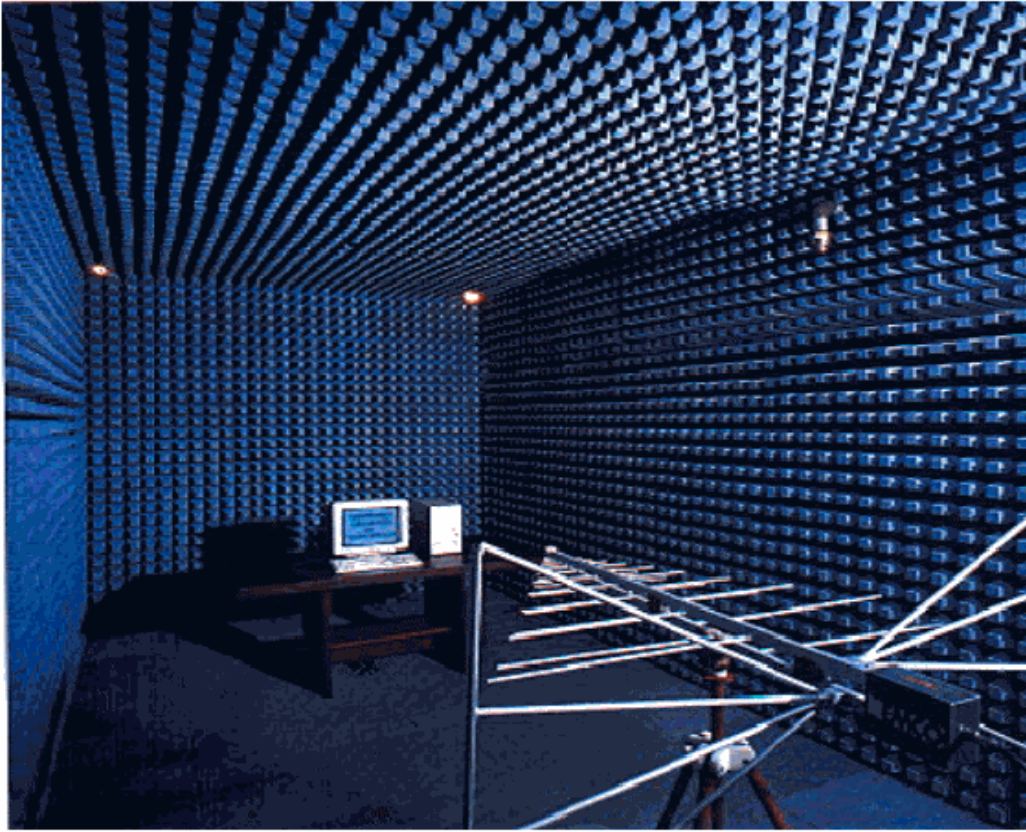
Döner tabla: Çap 3m, tonaj 5 ton

Anten kulesi tarama yükseklik aralığı: 1 – 4 m

YYO’ da yapılan kalibrasyonlar: 9 kHz - 40 GHz frekans aralığında izotropik antenler

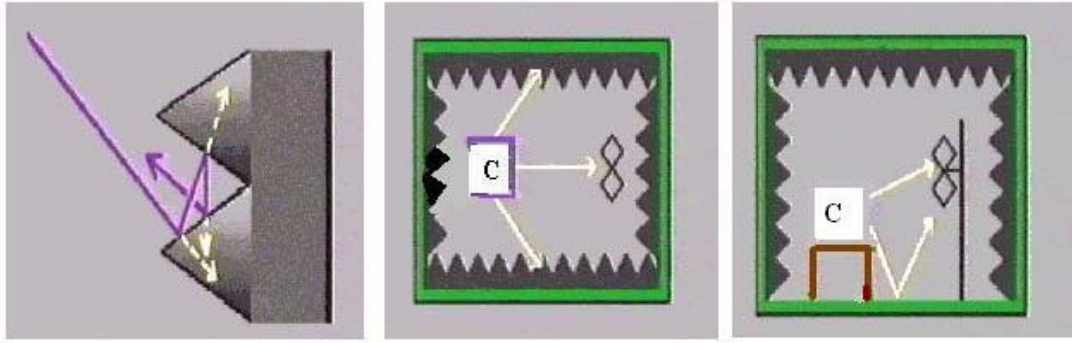
YYO’ da yapılan testler: 10 kHz - 40 GHz frekans aralığını kapsayacak şekilde otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalara, askeri cihazlara, ticari ürünlere ve telekom ürünlerine yönelik ışınlama yayılım ve bağışıklık testleridir [13].

YYO topraklanmış taban yüzeyi gerekli olduğu durumlarda taşınabilir ferrit ve hibrid soğurucularla kaplanarak tam yansımaz oda (TYO) olarak kullanılabilir. Tipik bir yansımaz özel oda, Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Yansımaz oda, bağışıklık testleri için gerekli ortamı oluşturmak ve rezonans etkilerini en aza indirmek için, sökülebilen karbon katkılı sönümleyici koniler, ferrit kaplamalar veya her ikisinin karışımından oluşan malzemeler ile kaplanır.



Şekil 3.5. Tipik bir yansımaz oda

Ferit kaplama, 30 ila birkaç yüz MHz arasındaki düşük frekanslarda etkilidir. Karbon katkılı köpük ise, daha yüksek frekanslarda etkilidir. Bu sönümleyiciler, EM enerjinin bir kısmını yutup, bir kısmını yansıtan kayıplı malzemelerdir. Üzerine gelen EM dalganın % 90'ını yutup, % 10'unu yansıtan bir oda, 10 dB'lik yutulma sağlar. Yani yutucu malzemeler, üzerlerine her dalga gelişinde, bunu yaklaşık 10 kat zayıflatarak geri yansıtırlar. Eğer, kaynağa ve ölçü aletine doğru, dalgalar gitmeden önce bu yansımaların sayısı artırılırsa yutulma da katlanarak artar. Bu yüzden, yansımaz özel odalarda kullanılan malzeme, genellikle piramit şeklinde ferrit kaplı, karbon katkılı poliüretan köpüktür. Yansımaz odanın zemininde sönümleyici kaplamalar varken, yarı-yansımaz odanın zemininde ise ASTA etkisini simüle eden katı bir metal zemin kaplaması mevcuttur. Sönümleyicilerin boyutları, bağışıklık testleri için alan gücünün toleransı üzerinde yeterli kontrolü sağlamak için, EUT'nin boyutlarıyla uyumlu olmalıdır. Duvarlara yerleştirilen yutucu malzemeler piramit biçiminde olduğundan, gelen dalgalar geriye yansımadan önce piramitler içerisinde birden fazla yansıma ve kırılmaya uğrarlar. Böylece duvarlara gelen dalgalar, geriye doğru yönelinceye kadar birkaç kez yutulurlar. Bu şekilde, yutulma 80–100 dB'ye



Yüzeyler RAM (Radar Absorbing Material) ile kaplıdır.

RAM boyutları $\lambda/4$ 'ten küçük olmalıdır.

Şekil 3.6. Yansımaz oda prensibi ve minimum gerekler

kadar çıkabilir. Pratikte elde edilebilen en iyi yutulma ya da yalıtım 80–100 dB'dir. 60 dB'nin üzerindeki yalıtım da iyi sayılır. 30–40 dB'lik yalıtım birçok amaç için yeterlidir. Askeri amaçlı, çok gizli durumlarda ise 120 dB'ye kadar yalıtım istenebilir. Bunun üzerindeki değerleri pratik olarak gerçekleştirmek neredeyse imkânsızdır.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, yutucu malzemeden yapılmış piramit boyu, dalga boyunun dörtte birinden küçük olmamalıdır. Bu durumda, örneğin 150 MHz için 50 cm, 30 MHz için 2m piramit boyu gereklidir. Ölçümlerde, oda içerisinde kullanılacak alan değiştirilemeyeceğinden, kullanılan frekansa göre odanın dış boyutlarının büyümesi gerekebilir. Bu da yansımaz odanın pahalıya mal olması demektir.

Son zamanlarda, yer karoları gibi yutucu duvar malzemeleri kullanılmaya başlamıştır. Özellikle 200 MHz ile 10 GHz gibi sorunsuz frekans bölgelerinde ve tasarım amaçlı olarak (40–60 dB yeterli), düz duvarlara sahip yansımaz odalar kullanılmaya başlamıştır.

3.4.2.2 Ekranlı odalar

Ekranlı odalar, bilinen EMI problemlerinin araştırılması veya teşhisi için kullanılan odalardır. Ek olarak, direktif uyumluluğu için iletilen emisyon testlerinin yapılmasında da kullanılır. Işıyan emisyon uyumluluğu için bu tür odaların kullanılmasına izin verilmez. Bunun sebebi, RF dalga çoklu yansımalarının odanın içerisinde yayılması ve EUT'nin gerçek frekans profilini bozmasıdır.

Aşağıda iletilen emisyon (yayınım) testlerinin yapıldığı tipik bir ekranlı odanın özellikleri verilmiştir.

İç boyutlar: 5.630 m (U) x 3.760 m (G) x 3.530 m (Y)

Frekans aralığı: 9kHz - 40 GHz

Elektrik alan şiddeti: 200 V/m

Ekranlı odada yapılan testler: Otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalara, askeri cihazlara, ticari ürünlere ve telekom ürünlerine yönelik iletimle yayınım testleridir.

Yine aşağıda, bu sefer ilettime karşı bağışıklık testlerinin yapıldığı bir ekranlı odanın özellikleri verilmiştir.

İç boyutlar: 8.720 (U) m x 5.380 m (G) x 3.530 m (Y)

Frekans aralığı: 9 kHz - 40 GHz

Elektrik alan şiddeti: 200 V/m

Ekranlı odada yapılan testler: *Otomotiv endüstrisinde* kullanılan parçalara, askeri cihazlara, ticari ürünlere ve telekom ürünlerine yönelik ilettime karşı bağışıklık testleridir [13].

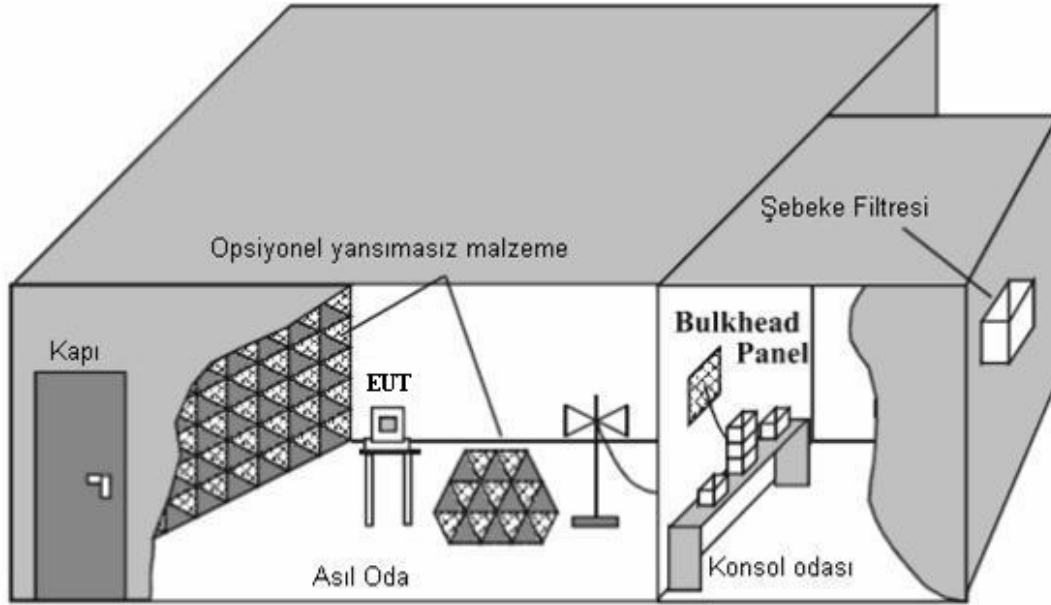
Duvarlarda ve tavanda, sönümleyici malzeme bulunmayan ve CISPR NSA gereksinimlerini karşılayan ekranlı bir oda, çok geniş ve çok pahalı olacaktır. Bunun sebebi, 6 yüzeyden (dört kenar, alt ve üst) yansıyan RF enerjisinin, NSA değerlerini aşırı derecede bozmasıdır. 3 metrelik test mesafesini ancak kapsayacak kadar geniş

olan, tipik küçük bir kaplamasız ekranlı odada o kadar çok yansıma olur ki, bazı frekanslardaki gerçek NSA değerleri ± 30 dB'den fazla değişebilir. Böyle bir odada ölçüm yapmak imkânsızdır. Yapılabilecek en iyi şey, problem olabilecek yayının frekanslarını belirlemek ve bunları ayrı ayrı açık test sahasında ölçmektir. Alternatif yöntem ise, duvarları ve tavanı yansımaları bastıran ve odayı ölçüm için kullanılabilir hale getiren sönümleyici malzeme (ferrit kaplı veya piramit şeklinde karbon katkılı köpük) ile kaplamaktır.

Çoğu ekranlı oda, birbirine kaynaklanmış veya kenetlenmiş modüler çelik ve ahşap sandviç panellerden inşa edilir. Petek şeklindeki montaj, havalandırmayı sağlar. Ekranlı odalarda pencere yoktur. Ekranlı odaların duvarlarında, bakır ızgara pencereleri olabilir. Bu ızgaralar, sadece havalandırma değil aynı zamanda test laboratuvarlarını izleme imkânı sağlar. Odaya giren tüm elektrikli sistemlerin filtrelenmesi gerekir. Bunlara şebeke voltajı, veri kabloları ve yıldırım koruma kabloları dahildir. Floresanlar genişbant girişim yaydığı için akkor lambalı olmalıdır.

Ekranlı oda, EUT'yi ve yardımcı cihazları yanlış okumalara veya hatalı çalışmaya yol açabilecek dış ortamlardan izole eder. Odadan çıkan ara bağlantı kabloları ekranlı olmalı ve filtrelenmelidir. Odaya çoklu kablo bağlantıları yapılması için genellikle sökülebilir duvar panelleri bulunur. Uygulamaya bağlı olarak bazı bağlantı kablolarının filtrelenmesi gerekir.

Bağışıklık testiyle ilgili olarak, tesisin anten ve EUT arasında en az 3 m. mesafe bırakmaya müsait olması tavsiye edilir. Bağışıklık testleri yansısız odada yapıldığı şekliyle yapılır. Ancak istisnai olarak EUT ile zemin arasına ve opsiyonel olarak arka duvara yankısız malzeme yerleştirilmelidir (Şekil 3.7) [15]. Sönümleyici malzeme, EUT'ye zeminden geri yansıyarak uygulanan alanın genliğini arttıracak dalgaların, en aza indirilmesi için gerekir. Bağışıklık testlerinin yayılan elektrik alan için gerekli olan test şartlarını sağlayan bir odada yapılması tavsiye edilir. Bu özel tip ekranlı odaların iyi bir avantajı, referans zemin düzleminin daima mevcut olmasıdır.



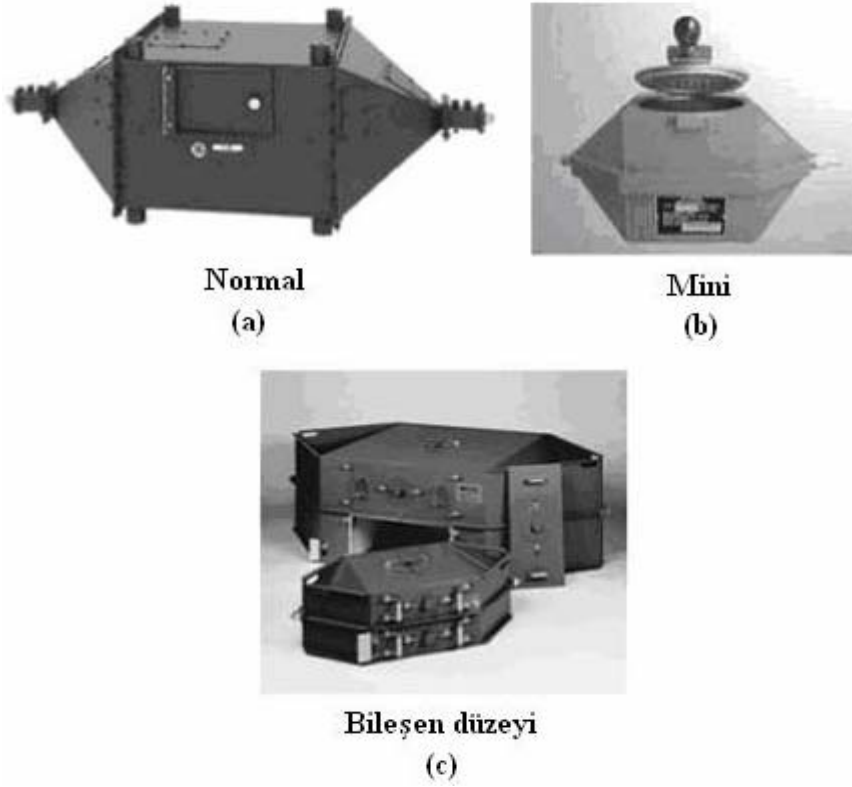
Şekil 3.7. Yansımaz malzemeli ekranlı özel oda konfigürasyonu

3.4.3. Hücreler

Işınım karşı bağımsızlık testleri, ticari cihazlar için genelde 30 MHz ile 1 GHz arasında uygulanır. Cihazlar, bu frekans bölgesinde yüksek seviyeli ve homojen elektromanyetik alanlar altında test edilir. Yüksek seviyeli homojen EM alanlar ekranlı oda içerisinde TEM -Transverse Elektromagnetic (Enine EM) ve GTEM-Gigahertz Transverse Elektromagnetic (Gigahertz TEM) ile meydana getirilir. Her ikisinin de özel uygulamaları ve kullanımları vardır. Hücre kullanmanın avantajı, fiziksel olarak küçük cihazlarda, özellikle bileşenlerde ortaya çıkar.

3.4.3.1. TEM hücreleri

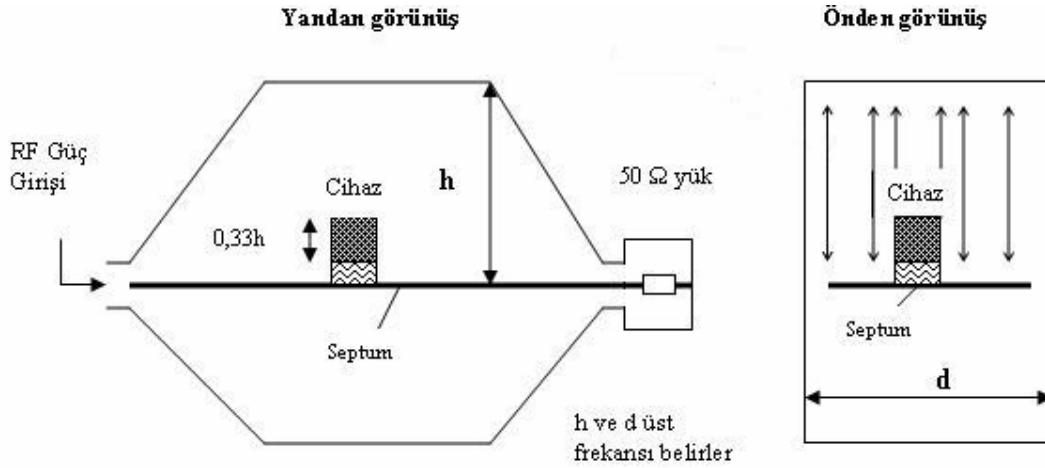
Bir TEM hücresi, her iki emisyon analizi ve ışınım karşı bağımsızlık testleri için normal laboratuvar ortamında kullanılan küçük kapalı bir alandır. Çeşitli türdeki TEM hücrelerinin bir örneği Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 8. Tipik TEM hücrelerinin çeşitli konfigürasyonları.
Fotoğraflar (a) Instruments for Industry Inc. (b) CPR Technology ve (c) Amplifier Research'e aittir.

TEM hücresi, dış iletkenlerin kapalı ve birleştirilmiş şerit çizgiyi andırdığı dikdörtgen bir koaksiyel transmisyon hattıdır. Dikdörtgen bölümün, 50 Ω koaksiyel kabloların bağlandığı her iki ucu sivriltilmiştir. Hücrenin merkez iletkeni ve dış koruması, (kenarlar ve alt-üst plakalar) EM enerjinin, hücrenin bir ucundan diğerine TEM modunda yayılmasını kolaylaştırır. Merkez iletken, yalıtkan desteklere tutturulmuştur. EUT, transmisyon hattının dikdörtgen bölümündeki alt veya üst plaka ile merkez iletken arasına yerleştirilir. Yalıtkan bir ayırıcı, EUT'yi transmisyon hattının merkez ve dış iletkenlerinden elektriksel olarak izole etmek için kullanılır. Kapalı bir harici muhafazanın varlığı, hücreye giren ve çıkan elektromanyetik alanların izole edilmesi için etkin bir koruma sağlar. TEM hücreleri kare veya asimetrik dikdörtgen gibi farklı profillerde de dizayn edilebilir.

Şekil 3.9'da tipik bir TEM hücresi gösterilmiştir. Buradaki TEM hücresi, metal bir kutu gibidir. Ekranlanmış TEM hücrelerine, bir uçtan yüksek güçlü RF işareti verilir. Diğer uç 50 Ω ile sonlandırılır. Ortada bir septum üzerine konan cihaz etrafında yüksek seviyeli ve homojen alanlar meydana getirilir.



Şekil 3.9. Tipik bir TEM Hücresi

Cihaz yüksekliği (h) ve TEM hücre genişliği (d), kullanılabilir en yüksek frekans belirler. Bu frekans TEM hücreleri ile birkaç MHz'lere kadar çıkabilir ve telefon, dizüstü bilgisayar gibi küçük boyutlu cihazlar test edilebilir. Daha yüksek frekanslar için GTEM hücreleri kullanılır.

TEM hücrelerinin avantajları; küçük boyutlu, düşük maliyetli olmaları ve güçlü bir amplifikatöre ihtiyaç duyulmamasıdır. Bu özel odalar neredeyse her yere yerleştirilebilir. Ek olarak, harici alanları zayıflatmak için ilave kaplamaya gerek yoktur. Dezavantajları ise video ekranı gibi EUT'lerin çalışmasının izlenmesi için bir pencereye ihtiyaç duyulmasıdır. Hücre, küçük boyutlu (hücrenin üçte biri hacmine kadar) EUT'ler için idealdir. Bir kusuru da yüksek frekanslarda çalışma kabiliyetidir. Daha geniş bir özel oda kullanılırsa alt frekans limiti artırılabilir.

EUT'nin ölçüleri, TEM hücresi içerisindeki test hacmine göre daha küçük olmalıdır. EUT küçük değilse hücre içindeki RF alanı belirli noktalarda kısa devre olur ve hücrenin diğer yerlerinde yüksek şiddetli alan gücü oluşmasına yol açar. EUT'nin gerçekçi olmayan şekilde yüksek seviyelerde bağışıklığını arttırmak için, zorunlu olmayan bazı modifikasyonlarının ardından testlerin tekrarlanması gerekebilir.

3.4.3.2. GTEM hücreleri

Piramit şeklindeki GTEM hücresinde uç tarafı giriştir, diğer taraf ise yutucu maddelerle kaplıdır. İstenirse, içeride ayrıca yutucu maddelerle kaplı duvarlar kullanılabilir. TEM ya da GTEM hücrelerinde, birkaç 10 V/m seviyesinde yüksek manyetik alanlar 10–20 W'lık kuvvetlendiricilerle sağlanabilir.

Bir GTEM hücresinin tipik özellikleri şöyledir:

Dış boyutlar: 4.95 (U) m x 2.54 m (G) x 2.13 m (Y)

Septum yüksekliği: 1 m

Frekans aralığı: 10 kHz - 18 GHz

Tanımlı test hacmi(± 4 dB, < 1 GHz): 0.6 m x 0.6 m x 0.3 m

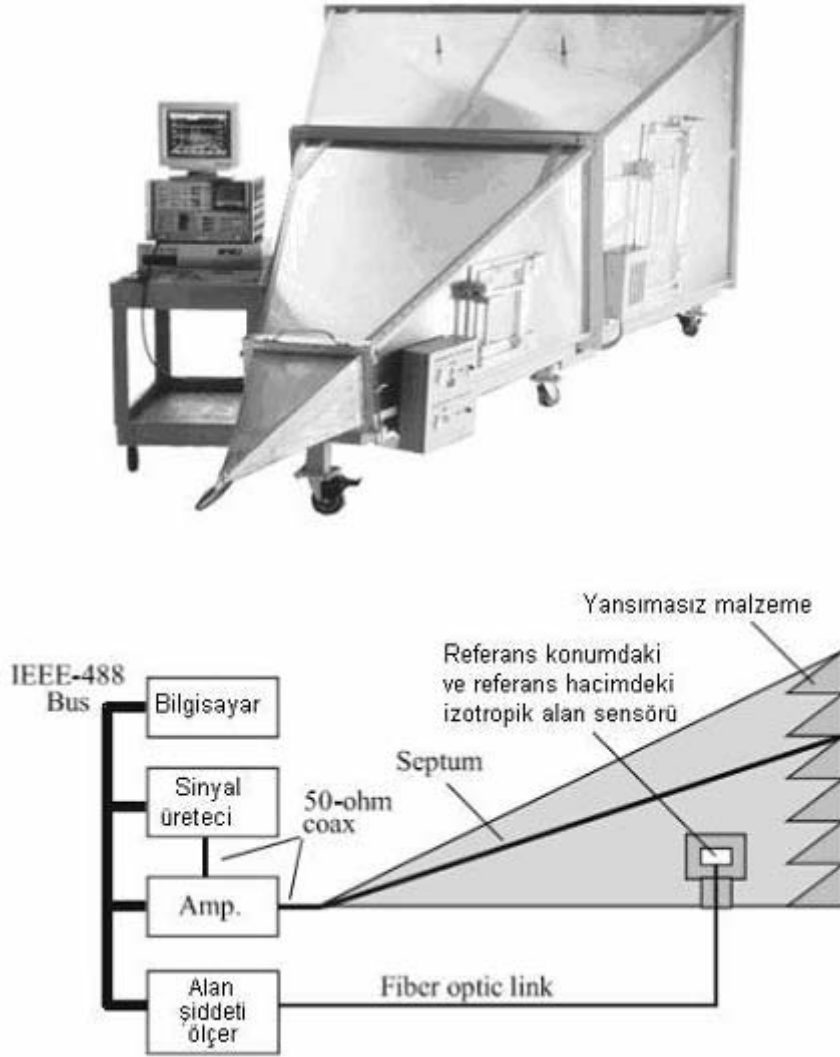
Maksimum giriş gücü: 500 Watt

Hücre içinde yapılan kalibrasyon: 1 GHz frekansın altında izotropik anten

Hücre içinde yapılan testler: Ufak ebatlarda (tanımlı test hacmi içinde) ticari ürünlere yönelik ışınlama yayılım testleri [13].

GTEM hücrelerinin, TEM hücrelerine göre bazı avantajları vardır. TEM'deki üst frekans limiti transmisyon hattının besleme noktasının, sistemin sonlandırıldığı noktaya kadar dışa doğru konikleştirilmesiyle ortadan kaldırılmıştır. Konikleştirilmiş nokta ve hücrenin geniş ucundaki yankısız sönümleyiciler bu hücrenin GHz aralığında düzgün çalışmasını sağlar. Dıştan bakıldığında hücre yatık bir piramit şeklindedir (Şekil 3.10).

GTEM hücrelerinin bir avantajı da, muhafazaya ihtiyaç duyulmadan tüm frekans aralığında çalışabilmesidir. Ek olarak, düşük maliyetli küçük çıkış güçlü bir amplifikatör yeterlidir. Normal TEM çalışmasında da olduğu gibi, EUT üç dik yönelimde (x, y ve z eksenleri) test edilmelidir. Bu da, cihazın yerleştirileceği hücre içerisinde yayılan alanları etkilemeyecek özel bir çevirici sistem gerektirir. Bu sebeple hücre içerisine test edilecek sistem yerleştirilirken kablo dönüşüne dikkat edilmelidir.

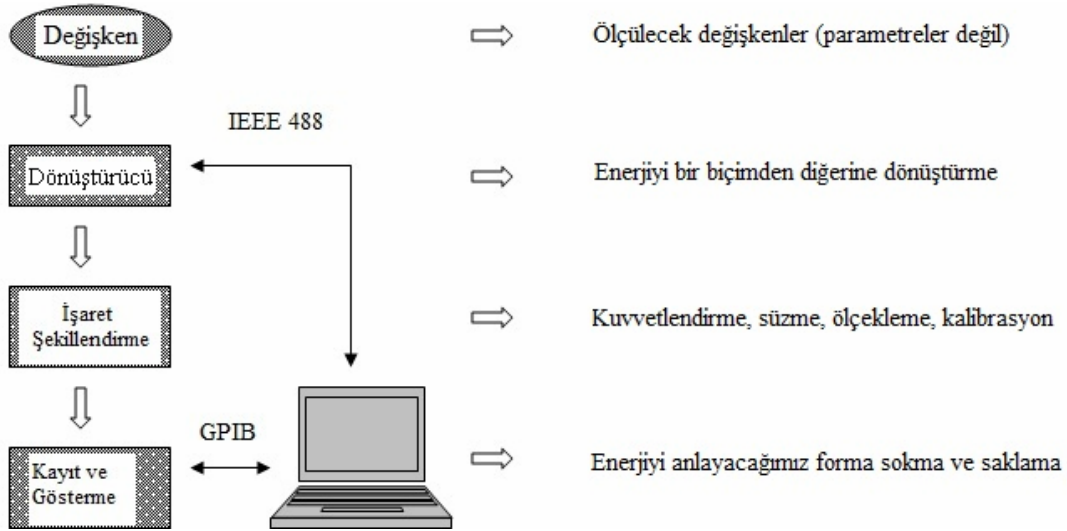


Şekil 3.10. Tipik bir GTEM Hücresinin fotoğraf ve diyagramı (Fotoğraf ETS-Lindgren'e aittir.)

3.5. EMC Test ve Ölçümlerinde Kullanılan Cihazlar

EMC testlerinde kullanılmak üzere, hassas ve istenilen özelliklerde EMI test cihazları mevcuttur. Diğer alıcılardan daha hassas ve duyarlı parametrelere sahip olarak üretilen bu EMI cihazları kullanılarak, test eden cihazın test edilen cihaza etkilerinin önüne geçilebilmektedir.

EMC test ve ölçümlerinden bahsederken, mutlaka tipik bir ölçüm düzeneğinden bahsetmek gerekir. Şekil 3.11'de böyle bir ölçüm düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tipik bir bilgisayar kontrollü ölçüm düzeni

Günümüzde kullanılan bir ölçüm düzeninde, ölçülecek bağımsız parametre (sıcaklık, basınç, elektrik alanı, güç, akım, gerilim v.b) belirlenir. Bu parametreyi ölçmek üzere bir dönüştürücü kullanılır. Örneğin EMC girişim ölçümlerinde kullanılan anten, bir dönüştürücüdür. Anten verici olarak kullanıldığında, uçlarına uygulanan gerilimi, uzaydaki elektrik alanına dönüştürür. Alıcı olarak kullanıldığında ise anten, uzayda (ilgilenilen frekanstaki) elektrik alanlardan aldığı etkiyi uçlarına gerilim farkı olarak yansıtır. Bu dönüşüme anten faktörü adı verilir ve kullanılan ölçüm düzeninde bu faktörün ilgili frekansta bilinmesi zorunludur. Yani EMI cihazında okunan gerilim değeri vasıtasıyla ortamda cihazdan bağımsız bulunan elektrik alan şiddeti hakkında birebir bilgi sağlayan faktör, anten faktörüdür. EMI cihazı ile birlikte kullanılan anten, ara bağlantı kabloları dâhil tüm etkileri içerir. Bu ise, ancak sağlıklı bir ölçüm ile elde edilebilir ya da EMI ölçüm setinin üreticisi tarafından sağlanmalıdır.

EMC testlerinde önemli olan, ölçüm cihazının ekrandaki gerilim ya da güç değeri değildir. Önemli olan, bu değerlerin ortamdaki hangi gerçek elektromanyetik etkiyi ne derece doğrulukla verdiğidir.

EMC test ve ölçümleri, zaman ve frekans domeninde yapılır. Yayınım testleri daha çok frekans domeninde gerçekleştirilirken, bağışıklık testleri daha çok zaman domenindedir.

Tablo 3.1. EMI Alıcısı ve Spektrum Analizörünün karakteristik özellikleri ve karşılaştırılması

	EMI Alıcısı	Spektrum analizör
IF band genişliği	120 kHz	120 kHz
Gürültü faktörü	15 dB	25 dB
Gürültü göstergesi	5dBuV	15 dB μ V
1. Karıştırıcı max. Gerilimi	117 dB μ V	117 dB μ V
CW moda dinamik aralık	112 dB	102 dB
Giriş band genişliği	60MHz	1800 MHz
$20\log B_{input} / BIF$	54 dB	83 dB
PK dedektör dinamik aralığı	58 dB	19 dB
QP dedektör dinamik aralığı	15 dB	(-24 dB)

Frekans domeninde gerçekleştirilen testlerde, spektrum analizörü denen ve istenen her frekanstaki etkiyi süzüp verebilen cihazlar kullanılır. EMI ölçüm cihazı tipik bir spektrum analizörü olmasına karşın belli açılardan daha hassas ölçüm yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu karşılaştırma Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablodan da görüleceği üzere, EMI cihazları gürültüye karşı daha duyarlı, gürültüyü süzmede gerekli olan daha dar banda sahip ve dinamik sınır açısından daha etkilidir.

3.5.1. EMI alıcıları ve dedektör tipleri

EMC test ve ölçümlerinde, geniş bandlı ve spektrum analizörüne göre daha duyarlı, daha düşük gürültü faktörüne sahip ve daha yüksek dinamik sınır olan EMI Alıcısı kullanılır. EMI alıcısında, farklı karakterdeki işaretlere karşı, farklı duyarlılık gösteren detektör tipleri bulunur. Bunlar; tepe dedektörü, ortalama dedektör ve yarı-tepe dedektörüdür.

Tepe dedektörü (peak), zamanla değişen bir işaretin en yüksek seviyesini kaydeder. Ortalama dedektör (average), zamanla değişen bir işaretin belli bir süre boyunca

ortalamasını kaydeder. Yarı-tepe (quasi-peak) dedektör ise, belli bir süre boyunca işaretin genliğini ve tekrarlama sıklığını kaydeder.

Darbesel işaretlerin girişimi durumunda, EMC ölçümlerinde elde edilen değerler darbe tekrarlama frekansına bağlıdır. Deneyler 10 Hz'lik bir girişim işaretinin, 150 Hz'lik işarete göre daha az rahatsız edici olduğunu göstermektedir. Bu yarı-tepe dedektörü, işaretin yanında tekrarlama sıklığını da göstermektedir. İnsanlar, sinüzoidal işaretlerden kaynaklanan girişime karşı özel bir duyarlılık göstermektedir. Ses alıcısında, böyle bir girişimin sonucu ısıklık gibidir. Darbeli girişimdeki sürekli darbelerin ölçümü, bir ortalama dedektör gerektirir.

Eğer girişim kaynağı bir bilgisayar, askeri ya da endüstriyel bir kontrol sistemi ise, girişim tekrarlama oranı genellikle önemli değildir. Yeterince güçlü tek bir darbe bile bilgisayarın çökmesine yol açabilir. Bundan dolayı, askeri alandaki EMC ölçümleri için belirli bir band genişliğindeki girişimin tepe değeri tespit edilir ve bir tepe limit değeri ile karşılaştırılır.

3.5.2. Sinyal kaynağı

Işınımına karşı bağışıklık testleri için 80–100 MHz frekans aralığını kapsayan bir RF sinyal üretici kullanılabilir. İletime karşı bağışıklık testleri için ise, sinyal üreticinin en az 150kHz ile 80 MHz arasında çalışabilmesi gerekir. İletime karşı bağışıklık testlerinde, tek genişbant RF amplifikatörünün maliyetini azaltmak için ikinci bir amplifikatör kullanılabilir. Sinyal üreticinin çıkış gücü, birkaç desibel toleransla amplifikatörün giriş değeriyle uyumlu olmalıdır.

Sinyal üretici % 80 derinliğe sahip, 1 kHz modüleli Genlik Modülasyonu (AM) taşıyıcısı üretebilmelidir. İzleyici üreteçle birlikte bir spektrum analizörü, frekans, genlik ve modülasyon miktarını izlemek için opsiyonel olarak kullanılabilir. Bir bilgisayar, test edilecek banda göre adım frekanslarını belirleyecektir. Gereken frekans hassasiyeti, EUT'nin darbant girişimine cevap verip vermemesine bağlıdır. El ile frekans seçme özelliği, uygun hata arama teçhizatıyla birlikte (sensörler, probalar, yazılım gibi) belirli bir frekans çevresinde cevabın araştırılmasına sağlar.

3.5.3. Güç amplifikatörü

Işınımına karşı bağışıklık testi için gereken yüksek güç nedeniyle, bir RF amplifikatör gereklidir. Belirli bir frekanstaki RF sinyali, RF amplifikatörün girişine uygulanır. Aynı frekans yükseltilir ve antene uygulanır. Kullanılan özel oda tipine ve ilgili güç seviyesine bağılı olarak, genellikle 25–100 watt arası amplifikatör gerekir. Amplifikatörün verebileceğı çıkış gücü ne kadar yüksekse, test o kadar masraflı olur. Bir test tesisinde, iki ya da daha fazla amplifikatöre rastlanabilir. Amplifikatörlerden biri, iletme karşı bağışıklık için kullanılırken (150 kHz–80 MHz), diğeri yayınımına karşı bağışıklık için kullanılır (80–1000 MHz).

Bant genişliğine göre çıkış gücü, bir amplifikatörün en önemli parametresidir. Cihazın maliyetini büyük oranda etkiler. Birkaç watt'lık çıkış gücüne sahip birçok genişbant amplifikatör (1–1000 MHz) bulunabilir. Bu tip amplifikatörler, düşük frekans aralığında, bikonik antenler için gerekli gücü elde etmede yetersiz kalabilir. Bu nedenle 30–300 MHz bant genişliğine sahip bir amplifikatör gerekebilir. Bu, test tesislerinde bazen birden fazla amplifikatöre ihtiyaç duyulmasının temel nedenidir.

Antene aktarılan güç (net güç), amplifikatörden alınan güç ile her zaman aynı değildir. Antende olduğı gibi, koaksiyel kabloda da kayıplar olur. Yansıyan güç, amplifikatöre VSWR (Gerilim Duran Dalga Oranı) olarak geri gönderilir.

Eğer amplifikatöre belirli miktarda yansıyan güç gönderilirse, çıkış devrelerinde hasar meydana gelebilir. Yüksek VSWR'den kaynaklanan hasarı önlemek için, amplifikatörün çıkış terminaline 3–6 dB'lik zayıflatıcı yerleştirilir.

Güç amplifikatörünün teknik şartnamesi oluşturulurken dikkate alınması gereken hususlardan bazıları şunlardır:

Doğrusallık: RF gücü açık olduğunda sinyalin bozulması aşırı olmamalıdır. Eğer bozulma varsa, EUT'nin yapay cevaplarını yükseltilmesiyle birlikte bozulma, test frekansında oluşan harmonikler şeklinde gözlenecektir. Amplifikatör, bozulmalar taşıyıcı frekansın en az 20 dB altında kalacak şekilde tasarlanmış olması gerekir.

Güç Kazancı: Amplifikatör, test ortamındaki kayıpları tolare etmek için bir emniyet payı ile frekans spektrumu boyunca tam güç sağlayabilmelidir.

Pürüzlülük: Amplifikatör, yüksek seviyede VSWR'ye veya azami değerlerden daha yüksek güç seviyelerine maruz kalabilir. Sıra dışı çalıştırma koşullarında amplifikatör kapanmamalı ancak önceden belirlenmiş değerler setine inmelidir. Test ortamına ilave olarak antene giden koaksiyel kablodaki kayıplar ve değişimler nedeniyle amplifikatör her zaman kararlı kalmalıdır.

Erişilebilirlik: Kesintisiz çalışmayı sağlamak için yedek bir amplifikatör mevcut olmalıdır. Yedek amplifikatör mevcut değilse cihaz düşük maliyetle tamir edilebilmelidir.

3.5.4. LISN (Hat Empedansı Sabitleme Ağı)

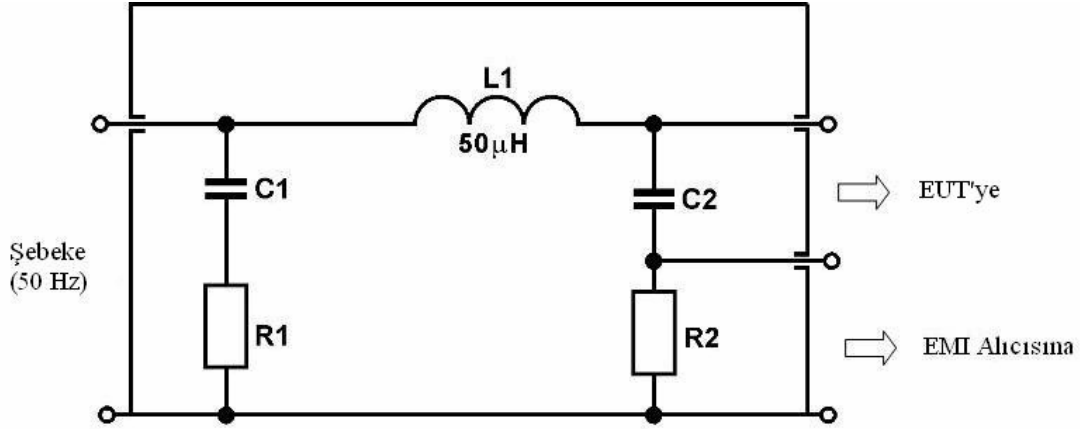
İletkenlik yollu yayılım ölçümleri, 30 MHz'e kadar olan frekanslarda, cihaz kabloları test edilerek yapılır. Hemen bütün testlerde LISN denen, üç kapılı bir düzenleyici devre kullanılır ve testler ekranlanmış odada yapılır.

Şekil 3.12'de tipik bir LISN devresi gösterilmiştir. LISN devresinin temel özellikleri şunlardır:

(i) Şehir şebekesinden gelen besleme enerjisini süzerek, cihaza temiz enerji sağlar. 50 Hz'lik şebeke gerilimi üzerinde, 40. harmoniğe kadar (2 kHz) etkili olabilen istenmeyen bileşenler dolaşmaktadır. Bu istenmeyen işaretlerin cihaza kuplajını LISN devresi önler.

(ii) Cihazdan kaynaklanan (genelde 9 kHz'den büyük) yayınımların, sadece EMI ölçüm aletine ulaşmasını sağlar. Bu, istenmeyen bileşenlerin şebekeye aktarılmasına engel olur.

(iii) Şebeke ile cihaz arasında, 150 kHz–30 MHz bölgesinde, empedans uygunluğu sağlar ve böylece istenmeyen yansımalar önlenmiş olur.



Şekil 3.12. Tipik bir LISN Devresi

LISN devresinde, ölçülen istenmeyen işaretler, dB μ V cinsinden verilen limitlerle karşılaştırılır. En yaygın iletkenlik yollu yayınım kaynakları, anahtarlı besleme kaynaklarıdır. Ayrıca, endüstriyel kontrol devreleri de önemli girişim kaynağı olarak sayılabilir. Bu tip cihazların üretimiyle uğraşanlar sadece CE markası almak amacıyla değil, üretimin her aşamasında da LISN benzeri test ve ölçüm cihazlarına gerek duyarlar.

3.5.5. EMC antenleri

Emisyon ölçümleri, test/ölçüm için getirilen cihazların ilgili standartlarda belirtilen frekans aralığında izin verilen istenmeyen yayınım sınır değerlerinin saptanması için yapılmaktadır. Bu ölçümler, genellikle geniş bantlı (log-periyodik, spiral, bikonik gibi) antenlerle gerçekleştirilmektedir. Bağışıklık testleri ise, yine cihazların belirtilen yüksek seviyeli EM alanlar içerisinde sorunsuz sürdürebilmeleri ile ilgilidir. Log-periyodik antenler bu amaçla kullanılır.

Antenler hangi test veya ölçüm için kullanılırsa kullanılsın polarizasyon, VSWR, kazanç, verim, ışınım karakteristiği, giriş empedansı ve en önemlisi verici/alıcı anten faktörleri gibi temel parametrelere sahiptirler. Anten bir dönüştürücüdür. Bu nedenle verici anten, uçlarına uygulanan gerilimi (Volt) uzayda yayılan elektrik alanına (Volt/metre), alıcı anten ise bunun tersine uzaydan çektiği elektrik alanını uçlarına gerilim farkı olarak dönüştürür.

EMC antenlerinin yakın alanda çalıştırılıyor olması, haberleşme antenlerinden ayrılan en büyük özelliktir. Çünkü haberleşme antenleri uzak alanda çalıştırılır ve senelerce hiç bakım, tamir istemeyebilir. Oysa EMC antenleri, ekranlı ya da yansız bir odada her gün defalarca sökülüp, takılır ve çalışma frekansı ile gücü sürekli değiştirilebilir. Ayrıca EMC antenleri, hem alıcı hem verici olarak kullanılabilen elemanlardır.

EMC antenlerinin tasarımında belirleyici parametre band genişliğidir. Diğer VSWR, kazanç, verim, giriş empedansı gibi parametreler ikincil durumdadır. Bunun temel nedeni, EMC standartlarıdır. Ürün standartları, geniş bir frekans sahasında emisyon ya da bağışıklık testlerini zorunlu kılmaktadır. Örneğin, haberleşme cihazlarının çoğunda 30MHz–1GHz arasında emisyon test ve ölçümlerinin yapılması istenmektedir.

EMC antenleri, istenmeyen ışınan emisyon testlerinde ve ışınma yolu oluşan yüksek alan değerlerine karşı bağışıklık testlerinde kullanılmaktadır. Emisyon ölçümlerinde kalibrasyon yapılması ve standartların takip edilmesi zorunludur. Bağışıklık testlerinde ise, anten kalibrasyonu tek başına gerekmemektedir. EMC test düzeneklerinin bir bütün olarak kalibrasyonu söz konusudur. Cihazın test edileceği ortamda, istenen şiddette ve homojen alan oluşturulup oluşturulmadığının belirlenmesi gerekir.

Emisyon ölçümleri ve bağışıklık testleri iki farklı parametreyi gündeme getirmektedir. Emisyon ölçümlerinde bu parametre AF (anten faktörü) iken, bağışıklık testlerinde TAF (verici anten faktörü) 'dir.

3.5.5.1. Anten faktörü -AF

Anten faktörü, antenin ölçtüğü elektrik alan şiddetinin, anten çıkışındaki indüklenmiş gerilime oranıdır ve Eşitlik (3.9)'daki gibi dB olarak ifade edilebilir.

$$AF = 20 \log \left(\frac{E}{V_A} \right) \quad (3.9)$$

Eşitlik (3.9)'da, AF anten faktörü (dBm^{-1}), E elektrik alan şiddeti (Volt/metre), V_A anten çıkış gerilimi (Volt) olarak tanımlanmaktadır.

3.5.5.2. Verici anten faktörü –TAF

Verici anten faktörü (Transmitting antenna factor –TAF), uçlarına uygulanan gerilim ile verici antenden belli bir uzaklıkta oluşturulan elektrik alan şiddeti arasındaki orandır ve Eşitlik (3.10) ile ifade edilir.

$$\text{TAF} = 20 \log \left(\frac{E}{V_A} \right) \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte E, verici antenden r kadar uzaklıktaki elektrik alan şiddeti, V_A ise antenin besleme gerilimidir.

Anten kazancı ile antene uygulanan güç arasındaki ilişki uzak uçtaki alan gücüyle ilgilidir ve yayılan etkin güç (ERP) olarak tanımlanır ve Eşitlik (3.11)'deki Friis formülü ile gösterilir.

$$\text{ERP} = (E^2 r^2) / 30 \quad (3.11)$$

Eşitlik (3.11)'de E alan gücü (V/m), r = vericiye olan uzaklık (m) olarak tanımlanır.

Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra dönüşüm yapılırsa Eşitlik (3.12) elde edilir.

$$E = \frac{\sqrt{30(\text{ERP})}}{r} \quad (3.12)$$

Friis alan denklemi (Eşitlik (3.11)), aslında karmaşık bir durum olan EMC içerisindeki bir bozulmayı çok basit bir matematiksel ifadeyle belirtir. Bu ifade, gözlem noktası *gerçek uzak alan* içerisindeyse geçerlidir. Ancak çok az EMI senaryosu, gerçek uzak alan olarak sınıflandırılabilir. Örneğin, pratikte hiçbir

standart EMC test kurulumu gerçek uzak alan durumunu sağlamaz çünkü çoğu durumda bu mümkün değildir. Eşitlik (3.11) en iyi halde kaba bir ilk tahmin sağlar. Hiç bir zaman ölçüm sonuçlarına göre cihazın uyumlu olup olmadığının karar verilmesinde kullanılamaz.

BÖLÜM 4. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TEST VE ÖLÇÜMLERİNİN GERÇEKLENMESİ

4.1. Giriş

EMC test ve ölçümleri, cihazların gerçek çalışma ortamlarında ve cihazlar çalışır durumdayken yapılır. Test ve ölçümler zaman ve frekans domeninde ayrı ayrı yapılır. Yayınım testleri daha çok frekans domeninde yapılırken, bağışıklık testleri genellikle zaman domeninde yapılır.

EMC ölçümlerinde dar ve geniş bandlı işaretlerle ilgilenilir. Her iki tip işaretin ölçülmesi farklı band genişliği ve zaman gerektirir. Bu nedenle, tanımları olduğu kadar davranışları da önemlidir.

Bir EMC test ya da ölçümünde üç temel unsur bulunur:

- (i) Ürünün hangi standartlarca denetlendiğinin bilinmesi,
- (ii) Ürünün söz konusu test ve ölçümlerde hangi işlevleri yerine getireceği,
- (iii) Test ve ölçümlerin yapılması.

EMC test ve ölçümlerinin ana özelliği, tekrar edilebilir olmasıdır. Ele alınan ürünün bağlı olduğu standartta, test ve ölçümlerle ilgili her nokta ayrıntılı belirtilir. Testlerin yapılacağı ortam, bu ortamda kullanılacak cihazlar, cihazların yerleştirileceği masanın boyutları, diğer cihazlardan uzaklığına varıncaya dek gereken her nokta bulunur.



Şekil 4.1. Bir otomobile yapılan ışıman emisyon EMC testi (ETS-Lindgren'den alınmıştır.)



Şekil 4.2. Bir otomobile yapılan EMC testi (ETS-Lindgren'den alınmıştır.)

Testlerin tekrarlanabilirliğini ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla, ölçüm düzeninin fotoğrafının çekilip saklanması istenir. Ancak bu şekilde test ve ölçümlerin tekrarlanabilirliği sağlanır. Şekil 4.1 ve 4.2'de gerçek EMC testlerine örnek verilmiştir.

Üzerinde haberleşme cihazı, antenler, kablolar olan ve 200'den fazla elektronik kontrol birimi olan bir otomobilin testlerden geçmesi, ciddi düzeyde EMC mühendisliği ve tasarımı gerektirmektedir.

4.2. Yayınım (Emisyon) Test ve Ölçümleri

Yayınım ölçümlerinde istenen, cihazın neden olduğu istenmeyen EM sızıntı seviyesini ölçüp belirtilen limitlerle karşılaştırmaktır. Bu işlem cihaz için sorun olabilecek bütün frekanslarda tekrarlanmak zorundadır. Örneğin, evsel cihazlar için ışınım yollu yayınım ölçümleri 30 MHz ile 1 GHz frekans aralığında yapılır. 30 MHz frekansının altında ışınım yollu yayınım hemen hemen ihmal edilebilecek seviyededir. Bu frekans bölgesinde bütün yayınım iletkenlik yolludur. Sonuç olarak kabaca, 30 MHz frekansının altında iletkenlik yollu yayınım ölçümleri, üstünde ise ışınım yollu yayınım ölçümleri yapılır.

Emisyon test koşulları çok önemlidir. Test ve ölçümler doğru yapılmadığında veya ortamdaki kaynaklanan sorunlar olması durumunda, en iyi donanımı kullanmanın bile bir değeri olmaz. Yayınım testlerine ait standartlar, 150 kHz ile 1 GHz arasındaki ölçümler için iki ölçüm band genişliği tanımlanmıştır. Bunlar Tablo 4.1’de gerekli ölçüm süreleri ile birlikte verilmiştir. Tablodan görüleceği gibi, iletkenlik yollu yayınım ölçümlerinde 9 kHz band genişliği ve 5 kHz’lik frekans adımları kullanılmaktadır. Tepe ve yarı-tepe dedektörlerinin kullanılması durumunda, ölçüm süreleri arasındaki farklar da son iki sütunda görülmektedir. Tepe dedektörü ile bir cihazın iletkenlik yollu yayınım ölçümleri 2 dakika içerisinde (tüm hazırlıklar bittikten sonra EMI alıcının frekans tarama süresi) biterken, aynı ölçümler yarı-tepe dedektörü ile 100 dakikada yapılabilmektedir. Bu nedenle özellikle yayınım test ve ölçümlerinde, önce tepe dedektörü ile hızlı tarama uygulanır. Cihazın yayınım limitlerini zorladığı frekanslarda ise yarı-tepe dedektörü ile ölçümler tekrarlanır. Tepe dedektörü ile yapılan ölçümler en kötü hali yansıtır. Bu nedenle tepe dedektörü ile gerçekleştirilen ölçümlerde limitler aşılmazsa cihaz testleri geçer. Limitler aşılsa, yarı-tepe dedektörü ve hatta ortalama dedektörü ile ölçümler tekrarlanır.

Tablo 4.1’deki ölçüm band genişlikleri aynı zamanda, dar ve geniş bantlı işaret tanımlarına da ışık tutmaktadır. Bu durumda 150 kHz–30 MHz arasında bir işaretin dar bantlı olabilmesi için, işaret band genişliğinin 9 kHz’den dar olması gerekir. Benzer şekilde, 30MHz’in üstündeki ölçümlerde de, bir işaretin geniş bantlı sayılabilmesi için bandının 120 kHz’den büyük olması gerekir [16].

Tablo 4.1. Yayınım ölçümlerinde band genişlikleri ve ölçüm süresi

Frekans	Band	Adım	Adım Sayısı	Ölçüm Süresi (tepe det)	Ölçüm Süresi (yarı-tepe)
150 kHz 30 MHz	9 kHz	5 kHz	5970	2 dakika	100 dakika
30MHz 1 GHz	120 kHz	50 kHz	19400	6.5 dakika	323 dakika

4.2.1. Yayınım test düzeneği ve konfigürasyonu

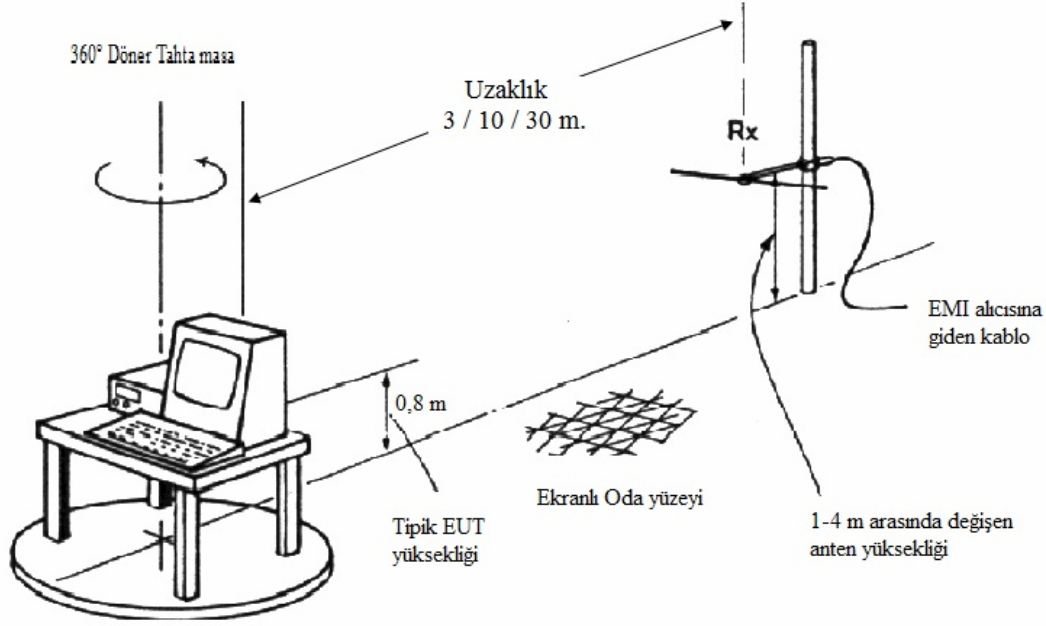
EMI yayınım ölçümlerinde kullanılan test düzeneğinin en basit hali Şekil 4.3'de verilmiştir. Test edilecek cihaz, 360° dönebilen bir masa üzerine yerleştirilir. Tahta masanın yerden yüksekliği 0,8 metredir. Cihazdan kaynaklanan ışınım yollu yayınımı kaydetmek için bir EMI ölçüm seti kullanılır. Bu ölçüm seti bir spektrum analizörü (EMI alıcısı), geniş bantlı bir alıcı anten ve bağlantı kablolarından oluşur [12].

Bu tip ölçümlerde önemli olan, ortamdaki V/m birimindeki elektrik alan şiddetini alıcı girişinde watt biriminde alıcı gücüne çeviren anten faktörünün, ilgilenilen frekans aralığında ölçülmesidir. Bu olmadan gerçekleştirilen EMC testleri anlamsız olur.

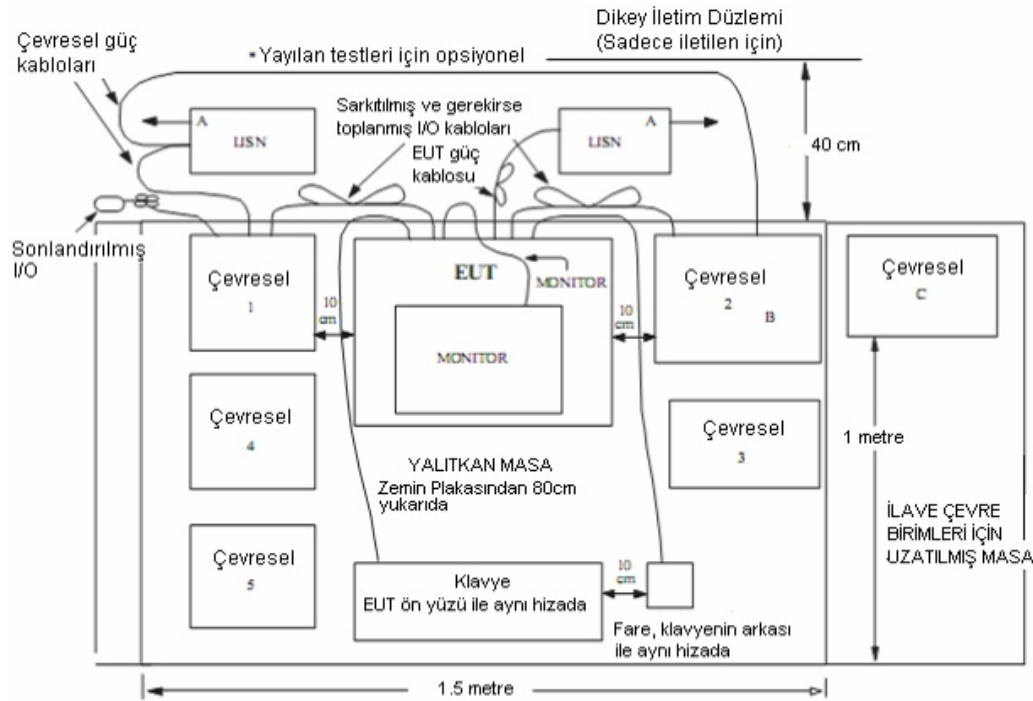
Sadece EUT için değil, destek donanımı için de performans kalitesinden emin olmak için, EUT'ye yapılan tüm uzaktan kumanda bağlantıları kaliteli, düşük kayıplı, ekranlı kablolarla yapılmalıdır. Kablolardaki iletkenlerin her iki uçta da EMC koruması için topraklanması tavsiye edilir. 220 volt kablolarının tamamı, EUT ve destek donanımı test cihazlarındaki RF enerjinin bozulmaması için filtrelenmiş olmalıdır.

Tüm ara bağlantı kabloları normal kullanım tipinde ve EUT ile birlikte satılan tipte olmalıdır. Test sırasında farklı boyutlarda bir kablo kullanıldığı zaman, ürünle birlikte kullanılacağı tipte kablo kullanılmalıdır.

Hem iletilen, hem ışınan emisyonlar için masaüstü cihazların test konfigürasyonu Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

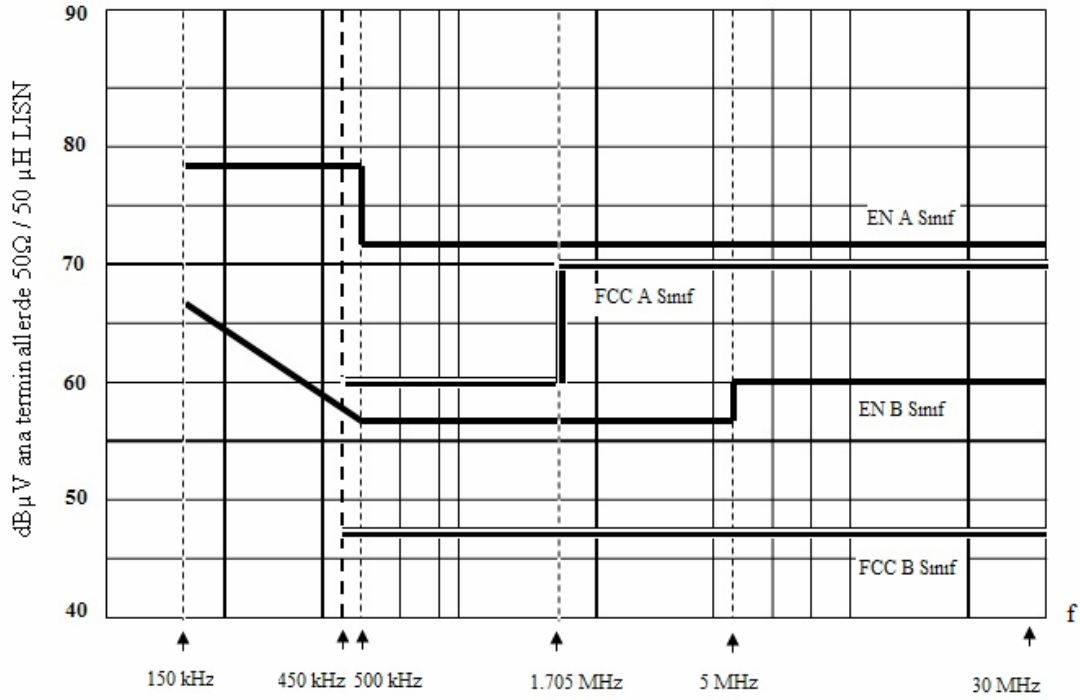


Şekil 4.3. Tipik bir EMC yayılım test düzeneği



- A - LISN'ler, alıcısının EUT'den 80 cm. uzakta olması kriterini yerine getirmek için masanın kenarına yerleştirilebilir. LISN'ler sadece iletilen emisyon ölçümleri için zeminden yukarıya konabilirler.
- B - Enerji kablosu gibi aksesuarlar eğer normalde masa üzerine monteli ise çevresel pozisyonlara yerleştirilebilirler. Normalde zemine yerleştirilen aksesuarlar ise EUT'nin enerji kablosunun tam altına gelecek şekilde zemine yerleştirilirler.
- C - Masa uzunluğu tüm çevreseller arka kenara dizilecek şekilde 1.5 m.den daha fazla uzatılabilir. Aksi halde ilave çevreseller şekilde gösterildiği gibi ve 1 m.yi geçecek şekilde yerleştirilebilir. İletilen testleri için dikey iletim düzlemi ile olan 40 cm mesafe korunmalıdır.

Şekil 4.4. Masaüstü donanımların yayılan ve iletilen emisyonlar için test konfigürasyonu

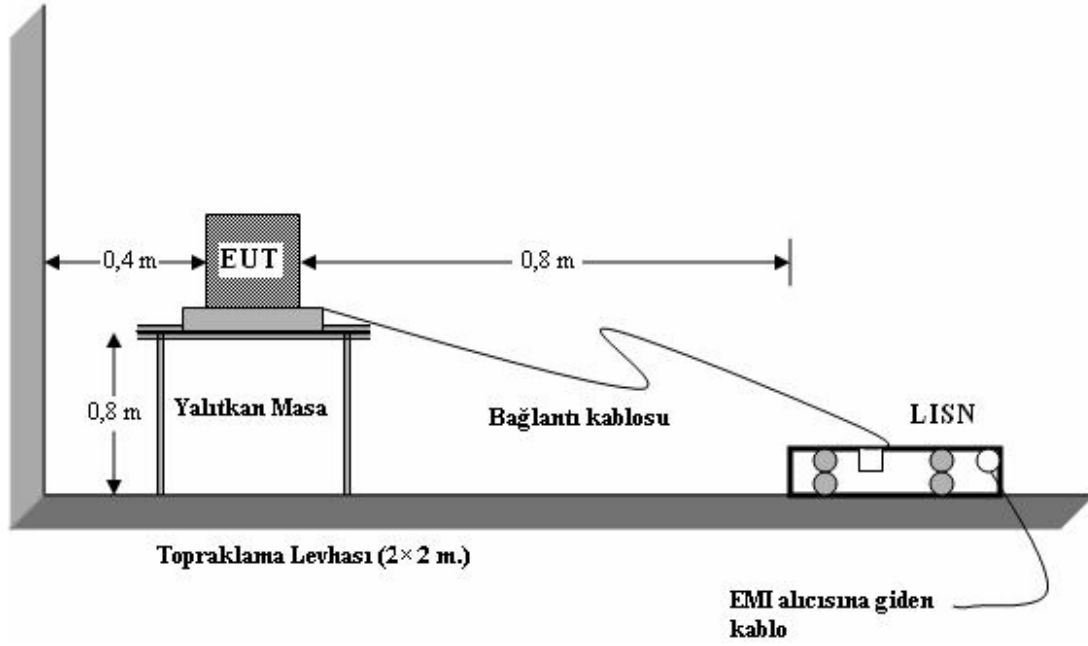


Şekil 4.5. CISPR ve FCC için iletim yolu yayılım limitleri

4.2.2. İletkenlik yolu yayılım ölçümleri

İletkenlik yolu yayılım ölçümleri 30 MHz'e kadar olan frekanslarda cihaz kabloları test edilerek yapılır. Başka bir deyişle, test edilen cihazın dış ortama güç ve işaret kabloları üzerinden yaptığı yayılım seviyesi ölçülür. Testin başarılı kabul edilebilmesi için, cihazın yaptığı yayılımın her frekansta standartta verilen sınır değerinin altında kalması gerekmektedir. CISPR ve FCC için iletim yolu yayılım limitleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Burada A ve B sınıf cihazlar için, frekanslara göre sınır değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Test yapılacak cihazın, kendi sınıfına göre ölçüm sonuçlarının bu sınır değerinin altında kalması gerekir.

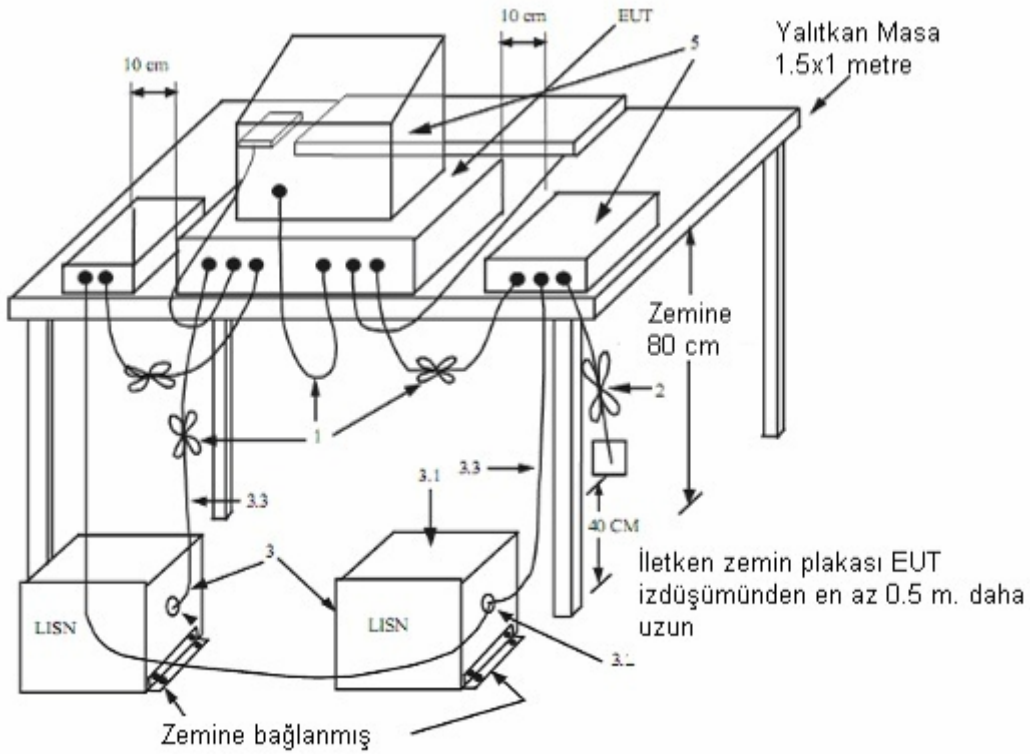
Hemen bütün testlerde LISN denen üç kapılı bir düzenleyici devre kullanılır ve testler ekranlı odada gerçekleştirilir. Bu ölçümlerde kullanılan LISN devresinden ve LISN devresinin temel işlevlerinden Bölüm 3'de bahsedilmiştir. Kısaca hatırlayacak olursak, LISN devresinin temel görevi, istenmeyen harmonikleri kuplajlayarak ölçülecek cihaza temiz besleme enerjisi vermek ve empedans uygunluğu sağlamaktır. LISN, cihazdan kaynaklanan 9 kHz'den büyük yayımların sadece EMI ölçü cihazına ulaşmasını sağlar [17].



Şekil 4.6. EN 61000–6–3 standartlarına göre iletim yolu yayılım test düzeneği

Güvenlik açısından LISN kutusu topraklanmalıdır. Ölçümlerin ekranlı odada yapılması önerilir. Ölçülecek cihaz 2×2 metrelik topraklama levhası üzerine konulmalı ve LISN ile cihaz arasında en kısa mesafe 0,8 metre olmalıdır. 1 metreden uzun şebeke kablosu, çapı 0,4 metreyi aşmayacak şekilde endüktans etkisi yaratmaması için demet haline getirilir. Cihazın toprak bağlantısı, LISN'in toprağına bağlanır. Toprak hattı, şebeke hattına paralel 10 santimetreden yakın ve 1 metreden kısa olmalıdır.

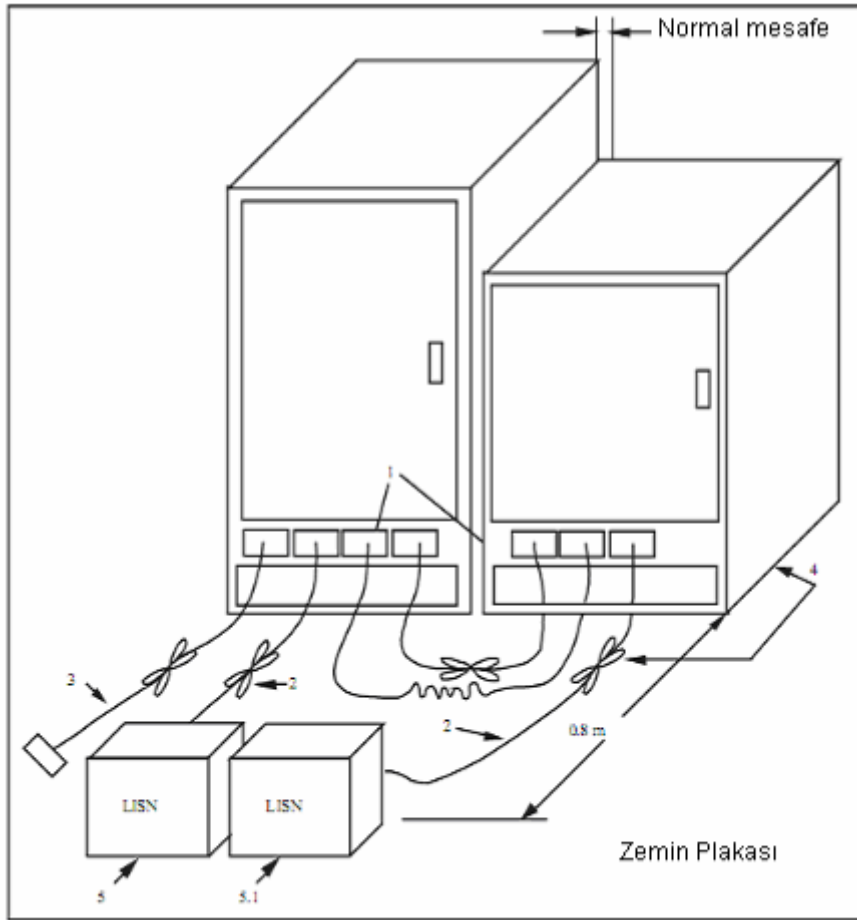
Cihaz, topraklama levhasından 0,4 metre, diğer metal yüzeylerden 0,8 metre uzakta olmalıdır. Ekranlı oda içerisindeki cihaz, Şekil 4.6'daki gibi 0,8 metre yüksekliğindeki tahta masada ve yan duvarlardan 0,4 metre uzakta olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Cihaz-şebeke arasındaki tüm kablolar teste tabi tutulmalıdır. LISN'in varsa boş uçları 50 Ω ile uygun şekilde sonlandırılmalıdır. EMI test ölçüm cihazını ark ve yüksek güçlerden korumak için, LISN ile EMI ölçüm cihazı arasına 10–20 dB zayıflatıcı ve darbe sonlandırıcı konulmalıdır. Test sırasında cihaz gereksiz yere açılıp kapatılmamalıdır [18, 19, 20].



1. Zemine 40cm.den daha yakın olacak şekilde sarkan arabağlantı kabloları 30-40 cm uzunluğunda yumak olacak şekilde ileri-geri sarılmalıdır.
2. Çevresellere bağlanan I/O kabloları merkezde toplanacaktır. Eğer gerekiyorsa kablonun ucu uygun sonlandırma elemanlarıyla sonlandırılabilir. Toplam uzunluk 1 m.yi aşmayacaktır.
3. EUT 1 LISN'ye bağlanır. Kullanılmayan LISN'nin ölçüm konnektörleri 50 ohmla sonlandırılır. LISN'ler referans zemin plakasının üstüne veya tam latına konulabilir.
 - 3.1 Diğer tüm ekipmanlar ilave LISN'lerden beslenir.
 - 3.2 Çoklu uzatma prizleri EUT-harici cihazların enerji bağlantıları için kullanılabilir.
 - 3.3 LISN'ler EUT şasisinin en yakın kenarından en az 80 cm. uzakta olmalıdır.
4. Klavye, fare gibi elle kullanılan cihazlar normal kullanımdaki yerlerine konulmalıdır.
5. Test edilen sistemin EUT-harici bileşenleri
6. Çevre birimleri ve EUT'nin arka yüzeyi masaüstünün arka tarafına dizilmeli ve aynı hizada olmalıdır.
7. Masanın arkası zemine bağlanan dikey iletken düzlemden 40 cm uzakta olmalıdır.

şekil 4.7. İletim yollu yayınımlar için test konfigürasyonu (masaüstü sistemler için)

Masaüstü sistemler için iletim yollu yayınımların test konfigürasyonu şekil 4.7'de gösterilmiştir. Masaüstü cihazlar için, kablonun fazlalık kısmı masanın arka tarafına sarkıtılmış olmalıdır. Eğer herhangi bir kablo zemine 40 cm'den yakın olacak şekilde sarkarsa, fazlalık kısmı masanın merkezinde 30-40 cm'lik bir çember şeklinde sarılmalı ve zemin plakasından en az 40 cm. yukarıda tutulmalıdır. Eğer fiziki zorluklardan dolayı (çok uzun veya sert) kablo sarılamıyorsa, fazlalık kısım zeminden 40 cm. yukarıda olacak şekilde masanın arka tarafına toplanmalıdır.



1. Fazlalık I/O kabloları merkezde toplanmalıdır. Toplamak mümkün değilse uzunluğu 40 cm.i geçmeyen yılanvari şekilde sarılmalıdır.
2. Fazlalık enerji kabloları merkezde toplanmalı veya uygun şekilde kısaltılmalıdır.
3. Çevre birimlerine bağlanmayan I/O kabloları merkezde toplanmalıdır. Gerekliyse kablunun ucu uygun sonlandırma elemanı ile sonlandırılabilir. Toplamak mümkün olmuyorsa yılanvari şekilde sarılabilir.
4. EUT ve tüm kablolar 12 mm.lik yalıtkan malzeme ile zemin plakasından izole edilmelidir.
5. EUT bir LISN'ye bağlanır. LISN zemin plakasının üstüne veya tam altına konulabilir.
 - 5.1. Diğer tüm ekipmanlar ilave LISN'ye bağlanmalıdır.
 - 5.2. EUT-harici cihazların enerji kabloları çoklu uzatma prizine takılabilir.

Şekil 4.8. İletim yolu yayınımlar için test konfigürasyonu (zeminde duran cihazlar için)

EUT ve çevre birimleri arasındaki ara bağlantı kabloları, zeminden en az 40 cm yukarıda olacak şekilde masanın merkezinde çember biçiminde toplanmalıdır. Kablunun ucu sonlandırılabilir. Her bir sarılmış kablunun uzunluğu 1 m'yi geçmemelidir [21].

Şebekeden iletilen emisyon testi için, EUT haricindeki cihazların 220 V kablolarının toplanmasına gerek yoktur. EUT haricindeki cihazların 220 V kabloları masanın

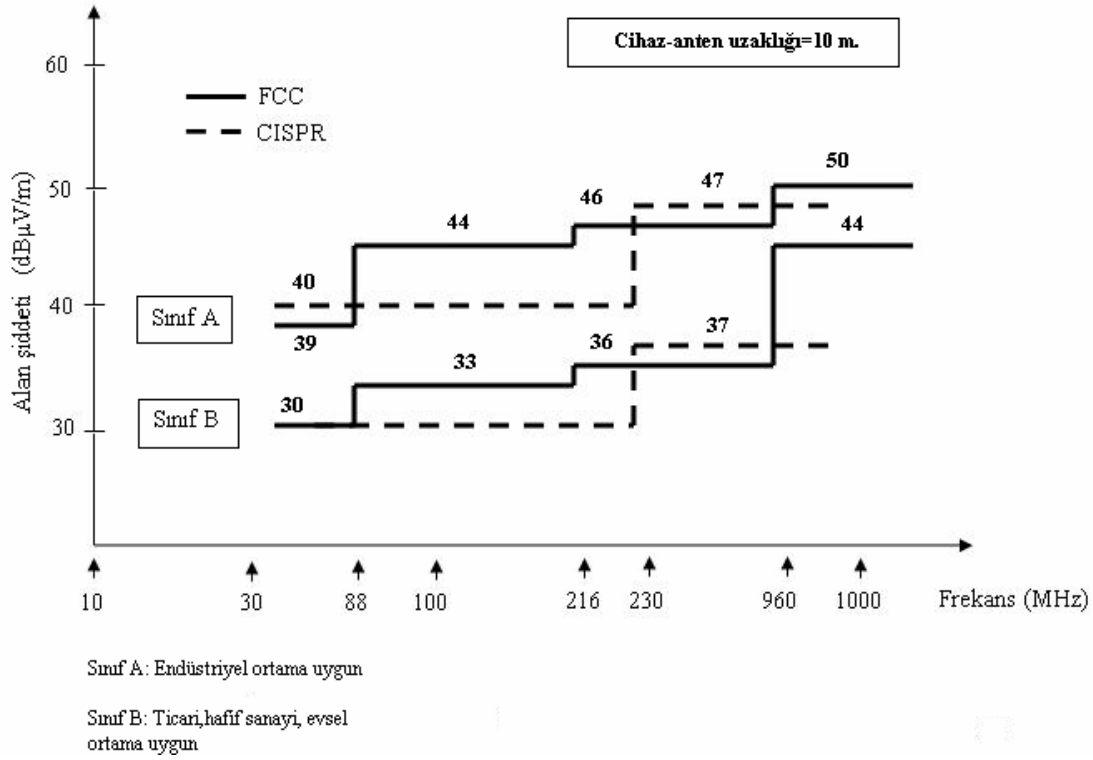
arka tarafına ve bir LISN üzerinden zemine sarkıtılabilir. Işıyan emisyon ölçümleri için tüm 220 V kabloları zemine sarkıtılmalı ve prize yönlendirilmelidir.

Zeminde duran cihazlar için, kabloların fazlalıkları 30–40 cm uzunluğunda bir sargı yapacak şekilde ileri-geri katlanmalıdır. Çevre donanımlarına bağlanmayan ara bağlantı kabloları gerekirse sonlandırıcı bir empedans kullanarak sonlandırılabilir. Normal kullanımda topraklanacak olan kablolar tüm testlerde zemin plakasına topraklanmalıdır. Normalde topraktan yalıtılarak kullanılacak olan kablolar 12 mm'ye kadar yalıtım malzemesi kullanılarak zemin plakasından yalıtılmalıdır. Zeminde duran cihazlar için iletim yollu yayılım test konfigürasyonu Şekil 4.8'de gösterilmiştir [21].

4.2.3. Işınım yollu yayılım ölçümleri

Işınım yollu yayılım ölçümleri, 30 MHz ile 1 GHz arasında istenir. Ölçümler ya açık alanda (ASTA) ya da yansısız odada gerçekleşir. Açık alanda zemin pürüzlülüğü, dalga boyunun onda birinden küçük olmalıdır (1GHz'de $\lambda/10=3$ cm). Ölçümlerin tekrarlanabilir olması açısından cihaz ile EMI alıcısı arasındaki uzaklık sabit tutulur. Bu değer çoğunlukla 1 m ya da 3 m, açık alanda ise 10 m olur. Cihazın 30 MHz–1 GHz arasında neden olduğu yayılım dB μ V/m olarak kaydedilir. Cihazın en fazla yayılım yaptığı yön, her frekansta ayrı ayrı bulunur. Bu yön EMI alıcı antene doğru çevrilerek, bu kez en fazla yayılım kaydedilen yükseklik saptanır. Bu amaçla EMI alıcı anteni, tutucu post üzerinde 1–4 m arasında yukarı aşağı oynatılır. Bütün bu işlemler sırasında alıcı antenin polarizasyonu da değiştirilerek en fazla yayılımın olduğu polarizasyon belirlenir.

Işınım yollu yayılım ölçümlerinde en önemli konu, ölçülen parametrenin ölçüm yapılan cihazdan kaynaklandığının garanti altına alınmasıdır. Ölçüm yapılan test ortamının ve ölçüm yapan cihazların da belirli aralıklarla kalibrasyonunun yapılması gerekir. Aksi takdirde, bu girişimin cihazdan kaynaklandığını söylemek hata olur [22].

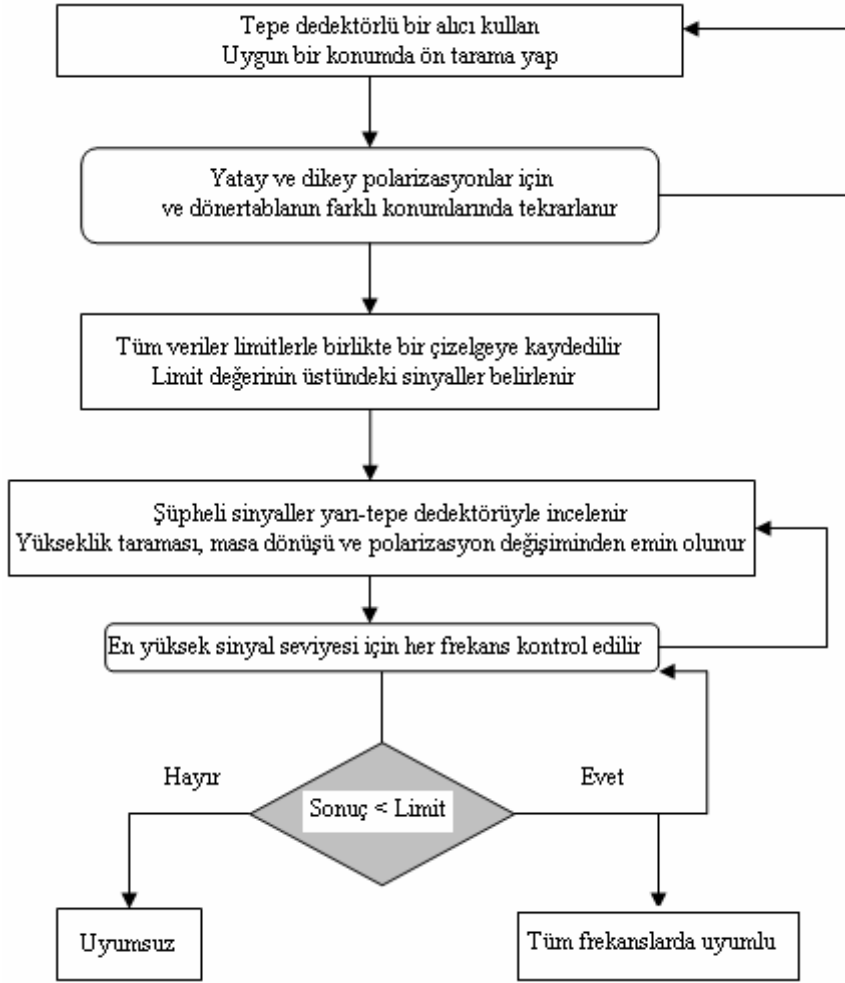


Şekil 4.9. Işınım yolu yayınım limitleri (FCC ve CISPR'a göre)

EMI alıcı anteni, ilgili frekans bandını kapsayacak genişlikte olmalıdır. Bu nedenle önceleri 30 MHz–300 MHz arasında bikonik, 200 MHz–1 GHz arasında log-periyodik antenler kullanılırken, günümüzde bütün bandı kapsayacak antenler gerçekleştirilmektedir.

Gerek iletkenlik yolu gerekse ışınım yolu EMC testlerinde, elde edilen değerler standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılır. Şekil 4.9'da ışınım yolu yayınım limitlerine bir örnek verilmiştir. 30 MHz–1 GHz arasında elektrik alan şiddeti cinsinden verilen limitlerde, tipik değerler 30 dBµV/m ile 60–70 dBµV/m arasında değişmektedir. Şekil 4.9'da Amerikan FCC ile CISPR limitleri, A sınıf ve B sınıf olarak gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, iki kurumun limitleri arasında az da olsa farklılıklar vardır.

CISPR ölçüm prosedürleri, hem dikey hem de yatay anten polarizasyonları için en kötü durum emisyonlarının belirlenmesini de gerektirir. Anten yüksekliği zemin yansımından kaynaklanan sönmüleme etkisini ortadan kaldırmak için 1 ila 3 m (3 ve 10 m test mesafeleri için) veya 2 ila 4 m (30 m testi için) arasında değiştirilir.



Şekil 4.10. Uyumluluk ölçüm prosedürü

Ticari ürünlere yönelik emisyon direktiflerinin çoğunda, 30–1000 MHz'deki tüm frekans aralığının analizi zorunlu tutulur. FCC gibi bazı standartlarda, eğer üretilen en yüksek çalışma frekansı 108 MHz'den fazlaysa 1000 MHz'in üstüne çıkmak da gerekebilir.

Spektrum analizörü veya EMI alıcısı kullanırken, ölçümün geçerliliği için doğru kurulum ayarlarının yapılmış olması gerekir. Buna 120 kHz sabit çözünürlük band genişliği de dâhildir. Frekans adım değeri, bir frekansta beklenen süre, ölçüm band genişliği, detektörün cevap süresi, ve EUT emisyon döngüsü birbiriyle ilişkilidir. Birbirleriyle etkileşimleri, herhangi bir testin ne kadar süreceğinin belirler.

Tüm bu hususlar göz önüne alınarak, tipik bir tam uyumluluk ölçüm prosedürü Şekil 4.10'da gösterilmiştir [15].

Bu prosedürlerin çoğu, laboratuarlarda standart uygulama haline gelmiş ve başlangıç ön taramalarını hızlı bir tepe (pik) detektörüyle yaparak toplam ölçüm zamanını en aza indirmiştir. Yarı-tepe veya ortalama tepe detektör yerine tepe detektörü kullanmak, okunan sinyalde daima daha yüksek bir genlik sağlayacaktır. Ön taramalar sırasında, hangi sinyalin direktif limitlerine daha yakın olduğunu belirten bir frekans tablosu hazırlanır. Bu sinyaller daha sonra daha yavaş olan yarı-tepe dedektörlerle analiz edilir. Bu ön tarama prosedürünü uygulamak, yansız bir odada veya ortam gürültüsünün ölçüm sonuçlarını saptırmayacağı bir tesiste yapıldığında çok büyük fayda sağlar. Dönertabla dönüşünün ve anten yüksekliği taramasının hem dikey hem de yatay polarizasyonlarda yapıldığından emin olunmalıdır. Tarama çok hızlı veya yetersiz açılarda yapıldığı için bazı sinyaller yakalanamaz ise Şekil 4.10'da belirtilen yöntem işe yaramaz hale gelir. Bu nedenle, uzman bir test mühendisi gereklidir.

4.2.3.1. Bir dijital uydu alıcısına uygulanan ışınım yollu yayılım test örneği

Bu örnekte, bir dijital uydu alıcısına, TSE'nin TS EN 55022 (Bilgi teknolojisi cihazları-Radyo bozulma özellikleri-Ölçme metotları ve sınırlar) standardına göre uygulanan ışınım yollu yayılım test yer almaktadır. Bu standardın amacı, kapsamda belirtilen cihazların radyo bozulma seviyesi için standart kuralları oluşturmak, bozulmanın sınır değerlerini sabitlemek, ölçme metotlarını tarif etmek, çalışma şartlarını ve sonuçların yorumlanmasını standart hale getirmektir [23].

Işınım yollu yayılım ölçümlerinde, ölçülecek olan cihaz yansız odada bulunmaktadır. Bu test, 3,20 m genişliğinde, 7 m uzunluğunda ve 3 m yüksekliğindeki ekranlı odada gerçekleştirilmiştir. Test edilen uydu alıcısı, 0,8 m yüksekliğindeki yalıtkan masa üzerine yerleştirilmiştir.

Tamamen ferrit malzemedan yapılan ekranlı odada, yalıtkan masadan başka teste tabi tutulan sistemi gösteren bir kamera ve pnömatik piston ile kontrol edilen alıcı bir anten vardır. Anten, test edilecek cihazdan 3 metre uzaklıkta bulunup, hem yatay hem de dikey polarizasyonda ölçüm yapabilmektedir.

Tablo 4.2. EMI alıcısının dijital uyduya yapılan ışınlım yolu yayınımlı testinde kaydettiği değerler

EMI alıcısının tarama frekansları	Elektrik alan gürültü değerleri (dB μ V/m)
31.10000 MHz	16.6
40.25000 MHz	15.8
48.20000 MHz	16.6
57.90000 MHz	14.3
81.00000 MHz	19.4
91.10000 MHz	15.2
135.00000 MHz	23.2
151.90000 MHz	33.9
181.00000 MHz	30.0
243.00000 MHz	31.0
324.00000 MHz	31.6
364.50000 MHz	49.8
486.00000 MHz	50.0
607.50000 MHz	51.8
729.00000 MHz	44.1
891.00000 MHz	40.7

Antenin pnömatikle dışarıdan kontrol edilmesinin sebebi, testin ölçüm güvenilirliğini sağlamakla birlikte, ek enerji kablolarının sisteme dâhil olmasını engellemektir. Antenin çıkış ucu dışarıda bulunan Rohde&Schwarz ESCS 30 tipi EMI alıcısına bağlanmıştır. EMI alıcısı, 9 kHz ile 2750 MHz frekans aralığında tarama yapmaktadır. Spektrum analizörü yerine EMI alıcısı kullanmak, ölçümlerin daha kaliteli ve doğru yapılabilmesinin sağlarken ölçüm maliyetini artırmaktadır.

EMI alıcısı, ölçtüğü elektrik alan gürültü değerini dB μ V/m biriminde kaydetmiştir. 30MHz frekansının altında ışınlım yolu yayınımların ihmal edilebilecek seviyelerde olduğunu ve ışınlım yolu yayınımların 30 MHz–1 GHz aralığında yapıldığını hatırlatalım. EMI alıcısı, antenin ilk önce yatay konumda daha sonra dikey konumda iken yaptığı taramaları kaydetmiştir. EMI alıcısı, ışınlım yolu yayınımlı ölçümleri standartlarca belirtilmiş limit değerlerine göre kalibre edilmiştir. İstenildiğinde yeni limit değerlerine göre yeniden kalibre edilebilir.

Tablo 4.3. CISPR-16 ışınlı yollu yayınımlı için elektrik alan limit değeri

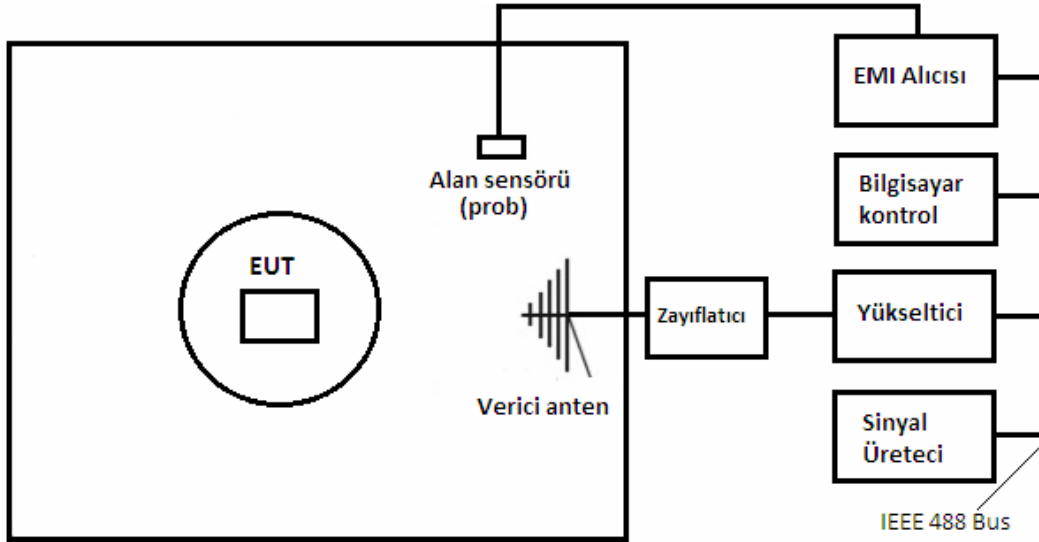
Frekans Bölgesi	Elektrik Alan Limit Değeri CISPR-16 (3 m.) (dB μ V/m)
20-230 MHz	40
230-300 MHz	47
300 MHz-1 GHz	47

Dijital udu alıcısının, 30 MHz ila 900 MHz frekans aralığında, EMI alıcısı vasıtasıyla yapılan taramasında Tablo 4.2 elde edilmiştir. Tablo 4.3’de verilen CISPR-16 ışınlı yollu yayınımlı için elektrik alan limit değeri göz önüne alındığında, cihazın 364.5 MHz, 486 MHz ve 607.5 MHz frekanslarında limit değeri geçtiği görülmektedir. EMC testlerinin en zor yanı, aşılın bu limit değeri test altındaki cihazın hangi parçasından kaynaklandığının tespit edilmesidir. 364.5 MHz, 486 MHz ve 607.5 MHz frekans bölgelerinde çalışan kısımlar ya da parçalar, şüpheli kısımlar olarak kayda geçirilmiştir. Dijital udu alıcısının osilatör devresi gözden geçirilmek üzere üretici firmaya teslim edilmiştir. Burada görüldüğü üzere, EMC problemleri genel geçerli kurallar haricinde daha çok deneme yanılma sistemine göre çözülmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle, bazen çözüm maliyeti ve süresi artmaktadır [1].

4.3. Bağışıklık (Duyarlılık) Test ve Ölçümleri

Bağışıklık testlerinde, cihazların performanslarını etkileyecek yüksek seviyelerde alan şiddetleri ile yüksek genlikli ve geniş bandlı girişim işaretleri üretmek zorundadır. Üretilen yüksek seviyeli alanlar ve girişim işaretleri altında, cihazlar veya ürünler belirli süreler çalıştırılarak performansları gözlenir. Bağışıklık testleri de, yayınımlı testlerinde olduğu gibi iletim ve ışınlı yollu girişim işaretlerine karşı bağışıklık olarak ikiye ayrılır [5,11].

Şekil 4.11’de yansıma odasında gerçekleştirilen, ışınlı yollu emisyon ve bağışıklık testleri için temel kurulum gösterilmektedir. Test esnasında, EUT’nin performans seviyesini veya çalışıp çalışmadığını izlemek amacıyla ilave bağlantılar yapılmalıdır.

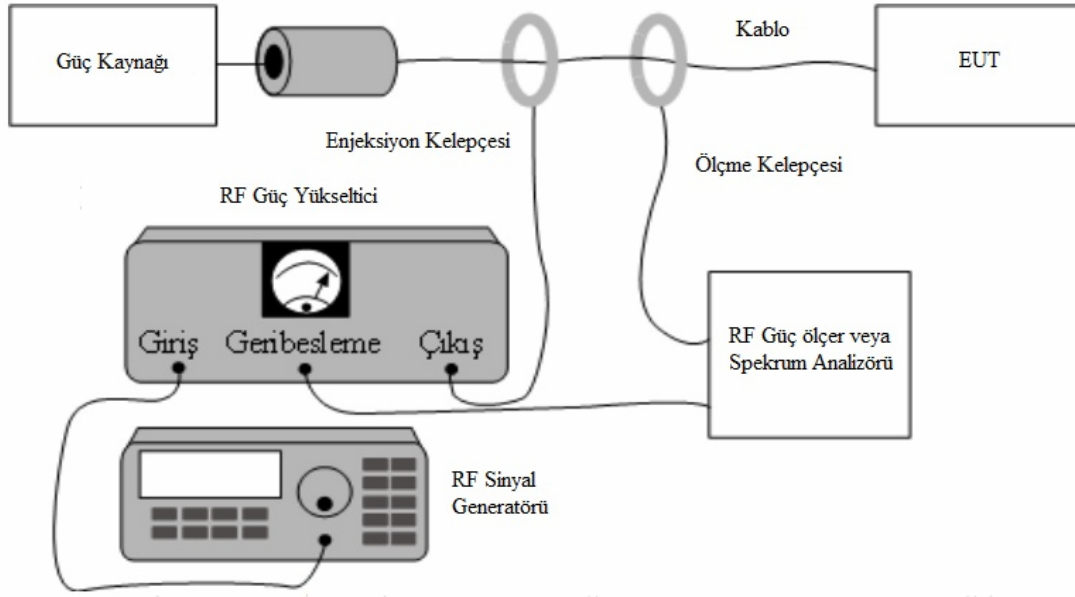


Şekil 4.11. Yansımaz odada ışıman emisyon ve bağışıklık testleri için temel kurulum

Bağışıklık testleri için, arzu edilen alan şiddeti, bir sinyal üretici, zayıflatıcı ve amplifikatör kullanarak sağlanabilir. Karıştırıcı pervaneler sürekli dönmelidir. EUT'nin çalışıp çalışmadığının gözlenmesi, her bir alan şiddeti seviyesinde yapılmalıdır. Alan şiddeti seviyesinin ve EUT performansının sabit hale gelmesini sağlayacak kadar zaman tanındığından emin olunması önemlidir. Testler tüm frekans spektrumu boyunca yapılmalıdır. Yani, eldeki cihaz hem besleme ve işaret kablolarına verilecek yüksek seviyeli tipik işaretlere karşı hem de ışınım yollu yüksek seviyeli alanlar altında test edilecektir.

Bağışıklık testlerinde üç tip performans kriteri belirlenmiştir:

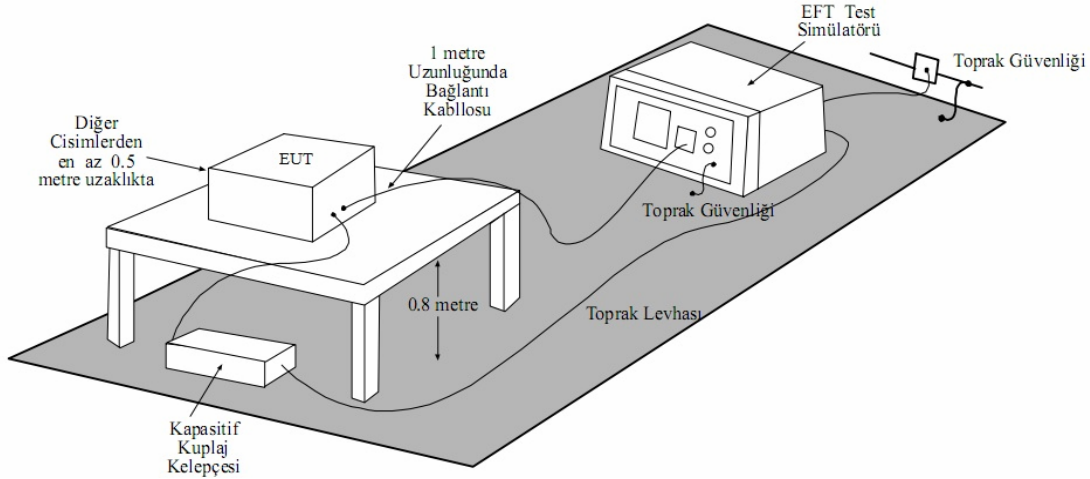
- (i) Cihaz, test süresince normal çalışmasını sürdürür. Fonksiyonel bozukluk ya performans düşüklüğü olmaz.
- (ii) Cihaz, testlerden sonra normal çalışmasını sürdürür. Herhangi bir fonksiyonel bozukluk ya da performans düşüklüğü olmaz.
- (iii) Cihazda, testten sonra kendi kendine ya da operatör ayarı ile düzelen bozukluklar ve performans düşüklüğü olur.



Şekil 4.12. İletim yollu bağışıklık test düzeneği

Bağışıklık testlerinden önemli olanları, ışınım yollu girişime karşı bağışıklık, iletim yollu bağışıklık, hızlı ve yüksek seviyeli darbelere (EFT) karşı bağışıklık, elektrostatik deşarja (ESD) karşı bağışıklıktır. Şekil 4.12’de iletim yollu bağışıklık test düzeneği gösterilmiştir. Bu üç testin uygulaması da aynı sıralama ile olur. ESD ve EFT testleri sırasında, cihazın çalışmaz duruma gelme olasılığı diğerine göre yüksek olduğundan önce ışınım karşı bağışıklık testleri gerçekleştirilir. Ardından EFT ve son olarak ESD testleri uygulanır. Işınım karşı bağışıklık testleri, ticari cihazlar için 30 MHz ile 1 GHz arasında uygulanır. Bu frekans bölgesinde yüksek seviyeli ve homojen elektromanyetik alanlar altında cihazlar test edilir.

Yüksek seviyeli homojen EM alanlar ekranlı oda içerisinde, TEM hücreleri ve GTEM hücreleri ile meydana getirilir. TEM hücresi, metal bir kutu gibidir. Ekranlanmış bir TEM hücresine, bir uçtan yüksek güçlü RF işaretleri verilir. Diğer uç 50 Ω ile sonlandırılır. Bu işaretler, şerit hatlar ve TEM hücreleri ile birkaç yüz MHz’lere kadar çıkarılabilir ve telefon, dizüstü bilgisayar vb. küçük boyutlu cihazlar test edilebilir. Daha yüksek frekanslar için GTEM hücreleri kullanılır [5,22].

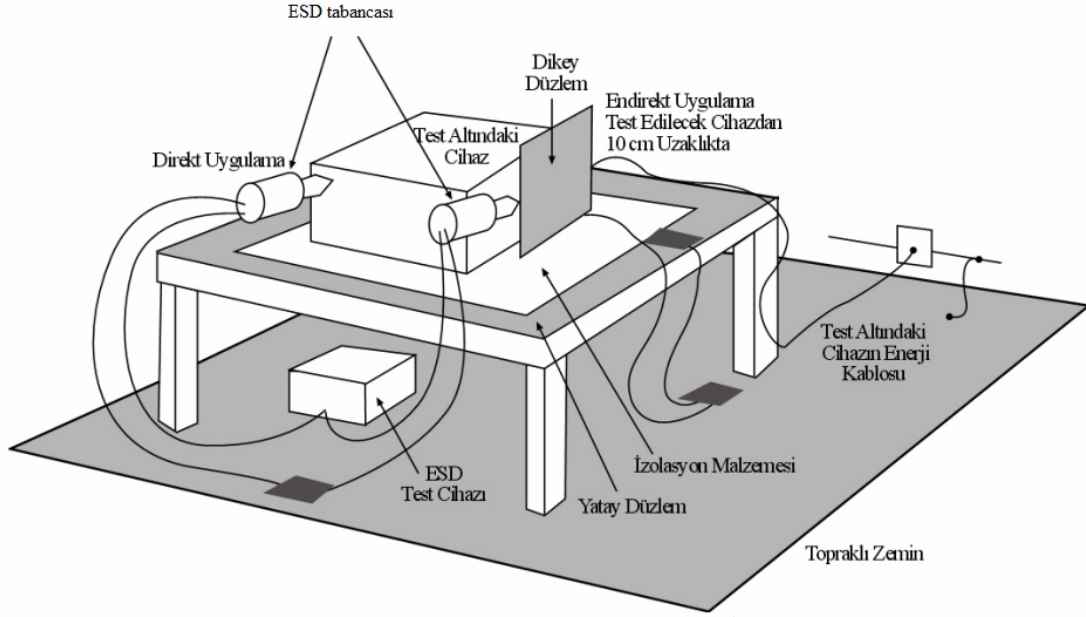


Şekil 4.13. EFT test düzeneği

EFT ile isimlendirilen hızlı EM geçiş testleri, cihazın kablolarından gelen istenmeyen işaretlere karşı bağımsızlığını test etmek içindir. EFT genelde, endüktif yükü besleyen akım aniden kesildiğinde oluşur. Anahtar uçlarında oluşan yüksek frekanslı akım darbesi çevreye yayılır. Bu darbeden etkilenen cihazın, sayısal devreleri bozulabilir, veri iletimi engellenebilir, analog devreleri etkilenebilir ve cihaz girişimlere neden olabilir. Ölçüm gerekleri ESD testlerindeki gibidir.

Test edilecek cihaz ve çevre birimleri, Şekil 4.13'deki gibi tahta bir masa üzerine yerleştirilir. Zemin, ölçüm düzeninin tamamını kapsayacak biçimde topraklama levhası ile kaplanmış ve kullanılan bütün cihazlar topraklanmıştır. EFT simülatörleri, darbe katarları oluşturur. Simülatör çıkışı bir kapasitif kuplaj kelepçesi vasıtasıyla cihazın besleme ya da işaret kablolarına aktarılır. EFT darbesi, bütün enerji kablolarına tek tek ya da hepsine birden uygulanır. Her EFT testinde süre en az 1 dakikadır. Simülatör çıkış kablosu ile cihaz kabloları arasında doğrudan hiçbir bağlantı olmadan istenmeyen işaretler cihaz kablolarına aktarılır [5,20,22].

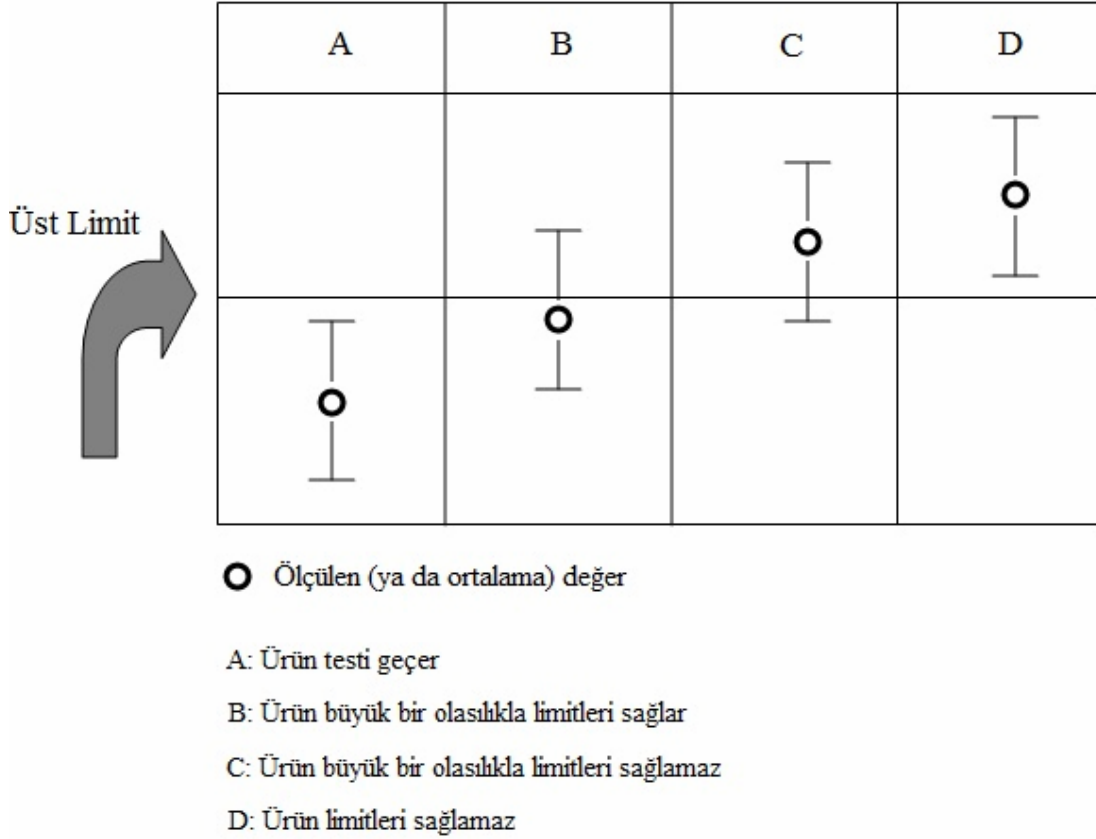
Tipik bir ESD dalga şekli, 200 MHz üzerinde EM etkisi yaratabilir. Test edilecek cihaz ve çevre birimleri topraklama levhası üzerinde bulunan bir tahta masa üzerine yerleştirilir. Cihazın toprağa göre kaçak kapasitesi önemli olduğundan, cihaz masaüstü testinde zeminden 0,8 m, zemin testinde ise 10 cm yukarı konur. Testler, standartların belirlediği deşarj seviyelerinde işaret üretebilen bir ESD tabancası yardımıyla gerçekleştirilir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. ESD test düzeneği

ESD tabanca probu, cihazın normal kullanımı sırasında temas edilen noktalarına, cihazın bağlantı, soket, havalandırma ya da ışık yarıklarına dik şekilde uygulanır. Standartlara göre, bu bölgelere en az 10 defa ESD uygulanır. Genelde ESD bağışıklık testleri en son gerçekleştirilir. Çünkü diğer iki bağışıklık testleri çoğunlukla geçici arızalara neden olurken, ESD testleri kalıcı cihaz bozulmalarına yol açabilir [5,11,18].

Gerilim dalgalanmaları ve bağışıklık testleri ise, ani ve yüksek seviyeli gerilim dalgalanmalarına karşı bağışıklık için yapılır. Hat üzerinde arızalar, anahtarlanmalar veya şimşek çakması nedeniyle şebeke üzerinde ani büyük dalgalanmalar olabilir. Ani oluşan bu dalgalanmalar yayıldıkça, yüksek frekanslı bileşenleri hızla zayıflar ve bu nedenle spektrumu geniş değildir. Ancak kaynak empedansı düşük olduğundan, EFT darbesinin aksine yüksek enerjilidir. Testlerde uygulanacak ani ve yüksek genlikli darbe şekli cihaza göre değişir [5,20,22].



Şekil 4.15. EMC ölçümlerinde sonuçlarının değerlendirilmesi

4.4. Ölçümlerde Hata Analizi

EMC test ve ölçümlerinde, değişik faktörlerden kaynaklanan hataların mertebelerinin bilinmesi gerekir. EMC test ve ölçümlerindeki hata kaynaklarından bazıları şunlardır:

- (i) Ortamdan kaynaklanan hatalar. (yansımalar, istenmeyen işaretler, rüzgâr, nem farklılıkları vb.)
- (ii) Ölçüm düzeninden kaynaklanan hatalar (cihaz hataları, anten konum hataları, kalibrasyon hataları, belirsizlikler vb.).
- (iii) Kullanıcı hataları. (Okuma ve konumlama hataları vb.)

Bu durumda ölçülen değer ile gerçek değer arasında bir fark olur. EMC test ve ölçümlerinde, söz konusu hataların sınır değerleri belirtilmiştir.

Tekrarlanan EMC ölçümleri sonucu elde edilen verilerin, standartlarda belirtilen ve izin verilen yayılım için en yüksek, bağışıklık için en düşük seviyelerle karşılaştırılmasında Şekil 4.15’de belirtilen dört durum söz konusu olabilir.

(i) Ölçülen değerlerin hem ortalaması hem de varyansı belirlenen limitlerin altındadır. Bu durumda cihaz testi geçer.

(ii) Ölçülen değerlerin ortalaması limitlerin altındadır, ancak bazı değerler limitleri aşmıştır. Bu durumda cihaz, büyük bir olasılıkla limitleri sağlar.

(iii) Ölçülen değerlerin bir kısmı limitlerin altında kalsa bile, ortalaması ve ölçümlerin büyük çoğunluğu limitleri sağlamaz. Bu durumda cihazların testi geçmesi hemen hemen olanaksızdır.

(iv) Bütün ölçüm değerleri limitlerin üstündedir ve cihaz testlerden kalır.

BÖLÜM 5. OTOMOTİVDE EMC TEST VE ÖLÇÜM UYGULAMALARI

5.1. Giriş

Bu bölümde, TÜBİTAK-UME’de uygulanan 2004/104/EC sayılı Avrupa Birliği Komisyon Direktifinin 72/245/AT Yönetmeliği (Araçlar ve Bir Araca Takılmış Elektrikli/Elektronik Alt Tertibatların Sağlaması Gereken Şartlar) gereğince, otomotivde uygulanan darbant-genişbant yayılım ve bağışıklık testleriyle ilgili özellikler anlatılarak açıklamalar yapılmıştır.

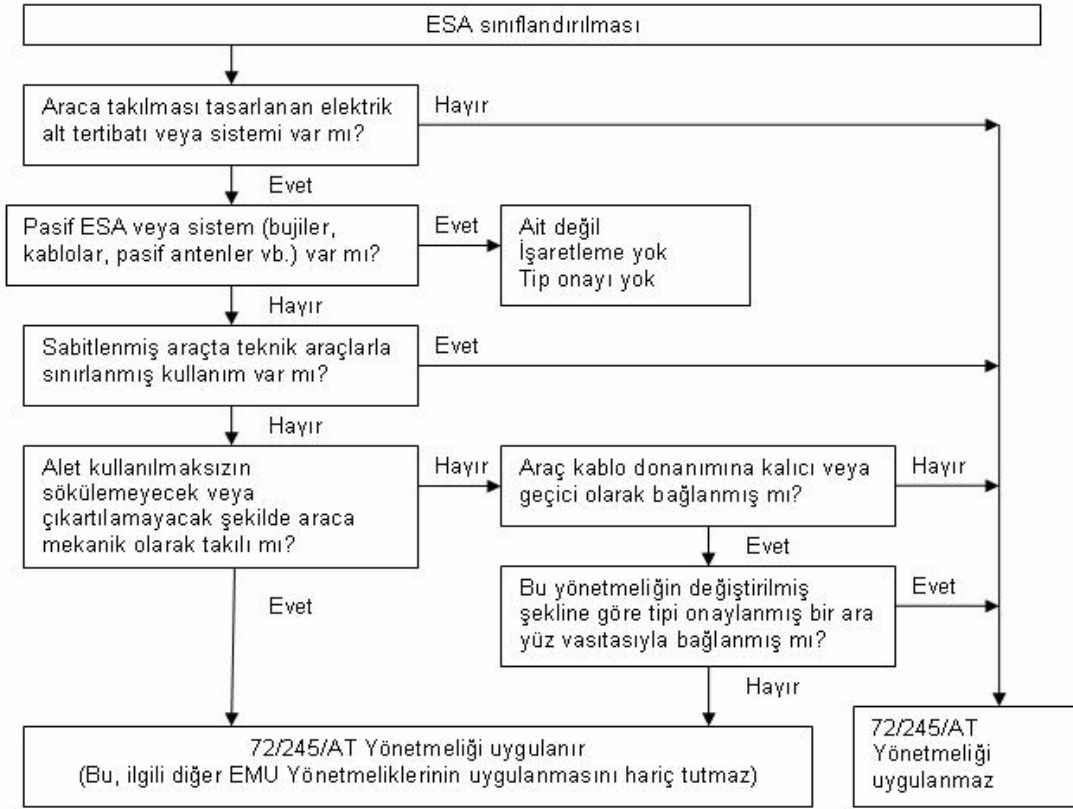
Son olarak, TÜBİTAK-UME yarı-yansız odasında bizzat iştirak edilen, traktörler için kullanılan 75/322/EEC standardı gereğince, bir traktöre uygulanan yayılım ve bağışıklık test ve ölçümlerinin gerçekleştirilmesi anlatılmıştır.

5.2. Kapsam ve Tarifler

72/245/AT Yönetmeliği aşağıdaki hususları kapsamaktadır:

(i) Aracın doğrudan kumandası ile ilgili işlevler ve sürücü, yolcu ve seyahat eden diğer kişilerin korunması ile ilgili işlevler ile sürücü veya diğer yol kullanıcıların dikkatini dağıtabilecek bozulmalarla ilgili olan yayılan ve iletilen bozucu etkilere karşı bağışıklıkla ilgili şartlar,

(ii) Aracın kendisinde veya çevresindeki araçlarda veya yakınında bulunan elektrikli veya elektronik teçhizatın tasarlanan kullanımını korumak için, istenmeyen yayılan ve iletilen emisyonların kontrolü ve araca sonradan takılabilen aksesuarlardan kaynaklanan bozulmaların kontrolü ile ilgili şartlar.



Şekil 5.1. 72/245/AT Yönetmeliğinin elektrikli/elektronik alt tertibatlara (ESA) uygulanabilirliği

Genişbant emisyon: Belirli bir ölçüm cihazı veya alıcının bant genişliğinden daha büyük bir bant genişliğine sahip bir emisyon (Radyo Girişimi Konusunda Uluslararası Özel Komite (CISPR) 25, 2. baskı).

Darbant emisyon: Belirli bir ölçüm cihazı veya alıcının bant genişliğinden daha küçük bir bant genişliğine sahip bir emisyon (CISPR 25, 2. baskı).

Elektrikli/elektronik alt tertibat (ESA): Her türlü ilgili elektrik bağlantıları ve kabloları ile birlikte bir aracın bir parçası olması tasarlanan ve bir veya daha fazla özel işlevleri yerine getiren, elektrikli ve/veya elektronik cihaz veya cihaz grubu/grupları. Bir ESA, bir imâlatçının veya yetkili temsilcisinin isteği üzerine bir ‘aksam’ veya bir ‘ayrı teknik ünite (STU)’ olarak onaylanabilir (70/156/EEC direktifi, Madde 2). (Şekil 5.1)

Araç kablo donanımı: Araç imâlatçısı tarafından takılan besleme gerilimi, veri yolu sistemi, sinyal veya aktif anten kabloları.

Elektromanyetik uyumluluk bakımından araç tipi: Motor bölümünün tam boyutu ve biçimi ile elektrikli ve/veya elektronik aksamaların genel yerleşimi ve genel kablolama yerleşimi bakımından temelde fark göstermeyen araçlar.

Bağışıklıkla ilgili işlevler:

(i) Aracın doğrudan kumandası ile ilgili işlevler:

Örneğin; motor, şanzıman, fren, süspansiyon, aktif dümenleme, hız sınırlayıcı tertibatın özelliklerinde bozulma ya da değişiklik.

Örneğin, kısa hüzmeye veya ön cam sileceğinin kullanımı sonucunda sürücünün görüşünün etkilenmesi.

(ii) Sürücü, yolcu veya diğer yol kullanıcıların korunmasıyla ilgili işlevler:

Hava yastığı, emniyet bağlantı sistemleri gibi.

(iii) Bozulduğunda sürücünün veya diğer yol kullanıcıların şaşırmasına neden olan işlevler:

Optik bozulmalar: Yön gösterici lambalar, park lambaları, dış sınır işaretleme lambaları, geri vites lambası, acil durum ışıkları ve benzerlerinin yanlış çalışması ile sürücünün doğrudan görüş alanında yer alan ve (i) ve (ii) maddelerinde belirtilen işlevlerle ilgili olan ikaz göstergeleri, lambaları veya ekranlarından gelen yanlış bilgiler.

Akustik bozulmalar: Örneğin, hırsız alarmı ve kornanın yanlış çalışması.

(iv) Araç veri yolu sisteminin işlevselliği ile ilgili işlevler:

Bağışıklıkla ilgili diğer işlevlerin düzgün işleyişini sağlamak için gereken verilerin iletiminde kullanılan araç veri yolu sistemlerinde veri iletiminin engellenmesi ile ilgili işlevler.

(v) Bozulduklarında aracın, takograf ve kilometre saati gibi yasal verilerini etkileyen işlevler.

5.3. Özellikler ve Ölçüm Yöntemleri

5.3.1. Genel özellikler

Bir araç ve bu aracın elektrikli/elektronik sistemleri veya ESA'ları, aracın normal kullanım durumlarında bu yönetmeliğin şartlarına uymasını sağlayacak şekilde tasarlanmalı, imal edilmeli ve takılmalıdır.

Bir araç, yayılan emisyonlar ve yayılan bozulmalara karşı bağışıklık için teste tabi tutulmalıdır. Araç tip onayı için iletilen emisyonlar veya iletilen bozulmalara karşı bağışıklık testlerine gerek yoktur.

ESA/ESA'lar yayılan ve iletilen emisyonlar için ve yayılan ve iletilen bozulmalara karşı bağışıklık için teste tabi tutulmalıdır.

Test yapmadan önce, teknik servis imalatçı ile birlikte en az işlem modunu, denenecek işlevleri, izlenenecek işlevleri, geçer/geçmez kriterlerini ve tasarlanan emisyonları içeren bir test planı hazırlamalıdır.

5.3.2. Araçlardan ışıyan genişbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler

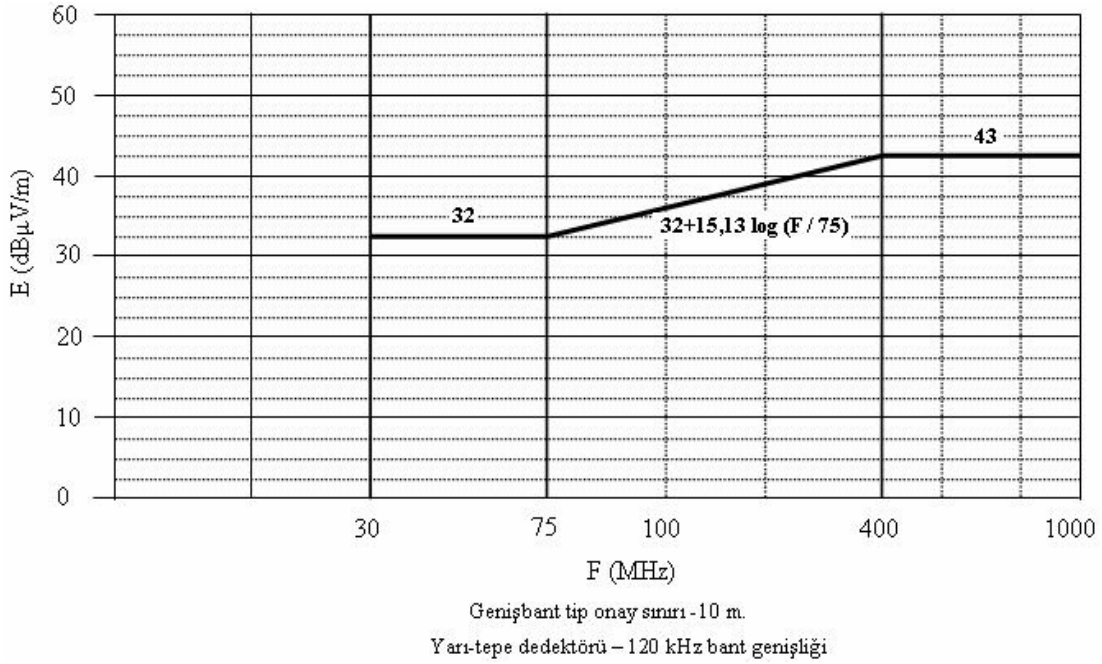
Bu test, araçlara takılan elektrikli veya elektronik sistemlerin ürettiği genişbant emisyonu ölçmek için yapılmıştır (örneğin ateşleme sistemi veya elektrik motorları).

Motor, çalışır durumda olmalıdır. Sürücü ya da yolcular tarafından daimi olarak çalıştırılabilen, genişbant emisyon üretme yeteneği olan silecek motorları veya fanlar gibi tüm teçhizatlar azamî yükte çalışır durumda olmalıdır. Korna ve elektrik cam motorları gibi parçalar, sürekli olarak kullanılmadıklarından hariç tutulurlar.

Limitler, bir yarı yansız odada veya dışarıdaki bir test alanında yapılan ölçümler için 30 MHz ilâ 1000 MHz frekans aralığı boyunca uygulanır.

Tablo 5.1. Araç genişbant referans sınırları (10 metre için)

Araç-anten mesafesi 10 m.de F frekansındaki (MHz) E sınırı (dB μ V/m)		
30-75 MHz	75-400 MHz	400-1000 MHz
E=32	$E=32+15,13 \log (F / 75)$	E=43



Şekil 5.2. 95/54/EC-Araç-anten mesafesi 10m.de araçtan ışınan genişbant emisyon sınırı

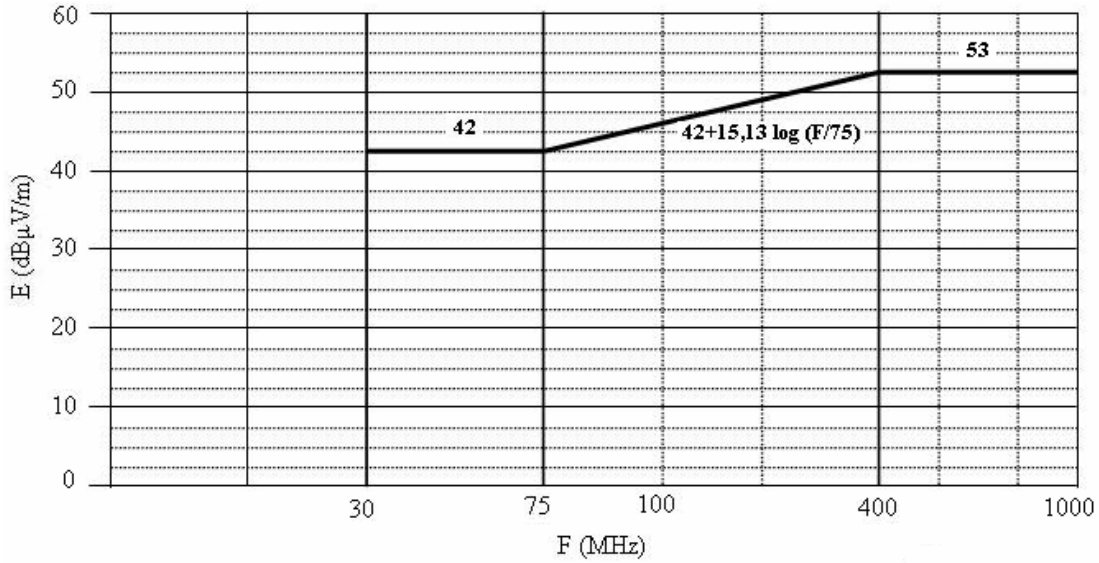
Ölçümler, yarı tepe veya tepe dedektörleri ile yapılabilir. Şekil 5.2’de verilen sınırlar yarı tepe dedektörleri için ve 120 kHz bant genişliği adımlarında yapılan taramalar içindir.

Tablo 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterildiği gibi, ölçümler araçtan antene 10,0 m \pm 0,2 m mesafede gerçekleştirilmiştir. Sınırlar 30 MHz ilâ 75 MHz frekans bandında 32 dB μ V/m, 75 MHz ilâ 400 MHz frekans bandında ise 32 dB μ V/m’den 43 dB μ V/m’e kadar logaritmik olarak artmaktadır. 400 MHz ilâ 1000 MHz frekans bandında sınır 43 dB μ V/m seviyesinde sabit kalır.

Araç tipini temsil eden araçta, dB μ V/m olarak ölçülen değerler tip onay sınırının altında olmalıdır.

Tablo 5.2. Araç genişbant referans sınırları (3 metre için)

Araç-anten mesafesi 3 m.de F frekansındaki (MHz) E sınırı (dB μ V/m)		
30-75 MHz	75-400 MHz	400-1000 MHz
E=42	$E=42+15,13 \log (F / 75)$	E=53



Genişbant tip onay sınırı -3 m.
Yarı-tepe dedektörü - 120 kHz bant genişliği

Şekil 5.3. 95/54/EC-Araç-anten mesafesi 3m.de araçtan ışınan genişbant emisyon sınırı

Tablo 5.2 Şekil 5.3’de gösterildiği gibi, ölçümler araçtan antene 3,0 m \pm 0,05 m mesafede gerçekleştirilmiştir. Sınırlar 30 MHz ilâ 75 MHz frekans bandında 42 dB μ V/m, 75 MHz ilâ 400 MHz frekans bandında ise 42 dB μ V/m’den 53 dB μ V/m’e kadar logaritmik olarak artmaktadır. 400 MHz ilâ 1000 MHz frekans bandında sınır 53 dB μ V/m seviyesinde sabit kalır.

Ölçümler, yüksek emisyon seviyelerini veren 30-34, 34-45, 45-60, 60-80, 80-100, 100-130, 130-170, 170-225, 225-300, 300-400, 400-525, 525-700, 700-850 ve 850-1000 MHz olmak üzere 14 frekans bandına bölünebilir ve bu 14 frekans aralıklarında testler yapılabilir.

Test sırasında sınırın aşılması durumunda, araştırmalar bunun sebebinin ortam ışınmasından değil araçtan kaynaklandığını göstermek için yapılmalıdır.

14 frekans bandının her birindeki sınırlara (yatay ve düşey polarizasyon ve aracın sol ve sağ taraflarındaki anten yeri) göre, okumaların azamisi ölçümlerin yapıldığı frekans bandındaki karakteristik değer olarak alınmalıdır.

5.3.3. Araçlardan ışınan darbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler

Bu test, mikroişlemci temelli sistemlerinden veya diğer darbant kaynaklarından ışınan emisyonlar gibi darbant elektromanyetik emisyonları ölçmek için tasarlanmıştır.

Ateşleme anahtarı açık konuma getirilmelidir. Motor çalışmıyor olmalıdır. Aracın elektronik sistemleri araç hareketsiz durumda iken tümüyle normal çalışma durumunda olmalıdır. Sürücü veya yolcu tarafından daimi olarak çalışır duruma getirilebilen 9 kHz'den büyük iç salınımları veya tekrarlayan sinyalleri olan bütün teçhizat normal çalışma durumunda olmalıdır.

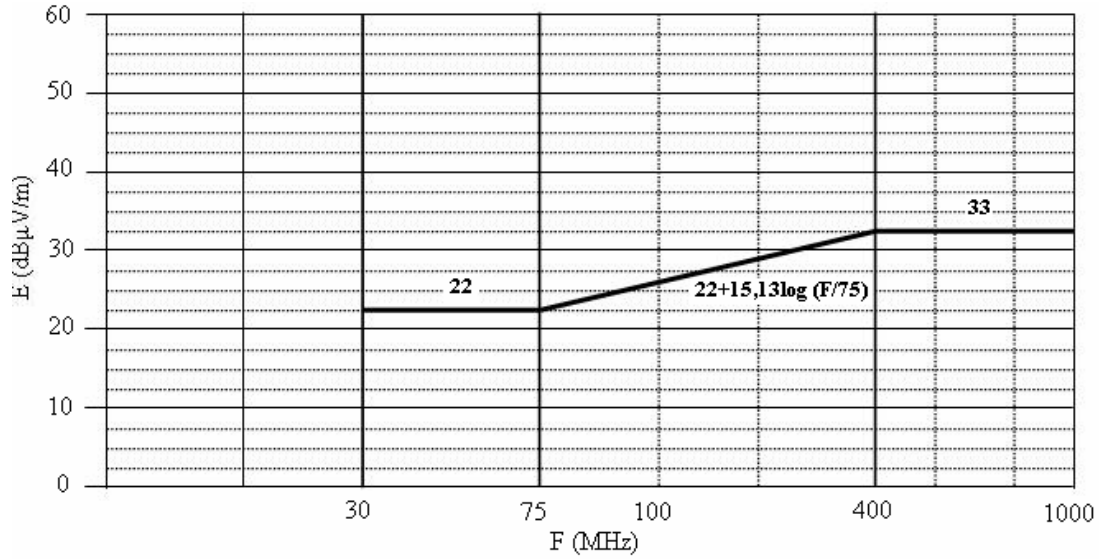
Limitler, bir yarı yansız odada veya dışarıdaki bir test alanında yapılan ölçümler için 30 MHz ilâ 1000 MHz frekans aralığı boyunca uygulanır. Ölçümler bir ortalama dedektör ile yapılmalıdır.

Tablo 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterildiği gibi, ölçümler araçtan antene $10,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ mesafede gerçekleştirilmiştir. Sınırlar 30 MHz ilâ 75 MHz frekans bandında $22 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, 75 MHz ilâ 400 MHz frekans bandında ise $22 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 'den $33 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 'e kadar logaritmik olarak artmaktadır. 400 MHz ilâ 1000 MHz frekans bandında sınır $33 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ seviyesinde sabit kalır.

Ölçümler, yüksek emisyon seviyelerini veren 30-34, 34-45, 45-60, 60-80, 80-100, 100-130, 130-170, 170-225, 225-300, 300-400, 400-525, 525-700, 700-850 ve 850-1000 MHz olmak üzere 14 frekans bandına bölünebilir ve bu 14 frekans aralıklarında testler yapılabilir.

Tablo 5.3. Araç darbant referans sınırları (10 m. için)

Araç-anten mesafesi 10 m.de F frekansındaki (MHz) E sınırı (dB μ V/m)		
30-75 MHz	75-400 MHz	400-1000 MHz
E=22	$E=22+15,13 \log (F / 75)$	E=33



Darbant tip onay sınırı -10 m.
Ortalama dedektörü – 120 kHz bant genişliği

Şekil 5.4. 95/54/EC-Araç-anten mesafesi 10m.de araçtan ışınan darbant emisyon sınırı

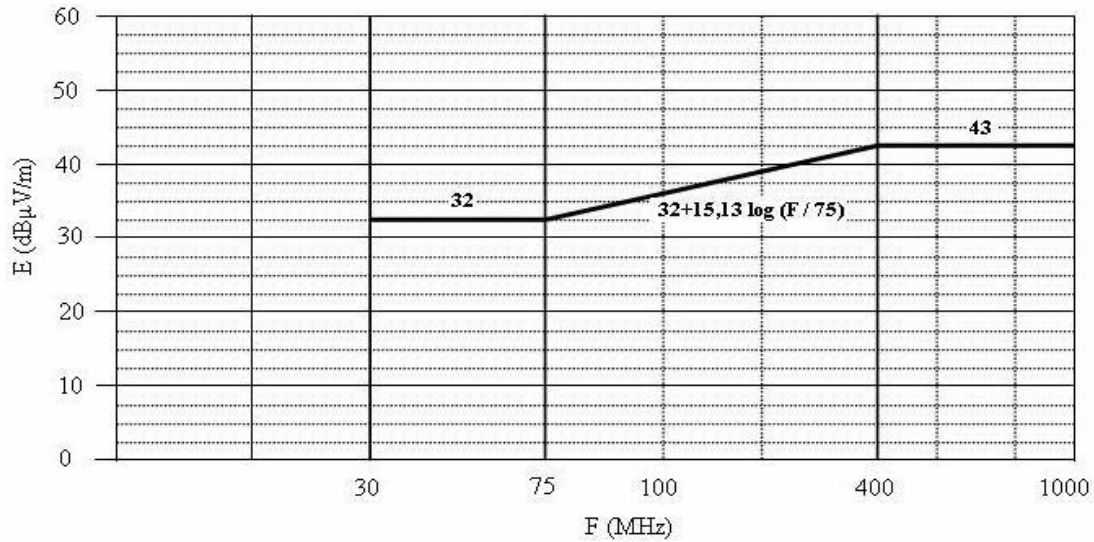
14 frekans bandının her birindeki sınırlara (yatay ve düşey polarizasyon ve aracın sol ve sağ taraflarındaki anten yeri) göre, okumaların azamisi ölçümlerin yapıldığı frekans bandındaki karakteristik değer olarak alınmalıdır.

Araç tipini temsil eden araçta, dB μ V/m olarak ölçülen değerler tip onay sınırının altında olmalıdır.

Tablo 5.4 ve Şekil 5.5’de gösterildiği gibi, ölçümler araçtan antene 3,0 m \pm 0,05 m mesafede gerçekleştirilmiştir. Sınırlar 30 MHz ilâ 75 MHz frekans bandında 32 dB μ V/m, 75 MHz ilâ 400 MHz frekans bandında ise 32 dB μ V/m’den 43 dB μ V/m’e kadar logaritmik olarak artmaktadır. 400 MHz ilâ 1000 MHz frekans bandında sınır 43 dB μ V/m seviyesinde sabit kalır.

Tablo 5.4. Araç darbant referans sınırları (3 m. için)

Araç-anten mesafesi 3 m.de F frekansındaki (MHz) E sınırı (dB μ V/m)		
30-75 MHz	75-400 MHz	400-1000 MHz
E=32	$E=32+15,13 \log (F / 75)$	E=43



Darbant tip onay sınırı - 3 m.
Ortalama dedektörü - 120 kHz bant genişliği

Şekil 5.5. 95/54/EC-Araç-anten mesafesi 3 m.de araçtan ışınan darbant emisyon sınırı

Burada, yukarıda açıklanan sınırlara rağmen daha önce bahsedilen başlangıç adımında araç radyo yayını anteninde ölçülen sinyal gücü bir ortalama dedektör tarafından ölçülen 76 MHz ilâ 108 MHz frekans aralığı üzerinde 20 dB μ V'dan daha az ise aracın darbant emisyonlar sınırlarına uyduğu kabul edilmelidir ve ilave teste gerek yoktur.

5.3.4. Araçların elektromanyetik ışımaya karşı bağımsızlıklarını ölçme yöntemi ve ilgili özellikler

Bu test, araç elektronik sistemlerinin bağımsızlığını göstermek için tasarlanmıştır. Araç,konunun devamında açıklandığı gibi elektromanyetik alanlara tabî tutulmalıdır.

Testler sırasında bağımsızlıkla ilgili işlevlerin performansında hiç bir azalma yoksa, araç tipini temsil eden araç bağımsızlık şartlarına uygun sayılmalıdır.

Bu test, alternatif olarak bütün araçlar için dışarıdaki bir test alanında yapılabilir. Bu test alanı, elektromanyetik alanların emisyonu bakımından (ulusal) yasal şartlara uygun olmalıdır.

Testler aşağıda açıklanan yöntemler kullanılarak yapılırsa, alan şiddeti 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans bandının %90'ında 30 volt/m kok (rms: root-mean-square) ve 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans bandının tamamında asgarî 25 volt/m kok olmalıdır.

Bir araç 12 m'den uzun ve/veya 2,60 m'den genişse ve/veya 4,00 m'den yüksekse, ISO 11451-4 (1. baskı 1995) standardına göre yığın akım enjeksiyon (BCI) yöntemi 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans aralığında tarif edilen seviyeler ile kullanılabilir.

5.3.4.1. Test sırasında araç durumu

Araç, gerekli test teçhizatı dışında yüksüz konumda olmalıdır. Farklı bir durum tarif etmek için araçtan kaynaklanan bir teknik neden yoksa motor normal olarak tahrik edilen tekerlekleri 50 km/h kararlı bir hızla döndürmelidir. Araç uygun olarak yüklenmiş bir dinamometre veya dinamometre yoksa alternatif olarak yerden asgarî açıklık ile yalıtılmış dingil desteği üzerinde olmalıdır. Uygun olduğunda aktarma milleri devre dışı bırakılabilir (kamyonlar vb.).

Sürücünün aracı kontrolünü etkileyen diğer bütün sistemler, aracın normal çalışma konumundaki gibi olmalıdır.

Özel bazı şartlarda çalışmayacak olan aracın doğrudan kumandasının bir bütünleyici kısmını oluşturan araç elektrik/elektronik sistemleri varsa, imalatçının test kuruluşuna araç elektrik/elektronik sistemlerinin gerekli şartlarını sağladığını belirten bir rapor veya ilave bir kanıt sağlamasına izin verilebilir. Bu tür kanıtlar tip onay dokümanında bulundurulmalıdır.

Araç gözlenirken yalnızca bozucu olmayan teçhizat kullanılmalıdır. Aracın dışı ve yolcu kabini bu şartların karşılanıp karşılanmadığını tespit etmek için gözlenmelidir (video kamera/kameraları, bir mikrofon vb kullanarak).

Tablo 5.5. Işımaya karşı bağışıklık testi için test şartları ve başarısızlık kriterleri

<u>50 km/h çevrimde araç test şartları</u>	<u>Başarısızlık kriterleri</u>
Araç hızı 50 km/h \pm %20 (döner merdaneler üzerinde sürülen araç). Araç bir seyir kumanda sistemi ile donatılmışsa bu sistem devrede olmalıdır.	Devir değişimi anma devrinden \pm %10 daha büyük. Otomatik vites için: anma devrinden \pm %10 daha fazla devir değişimine neden olan vites değişim oranı.
Kısa hüzmeler AÇIK (manuel mod)	Işıklandırma KAPALI
Ön silecekler azamî devirde AÇIK (manuel mod)	Ön silecekler tamamen durmuş
Sürücü tarafındaki yön işaret lambası AÇIK	Frekans değişimi (0,75 Hz'den küçük veya 2,25 Hz'den büyük) Görev çevrim (duty cycle) değişimi (%25'ten küçük veya %75'ten büyük)
Ayarlanabilen süspansiyon normal konumda	Beklenmeyen belirgin değişim
Sürücü koltuğu ve direksiyon orta konumda	Toplam aralığın %10'undan büyük beklenmeyen değişim
Alarm devre dışı	Alarmın beklenmeyen devreye girişi
Korna KAPALI	Kornanın beklenmedik devreye girişi
Bu işlev varsa, yolcu havayastığı devre dışı bırakılmış durumda iken havayastığı ve emniyet bağlantı sistemleri çalışır durumda	Beklenmedik devreye giriş
Otomatik kapılar kapalı	Beklenmedik açılma
Ayarlanabilir mukavemet fren kolu (endurance brake lever) normal konumda	Beklenmedik devreye giriş

Tablo 5.5 araç bağışıklık testleri için, test şartlarını ve başarısızlık kriterlerini tarif eder. Bağışıklıkla ilgili işlevleri etkileyebilen diğer araç sistemleri, imalatçı ve teknik servis arasındaki kararlaştırılan bir şekilde teste tabi tutulmalıdır.

5.3.4.2. Test şartları (frekans aralığı, uygulanma süreleri, polarizasyon)

Araç düşey polarizasyonda 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans aralığında elektromanyetik ışımaya maruz bırakılmalıdır.

Teknik servis ve araç imalatçısı arasında aksi kararlaştırılmadıkça test sinyal modülasyonu aşağıdaki gibi olmalıdır:

(i) AM, 20 MHz ilâ 800 MHz frekans aralığında 1 kHz modülasyon ve %80 modülasyon derinliği

(ii) PM, 800 MHz ilâ 2000 MHz frekans aralığında 577 µs t ve 4600 µs peryot.

Teknik servis, aracın bu şartları sağladığını teyit etmek için yukarıda verilen aralık içindeki indirgenmiş bir sayısında nokta frekanslarını, örneğin 27, 45, 65, 90, 120, 150, 190, 230, 280, 380, 450, 600, 750, 900, 1300 ve 1800 MHz, seçebilir.

Araç, burada tarif edilen testi geçemezse, kontrol edilemeyen alanların oluşmasının bir sonucu olarak değil, ilgili test koşulları altında başarısız olduğu kabul edilmelidir.

5.3.4.3. Kalibrasyon ve gerekli alan şiddetinin oluşturulması

İletim hat sistemleri (TLS) için, test alanı referans noktasındaki bir alan sondası kullanılmalıdır.

Anten için, test alanı referans hattındaki dört alan sondası kullanılmalıdır. Araç, test alanı referans noktası veya hattındaki araç merkez hattı ile konumlandırılmalıdır. Araç normal olarak sabit bir antene yönelik olmalıdır. Bununla birlikte, elektronik kumanda üniteleri ve ilgili kablo donanımlarının ağırlıklı olarak aracın arkasında bulunduğu durumlarda, test normal olarak araç antenin baktığı yönde olmayacak şekilde yapılmalıdır. Elektronik kumanda üniteleri ve ilgili kablo donanımlarının ağırlıklı olarak aracın ortasına doğru olduğu uzun araçlarda (otomobil ve hafif kamyonetler hariç), bir referans noktası aracın sağ veya sol yan yüzeyi esas alınarak oluşturulabilir. Bu referans noktası, araç uzunluğunun orta noktasında veya elektronik sistemlerin dağılımı ve herhangi bir kablolama donanımının yerleşimi göz önüne alınarak imalatçı ve yetkili kuruluş tarafından birlikte seçilen aracın bir tarafındaki noktada olmalıdır.

Bu tür testler yalnızca test odasının fiziksel yapısı izin verirse yapılabilir. Anten yeri test raporunda belirtilmelidir.

5.3.5. ESA'lar tarafından ışıyan genişbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler

Bu test, ESA'lardan ışıyan genişbant elektromanyetik emisyonları ölçmek için tasarlanmıştır (ateşleme sistemleri, elektrik motorları vb).

Teste tabî tutulan ESA normal çalışma modunda olmalı, tercihen azamî yük altında olmalıdır. Soğurucu astarlı kılıflı muhafazaya (ALSE: absorber-lined shielded enclosure) alternatif olarak CISPR 16-1'e uygun bir açık alan test bölgesi (ASTA) kullanılabilir.

Maddi olarak ölçmeyi etkileyecek yeterli bir genlikteki dış gürültü veya sinyalin olmamasını sağlamak için ölçümler esas testten önce veya sonra yapılmalıdır. Bu ölçümde, dış gürültü veya sinyal amaçlanan darbant ortam iletimleri hariç, verilen girişim sınırlarının en az 6 dB'in altında olmalıdır.

Sınırlar, Tablo 5.6 ve Şekil 5.6'da gösterildiği gibi 30 MHz ilâ 75 MHz frekans bandında 62 dB μ V/m'den 52 dB dB μ V/m'e kadar logaritmik olarak azalmaktadır. 75 MHz ilâ 400 MHz frekans bandında 52 dB dB μ V/m'den 63 dB μ V/m'e kadar logaritmik olarak artmaktadır. 400 MHz ilâ 1000 MHz frekans bandında ise, sınır 63 dB μ V/m seviyesinde sabit kalır.

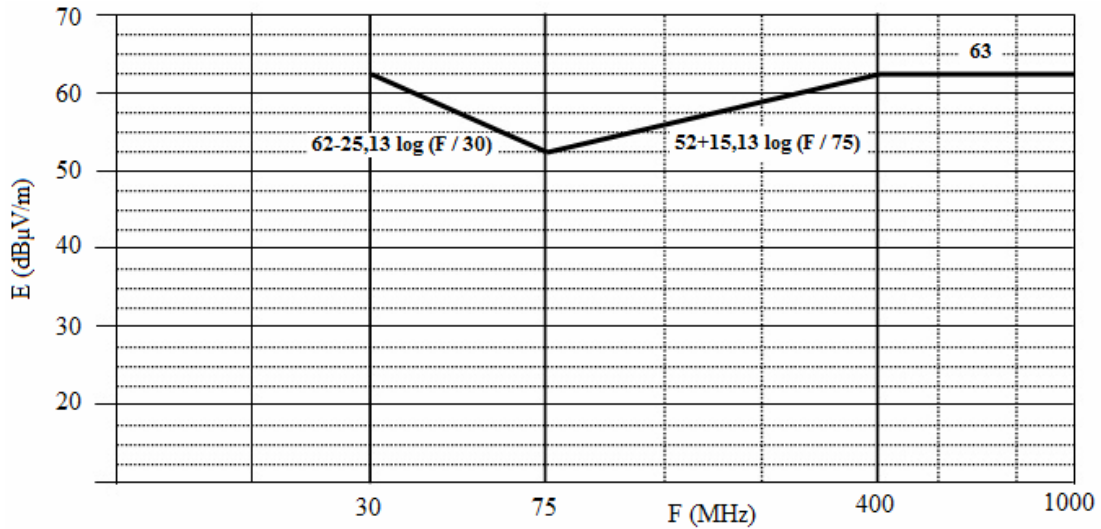
Bu limitler, bir yarı yansız test odasında veya bir dışarı deney yerinde yapılan ölçümler için 30 MHz ilâ 1000 MHz frekans aralığı boyunca uygulanır.

Ölçümler yarı tepe veya tepe dedektörleri ile yapılabilir. Verilen limitler, yarı-tepe dedektörleri içindir. Tepe dedektörleri kullanılırsa, CISPR 12'de tarif edilen 20 dB'lik bir düzeltme faktörü uygulanmalıdır.

Ölçümler, yüksek emisyon seviyelerini veren 30–50, 50-75, 75-100, 100-130, 130-165, 165-200, 200-250, 250-320, 320-400, 400-520, 520-660, 660-820, 820-1000 MHz olmak üzere 13 frekans bandına bölünebilir ve bu 13 frekans aralıklarında testler yapılabilir.

Tablo 5.6. ESA'dan ışınan genişbant emisyon sınırı

F frekansındaki (MHz) E sınırı (dB μ V/m)		
30-75 MHz	75-400 MHz	400-1000 MHz
$E=62-25,13 \log (F / 30)$	$E=52+15,13 \log (F / 75)$	$E=63$



Genişbant tip onay sınırı -1 m.
Yarı-tepe dedektörü - 120 kHz bant genişliği

Şekil 5.6. 95/54/EC- ESA'dan ışınan genişbant emisyon sınırı

13 frekans bandının her birindeki sınırlara (yatay/düşey polarizasyon) göre, okumaların azamisi ölçümlerin yapıldığı frekans bandındaki karakteristik değer olarak alınmalıdır.

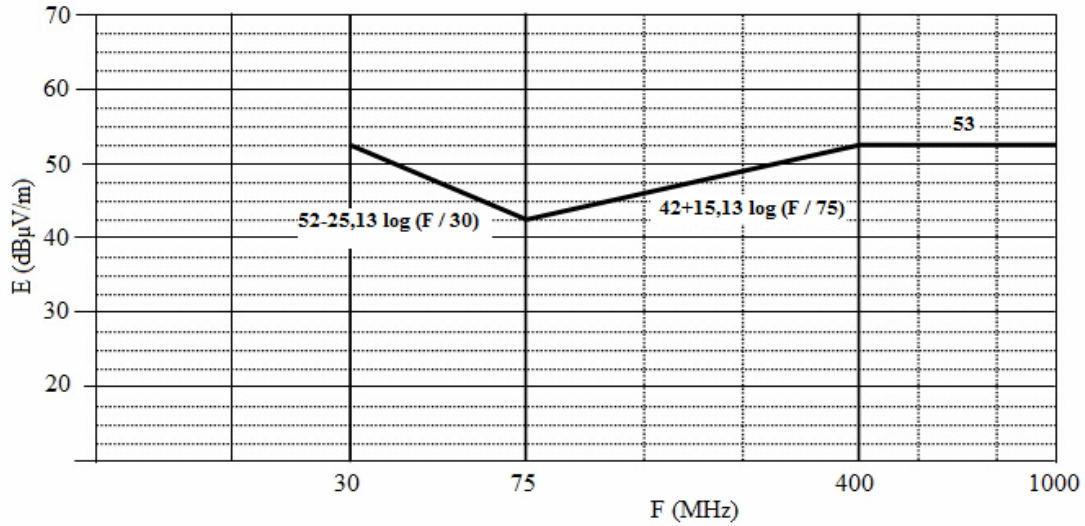
Test sırasında sınırın aşılması durumunda, araştırmalar bunun sebebinin geri plan ışınmasından değil, ESA'dan kaynaklandığını göstermek için yapılmalıdır.

5.3.6. ESA'lar tarafından ışınan darbant elektromanyetik emisyonları ölçme yöntemi ve ilgili özellikler

Bu test, mikroişlemci temelli bir sistemten ışınlar gibi darbant elektromanyetik emisyonları ölçmek için tasarlanmıştır.

Tablo 5.7. ESA'dan ışınan darbant emisyon sınırı

F frekansındaki (MHz) E sınırı (dB μ V/m)		
30-75 MHz	75-400 MHz	400-1000 MHz
$E=52-25,13 \log (F / 30)$	$E=42+15,13 \log (F / 75)$	$E=53$



Genişbant tip onay sınırı -1 m.
Ortalama dedektörü - 120 kHz bant genişliği

Şekil 5.7. 95/54/EC- ESA'dan ışınan darbant emisyon sınırı

Teste tabî tutulan ESA normal çalışma modunda olmalıdır. ALSE'ye alternatif olarak CISPR 16-1 şartlarına uygun bir açık alan deney bölgesi (ASTA) kullanılabilir.

Maddi olarak ölçmeyi etkileyecek yeterli bir genlikteki dış gürültü veya sinyalin olmamasını sağlamak için ölçümler esas deneyden önce veya sonra yapılmalıdır. Bu ölçümde, dış gürültü veya sinyal amaçlanan darbant ortam iletimleri hariç, verilen girişim sınırlarının en az 6 dB altında olmalıdır.

Sınırlar, Tablo 5.7 ve Şekil 5.7'de gösterildiği gibi 30 MHz ilâ 75 MHz frekans bandında 52 dB μ V/m'den 42 dB dB μ V/m'e kadar logaritmik olarak azalmaktadır. 75 MHz ilâ 400 MHz frekans bandında 42 dB dB μ V/m'den 53 dB μ V/m'e kadar logaritmik olarak artmaktadır. 400 MHz ilâ 1000 MHz frekans bandında ise, sınır 53 dB μ V/m seviyesinde sabit kalır.

Bu limitler, bir yarı yansız test odasında veya bir dışarı deney yerinde yapılan ölçümler için 30 MHz ilâ 1000 MHz frekans aralığı boyunca uygulanır.

Ölçümler ortalama dedektör kullanılarak yapılmalıdır.

Ölçümler, yüksek emisyon seviyelerini veren 30–50, 50-75, 75-100, 100-130, 130-165, 165-200, 200-250, 250-320, 320-400, 400-520, 520-660, 660-820, 820-1000 MHz olmak üzere 13 frekans bandına bölünebilir ve bu 13 frekans aralıklarında testler yapılabilir.

13 frekans bandının her birindeki sınırlara (yatay/düşey polarizasyon) göre, okumaların azamisi ölçümlerin yapıldığı frekans bandındaki karakteristik değer olarak alınmalıdır.

Test sırasında sınırın aşılması durumunda, araştırmalar bunun sebebinin ESA'dan yayılan genişbant ışınması dahil olmak üzere geri plan ışınmasından değil, ESA'dan kaynaklandığını sağlamak için yapılmalıdır.

5.3.7. ESA'ların elektromagnetik ışımaya karşı bağışıklığını ölçme yöntemi ve ilgili özellikler

Test şartları, ISO 11452–1.3. baskı 2005'e göre olmalıdır.

Teste tabî tutulan ESA çalıştırılmalı ve normal çalışma koşulunda olacak şekilde uyarılmalıdır. Münferit test yöntemleri aksini gerektirmedikçe ESA, burada tarif edildiği gibi düzenlenmelidir.

Teste tabî tutulan ESA'yı çalıştırmak için gerekli olan herhangi bir harici teçhizat, kalibrasyon fazı sırasında test yerinde olmamalıdır. Hiçbir harici teçhizat kalibrasyon sırasında referans noktasına 1 m'den daha yakın olmamalıdır.

Testler ve ölçümler tekrarlanırken uyarlı ölçüm sonuçları elde etmeyi sağlamak için, test sinyali üreten teçhizat ve tertibatı her uygun kalibrasyon fazı sırasında kullanılanla aynı özellikte olmalıdır.

Teste tabî tutulan ESA birden fazla üniteden, bağlantı kabloları ideal olarak araçta kullanım için tasarlanan kablolama donanımı olmalıdır. Bunlar mevcut değilse, elektronik kumanda ünitesi ile AN arasındaki uzunluk standardında tarif edildiği gibi olmalıdır. Kablolama donanımındaki bütün kablolar mümkün olduğunca gerçekçi ve tercihen gerçek yükler ve harekete geçiriciler ile sonlandırılmalıdır.

5.3.7.1. Genel test şartları ve yöntemleri

Ölçümler, ISO 11452–1.3. baskı 2005’e göre olan frekans kademeleri ile 20 MHz–2000 MHz aralığında yapılmalıdır.

Teknik servis ve ESA imalatçısı arasında başka bir şekilde mutabakata varılmamışsa, test sinyali modülasyonu aşağıdaki gibi olmalıdır:

(i) 20 MHz ila 800 MHz frekans aralığında, 1 kHz modülasyon ve % 80 modülasyon derinliğe sahip AM,

(ii) 800 MHz ila 2000 MHz frekans aralığında, $t=577 \mu\text{s}$ ’de, $4600 \mu\text{s}$ ’lik periyotta PM.

Teknik servis, 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans aralığı boyunca, ISO 11452–1.3. baskı 2005’te belirtilen aralıklarda test yapmalıdır.

Teknik servis ESA’nın bu şartlarını karşıladığını doğrulamak için, aralık içindeki 27 MHz, 45 MHz, 65 MHz, 90 MHz, 120 MHz, 150 MHz, 190 MHz, 230 MHz, 280 MHz, 380 MHz, 450 MHz, 600 MHz, 750 MHz, 900 MHz, 1300 MHz ve 1800 MHz gibi azaltılmış sayıda nokta frekansları seçebilir.

ESA'lar, burada belirtilen tam frekans aralığındaki sonuçları kapsamı şartıyla, imalatçının isteğine bağlı olarak aşağıdaki test metodlarının herhangi bir birleşiminin özelliklerine uyabilir.

- (i) Sönümlenme odası deneyi
- (ii) TEM hücresi deneyi
- (iii) Yığın akım verilmesi deneyi
- (iv) Şerit hat deneyi
- (v) 800 mm şerit hat

Testler yukarıda açıklanan yöntemler kullanılarak yapılırsa, bağışıklık test seviyeleri, 150 mm şerit hat test yöntemi için 60 volt/m, 800 mm şerit hat test yöntemi için 15 volt/m, TEM hücre test yöntemi için 75 volt/m, BCI test yöntemi için 60 mA ve serbest alan test yöntemi için 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans bandı aralığının % 90'ının üzerinde 30 volt/m ve 150 mm şerit hat test yöntemi için en az 50 volt/m, 800 mm şerit hat test yöntemi için 12,5 volt/m, TEM hücre test yöntemi için 62,5 volt/m, BCI test yöntemi için 50 mA ve serbest alan test yöntemi için 20 MHz ilâ 2000 MHz frekans bandının tümünde 25 volt/m olmalıdır.

ESA, yapılan testler sırasında bağışıklıkla ilgili işlevlerin performansında azalma yoksa, bağışıklık şartları ile uyumlu sayılmalıdır.

5.3.7.2. Özel test şartları ve yöntemleri

Soğurucu oda testi: Bu test yöntemi, bir ESA'nın bir anten tarafından üretilen elektromanyetik ışımaya maruz bırakılmasıyla araç elektrikli/elektronik sistemlerinin teste tabî tutulmasını mümkün kılar. Değiştirme metodu ISO 11452-2.2. baskı 2004'e göre test alanı şartlarını oluşturmak için kullanılmalıdır. Test düşey kutuplamada yapılmalıdır.

TEM hücre testi: TEM hücre, iç iletken (bölme) ve muhafaza (zemin düzlemi) arasında homojen alanlar üretir. Test, ISO 11452-3.2. baskı 2001'e göre

yapılmalıdır. Teste tabi tutulacak ESA'ya bağılı olarak teknik servis, ESA'ya veya TEM hücresi içindeki kablo tesisatına uygulanacak azami alan kuplaj metodunu seçmelidir.

Yığın akım püskürtme testi: Bu, bir akım püskürtme sondası kullanarak akımların direkt olarak bir kablo donanımına sevk edilmesiyle bağılılık testlerinin yapılmasının bir yöntemidir. Test, ISO 11452-4.3. baskı 2005'e göre bir test tezgahında yapılmalıdır. Alternatif olarak, ESA taşıta takılı iken, ISO 11451-4.1. baskı 1995'e göre teste tabi tutulabilir. Akım verme çubuğu (probu), teste tabi tutulan ESA'dan 150 mm'lik bir mesafede konumlandırılmalıdır. İleri doğru güçten verilen akımları hesaplamak için referans metot kullanılmalıdır. Metodun frekans aralığı, akım verme çubuğunun özellikleri ile sınırlıdır.

Şerit hat testi: Bu test yöntemi bir ESA'nın aksamalarını belirlenen alan güçlerine bağlayan kablo donanımının konusunu içerir. Test ISO 11452-5'e (2. baskı 2002) göre yapılmalıdır.

800 mm şerit hat testi: Şerit hat birbirinden 800 mm mesafeyle ayrılmış iki paralel metal levhadan oluşur. Teste tabi tutulan teçhizat levhalar arasında merkezi olarak konumlandırılır ve bir elektromanyetik alana tabi tutulur.

Bu yöntem, kontrol edici ve kablolama düzeneği de dahil olmak üzere algılayıcılar ve erişim düzeneklerini içeren bütün elektronik sistemlerini teste tabi tutabilir. Bu yöntem en büyük boyutu levha ayırıcının üçte birinden küçük olan cihazlar için uygundur.

Şerit hat ekranlanmış bir oda içerisine konulmalı (harici emisyonları önlemek için) ve elektromanyetik yansımaları önlemek için duvarlardan ve herhangi bir metal muhafazadan 2 m uzağa konumlandırılmalıdır. RF soğurucu malzeme bu yansımaları bastırmak için kullanılabilir. Şerit hat, zeminden en az 0,4 m yükseklikte iletken olmayan destekler üzerine yerleştirilmelidir. Bir alan ölçüm sondası, paralel levhalar arasındaki sistemin teste tabi tutulmayan kısmındaki alanın boylamasına, düşey ve enlemesine boyutlarının merkezi üçte birlik kısmında konumlandırılmalıdır.

İlgili ölçüm teçhizatı ekranlanmış odanın dışında bulunmalıdır. İstenen her test frekansında, bir güç seviyesi antende gerekli olan alan şiddetini oluşturmak için şerit hatta beslenmelidir. İleri doğru gücün bu seviyesi veya alanı tanımlamak için gerekli olan ve ileri doğru güçle doğrudan ilgili başka bir parametre bu işlemin tekrarını gerektirecek tesiste ve donanımda değişiklikler meydana gelmedikçe tip onay testlerinde kullanılmalıdır.

Ana kontrol ünitesi paralel levhalar arasındaki boşluğun boylamasına, düşey ve enlemesine boyutlarının merkezi üçte birlik kısmında konumlandırılmalıdır. İletken olmayan malzemeden yapılmış bir tezgah ile desteklenmelidir. Ana kablolama düzeneği ve algılayıcı/harekete geçirici kabloları, kontrol ünitesinden üst zemin levhasına dik olarak erişmelidir (Bu kuplajla elektromanyetik alanın en üst seviyesine gelmesine yardımcı olur). Daha sonra bunlar levhanın alt kenarından, döngü yaptıkları serbest kenarından birine doğru gitmeli ve şerit hat beslemesi bağlantılarıyla birlikte zemin levhasının tepesini izlemelidirler. Daha sonra kablolar, örneğin şerit hattın boylamasına 1 m uzakta ekranlanmış odanın zemini üzerinde, elektromanyetik alan etkisinin dışında bir alanda olması gereken ilgili teçhizata yönlendirilmelidirler.

5.4. Bir Traktöre Uygulanan EMC Test ve Ölçümleri

5.4.1. Bir traktöre uygulanan ışımaya karşı bağışıklık testi

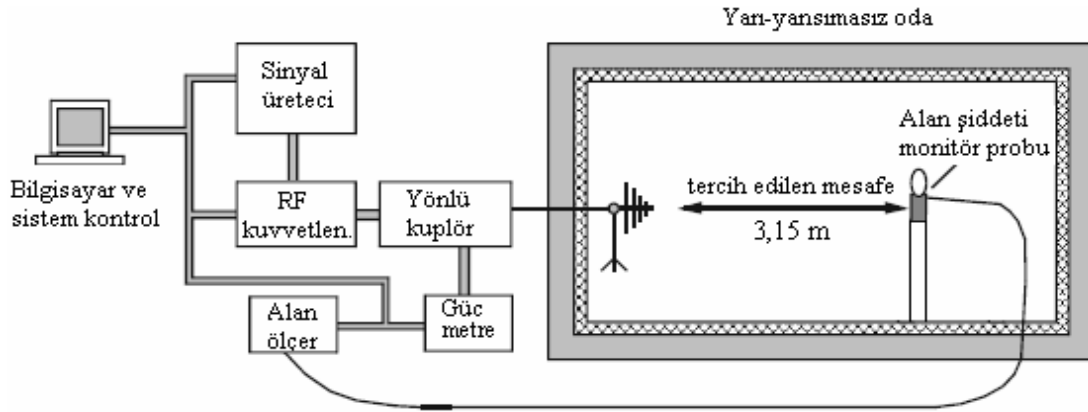
Bu test, Gebze'deki TÜBİTAK UME yarı-yansız odasında, test yapılan traktör firma yetkililerinden izin alarak bizzat iştirak ettiğim bir uygulamadır. Bu nedenle, uygulamada firma isminden ve markalardan bahsedilmeyecektir. Test, 2004/104/EC ve 75/322/EEC standartları referans alınarak yapıldı.

5.4.1.1. Ön hazırlıklar ve kalibrasyon işlemi

Testten önceki en önemli safha kalibrasyon işlemidir. Kalibrasyon, ölçüm sonuçlarının gerçekçi olabilmesi için gerekli bir işlemdir.

Tablo 5.8. Traktöre uygulanan ışıma karşı bağıklık test bilgileri

İlgili Standart	75/322/EEC
Frekans Aralığı	27, 45, 65, 90, 120, 150, 190, 230, 280, 380, 450, 600, 750, 900 MHz
Modülasyon	Genlik Modülasyonu %80 AM, 1 kHz
Elektrik Alan Seviyesi	30 V/m
Anten Polarizasyonu	Yatay ve Dikey
Antenin Yerden Yüksekliği	2,10 metre
Anten-Prob mesafesi	3,15 metre
Her Frekanstaki Durma Süresi	En az 5 sn
Tekerlerin dönme hızı	30 km/h
Başarısızlık Kriteri	Traktörün gösterge paneli ve diğer fonksiyonlarında ilk durumuna göre değişiklik ve bozulma
Kullanılan Cihazlar	Bilgisayar, Elektrik alan probu, Bilog verici anten, Yönlü kuplör, RF kuvvetlendirici, Sinyal üretici, Güç metre, Alan ölçer



Şekil 5.8. 75/322'ye göre ışıma karşı bağıklık kalibrasyon test düzeneği

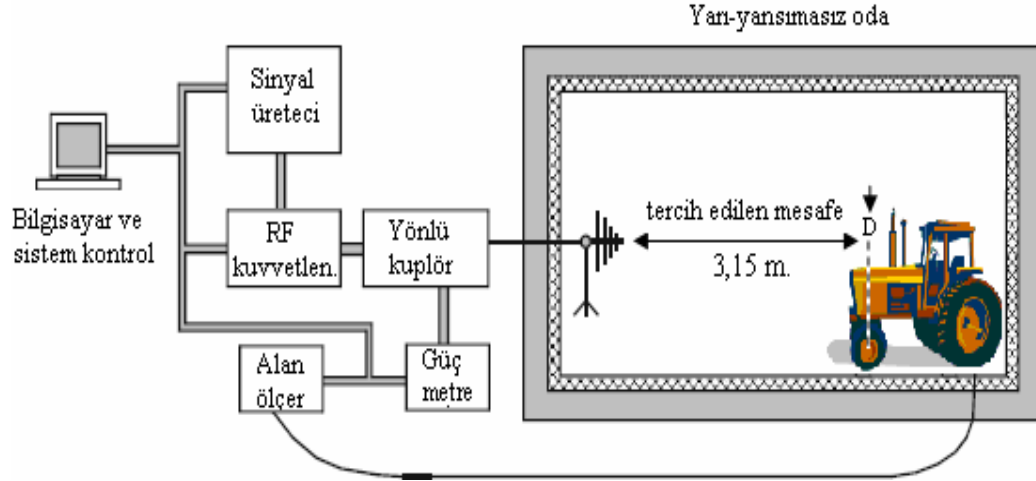
Kalibrasyon işleminden önce, testte kullanılacak cihazlar teste hazır hale gelmesi için 30 dakika kadar çalıştırıldı. Kalibrasyon, 27 MHz ila 1 GHz frekans aralığında, antenin dikey ve yatay polarizasyonlarında yapıldı. Bu band aralığında 2 adet verici anten kullanıldı. Test parametreleri Tablo 5.8'de, kalibrasyon test düzeneği Şekil

5.8’de verilmiştir. Verici anten faz merkezinin, traktörün bulunduğu düzlem referans alınarak yerden yüksekliğin 1,5 metreden az olmamasına dikkat edildi. (Eğer traktör tavan yüksekliği 3 metreyi aşarsa, bu mesafe 2,0 metreden az olmamalıdır.) Biz burada verici anten faz merkezi yüksekliğini 2,10 metre olarak ayarladık. Ayrıca, verici anten yayıcı elemanlarının hiçbir parçasının traktörün durduğu düzleme 0,25 metreden daha yakın olmamasına dikkat edildi. Verici antenin uç noktası ile elektrik alan probu arasındaki mesafe 3,15 metreye ayarlandı. Elektrik alan probunun yeri, Şekil 5.9’daki traktörün ön teker dingil merkezi olan “D” noktası referans alınarak ayarlanmıştır.

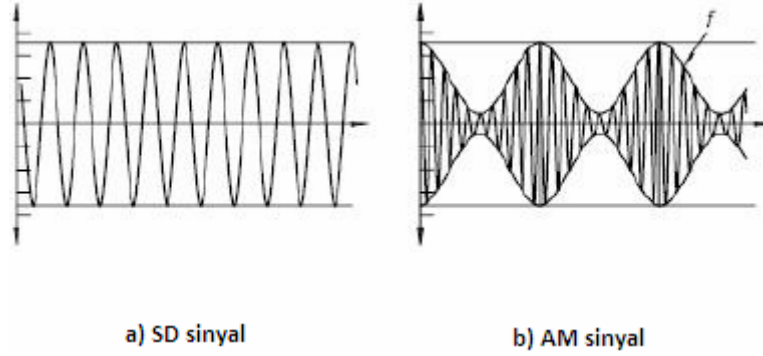
Kalibrasyonlar, gereken şartları yerine getirmesi açısından 14 spot frekans aralıklarında yapılmıştır. Bu frekanslar; 27, 45, 65, 90, 120, 150, 190, 230, 280, 380, 450, 600, 750, 900 MHz’dir. Test tamamen bilgisayar kontrollüdür. Sinyal üreticiden, yukarıda belirtilen frekanslar antenin yatay ve dikey konumuna göre 1 kHz modüle edilmemiş sinüs işareti (saf sinüs işareti) (Şekil 5.10 (a)) RF kuvvetlendiricinin girişine uygulandı. RF kuvvetlendirici çıkışı yönlü kuplörün girişine bağlandı. Yönlü kuplör (bağlayıcı), çıkışı da yine verici antenin girişine uygulandı. Burada yönlü bağlayıcı kullanmanın amacı, RF kaynağı ile anten arasındaki empedans uyumsuzluğundan dolayı ileri yöndeki gücü ölçmektir. Yansıyan güç sadece bilgi amaçlı kullanılmaktadır. Teste ileri yönlü güç değerleri kullanılmıştır.

Testte kullanılan RF kuvvetlendirici, sinyal üretici, elektrik alan probu ve yönlü kuplör gibi cihazlar tamamen bilgisayar kontrollüdür.

Elektrik alan probundan 3,15 metre uzaklıktaki verici anten, 30 V/m rms (kok) değerini buluncaya kadar elektrik alan uygulandı. Elektrik alan probu belirtilen mesafede 30 V/m rms değerine ulaştığı anda güç metre ileri yöndeki güç değerini bilgisayara kaydetti ve hafızaya aldı. Bu işlem diğer frekans adımlarında da uygulandı. Kısaca 14 frekans adımıyla 30 V/m elektrik alan değerine karşılık gelen ileri yöndeki güç değeri ayrı ayrı bilgisayara kaydedilip, hafızaya alınmış oldu. Kaydedilen bu güç değerleri yine test aşamasına geçildiğinde ilgili frekans adımlarında kullanılacaktır.



Şekil 5.9. Bir traktöre uygulanan ışıma karşı bağışıklık test düzeneği



Şekil 5.10. Testte kullanılan saf sinüs işareti, AM (genlik modülasyonu)

5.4.1.2. Test işleminin gerçekleştirilmesi

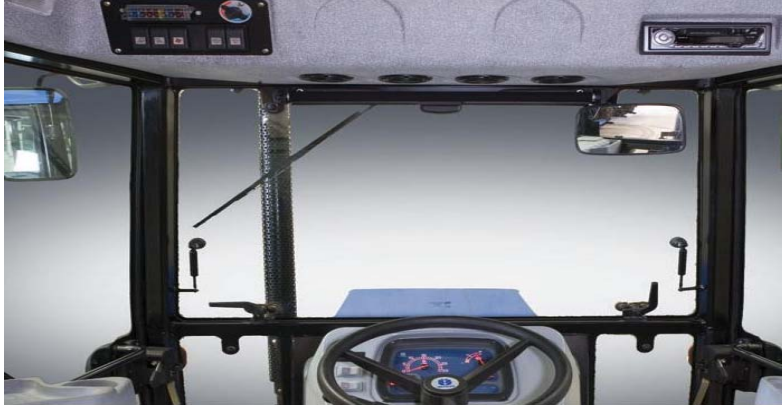
Test aşamasında en önemli nokta, kalibrasyon işlemindeki konumların aynen korunmasıdır. Yani, kalibrasyon işleminde kullanılan anten mesafesi, yüksekliği ve konumu (yatay-dikey), kabloların durumu, test düzeneği, test ortamı olduğu gibi aynıdır. Sadece iki fark vardır ki bunlar da; elektrik alan probu yerine traktörün olması ve traktör tekerleklerini döndürmek için dinamometre sisteminin kurulmasıdır. Daha önce, elektrik alan probunun traktörün ön teker dingil merkezi olan "D" noktası referans alınarak yerleştirildiğini söylemiştik. Dinamometre sisteminin kurulmasının amacı, tekerlekleri belli bir hızda dönmesinin sağlayarak kumanda etmek ve bu sayede gerçek anlamda hareketi simule etmektir.



Şekil 5.11. Bir traktöre uygulanan ışınım karşı bağışıklık testi (TÜBİTAK-UME'den alınmıştır)

Traktör ön teker dingil mesafesi “D” ile verici antenin uç mesafesi 3,15 metreye ayarlandı. Bu mesafe $3,15 \pm 0,2$ metre olabilir. Traktörün ön panelini ve dış aksamalarını görebilmek için uygun yerlere CCD kamera yerleştirildi. Traktör ve traktörün gözlemlenecek diğer aksamaları çalıştırılarak teste hazır hale getirildi. Test ortamında başka hiçbir canlı ve cihaz bulundurmamak suretiyle YYO giriş kapısı da kapatılarak test aşamasına başlamak için kontrol ve gözlem odasına geçildi. Traktörün hızı, bilgisayar kontrollü dinamometre vasıtasıyla yaklaşık 30 km/h seviyesine ayarlandı. Bu hız seviyesi $30 \pm \% 10$ km/h olabilirdi.

Kalibrasyonda kaydedilen ileri güç seviyeleri yine kalibrasyondaki frekans adımlarında (yatay ve dikey polarizasyonda) Şekil 5.10-(a)'daki sinüs işaretine % 80 AM (Genlik Modülasyonu) yapılarak en az 5 sn boyunca traktöre uygulandı. Bu uygulama ayrı ayrı 14 frekans adımıyla kendilerine ait kaydedilen ileri güç seviyelerine göre tekrarlandı. Yine verici antenin yatay ve dikey konumlarına göre de ölçüm tekrarlandı. Modülasyon boyunca, kameralar sayesinde traktörün panel ve çalıştırılan diğer aksamlarındaki fonksiyonlarda herhangi bir bozulma, konum değişikliği ve sapma olup olmadığı gözlemlendi. Çünkü traktörün izlenen fonksiyonlarındaki herhangi bir olumsuzluk ya da değişiklik başarısızlık kriteri sayılacaktı.



Şekil 5.12. Bir traktörün ön paneli ve göstergeleri

5.4.1.3. Traktörde gözlenen fonksiyonlar ve aksamlar

- (i) Traktör hızı dinamometre ile bilgisayar kontrollü olarak $30 \text{ km/h} \pm 10\%$ ayarlandı.
- (ii) Traktörün ön kısa farları, arka farları ve kabin iç lambaları açıldı.
- (iii) Traktörün sağ (sağ ya da sol sadece birisi) sinyal lambası açıldı.
- (iv) Traktörün silecekleri ve kaloriferi çalıştırıldı.
- (v) Traktörün tepe (döner) lambası çalıştırıldı.
- (vi) Traktörün ön gösterge panelindeki göstergeler (devir, yakıt, ısı v.s) ve uyarı lambaları (sinyal, farlar, akü şarj v.s) kontrol edildi.

5.4.1.4. Test sonucu

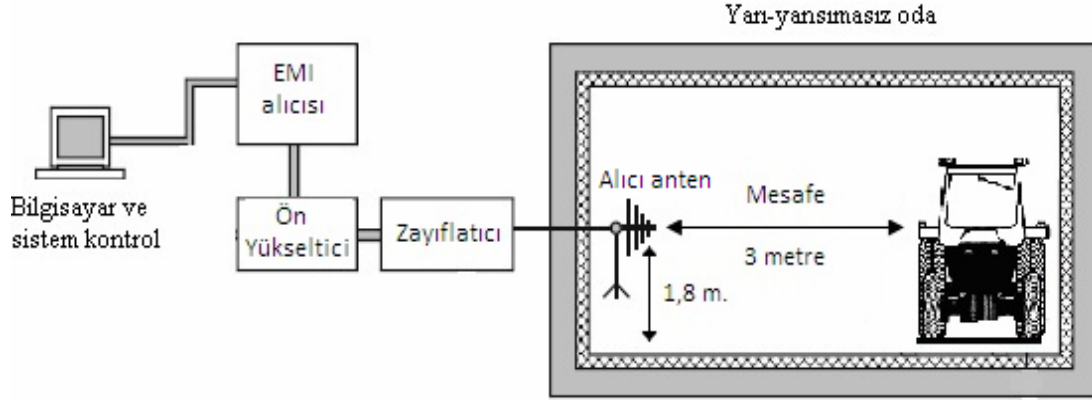
Traktöre uygulanan ışıma karşı bağışıklık test sonucunda; traktörün sağ sinyali, 90 MHz frekansı modülasyon anında yanar-söner durumdan sadece yanar konumda kaldı. Firma yetkilisi ve bizlerin nezaretinde, flâşör tedarikçi firma yetkilisi tarafından flâşörden göstergeye giden kablo ile traktörün şasesi arasına $100\mu\text{F}$, 63V değerinde kondansatör takıldı ve ilgili kablolarla ekranlama yapıldı. Daha sonra test işlemi tüm frekans bandında yeniden tekrarlandı. Hiçbir frekans adımımda, traktörün gösterge paneli ve diğer fonksiyonlarında ilk durumuna göre değişiklik ve bozulma olmadığından traktör bağışıklık testini geçmiş oldu.

5.4.2. Bir traktöre uygulanan ışınlama yayılım testi

İşinimaya karşı bağışıklık testinden geçen traktöre, hemen sonrasında ışınlama yayılım testi uygulandı. Bu test de yine Gebze'deki TÜBİTAK UME yarı-yansımaz odasında gerçekleştirildi. Test, 2004/104/EC ve 75/322/EEC standartları referans alınarak yapıldı. Testten önce yine kullanılacak cihazlar 30 dakika çalıştırıldı. Testlerde EMI alıcısı, ön yükselteç, zayıflatıcı ve bilog anten kullanıldı. Kullanılan cihazlar bilgisayar kontrollü olup, ilgili program kullanılarak kumanda edildi. Test yapılan YYO'da ortam sıcaklığı 23°C ve bağıl nem değeri % 45 civarındaydı. İşinim yollu yayılım testi darbant ve genişbant olmak üzere iki şekilde gerçekleştirildi. İşinimla yayılım testinde kullanılan test bilgileri Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9. Traktöre uygulanan ışınlama yayılım test bilgileri

İlgili Standart	75/322/EEC
Frekans Aralığı	45, 65, 90, 120, 150, 190, 230, 280, 380, 450, 600, 750, 900 MHz
Ölçüm Süresi	1000 ms
Test ölçüm bantları	Genişbant, darbant
Traktörün teste maruz bırakılan kısmı	Sağ ve sol
Anten Polarizasyonu	Yatay ve Dikey
Test ölçüm mesafesi	3 metre
Antenin Yerden Yüksekliği	1,80 metre
Bant genişliği	Darbant için.....120 kHz Genişbant için...1 MHz
Detektör tipi	Tepe dedektörü
Kullanılan Cihazlar	Bilgisayar, EMI alıcısı, bilog alıcı anten, zayıflatıcı, ön yükseltici (pre-amp),
Test sonucu	Geçti

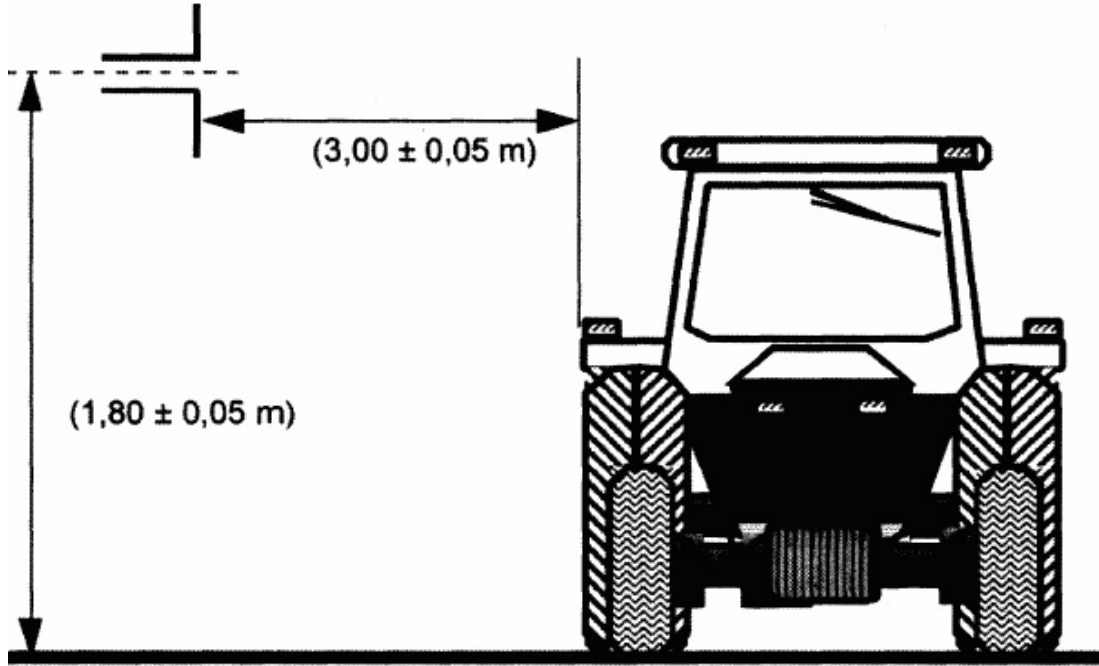


Şekil 5.13. Bir traktöre uygulanan ışınlama yayılım test düzeneği

5.4.2.1. Darbant ışınlama yayılım testi

Şekil 5.13'deki test düzeneği kuruldu. Testler 3 metre ölçüm mesafesinde gerçekleştirildi. 3 metre ölçüm mesafesi, alıcı antenin merkez noktası ile traktörün dış yakın metal yüzeyi (burada depo kapağı) referans alınarak ölçüldü. Alıcı anten yüksekliği Şekil 5.14'de gösterildiği gibi platformdan 1,80 metre olarak ayarlandı. Testlere başlamadan önce antenin yatay ve dikey polarizasyonlarında ortamın gürültüsü ölçüldü. Ortamın gürültüsünün, limitin 10 dB altında olması şartı sağlandı. Testler ve ortam gürültüsü ölçümü belirlenen spot frekanslarında (45, 65, 90, 120, 150, 190, 230, 280, 380, 450, 600, 750, 900 MHz) gerçekleştirildi. Bant genişliği 120 kHz olarak alındı ve tepe dedektörü kullanıldı. Darbant testleri alıcı antenin yatay ve dikey polarizasyonlarında, traktörün sağından ve solundan olmak üzere 4 farklı ölçüm yapılarak gerçekleştirildi.

Şekil 5.13'de traktörden yayılan gürültüler alıcı anten tarafından algılanarak koaksiyel kablo vasıtasıyla zayıflatıcıya aktarılır. Zayıflatıcı kullanmanın amacı, alıcı anten ile EMI alıcısı arasındaki empedans uyumsuzluğunu gidermek içindir. Zayıflatıcı çıkışı ön yükseltece (pre-amp) takılır. Yükseltecin kullanım amacı ise, EMI alıcısının taban seviyesini düşürmektir. Yükselteç çıkışı ise EMI alıcısına bağlanır. EMI alıcısı bilgisayar kontrollüdür. Bilgisayardaki uygun yazılımla kontrol sağlanır. Yazılıma anten faktörleri, zayıflatıcı faktörü ve ön yükselteç kazancı eklenmiştir.



Şekil 5.14. Işınımla yayınım testinde anten yüksekliği ve traktör-anten mesafesi

Tablo 5.10. Ortamdan yayılan darbant yayınım gürültü ölçüm sonuçları (120 kHz bant genişliği, tepe dedektörü, yatay ve düşey polarizasyon)

Frekans (MHz)	Testten önce Ortam Gürültüsü (dB μ V/m)		Limit Değerinin 10dB aşağısı (dB μ V/m)
	Yatay Polarizasyon	Düşey Polarizasyon	
45	12	12	24
65	8	15	24
90	11	12	25
120	17	15	27
150	16	16	29
190	13	15	30
230	18	16	31
280	19	18	33
380	22	22	35
450	23	23	35
600	26	25	35
750	28	27	35
900	30	29	35

Tablo 5.11. Traktörden yayılan darbant elektromanyetik ışınımların ölçüm sonuçları
(120 kHz bant genişliği, tepe dedektörü, yatay ve dişey polarizasyon, traktörün sağ ve sol durumları)

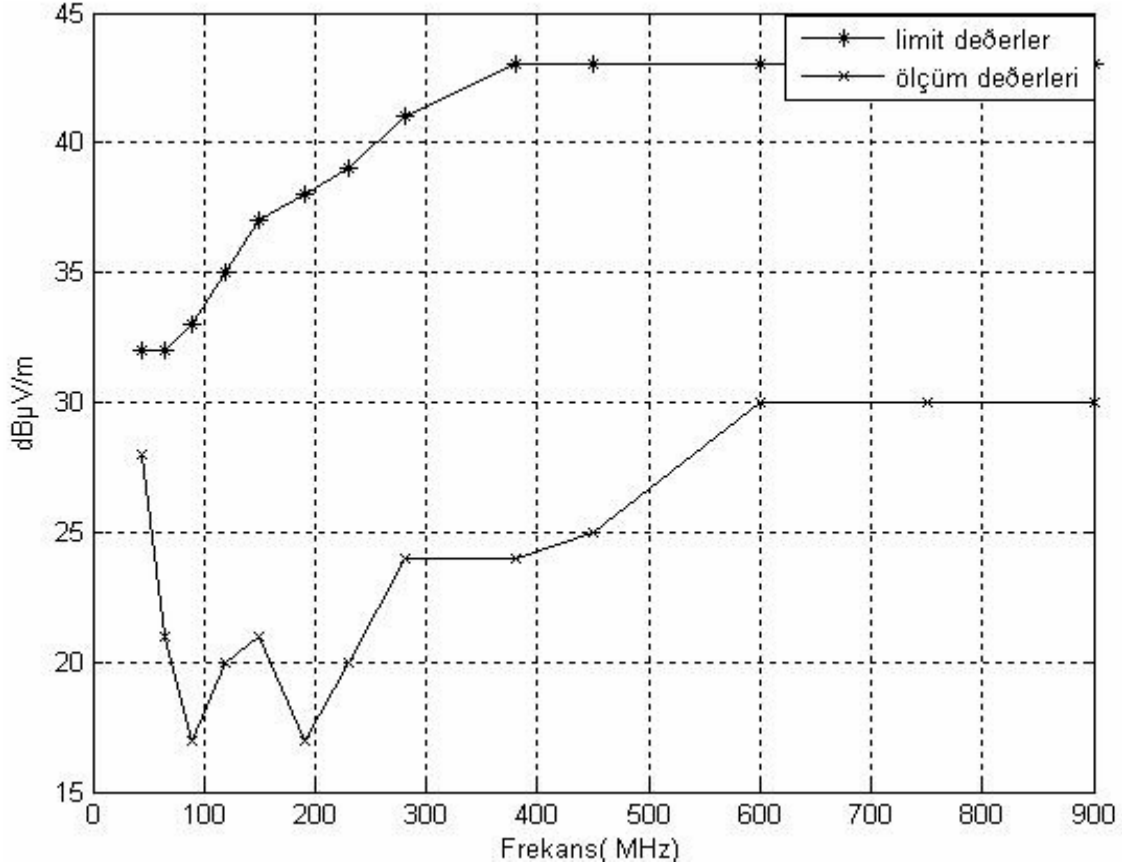
Frekans (MHz)	Traktör Solda Yatay Polarizasyon (dBµV/m)	Traktör Solda Dişey Polarizasyon (dBµV/m)	Traktör Sağda Yatay Polarizasyon (dBµV/m)	Traktör Sağda Dişey Polarizasyon (dBµV/m)	Dört Ölçümün Maksimum Değeri (dBµV/m)	Limit Değerinin 2 dB aşağısı (dBµV/m)
45	23	28	23	28	28	32
65	21	17	20	12	21	32
90	13	17	14	16	17	33
120	18	17	20	19	20	35
150	16	17	18	21	21	37
190	16	17	17	16	17	38
230	20	18	18	18	20	39
280	21	21	21	24	24	41
380	24	24	24	24	24	43
450	25	25	25	25	25	43
600	29	29	30	29	30	43
750	29	29	30	30	30	43
900	30	30	30	30	30	43

Tablo 5.10'daki sınır değerler standartta belirtildiği gibi 120 kHz bant genişliği, tepe dedektörü için 10 dB çıkarılarak oluşturulmuştur. Buna göre, yatay ve dişey polarizasyonda ölçülen ortam gürültü değerleri limitin altında kalmaktadır.

Tablo 5.11'de ise sınır değerler; standartta belirtildiği gibi 120 kHz bant genişliği, tepe dedektörü için 2 dB çıkarılarak oluşturulmuştur

Darbant ışınımla yayınım testinde traktörün çalışın aksamları:

- (i) Traktör Çalışmıyor.
- (ii) Kontak açık.
- (iii) Radyo açık.
- (iv) Ön, arka lambalar açık.
- (v) Kabin üstündeki ön, arka ve kabin içindeki lambalar açık.



Şekil 5.15. Darbant ışınımla yayınım ölçüm değerlerinin limit değerleriyle karşılaştırılması

Şekil 5.15’de görüldüğü gibi darbant ışınımla yayınım ölçüm sonuçlarıyla limit değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu karşılaştırma sonucu, ölçüm yapılan frekans bantlarında ölçüm sonuçları limit değerlerinin altında kalmıştır. Ölçüm değerlerine göre limit değerlerine en yakın değer 45 MHz’de 4 dBµV/m iken, en uzak değer 190 MHz’de 21 dBµV/m’dir. Ölçüm değerleri Tablo 5.11’de verilen dört ölçüm sonucunun maksimum değerleridir.

Yarı-yansız odada belirtilen şartlar altında yapılan ortam gürültü seviyesinin limitin altında kaldığı gözlemlendikten sonra traktörün yukarıda belirtilen aksamı çalıştırıldı. Test ortamı tamamen boşaltılarak bilgisayarın bulunduğu gözlem odasına geçildi. Standartta belirtilen şartlarda ve belirlenen spot frekanslarında traktörün sağından ve solundan, antenin yatay ve düşey polarizasyonlarında 4 farklı ölçüm sonuçları elde edildi. Bu dört ölçüm sonucunun en büyük değeri Tablo 5.11’de gösterildiği gibi referans alındı ve standartta belirtilen limit değerleriyle karşılaştırıldı. Karşılaştırma sonucunda ölçülen bütün değerler limit değerinin altında kaldığı için, traktör darbant ışınımla yayım testinden başarıyla geçmiş oldu.

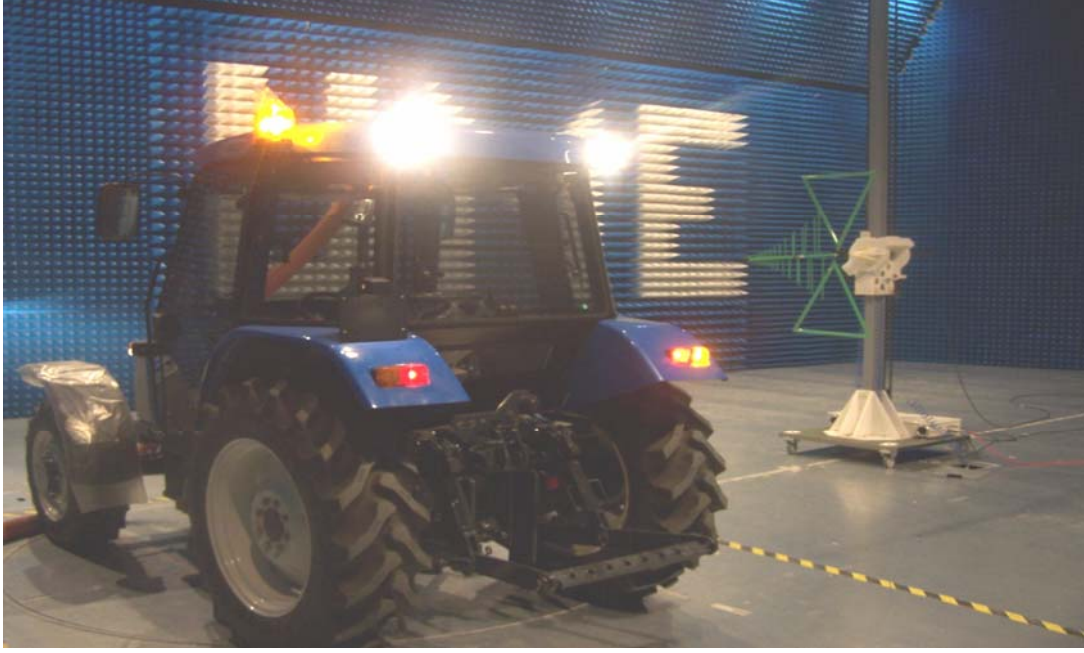
5.4.2.2. Genişbant ışınımla yayınım testi

Genişbant ışınımla yayınım testinin, darbant testinden temel farkı EMI alıcısı bant genişliğinin 1 MHz olmasıdır. Bir de traktörün çalışan aksamlarında ufak tefek farklılıklar mevcuttur. Diğer yandan test düzeneği, kullanılan cihazlar, tarama yapılan spot frekansları, antenin yatay ve dikey polarizasyonlarında ölçüm yapılması, traktörün sağından ve solundan yapılan ölçümler, kullanılan dedektör tipine kadar herşey darbant ile birebir aynıdır. Yine önceden, darbant ışınımla yayınım testinde bahsi geçen bütün durumlar aynıdır. Genişbant ışınımla yayınım testinden önce, antenin yatay ve dikey durumlarındaki ortam gürültüsü ölçüldü ve limitin 10 dB altında olması şartı arandı. Daha sonra teste geçildi. Aynı frekans adımlarında, 4 farklı ölçüm (anten yatay-dikey ve traktörün sağından-solundan) gerçekleştirildi. Tablodaki limit değerleriyle, ilgili frekanstaki en büyük değer karşılaştırıldı.

Genişbant ışınımla yayınımda traktörde çalışan aksamlar:

- (i) Traktör boşta, çalışıyor.
- (ii) Darbant yayınımdaki aksamlar çalışıyor.
- (iii) Silecek ve kalorifer çalışıyor.
- (iv) Sağ ve sol sinyal çalışıyor.
- (v) Traktörün tepe (döner) lambası açıldı.

şekil 5.16'daki resimde görüldüğü gibi, bir traktöre sağ taraftan (yolcu tarafı) antenin dikey polarizasyonunda genişbant ışınımla yayınım testi uygulanmıştır. Traktör boşta çalışır durumdadır. Traktörün tepe lambası, sağ sinyali, silecekleri, kaloriferi ve darbant testinde çalışan aksamlar yine çalışır vaziyettedir.



Şekil 5.16. Bir traktöre sağ taraftan uygulanan genişbant ışınımla yayınım testi (TÜBİTAK-UME'den alınmıştır)

Tablo 5.12. Ortamdan yayılan genişbant yayınım gürültü ölçüm sonuçları (1 MHz bant genişliği, tepe dedektörü, yatay ve düşey polarizasyon)

Frekans (MHz)	Testten önce Ortam Gürültüsü (dB μ V/m)		Limit Değerinin 10dB aşağısı (dB μ V/m)
	Yatay Polarizasyon	Düşey Polarizasyon	
45	22	22	72
65	18	18	72
90	21	21	73
120	24	24	75
150	27	30	77
190	22	23	78
230	26	26	79
280	27	27	81
380	31	31	83
450	32	32	83
600	34	34	83
750	38	37	83
900	39	39	83

Tablo 5.13. Traktörden yayılan genişbant elektromanyetik ışımların ölçüm sonuçları
(1 MHz bant genişliği, tepe dedektörü, yatay ve düşey polarizasyon, traktörün sağ ve sol durumları)

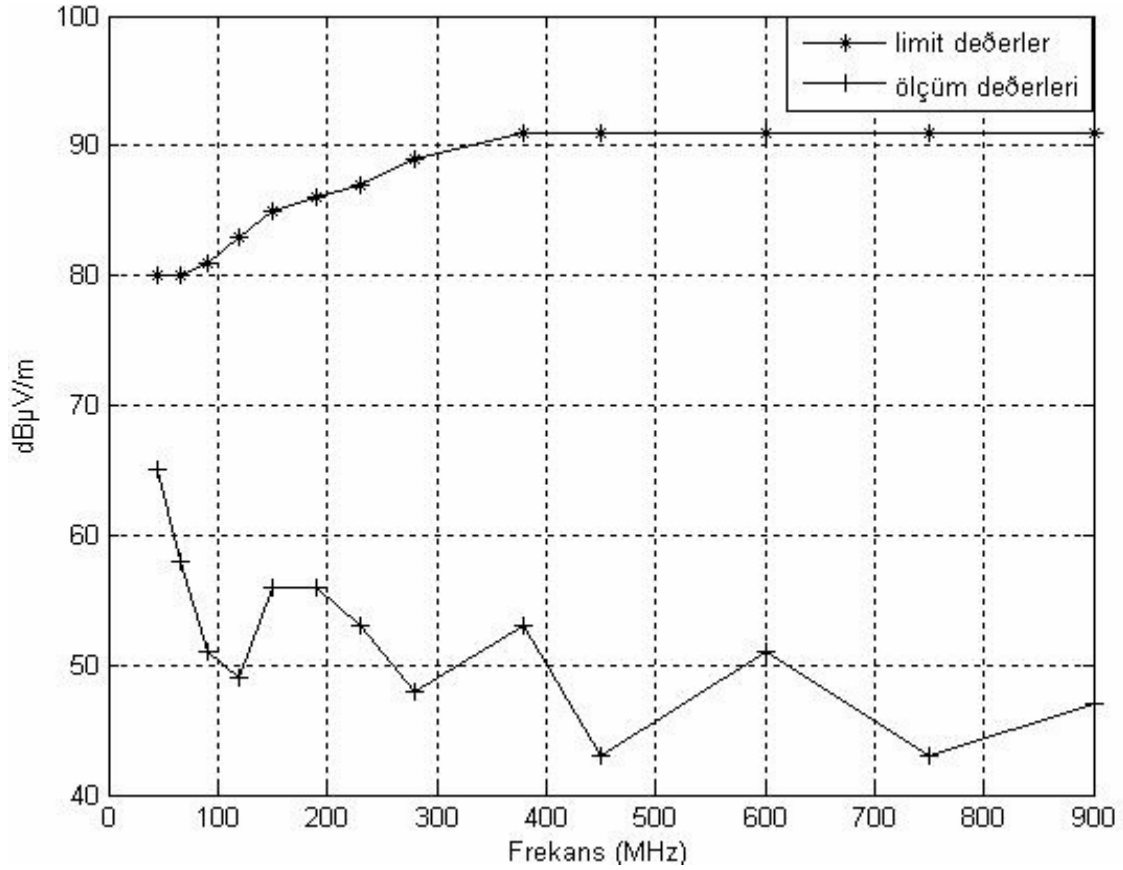
Frekans (MHz)	Traktör Solda Yatay Polarizasyon (dB μ V/m)	Traktör Solda Düşey Polarizasyon (dB μ V/m)	Traktör Sağda Yatay Polarizasyon (dB μ V/m)	Traktör Sağda Düşey Polarizasyon (dB μ V/m)	Dört Ölçümün Maksimum Değeri (dB μ V/m)	Limit Değerinin 2 dB aşağısı (dB μ V/m)
45	56	59	47	65	65	80
65	46	55	58	51	58	80
90	49	40	51	44	51	81
120	46	48	49	36	49	83
150	56	47	55	41	56	85
190	56	49	49	38	56	86
230	46	53	53	42	53	87
280	48	42	40	46	48	89
380	53	48	52	42	53	91
450	43	35	35	43	43	91
600	51	48	40	41	51	91
750	43	41	40	38	43	91
900	44	47	46	44	47	91

Tablo 5.12’de sınır değerler standartta belirtildiği gibi 1 MHz bant genişliği, tepe dedektörü için 10 dB çıkarılarak oluşturulmuştur. Ayrıca 1 MHz bant genişliği ve tepe dedektörü için limit değerlerine (120 kHz yarı-tepe dedektörü) 38 dB eklenmiştir. Antenin yatay ve düşey polarizasyonlarında ve spot frekanslarında ölçülen değerlerin limit değerinin 10 dB aşağısında olduğu görüldüğünden teste geçildi.

Tablo 5.13’de sınır değerler; standartta belirtildiği gibi 1 MHz bant genişliği, tepe dedektörü için 2 dB çıkarılarak oluşturulmuştur. Ayrıca 1 MHz bant genişliği ve tepe dedektörü için limit değerlerine (120 kHz yarı-tepe dedektörü) 38 dB eklenmiştir.

Sonuç olarak, Tablo 5.13’de de görüldüğü gibi standartta belirtilen şartlarda ve belirlenen spot frekanslarında traktörün sağından ve solundan, antenin yatay ve düşey polarizasyonlarında dört farklı ölçüm sonuçları elde edildi. Bu dört ölçüm sonucunun en büyük değeri Tablo 5.13’te gösterildiği gibi referans alındı ve

standartta belirtilen limit değerleriyle karşılaştırıldı. Karşılaştırma sonucunda ölçülen bütün değerler limit değerinin altında kaldığı için, traktör genişbant ışınlama yayılım testinden başarıyla geçmiş oldu.



Şekil 5.17. Genişbant ışınlama yayılım ölçüm değerlerinin limit değerleriyle karşılaştırılması

Şekil 5.17’de görüldüğü gibi darbant ışınlama yayılım ölçüm sonuçlarıyla limit değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu karşılaştırma sonucu, ölçüm yapılan frekans bantlarında ölçüm sonuçları limit değerlerinin altında kalmıştır. Ölçüm değerleri Tablo 5.13’de verilen dört ölçüm sonucunun maksimum değerleridir.

Böylece, ilgili firmaya ait traktörün 2004/104/EC ve 75/322/EEC standartları referans alınarak yapılan ışınlama karşı bağışıklık ve ışınlama yayılım (dARBANT ve genişbant) ölçüm sonuçları limit değerlerinin altında kaldığından, ilgili firmaya TÜBİTAK-UME tarafından EM uyumluluk belgesi verildi.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR

Artan otomotiv ihtiyaçlarıyla birlikte otomotiv üretimi de arttığından, rekabet çerçevesinde kalite-kontrol, AR-GE çalışmaları ve üretimden satışa kadar uzanan kalite standartlarının öneminin daha da artacağı açıktır. Bu süreçte otomotiv sektöründe kalite standartlarının bir yönü de EMC standart uygunluğudur. Bunun yanında, tam üye olmayı hedeflediğimiz AB'nin başlattığı yasal elektromanyetik uyumluluk düzenleme çalışmaları 1996 yılında zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle üretici firmalar, bu tarihten sonra AB pazarına sürecekleri her elektriksel ve elektronik ürün veya cihaz için CE markası taşımak zorundadır.

Bu tezde, Bölüm 2'de, EMC ve konuyla ilgili diğer temel kavramlara ait tanımlar verilerek EMC'nin dünyada ve Türkiye'de tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Geçmişte yaşanan EMC problemlerine örnekler verilip EMC'nin önemine vurgu yapılmıştır. Ayrıca, elektronik cihazların performansını bozan doğal ve yapay kaynaklar açıklanmıştır. Bölümün sonunda ise, EMC ile ilgili kuruluşlar tanıtılarak, dünyada ve özellikle Avrupa'da kabul gören EMC standartları hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 3'de yayılım, bağışıklık gibi temel kavramlar kısaca açıklanmış, EMC test ve ölçümlerinde kullanılan birim ve büyüklükler, ilgili denklem ve eşitliklerle gösterilmiştir. Sonrasında, EMC test ve ölçüm ortamları ve parametreleri, ayrıntılı biçimde şekillerle açıklanmıştır. Nihayetinde EMC test ve ölçümünde kullanılan cihaz ve sistemler tanıtılmıştır.

Bölüm 4'de, EMC test ve ölçümlerinin gerçekleşmesi çerçevesinde, yayılım ve bağışıklık testleri ve bunlarla ilgili konfigürasyon ve test düzenekleri şekillerle birlikte verilmiş ve test yöntemleri açıklanmıştır. Sonra bir dijital uydu alıcısına

uygulanan ışınım yollu yayılım test örneği, ölçüm sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Bölümün onunda ise ölçümlerde hata analizi konusundan bahsedilmiştir.

Bölüm 5’de, 2004/104/EC sayılı Avrupa Birliği Komisyon Direktifinin 72/245/AT Yönetmeliği (Araçlar ve Bir Araca Takılmış Elektrikli/Elektronik Alt Tertibatların Sağlaması Gereken Şartlar) gereğince otomotive ve otomotiv elektrik/elektronik alt tertibatlarına (ESA) uygulanan darbant-genişbant yayılım ve bağışıklık testleriyle ilgili limitler verilmiş ve test yöntemleri açıklanmıştır.

Son olarak, TÜBİTAK-UME (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Ulusal Metroloji Enstitüsü) yarı-yansız odasında bizzat iştirak edilen, bir traktöre uygulanan ışınım yayılım ve ışınım karşı bağışıklık test ve ölçümleri anlatılmıştır. Bu uygulama, 2004/104/EC ve 75/322/EEC standartları referans alınarak yapılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda test sonuçları bahsi geçen standartlardaki limit değerleriyle grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Avrupa ülkeleri, 2004 yılında 95/54/EC, 75/322/EEC, 72/245/EEC standartlarının birleştirilmesiyle yeni bir standart uygulamasına geçti. Ülkemizde henüz uygulamaya geçmeyen bu standart için Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nın kararı bekleniyor. Kararın Resmi Gazete’de yayınlanmasından sonra yeni standarda göre test ve ölçümler gerçekleştirilecek. Eskiye göre birçok yenilik getiren bu standartlara göre aşağıdaki çalışmalar yapılabilir:

(i) Test ölçüm ortamlarının modifiye edilmesi ya da yeni bir test ortamı kurulmalıdır. Bu test ortamı her türlü otomotiv ürünlerini kapsayacak şekilde olmalıdır (otomobil, traktör, kamyon, kamyonet ve çekici vb).

(ii) Yenilenecek yeni oda içerisine gömülü ve her türlü mesafe ayarlaması yapılan roller (dinamometre) sistemi kurulmalı ve bu sistemin hızı daha hassas okunabilmelidir.

(iii) Araçların sinyallerinin yanıp sönme hızını okuyabilen ve EM dalgalardan etkilenmeyen ölçüm sistemi kurulmalıdır.

(iv) Araçların ABS sistemini kontrol edebilecek sistemler kurulmalıdır.

(v) Eski standartta ölçüm spot frekanslarda yapılırken yeni standartta spot frekanslar yerine bütün frekans bandı taranmaktadır ve frekans aralığı da genişletilmiştir. Ayrıca uygulanan modülasyon tipine ekleme yapılmıştır. Bundan dolayı araçlarda kullanılan parçalar bu standartta göre test edilmelidir.

(vi) Eski standartta bir adet elektrik alan probuna ihtiyaç duyulurken yeni standartta dört adet ölçüm probu gerekmektedir.

(vii) Eski standarttaki ölçüm metodu ile yenisi arasında fark olduğundan dolayı bu ölçüme uygun yazılım kullanılmalıdır.

(viii) Frekans bandı değişikliğinden dolayı bu aralığı kapsayacak şekilde verici antenler alınmalıdır.

Ayrıca CE markası almak isteyen üretici firmalar, üretim aşamasında zaman kaybına uğramamak ve kalite standartlarını yakalamak amacıyla, test ve ölçümlerden önce kendi tedbirlerini almalı ve uygulamada kullanılan standartlardaki limitlerin de altında kalan kendi EMC kalite standartlarını oluşturmalıdırlar.

Bunun yanında ülkemizde, Avrupa'da ve Amerika'da birçok örneği olan EMC uygunluk testlerinin yapıldığı laboratuvarlar ve özel odalar kurulmalıdır. Bu, hem TÜBİTAK hem de üretici firmalar için zaman ve işgücü kazancı demektir.

KAYNAKLAR

- [1] AKÜNER, C., DURSUN, A., “Elektromanyetik Uyum Test Yöntemleri ve Işınım Yollu Yayınım Test Örneği”, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 4, Number: 2, 2009.
- [2] SEVGİ, L., “Tasarımdan Üretime Elektromanyetik Uyumluluk”, Eksen Yayıncılık, İstanbul 2006.
- [3] MORGAN, D., “A Handbook for EMC Testing and Measurement”, IEEE Measurement Series 8, England 1996.
- [4] TIHANYI, L., “Electromagnetic Compatibility in Power Electronics”, Butterworth Heinemann 1995.
- [5] WILLIAMS, T., “EMC for Product Designers”, Newnes, London, England 2001.
- [6] ŞEKER, Ş.S., ÇEREZCİ, O., “Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları”, Boğaziçi Üniversitesi, Yayın No: 548, 1994.
- [7] DURAL, G., EMC/EMI, ODTÜ Elektrik Elektronik Bölümü, Ankara Kasım 2008.
- [8] JOHNSON, H.W., GRAHAM, M., “High-Speed Digital Design: A Handbook of Black Magic”, New Jersey: PTR Prentice-Hall, USA 1993.
- [9] BOYACI, A., BAYRAK, G., DÖNMEZ, Z., “Elektromanyetik Kirlilik”, Fırat Üniversitesi, 2003.
- [10] MERTEL, H.K., “International and European RFI Regulations”, San Diego, CA 92121, USA 1982.
- [11] CLAYTON, P., “Introduction to Elektromagnetic Compatibility”, ss:3-4, USA 2006.
- [12] HUNTER, W.A., “The Role of EMC Standards in Product Quality”, IEEE International Symposium on 9-13 July 2007, 1-6, Hawaii 2007.
- [13] TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Elektromanyetik Metroloji Laboratuvarı, <http://www.ume.tubitak.gov.tr>, Şubat 2008.

- [14] MONTROSE, M.I., MAKAUCHI, E.M., “Testing for EMC Compliance Approaches and Techniques”, IEEE Press, NJ, USA 2004.
- [15] WILLIAMS, T., ARMSTRONG K., “EMC Testing Part 2-Conducted Emissions”, EMC Compliance Journal, ENGLAND 2001.
- [16] SEVGİ, L., “Elektromanyetik Uyumluluk, Elektromanyetik Kirlilik”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul 2000.
- [17] COLOTTI, J., “EMC Design Fundamentals, Systems, Applications and Technology Conference”, LISAT 2006, IEEE, ISLAND 2006
- [18] JONES, B., “EMC Standards and European Perspective”, Electromagnetic Compatibility, International Symposium on Volume 2, 640-644, Eindhoven, Netherlands 2004.
- [19] STREITWOLF, H., HEINRICH, R., BEHNKE, H., DALLWITZ, L., KARSTEN, U., “Comparison of radiated immunity tests in different EMC test facilities”, 18th International Zurich Symposium, ss:229-232, Zurich 2007.
- [20] SAKTHIVEL, K.N., DAS, S.K., KINI K.R., “Importance of quality AC power distribution and understanding of EMC standards IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, and 61000-3-11” Electromagnetic Interference and Compatibility, INEMIC, 8th International Conference, 423-430, The Residency Towers, Chennai, India 2003.
- [21] ANSII C63.4. American National Standard of Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronics Equipment in Range of 9 kHz to 40 GHz, Detroit, Michigan, USA 2008.
- [22] WESTON, A.D., “Electromagnetic Compatibility-Principles and Applications”, Markel Dekker Inc., Canada 2001.
- [23] TSE, TS EN 55022 standardı, “Bilgi teknolojisi cihazları-Radyo bozulma özellikleri-Ölçme metotları ve sınırlar (Information technology equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement)” Turkey 2007.

EKLER

EK A. EN tipi standartlar ve kapsama alanları

Tablo EK A.1. EN tipi standartlar ve kapsama alanları

<u>Referans</u>	<u>Uyumlu Standartların Başlığı</u>
EN 50 065-1:1991	Düşük gerilimli elektriksel donanımların frekans spektrumunda gösterimi, 3kHz-148.5 kHz.
EN 50 081-1:1992	EM Uyumluluk (EMC), Genel yayılım standardı, Bölüm 1: Ticari, hafif endüstri.
EN 50 081-2:1993	EM Uyumluluk (EMC), Genel yayılım standardı, Bölüm 2: Endüstriyel çevre.
EN 50 082-1:1992	EM Uyumluluk (EMC), Genel bağışıklık standardı, Bölüm 1: Ticari, hafif endüstri.
EN 50 082-1:1997	EM Uyumluluk (EMC), Genel bağışıklık standardı, Bölüm 1: Ticari, hafif endüstri.
EN 50 082-2:1995	EM Uyumluluk (EMC), Genel bağışıklık standardı, Bölüm 1: Endüstriyel çevre.
EN 50 083-2:1995	TV, Ses ve Etkileşimli Çoklu Ortam İşaretleri için Kablo Dağıtım Sistemi.
EN 50 090-2:1996	Ev ve İşyeri Elektronik Sistemleri Bölüm 2: Sistemin gözden geçirilmesi, Genel teknik Gereksinimler.
EN 50 091-2:1995	Kesintisiz Güç Kaynağı, Bölüm 2: EMC Gereksinimleri.
EN 50 130-4:1995	Alarm Sistemleri, Bölüm 4: Ürün Ailesi Standardı.
EN 50 148:1995	Elektronik Taksimetreler.
EN 50 199	EM Uyumluluk, Ark Kaynak Cihazı için ürün standardı.
EN 50 227:1997	Kontrol Devre Cihazları ve anahtar elemanları
EN 55 011:1991	Endüstriyel, bilimsel ve radyo frekans cihazlarının radyo etkisi karakteristiklerinin ölçümü için limitler ve yöntemler
EN 55 013:1990	Yayın alıcıları ve bağlı cihazların ışıma etkileri karakteristiklerinin ölçümü için limitler ve yöntemler
EN 55 014-1:1993	EM Uyumluluk-Ev aletleri, Elektrik aletleri ve benzeri aletler için gereksinimler
EN 55 014-2:1997	Bağışıklık- Ürün ilesi standardı, EM Uyumluluk-Ev aletleri, Elektrik aletleri ve benzeri aletler için gereksinimler
EN 55 015:1993	Yayılım- Ürün ilesi standardı, Elektriksel aydınlatma ve benzeri cihazların radyo etkisi karakteristiklerinin ölçümü için limitler ve yöntemler
EN 55 015:1996	Elektriksel aydınlatma ve benzeri cihazların radyo etkisi karakteristiklerinin ölçümü için limitler ve yöntemler

EN 55 020:1998	Yayın alıcılarının ve bağlı cihazların radyo girişimlerine karşı bağımsızlığı
EN 55 022:1987	Bilgi Teknolojileri teçhizatı radyo frekans karakteristiklerinin ölçümü için limitler ve yöntemler
EN 55 022:1994	Bilgi Teknolojileri teçhizatı radyo frekans karakteristiklerinin ölçümü için limitler ve yöntemler
EN 55 103-2:1996	EMC-Ses, video, ses-görsel profesyonel kullanım için eğlence aydınlatmaları kontrol cihazları için ürün ailesi standardı
EN 55 104	Ev aletleri ve benzeri cihazlar için bağımsızlık gereksinimleri
EN 60 118-13 :1997	İşitme cihazları – Bölüm 13: EM Uyumluluk
EN 60 439-1 :1994	Düşük gerilimli anahtar dışı ve kontrol dışı üniteleri Bölüm-1: cinsi test edilmiş ve cinsi kısmen test edilmiş üniteler
EN 60 521:1995	0.5, 1, 2 sınıfı değişken akım watt-saat metreler
EN 60 555-2:1987	Kaynak sistemlerinde, ev aletleri ve benzeri elektriksel teçhizat sebebiyle oluşan etkiler, Bölüm 2: Harmonikler
EN 60 555-3:1987	Bölüm 3: Gerilim Dalgalanmaları
EN 61000	Bölüm 3: Limitler Kısım 2: Harmonik akım yayınımları için limit (teçhizat giriş akımı ≤ 16 A/faz). D sınıfı teçhizatlar için Haziran 1998'e kadar geçiş periyodu önerilmiştir. Kısım 3: Gerilim dalgalanmaları ve kırpışma için limitler (teçhizat giriş akımı ≤ 16 A/faz).
EN 60 601-1-2:1993	Tıbbi elektrik teçhizatı-Bölüm 1:Güvenlik için genel gereksinimler,- 2.Paralel standart EM Uyumluluk –gereksinimler ve testler
EN 60 669-2-1:1996	Ev aletleri ve benzeri sabit elektrik donanımları için anahtarlar Bölüm 2:Belirli gereksinimler-Kısım 1:Elektronik Anahtarlar
EN 60 669-2-2:1997	Ev aletleri ve benzeri sabit elektrik donanımları için anahtarlar Bölüm 2:Belirli gereksinimler-Kısım 1: EM uzaktan kontrollü anahtarlar
EN 60 669-2-3:1996	Ev aletleri ve benzeri sabit elektrik donanımları için anahtarlar Bölüm 2:Belirli gereksinimler-Kısım 1: Zaman gecikmeli anahtarlar
EN 60 687:1992	Aktif enerji için değişken akımlı sabit watt-saat metreler (0.2 S ve 0.5 S sınıfları)
EN 60 730-1:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 1: Genel gereksinimler
EN 60 730-2-5:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 2: Otomatik elektriksel yanma kontrol sistemleri için belirli gereksinimler
EN 60 730-2-6:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 2: Mekanik gereksinimleri içeren otomatik elektriksel basınç algılama için belirli gereksinimler
EN 60 730-2-7:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 2: Zamanlayıcılar ve zaman anahtarları için belirli gereksinimler
EN 60 730-2-8:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 2: Mekanik gereksinimleri içeren elektriksel olarak çalışabilen su vanaları
EN 60 730-2-9:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 2: sıcaklık algılama kontrolü için belirli gereksinimler

EN 60 730-2-11:1995	Ev içi veya benzeri kullanım için otomatik elektrik kontrolü Bölüm 2: Enerji regülatörleri için belirli gereksinimler
EN 60 870-2-1:1996	Telekontrol teçhizatı ve sistemleri-Bölüm 2: Çalışma koşulları – Güç kaynağı ve EM uyumluluk
EN 60 945:1997	Deniz yolculuğu ve radyo haberleşme teçhizatı ve sistemleri- Genel gereksinimler-gerekli test sonuçları ve test yöntemleri
EN 60 947-1:1991	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 1: Genel kurallar
EN 60 947-2:1996	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 2: Devre kırıncılar
EN 60 947-3:1992	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 3: Anahtarlar, Bağlantı kesiciler, bağlantı kesiciler ve sigorta birleşim birimleri
EN 60 947-4-1:1992	
EN 60 947-4-2:1992	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 4: Daraltıcılar, motor başlatıcılar- Kısım 2: AC yarı-iletken motor denetleyiciler ve başlatıcılar
EN 60 947-5-1:1991	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 5: Kontrol devresi cihazları ve anahtarlama elemanları-Kısım 1: Elektromekanik kontrol devresi cihazları
EN 60 947-5-2:1997	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 5: Kontrol devresi cihazları ve anahtarlama elemanları-Kısım 2: Yakınlık anahtarları
EN 60 947-6-1:1991	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 6: Çok fonksiyonlu teçhizat-Kısım1: Otomatik transfer anahtarlama teçhizatı
EN 60 947-6-2:1993	Düşük gerilimli anahtar ve kontrol dişlisi-Bölüm 6: Çok fonksiyonlu teçhizat-Kısım 2: Kontrol ve koruyucu anahtarlama cihazları (veya teçhizatı)
EN 61 000-3-2:1995	EMC Bölüm 3: Limitler- Kısım 2: Harmonik akım yayılımı için limitler (Teçhizat giriş akımı ≤ 16 A/faz)
EN 61 000-3-3:1995	Yerini alacak standart EN 60 555-3,1.1.2001 tarihine kadar kullanılabilir. Kısım 3: Gerilim dalgalanmaları ve kırpışmalar (Teçhizat giriş akımı ≤ 16 A/faz) Yerini alacak standart EN 60 555-3,1.1.2001 tarihine kadar kullanılabilir.
EN 61 008-1:1994	Elektrik aksesuarı-Ev içi ve benzeri kullanımlar için integral fazla akım korumalı olmayan artan akım çalışmalı devre ayırıcılar- Bölüm 1: Genel kurallar
EN 61 036:1996	Aktif enerji için değişken akım sabit watt-saat metreler (sınıflar 1 ve 2)
EN 61 037:1992	Tarife ve yük kontrolü için elektronik kırpılma alıcıları
EN 61 038:1992	Tarife ve yük kontrolü için zaman anahtarları
EN 61 131-2:1994	Programlanabilir denetleyiciler- Bölüm 2: Teçhizat gereksinimleri ve testleri
EN 61 543:1995	Ev içi ve benzeri kullanımlar için artan akım çalışmalı korumalı cihazlar
EN 61 547:1995	Genel aydınlatma amaçları için teçhizat-EMC bağışıklık gereksinimleri
EN 61 800-3:1996	Hız ayarlamalı elektrik güç sürücü sistemleri-Bölüm 3:özel test yöntemleri içeren EMC ürün standardı

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ÇETİNEL, 1980 yılında Aksaray'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Denizli'de tamamladı. 1997'de Eskişehir Demiryolu Meslek Lisesini bitirdi. Yine 1997 yılının Aralık ayında devlet memuru olarak TCDD'de işe başladı. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2003 yılında mezun oldu. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 13 sene TCDD'nin çeşitli birimlerinde ve değişik görevlerde çalışan Mustafa ÇETİNEL, şuan TCDD bünyesinde Sakarya TÜVASAŞ (Vagon Fabrikası) Cer Teslim Alma Müdürlüğü'nde Elektronik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.