

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



UÇAK İÇİ KOLTUK ARKASI GÖRÜNTÜLEME ÜNİTELERİNİN
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİNİN ANALİZİ

ÖZGÜR TUFAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi BAYRAM ESEN (Tez Danışmanı)
Dr. Öğr. Üyesi SİBEL YENİKAYA
Dr. Öğr. Üyesi ERDEM İLTEN

BALIKESİR, OCAK - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan **“Uçak İçi Koltuk Arkası Görüntüleme Ünitelerinin Elektromanyetik Uyumluluk Testlerinin Analizi”** başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Özgür TUFAN

ÖZET

**UÇAK İÇİ KOLTUK ARKASI GÖRÜNTÜLEME ÜNİTELERİNİN
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİNİN ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖZGÜR TUFAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ BAYRAM ESEN)**

BALIKESİR, OCAK - 2023

Elektromanyetik uyumluluk kavramı elektronik ekipmanların insan hayatında her geçen gün daha çok yer bulması ile giderek önem kazanmakta olan bir konudur. Dünyada birçok sektörde uluslararası kuruluşlar veya hükümetler bu konuda direktifler çıkarmakta ve bu direktifleri teknolojinin gelişmesi ile beraber sürekli güncellemektedir. Havacılık sektörü güvenlik protokolleri açısından oldukça sıkı kurallar ile yönetilmektedir. Uçak içerisinde kullanılan tüm ekipman ve alt sistemler zorlu kalifikasyon süreçlerinden geçmektedirler. Aviyonik ekipmanlar için ise elektromanyetik uyumluluk bu zorlu kalifikasyon sürecinin oldukça önemli bir adımıdır. Uçak içerisinde özellikle uzun mesafe uçuşlarında kullanılmakta olan uçak içi eğlence sistemlerinin en önemli parçalarından biri koltuk arkası görüntüleme üniteleridir. Uçakta bulunan her yolcu için bir adet bulunan bu ekipmanlar, sayılarının çokluğu sebebiyle yoğun bir elektromanyetik gürültüye sebep olmaktadır. Oluşan söz konusu elektromanyetik gürültü, uçak içerisinde bulunan diğer aviyonik ekipmanların görevini sorunsuz bir şekilde gerçekleştirmesine engel olmamalıdır. Söz konusu koltuk arkası görüntüleme ünitesi aynı zamanda uçak içerisinde bulunan diğer aviyonik ekipmanların elektromanyetik gürültüsünden veya yolcuların kullanmış olduğu kişisel taşınabilir elektronik ekipmanlardan yayılan elektromanyetik gürültüden etkilenmeden, görevini sorunsuz bir şekilde yerine getirmelidir. Bu noktada uçak içi koltuk arkasında kullanılmakta olan görüntüleme ekipmanlarının elektromanyetik uyumluluk testleri uluslararası kabul görmüş havacılık standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında ilgili testlerin güvenilir ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için test düzeneklerinin kurulma aşamasında ve test sürecinin planlanmasında dikkat edilmesi gereken detaylara yer verilmiştir. Bu detaylar test sonuçlarını doğrudan etkileyebileceği için önem arz etmektedir. Testler sonucunda söz konusu görüntüleme ünitelerinin tasarımlarında elektromanyetik uyumluluk bakış açısı ile tasarım üzerinde yapılabilecek iyileştirmelere yer verilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Elektromanyetik Uyumluluk, Aviyonik Sistemler, EMC Testleri, Bağışıklık, Emisyon, Koltuk Arkası Görüntüleme Üniteleri

Bilim Kod / Kodları : 90512/90513/90516

Sayfa Sayısı : 71

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY TESTS OF IN-FLIGHT SEATBACK DISPLAY UNITS

MSC THESIS

ÖZGÜR TUFAN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. BAYRAM ESEN)

BALIKESİR, JANUARY - 2023

The concept of electromagnetic compatibility is a topic that is becoming increasingly important as electronic devices find more and more space in people's lives. In many areas of the world, international organizations or governments issue guidelines on the subject and constantly update these guidelines as technology evolves. The aviation industry is subject to harsh rules regarding safety protocols. All equipment and subsystems used in aircraft go through rigorous qualification processes. Electromagnetic compatibility is vital to this challenging qualification process for avionic equipment. One of the essential parts of in-flight entertainment systems used in aircraft, especially on long-haul flights, are seatback display units. This equipment which is the one for each passenger on the plane causes intense electromagnetic noise due to the large number of them. The electromagnetic noise generated should not prevent the other avionics equipment in the aircraft from performing their duties without any problems. The said seatback imaging unit should also fulfil its duty without being affected by the electromagnetic noise of other avionic equipment in the aircraft or the electromagnetic noise emitted from the personal portable electronic equipment used by the passengers. At this point, electromagnetic compatibility tests of imaging equipment used in the in-flight seatback are carried out by internationally accepted aviation standards. In this thesis, the details that should contemplate in establishing the test setups and planning the test process has given to carry out the relevant tests reliably and accurately. These details are vital as they can directly affect the test results. Consequently, the test improvements that could be for designing the imaging units with the electromagnetic compatibility point of view had included.

KEYWORDS: Electromagnetic Compatibility, Avionic Systems, EMC Tests, Immunity, Emission, Seatback Display Units

Science Code / Codes : 90512/90513/90516

Page Number : 71

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KAVRAMLARI	4
2.1 Elektrik ve Manyetik Alanlar ile Maxwell Denklemleri	4
2.1.1 Elektrik Alan	4
2.1.2 Manyetik Alan.....	5
2.1.3 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Arasındaki Farklar	6
2.1.4 Elektromanyetik Alan	7
2.2 Elektromanyetik Girişim ve Kuplaj Yolları.....	9
2.3 Elektromanyetik Girişim Çeşitleri	12
2.4 Elektromanyetik Dalga	15
3. HAVACILIKTA ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK	18
3.1 Havacılıkta Kullanılan EMC Standartları	18
3.1.1 Sivil Havacılık.....	18
3.1.2 Askeri Havacılık.....	19
3.2 Havacılıkta EMC Test İlkeleri	19
3.3 EMC Testlerinin Sınıflandırılması.....	21
3.4 EMC Test Laboratuvarları	24
3.4.1 Laboratuvar Akreditasyonları	24
3.4.2 Laboratuvarlarda Kalibrasyon.....	25
3.4.3 Test Sonuçlarının Raporlanması	26
4. HAVACILIKTA EMC TESTLERİ	27
4.1 Bağışıklık Testleri	27
4.1.1 İletkenlik Yolu ile Bağışıklık Testi	29
4.1.2 Işıma Yolu ile Bağışıklık Testi	34
4.2 Emisyon Testleri	41
4.2.1 İletkenlik Yolu ile Emisyon Testi	42
4.2.2 Işıma Yolu ile Emisyon Testi.....	45
4.3 Testlerin Planlanması.....	48
5. UÇAK İÇİ GÖRÜNTÜLEME ÜNİTELERİNİN EMC TESTLERİ	49
5.1 Test Altındaki Cihaz	50
5.2 Bağışıklık Testleri.....	51
5.2.1 İletkenlik Yolu ile Bağışıklık Testi.....	51
5.2.2 Işıma Yolu ile Bağışıklık Testi	52
5.3 Emisyon Testleri	54
5.3.1 İletkenlik Yolu ile Emisyon Testi	54

5.3.2 Işıma Yolu ile Emisyon Testi.....	55
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	57
6.1 Araştırma Sonuçları	69
7. KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Elektrik alan çizgileri.....	4
Şekil 2.2: İletken tel etrafında oluşmuş olan manyetik alan.	5
Şekil 2.3: Manyetik momentin sahip olduğu manyetik akı çizgileri.	5
Şekil 2.4: Sağ el kuralı ile manyetik alan vektör yönlerinin belirlenmesi.	6
Şekil 2.5: Elektromanyetik girişim unsurları.	10
Şekil 2.6: Elektromanyetik girişim kuplaj çeşitleri.....	10
Şekil 2.7: Işıma yoluyla elektromanyetik girişime örnek.	11
Şekil 2.8: İletkenlik yoluyla elektromanyetik girişime örnek.	11
Şekil 2.9: Cihaz seviyesinde elektromanyetik girişim oluşumu.	13
Şekil 2.10: Sistem içi elektromanyetik girişim örneği.	14
Şekil 2.11: Sistemler arası elektromanyetik girişim örneği.	14
Şekil 2.12: Elektromanyetik spektrum.	15
Şekil 3.1: Elektromanyetik uyumluluk testlerinin sınıflandırılması.	23
Şekil 4.1: İletkenlik yolu ile bağışıklık test kategori grafiği.	30
Şekil 4.2: Akım problemleri.....	31
Şekil 4.3: Kalibrasyon fikstürü.	31
Şekil 4.4: Enjeksiyon probu ile kayıp faktörünün belirlenmesi.....	32
Şekil 4.5: İletkenlik yoluyla bağışıklık testi kalibrasyon düzeneği.	33
Şekil 4.6: İletkenlik yoluyla bağışıklık test şeması.....	33
Şekil 4.7: İletkenlik yoluyla bağışıklık test düzeneği örneği.	34
Şekil 4.8: Işıma yolu ile bağışıklık test kategori grafiği.	36
Şekil 4.9: Alan probu.	37
Şekil 4.10: Çubuk anten.	38
Şekil 4.11: Log-periyodik anten.....	39
Şekil 4.12: Horn anten.	39
Şekil 4.13: Horn anten ile test düzeneği örneği.	40
Şekil 4.14: Işıma yoluyla bağışıklık test şeması.	40
Şekil 4.15: İletkenlik yolu ile emisyon test şeması.	43
Şekil 4.16: İletkenlik yolu ile emisyon test seviyeleri (güç hatları).....	44
Şekil 4.17: İletkenlik yolu ile emisyon test seviyeleri (veri hatları).	44
Şekil 4.18: Işıma yolu ile emisyon test şeması.	46
Şekil 4.19: Işıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği (horn anten).	47
Şekil 4.20: Işıma yolu ile emisyon test limit seviyeleri.	47
Şekil 5.1: Kabin içi kontrol ünitesi.	49
Şekil 5.2: Koltuk arkası görüntüleme üniteleri.	50
Şekil 5.3: İletkenlik yolu ile bağışıklık test düzeneği örneği.	52
Şekil 5.4: Işıma yolu ile bağışıklık test düzeneği örneği.	53
Şekil 5.5: İletim yolu ile emisyon test düzeneği örneği.	55
Şekil 5.6: Yatay polarizasyonda ışıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği.	56
Şekil 5.7: Dikey polarizasyonda ışıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği.....	56
Şekil 6.1: Güç hattına elektromanyetik gürültünün enjekte edilmesi.	57
Şekil 6.2: Haberleşme hattına elektromanyetik gürültünün enjekte edilmesi.....	58
Şekil 6.3: 1 GHz – 2 GHz yatay eksen ölçüm sonucu.	59
Şekil 6.4: 2 GHz – 8 GHz yatay eksen ölçüm sonucu.	60
Şekil 6.5: İletim yolu ile emisyon testi güç kablosu test sonucu.	61

Şekil 6.6: Işıma yolu ile emisyon testi 300 MHz – 1 GHz ölçüm sonucu.	63
Şekil 6.7: Işıma yolu ile emisyon testi 1 GHz – 6 GHz ölçüm sonucu.	63
Şekil 6.8: Tek noktadan topraklama tekniği.	64
Şekil 6.9: Çoklu şekilde topraklama tekniği.	65
Şekil 6.10: Karma topraklama tekniği.	65
Şekil 6.11: Görüntüleme ünitesi dış yüzeyi ekranlama örneği.	65
Şekil 6.12: Örnek snubber devresi.	66
Şekil 6.13: Snubber devresinin akıma etkisi.	67
Şekil 6.14: Elektronik filtre şemaları.	67
Şekil 6.15: Filtre tiplerinin araya girme kayıp oranları.	67
Şekil 6.16: Empedans duruma göre seçilebilecek filtre çeşitleri.	68
Şekil 6.17: Kondansatör malzemeleri ve çalışma frekansları arasındaki ilişki.	68
Şekil 6.18: Örnek bir kablolama yapısı.	69

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Elektrik alan ile manyetik alanın karşılaştırılması.	7
Tablo 2.2: Maxwell denklemlerinin integral ve diferansiyel gösterimleri.	8
Tablo 2.3: Elektromanyetik girişim çeşitleri.	12
Tablo 4.1: İletkenlik yolu ile bağışıklık test kategorileri.....	30
Tablo 4.2: Işıma yolu ile bağışıklık testi kategorileri.	36

SEMBOL LİSTESİ

A	:	Akım
ABD	:	Airbus dokümanları
B	:	Manyetik akı yoğunluğu
CE	:	Avrupa uygunluğu
CW	:	Sürekli dalga
dB	:	Desibel
E	:	Elektrik alan şiddeti
EMC	:	Elektromanyetik uyumluluk
EMI	:	Elektromanyetik girişim
EUT	:	Test altındaki ekipman
F	:	Elektriksel kuvvet
f	:	Frekans
GNSS	:	Küresel uydu seyrüsefer sistemi
GPS	:	Küresel konumlama sistemi
H	:	Manyetik alan şiddeti
HF	:	Yüksek frekans
HIRF	:	Yüksek yoğunluklu yayılan alan
Hz	:	Bir saniyedeki salınım sayısı
IEC	:	Uluslararası elektroteknik komisyonu
IFE	:	Uçak içi eğlence sistemi
ISO	:	Uluslararası standardizasyon örgütü
LISN	:	Hat empedansı stabilizasyon ağı
m	:	Metre
NATO	:	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
PCB	:	Baskı devre kartı
PM	:	Darbe modülasyonu
Q	:	Elektrik yükü
RF	:	Radyo frekansı
RTCA	:	Radyo Teknik Havacılık Komisyonu
SDU	:	Görüntüleme ünitesi
SW	:	Kare dalga
T	:	Tesla
T-PED	:	Taşınabilir kişisel elektronik ekipman
TÜRKAK	:	Türk Akreditasyon Kurumu
USB	:	Evrensel seri veri yolu
UV	:	Morötesi
V	:	Volt
VHF	:	Çok yüksek frekans
λ	:	Dalga boyu
ϵ_r	:	Bağıl elektriksel geçirgenlik
μ	:	Manyetik geçirgenlik
σ	:	Elektriksel iletkenlik
ϵ_0	:	Boşluğun elektriksel geçirgenlik sabiti
ϵ	:	Elektriksel geçirgenlik sabiti
μ_r	:	Bağıl manyetik geçirgenlik

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, destek olan ve katkıda bulunan değerli danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Bayram ESEN başta olmak üzere Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin tüm değerli hocalarına en derin saygılarımla teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Sevim TUFAN'a, babam İsmet TUFAN'a ve ablam Özge TUFAN'a sonsuz sevgi ve minnet duygularıyla teşekkür ederim.

Balıkesir, 2023

Özgür TUFAN

1. GİRİŞ

Elektromanyetik girişimin insan hayatına etkisi dolaylı veya direkt, farkında olarak veya olmayarak hissedilmektedir. Elektromanyetik girişimlere hayatın içinden verilebilecek örnekler arasında; uçak yolculuğu sırasında uçağın kalkış ve inişlerde telefon vb. ekipmanların kapatılmasının istenmesi, bazı ses sistemlerinin yanında telefon görüşmesi gerçekleştirildiğinde ses sisteminden gelen istenmeyen sesler ve katot ışın tüpü ile çalışan eski tip televizyonlara yaklaştırılan bir elektronik ekipman olması durumunda televizyon ekranında görülen karıncalanmalar yer almaktadır.

Özellikle elektronik malzemelerin insan hayatında giderek artan yeri ile elektromanyetik uyumluluk (EMC) gereksinimleri güvenlik ve fonksiyonellik açısından zorunlu hale gelmiştir. İnsan hayatının doğrudan içinde bulunduğu elektronik ekipmanlardan kaynaklanan elektromanyetik kirliliğin sonuçlarını iki farklı disiplin incelemektedir. İlki elektromanyetik kirliliğin doğrudan insan sağlığına etkisidir ve biyoelektromanyetik mühendisliği disiplini içinde incelenmektedir. İkincisi ise elektromanyetik kirliliğin elektronik ekipmanlar üzerindeki etkisidir ve elektromanyetik uyumluluk mühendisliği disiplini içinde incelenmektedir. Bu tez çalışmasında, elektromanyetik uyumluluk uzmanlığı çerçevesinde elektromanyetik etkiler üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Aktif olarak çalışır durumda olan her elektronik komponent, etrafında bulunan diğer elektronik komponentlerden etkilenebilir yani fonksiyonel olarak çalışması olumsuz şekilde etkilenebilir. Hatta kendi kendisinin istenen şekilde çalışmasını etkileyebilir. Elektromanyetik uyumluluk kavramı ile cihazlardan beklenen; herhangi bir elektromanyetik girişimden etkilenmeden ve çevresindeki elektronik ekipmanları etkilemeden istenilen şekilde fonksiyonel çalışmasını gerçekleştirmesidir.

Elektromanyetik girişim üç ana unsurdan incelenebilir. Bunlar; elektromanyetik gürültünün oluşum noktası olarak düşünülebilecek kaynak, söz konusu kaynaktan yayılan elektromanyetik gürültülere maruz kalan kurban ve son olarak kaynak ile kurban arasında oluşan elektromanyetik girişimin şekli veya yoludur. Söz konusu yol iki farklı şekilde oluşabilir. Birincisi havadan herhangi bir iletken ile temas olmadan yani havadan ışımaya yapılması ile kurulan yoldur. İkincisi ise iletkenlik yolu olarak adlandırılan iletken malzemelerin üzerinden taşınan elektromanyetik gürültünün oluşturduğu yoldur.

Tarihte bu etkileşimlere örnek olarak verilebilecek EMC nedeni ile gerçekleşen en ölümcül kaza Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri'ne ait Forrestal uçak gemisinde gerçekleşmiştir. Kalkış için hazırlanan bir savaş uçağının atış sistemi geminin güvertesinde bulunan radar sisteminden yayılan elektromanyetik dalgalar ile girişime uğramış ve atış sistemi aktif hale geçmiştir. Ateşlenen roketin güvertede bekleyen diğer uçaklara isabet etmesi ile zincirleme patlamalar neticesinde 134 personel hayatını kaybetmiş ve 72 milyon \$'dan fazla maddi hasar oluşmuştur. Uzmanların kaza incelemesi sonucunda elektromanyetik girişimin önemi bir kez daha gözler önüne serilmiştir [1].

İnsan hayatının içinde bulunan cep telefonları, televizyonlar, bilgisayarlar, mutfak aletleri gibi ekipmanlar için ülkeler uluslararası veya ulusal elektromanyetik uyumluluk direktifleri kullanmaktadırlar. Avrupa Birliği bu noktada EMC testleri ve gereksinimlerini kapsayan CE belgelendirme sistemini kullanmaktadır. Özellikle tarihteki yüksek teknolojinin ilk kullanım yeri olan ve aynı zamanda en ufak bir hatanın insan hayatını tehlikeye sokacağı ve yüksek ölçekli maddi kayıplar yaratacağı savunma ve havacılık alanlarında EMC konusu titizlikle araştırılmakta, önlemler alınmakta, geliştirilmekte ve test edilmektedir.

Nesnelerin interneti ve 5G gibi gelişmeler ile ekipmanların haberleşmesinin öneminin her geçen gün arttığı günümüzde EMC konusu giderek daha fazla önem kazanmaktadır. EMC kavramı göz önüne alınarak tasarım ve üretim teknikleri geliştirilmekte ve buna bağlı olarak test yöntemleri değişmektedir. Uluslararası geçerliliği olan farklı sektörlere ait birçok standart, söz konusu tasarım, üretim ve test yöntemlerini kapsayacak şekilde oluşturulmakta veya revize edilmektedir.

Bu tez çalışmasında sivil havacılık sektöründe yolcuların ve kabin görevlilerinin kullanmış olduğu ekranların elektromanyetik uyumlulukları göz önüne alınmıştır. Elektromanyetik uyumluluk gereksinimlerinin yer aldığı uluslararası sivil havacılık standartlarına uygun olarak, tasarımda dikkat edilmesi gereken noktalar ve test yöntemleri incelenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, EMC test metodolojisinin anlaşılabilirliği amacı ile temel kavramlar ve elektromanyetik girişimin aktarımını sağlayan iletim yollarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümünde, sivil havacılık bakış açısı ile elektromanyetik uyumluluk kavramı değerlendirilmiştir. Testlerin gerçekleştirildiği kuruluşlar ve uyum sağlanan standartlara ait bilgiler aktarılmıştır.

Dördüncü bölümde, sivil havacılıkta elektromanyetik uyumluluk testlerinin uluslararası kabul görmüş standartlara uygun olarak tanıtımı ve detaylı tarifi yapılmıştır.

Beşinci bölümde, ekranlara uygulanmış olan uluslararası sivil havacılık standardına uygun EMC test düzenekleri ve test sonuçları sunulmuştur.

Son bölümde ise gerçekleştirilen testlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Aynı zamanda ekipman tasarımı aşamasında ilgili elektromanyetik uyumluluk testlerinden başarı ile geçilebilmesi adına dikkat edilmesi gereken konulara ve iyileştirmelere yer verilmiştir.

2. TEMEL ELEKTOMANYETİK GİRİŞİM KAVRAMLARI

2.1 Elektrik ve Manyetik Alanlar ile Maxwell Denklemleri

Elektromanyetik girişimi anlayabilmek için ilk olarak elektromanyetik alanın nasıl oluştuğunun bilinmesi gerekmektedir. Elektromanyetik alan, elektrik alan ve manyetik alanın birleşmesinden meydana gelmektedir.

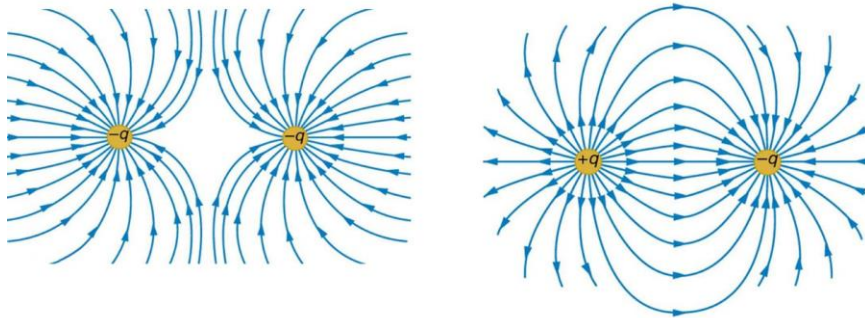
Maxwell denklemleri dört temel denklemden oluşmaktadır. Bu denklemler elektromanyetik teorisinin temel denklemleridir. Bu denklemlerden birincisi Gauss yasasıdır, ikincisi ise manyetizmada Gauss yasasıdır. Maxwell denklemlerinin üçüncüsü Faraday yasası, dördüncüsü ise Ampere-Maxwell yasasıdır.

2.1.1 Elektrik Alan

Herhangi bir noktada bulunan, sabit birim yük ile temasta bulunan yük başına düşen kuvvet olarak isimlendirilmektedir. Elektrik alan bir vektörel kuvvet olması sebebi ile yön sahibi oklar ile ifade edilmektedir. Elektrik alan çizgilerinin yönü yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru olmasından kaynaklı olarak, kuvvet yönü de artı yükten eksi yüke doğrudur. Küresel koordinat sistemi üzerinde merkezde konumlanan bir Q yüküne ait olan, herhangi bir P noktasındaki elektrik alan şiddeti Denklem 2.1’de gösterilmiştir

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \hat{a}_r [V/m] \quad (2.1)$$

Şekil 2.1’de aynı ve farklı polaritede bulunan yüklerin meydana getirdiği elektrik alan çizgileri ifade edilmiştir.



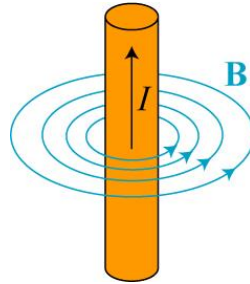
Şekil 2.1: Elektrik alan çizgileri.

Elektrik yüklerinin çevresinde bu yüklerin etkisinde bulunabilecek bir bölge bulunmaktadır. Bu bölgede bulunmakta olan elektrik alan vektörleri araştırıldığında, pozitif yükler kapsamında dışarıya yönelen, negatif yükler için ise yüke yönelen uzantılar görülmektedir. Alan çizgileri tek başına ilgili kuvvetin yönünü belirlemek ile sınırlı kalmamaktadır. Bununla beraber kuvvetin göreceli olarak büyüklüğünü ifade eder.

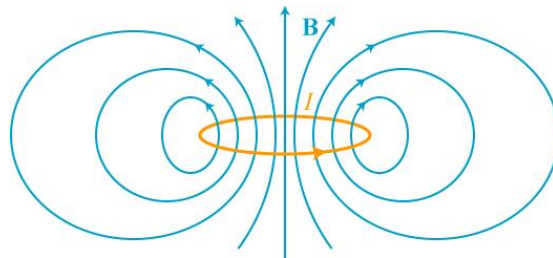
2.1.2 Manyetik Alan

Bir yük hareketinin yaratmış olduğu elektrik akımı, manyetik alan oluşturmaktadır. Manyetik alan, bir noktada v hızıyla hareket eden bir q yükünde F kuvvetini oluşturan alan vektörü olarak tanımlanabilir ve aynı zamanda hareket etmekte olan elektrik yüküne etki eden, Lorentz kuvveti ismi ile de tanımlanabilir. Manyetik alan şiddeti, sadece hareketli yüklere bağlı olarak ortamdan bağımsız, bir vektörel kuvvettir. Manyetik alan çizgileri akımı çevreler ve kendileri üzerinde kapanır [2]. Sonuç olarak elektrik akımı taşıyan bir iletken kendi çevresinde manyetik alan oluşturmaktadır.

Elektrik akımının geçmekte olduğu iletken malzemenin çevresinde oluşmakta olan manyetik alan çizgileri Şekil 2.2’de ifade edilmiştir. Elektronların manyetik momentinin manyetik akı çizgileri ise Şekil 2.3’de ifade edilmiştir.



Şekil 2.2: İletken tel etrafında oluşmuş olan manyetik alan.



Şekil 2.3: Manyetik momentin sahip olduğu manyetik akı çizgileri.



Şekil 2.4: Sağ el kuralı ile manyetik alan vektör yönlerinin belirlenmesi.

Manyetik alan vektörel bir büyüklük olması sebebiyle vektör yönleri bulunmaktadır, bu yönler de sağ el kuralı ile bulunmaktadır. Sağ el kuralı Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

Şekil 2.4’de gösterilmiş olan manyetik kuvveti Denklem 2.2’de gösterilmiştir. Manyetik kuvvet v hızı ile hareket etmekte olan q yüklü olan bir parçacığın B manyetik akı yoğunluğu içerisinde oluşturduğu kuvvettir. Manyetik alan şiddeti ise Denklem 2.3’te verilmiştir. Manyetik akı yoğunluğu ise Denklem 2.4’te gösterilmektedir. Manyetik akı yoğunluğu farklı alanlarda farklı manyetik alan şiddetleri oluşturmaktadır.

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.2)$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} \quad (2.3)$$

$$B = \mu H \quad (2.4)$$

2.1.3 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Arasındaki Farklar

Elektrik alan ve manyetik alan doğaları gereği iç içe geçmiş kavramlardır. Her ne kadar iki kavram beraber düşünülse de bazı noktalarda farklılıkları mevcuttur.

Farklılıklarının daha iyi anlaşılması adına iki kavramın farklılıklarının karşılaştırılması Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Elektrik alan ile manyetik alanın karşılaştırılması.

Elektrik Alan	Manyetik Alan
Elektrik alan şiddeti ile gerilim arasında doğru orantı bulunmaktadır.	Manyetik alan şiddeti ve akım arasında doğru orantı bulunmaktadır.
Şiddeti kaynaktan uzaklık ile ters orantılıdır.	Şiddeti kaynaktan uzaklık ile ters orantılıdır.
Şiddetine karşı birçok madde yalıtım etkisi gösterebilir.	Şiddetine karşı yalıtım yöntemleri oldukça azdır.
Ölçü birimi olarak V/m kullanılır.	Ölçü birimi A/m veya Tesla kullanılır.
Elektrik alanın oluşması için elektrik akımının akması zorunlu değildir. Elektrik alanın oluşması için ekipman kapalı konumda olması da yeterlidir.	Manyetik alanın oluşması için elektrik akımının akması zorunludur. Manyetik alanın oluşması için ekipmanın aktif olarak çalışıyor konumda olması gerekmektedir.

2.1.4 Elektromanyetik Alan

Elektrik alan ile aynı zamanda manyetik alan arasındaki bağlantı dört ana denklem tarafından ifade edilmektedir. Maxwell denklemleri olarak da bilinen bu dört ana denklem iki temel kavram üzerine oluşturulmuştur. Birincisi, zamana göre değişmekte olan manyetik alan, aynı zamanda elektrik alan oluşturmasıdır. İkincisi, zamana göre değişen elektrik alan, aynı zamanda manyetik oluşturmasıdır.

İncelememiz gereken bilimin farklı dallarının iç ilişkileri, şimdiye kadar geliştirilen diğer bilimlerinden daha çok sayıda ve karmaşıktır. Bir yanda dinamiğe, diğer yanda ısı, ışık, kimyasal eylem ve cisimlerin oluşumuyla olan dış ilişkileri, doğanın yorumlanmasına yardımcı olarak elektrik biliminin özel önemini gösteriyor gibi görünmektedir. Bu sebep ile, elektromanyetizmanın tüm kapsamıyla incelenmesi, bilimin ilerlemesini desteklemenin bir aracı olarak artık birinci derecede önem kazanmıştır [3].

Maxwell denklemleri, elektromanyetik alanları (elektrik ve manyetik alanın birleşik durumu) betimleyen diferansiyel denklem sistemleridir. Bu denklemlerin en belirgin özelliği elektromanyetik dalgaın yayılmasını tasvir eden çözümleri sağlamasıdır. Elektromanyetik dalgalar, elektrik yüklü parçacıkların (ki bunlar elektronlar ve protonlar olarak bilinir) ivmeli

hareketleri (hızlanan veya yavaşlayan) sonucunda etraflarında oluşturdukları ve boşluktaki hızları ışık hızına eşit olan dalgalar olarak bilinirler. Bu yüklü parçacıkların durgun halde olması ile elektrik alan, sabit hızla hareket etmesi ile sadece manyetik alan, ivmeli olarak hareket etmesi ile de elektromanyetik alan oluşmaktadır. Dolayısıyla, bu yayılan elektromanyetik dalgalar, bir noktadan bir başka noktaya olan enerji transferinin bir göstergesidir [4].

Maxwell denklemlerinin integral formları ile diferansiyel formlarının tanımlamaları birbirleriyle aynı anlamı taşımaktadır. Diferansiyel formları, integral formlarından yola çıkılarak Diverjans ve Stokes teoremlerinin sırasıyla uygulanmasıyla elde edilmektedir. Sonuç olarak Maxwell denklemlerinin diferansiyel şekillerinin daha kısa ve anlaşılır gösterimlerinin olduğu, ancak noktasal veya sürekli yük dağılımlarının ele alındığı sistemler için integral formlarının daha kullanışlı oldukları söylenebilir [5]. Maxwell denklemleri Tablo 2.2’de ifade edilmiştir.

Tablo 2.2: Maxwell denklemlerinin integral ve diferansiyel gösterimleri.

Maxwell Denklemleri	İntegral Gösterimi	Diferansiyel Gösterimi
Elektrik Alan için Gauss Yasası	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon}$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$
Manyetik Alan için Gauss Yasası	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Faraday Yasası	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Ampere Yasası	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I + \epsilon\mu \frac{d\phi_E}{dt}$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu \vec{j} + \epsilon\mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Elektromanyetik alan doğada herhangi bir insan müdahalesi olmadan oluşabileceği gibi insan yapımı kaynaklar tarafından da oluşabilir.

Doğal yollardan oluşan elektromanyetik alanlar herhangi bir insan müdahalesi olmaksızın kendiliğinden oluşan alanlardır. Örnek olarak yer kürenin kuzey – güney doğrultusunda oluşan elektromanyetik alan ve hatta biyoelektriğe sahip tüm canlı yapılar tarafından oluşturulabilir. Elektromanyetik alan veya elektromanyetik radyasyon denilince çevremizde yayılmış bulunan elektrik ve manyetik alan anlatılmak istenir. Üzerinde yaşadığımız mavi gezegenin yerküre merkezindeki yarı sıvı ferro manyetik çekirdek sürekli statik jeomanyetik alan yaymaktadır [6].

Dünya üzerindeki yaşam, yaklaşık 40 μT mertebesinde elektromanyetik alan yaymakta olan büyük bir mıknatıs olarak düşünülebilecek bir yapı üzerinde bulunmaktadır. Bulutlu havalarda yıldırım oluşurken elektrik alan çok kısa sürede 40kV/m'ye kadar yükselebilmektedir [6].

İnsan yapımı elektromanyetik alan kaynağı olarak, elektrik ile çalışan tüm cihazlar sayılabilir. Veri iletiminde kullanılan mobil telefon vericileri, radyo istasyon vericileri ve televizyon antenleri yüksek frekanslı birer elektromanyetik alan kaynağıdır. Evlerimizde kullandığımız saç kurutma makinaları, çamaşır makinaları, mikrodalga fırınlar gibi tüm elektrikli cihazlar çevremizde elektromanyetik radyasyon oluştururlar [6].

2.2 Elektromanyetik Girişim ve Kuplaj Yolları

Elektromanyetik girişim, elektrik ve elektronik cihazların beklenen performansında çalışmayıp istenmeyen sonuçlar oluşturmaya verilen anlamdır. Bu etkiler emisyon veya bağışıklık etkileri olarak isimlendirilir.

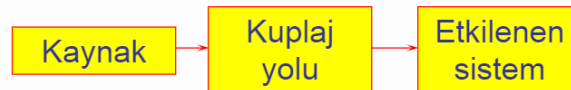
Elektrik, elektronik veya elektromekanik sistemler aktif olarak çalışır konumda buldukları zaman ortama bir elektromanyetik enerji yaymaktadır. Bu söz konusu sistemden yayılan elektromanyetik enerjinin çevresindeki diğer cihaz veya sistemleri etkilememesi

gerekmektedir. Aynı şekilde söz konusu cihaz çevreden yayılan elektromanyetik enerjiden etkilenmemelidir. Bu karşılıklı etkileşim sonucunda cihazların veya sistemlerin performansında bozulma veya tamamen kapanma durumu oluşabilir, bu durum da elektromanyetik girişim olarak adlandırılır.

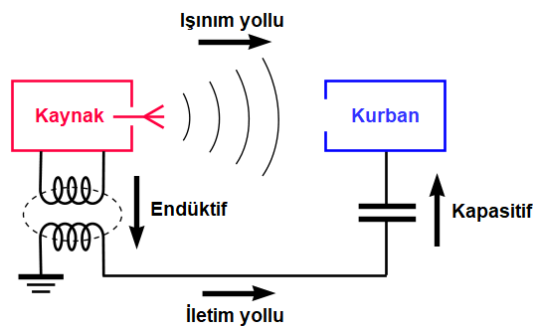
Elektromanyetik girişimde 3 temel unsur bulunmaktadır ve Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Bunlardan birincisi kaynak, ikincisi kuplaj yani iletim yolu ve üçüncüsü etkilenen sistem yani kurbandır.

Gürültünün tanımı beklenen normal sinyal harici devrede oluşmakta olan bir elektrik sinyali olarak adlandırılabilir. Sonuç olarak devrede bir gürültü sinyali herhangi bir devrenin istenmeyen şekilde çalışmasına sebep oluyor ise o devrede bir girişim olduğu düşünülür. Elektronik gürültü tamamiyle bitirilemez fakat elektromanyetik girişim bitirilebilir.

Kuplaj yolu iki farklı yoldan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi ışıma yolu ikincisi ise iletkenlik yolu olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.6’da kuplaj çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Elektromanyetik girişim unsurları.



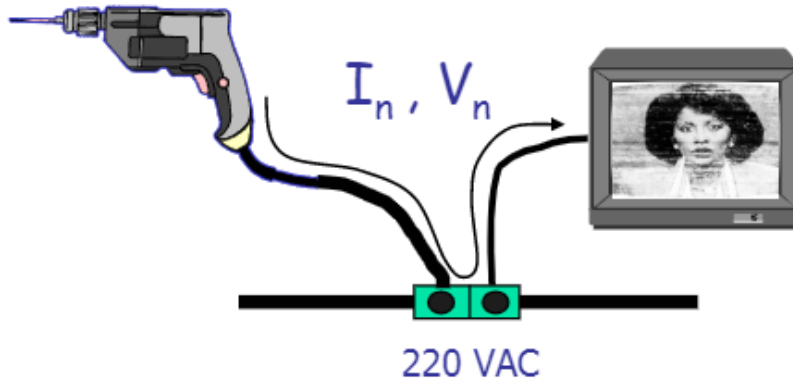
Şekil 2.6: Elektromanyetik girişim kuplaj çeşitleri.

Işıma yolu ile gerçekleşen girişim olayında fiziksel bir bağlantı olmaksızın elektromanyetik dalgalar ile cihazlar veya sistemler arası girişimler gerçekleşebilir.

İletkenlik yolu ile gerçekleşen girişim olayında ise kaynak ile etkilenen cihaz ortak bir hat üzerinden birbirlerine bağlı olmaları gerekmektedir. Işıma yoluyla elektromanyetik girişime bir örnek Şekil 2.7’de gösterilmiştir. İletkenlik yoluyla elektromanyetik girişime bir örnek ise Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Işıma yoluyla elektromanyetik girişime örnek.



Şekil 2.8: İletkenlik yoluyla elektromanyetik girişime örnek.

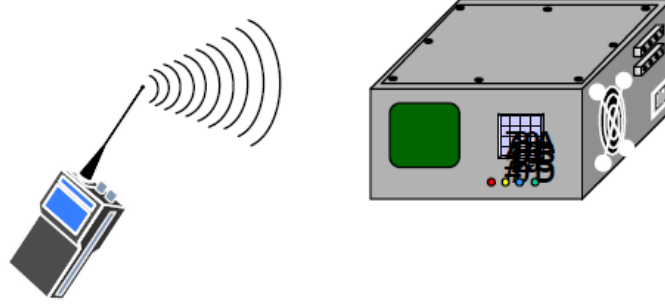
Tablo 2.3: Elektromanyetik girişim çeşitleri.

Gürültünün girişim yolu	Kategori	Gürültünün kaynağı	Oluşan fiziksel durum
İletim yolu ile girişim	Galvanik	Yüksek akım	Akımın dolaştığı ortak yol ve kablolarda gürültü taşınmakta ve bu da gürültü voltajına yol açmaktadır
Kapasitif girişim	Yakın mesafe	Yüksek frekanslı anahtarlama elemanları ve yüksek voltaj	Elektrik alan daha yoğun ise enerji $1 / r^3$ oranında, değilse $1 / r^2$ oranında düşmektedir
Endüktif girişim	Yakın mesafe	Yüksek akımlar, bobinler ve transformatörler	Manyetik alan daha yoğun ise enerji $1 / r^3$ oranında, değilse $1 / r^2$ oranında düşmektedir

Elektromanyetik girişimde gürültünün kurbanı farklı şekilde kuplaj olma yolları bulunmaktadır. Kaynaktan çıkan elektromanyetik girişimin kurban olarak adlandırılan ekipman içerisinde veya sistem içerisindeki etkilenen cihaza kuplaj olma yolları Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

2.3 Elektromanyetik Girişim Çeşitleri

Elektromanyetik girişim cihaz seviyesinde elektriksel olarak ışıma ve iletkenlik kontrolünü kapsamaktadır. Bu kontrollerden olan emisyon testleri, frekans domeninde icra edilmektedir. Bu testler gerçekleştirilirken kullanılan ekipmanlardan, spektrum analizör bazlı cihazlar, farklı antenler ve akım problemleri örnek olarak verilebilir. Alınanlık durumları genel olarak elektriksel iletkenlik için voltaj ve akım; ışıma yapan işaretler kapsamında ise alan seviyeleri olarak ayrılır. Alınanlık ölçümleri yapılırken farklı işaret kaynakları, güç yükselteçleri, akım enjeksiyon problemleri ve çeşitli yapılarda antenler ile beraber gerçekleştirilmektedir. Cihaz seviyesinde elektromanyetik girişime örnek Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9: Cihaz seviyesinde elektromanyetik girişim oluşumu.

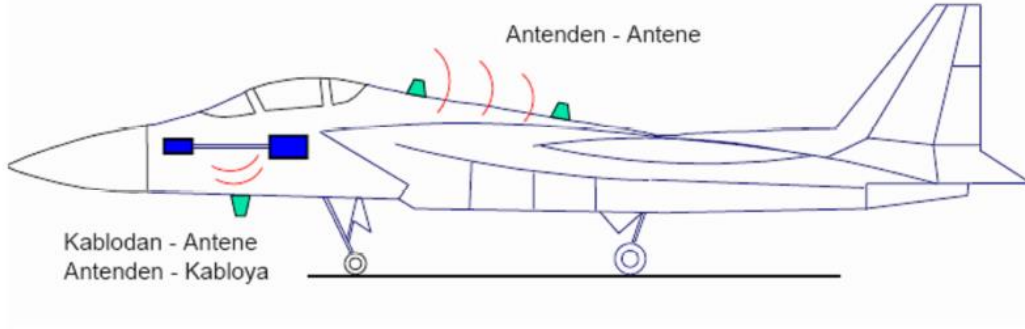
Elektromanyetik girişim kontrolü cihaz üzerinde temelde 2 seviyede yapılmaktadır;

- Alt sistemler ile cihazın kendisi arasında bir girişim oluşma durumu
- Dış etkilerden kaynaklanan alınganlık oluşma durumu

Sistemler arası elektromanyetik uyumluluk, sistem içinde oluşan elektromanyetik girişim, sistemi meydana getiren alt-sistemler ve farklı cihazların kendi arasında oluşturabildiği etkileşimler üzerine çalışır. Elektromanyetik girişim konusunda üç temel faktör ilgili sistemin içinde bulunmaktadır. Sistem içi elektromanyetik girişimin temel kaynağını genellikle Radyo Frekans (RF) enerjisi yayan ekipmanlardır.

Söz konusu ekipmanlarda bulunan antenlerin sistem içerisindeki konumuna bağlı olarak, diğer elektronik ekipmanlar üstünde elektromanyetik girişim oluşma ihtimalleri artabilir. Başka bir sistem içi elektromanyetik girişim kaynağı ise sistem içinde görev alan güç kaynakları veya bu ekipmanlar ile entegre olarak çalışan güç düzeltme ekipmanlarıdır.

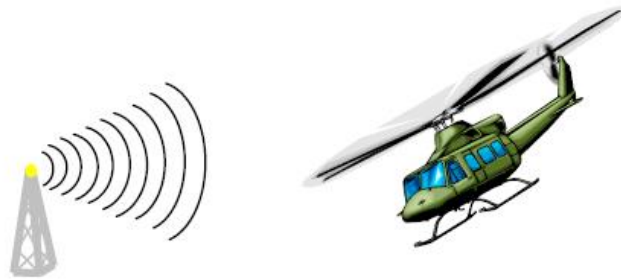
Sistem içerisinde elektromanyetik girişime örnek Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10: Sistem içi elektromanyetik girişim örneği.

Sistemin yakın noktalarında bulunabilecek bir noktaya yerleştirilmiş RF kaynakları, sistemin mevcut olduğu ortamda daha fazla miktarda elektromanyetik alanın oluşmasına sebep olurlar.

Bu çeşit ortamlarda elektromanyetik girişim cihazlara ve onların alt sistemlerine olumsuz bir etki oluşturur. Bu etkinin gerçekleşme biçimi olarak iki farklı terim bulunmaktadır. İlk durum "ön kapı" (front door) olarak adlandırılan terimdir. Bu terimde anlatılmak istenen bozucu elektromanyetik girişimlerin sistemde bulunan dışa açık yani alıcı – verici görevi gören alt sistemler üzerinden oluşmasıdır. İkinci durum ise "arka kapı" (back door) olarak adlandırılan terimdir. Bu terimde anlatılmak istenen bozucu elektromanyetik girişimlerin sistemde bulunan dışa kapalı yapıdaki alt sistemler üzerinden cihaza doğru sızmasıdır. Bu tip alt sistemlere, kablolar ve sistem üzerinde iletken olmayan kompozit kaplamalar örnek olarak verilebilir. Sistemler arası elektromanyetik girişime örnek Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11: Sistemler arası elektromanyetik girişim örneği.

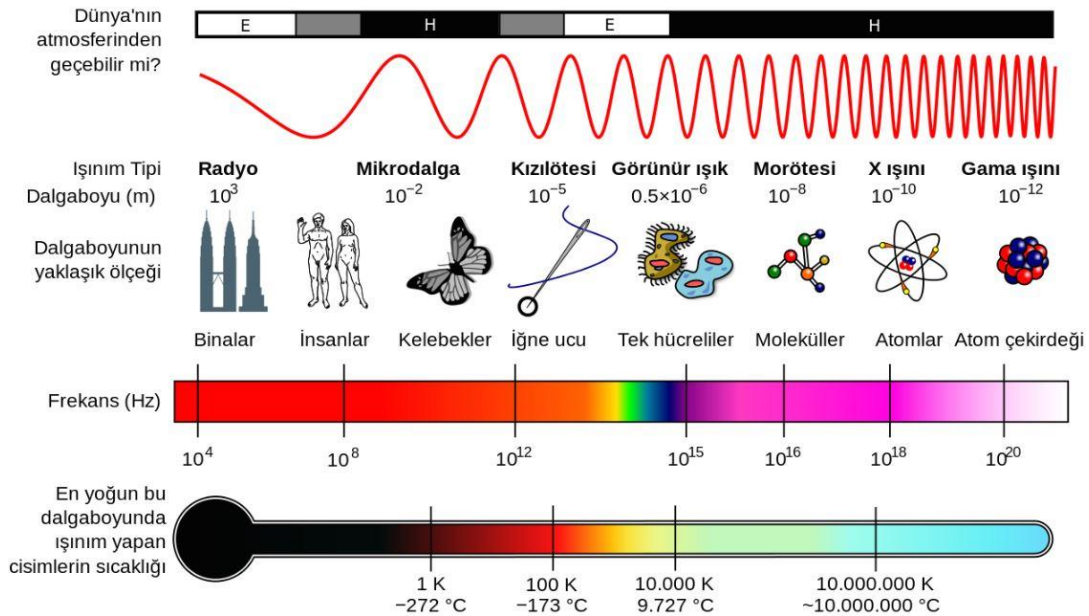
2.4 Elektromanyetik Dalga

Elektromanyetik spektrum uzun dalga boyundan başlayıp kısa dalga boyuna gitmektedir. Dalga boyu ve frekans arasındaki ters orantı sebebi ile düşük frekanslarda uzun dalga boyları mevcuttur.

Elektromanyetik tayf veya elektromanyetik spektrum, evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışımaya türlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayftaki yerlerini ifade eden ölçüttür. Herhangi bir cismin elektromanyetik tayfi veya spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu tabir eder [7].

Elektromanyetik dalga çeşitleri genel hatları ile; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışımaya, görünür ışık, morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınları olarak adlandırılırlar.

Elektromanyetik spektrum Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Elektromanyetik spektrum.

Radyo dalgalarının dalga boyu minimum 1 m olacak şekildedir. Frekans aralığı ise 300 MHz ve daha aşağısını kapsamaktadır. Spektrum içerisinde yer alan en uzun dalga boyuna sahip dalga çeşididir. İnsan yapımı olarak farklı tiplerdeki vericilerden oluşturulabilir. Doğal yollardan da şimşek çakması gibi durumlarda oluşabilmektedir. Radyo ve televizyon gibi sistemlerde kullanılabilir. Aynı zamanda uçaklarda pilot ve kulinin haberleşmesi için kullandığı frekans dilimi radyo dalgalarını kapsamaktadır.

Mikrodalgaların dalga boyları 1 mm ile 1 m arasında değişmektedir. Frekans aralığı ise 300 MHz ile 300 GHz aralığında bulunmaktadır. Mikrodalgalar çoğunluk ile uydu sistemlerin haberleşmesinde ve radar sinyallerinde kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak mikrodalga fırınlarında, navigasyon sistemlerinde ve telefon uygulamalarında da kullanılabilir.

Kızılötesi dalga boyları 700 nm ile 1 mm arasında değişmektedir. Frekans aralığı ise 300 GHz ile 430 THz aralığında bulunmaktadır. Kızılötesi dalgalar hem sivil hem askeri alanlarda kullanılmaktadır. Askeri alanda özellikle gece görüşü, gözlem, hedef ve güdüm takiplerinde kullanılmaktadır. Sivil alanda ise ısı verimlilik analizleri, uzak mesafelerden sıcaklık ölçme ve hava tahmininde kullanılmaktadır.

Kızılötesi dalga boyları 400 nm ile 700 nm arasında değişmektedir. Frekans aralığı ise 430 THz ile 750 THz aralığında bulunmaktadır. İnsan gözünün ayırt edebildiği dalga çeşididir. Isınan her cismin yayılan ışık tipi bu dalga çeşidini kapsamaktadır. Işığın boşluktaki hızı yaklaşık 300,000 km/s'dir. Tüm elektromanyetik dalgaların boşluktaki yayılma hızı da bu değer ile aynıdır.

Morötesi ışığın dalga boyu 10 nm ile 400 nm arasında değişmektedir. Frekans aralığı ise 750 THz ile 30 PHz aralığında bulunmaktadır. Bir diğer adı ise ultraviyole ışımadır. UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır.

X ışını dalga boyu 0.01 nm ile 10 nm arasında değişmektedir. Frekans aralığı ise 30 PHz ile 30 EHz aralığında bulunmaktadır. Bir diğer adı ise röntgen ışınlarıdır. Birçok maddenin içerisinde geçebilmektedirler bu sebep ile tıp dalında ve endüstride kullanılmaktadır.

Gama ışınları dalga boyu 0.01 nm'den daha düşüktür. Frekans aralığı ise 30 EHz'den daha yüksektir. Ana kaynakları arasında yıldızlar ve bazı radyoaktif maddeler yer almaktadır. Gama ışınları bahsedilen diğer elektromanyetik ışınlar arasında en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahip ışın çeşididir.

3. HAVACILIKTA ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK

Güvenlik faktörlerinin çok sıkı denetlendiği sivil havacılık sektöründe elektromanyetik uyumluluk oldukça önemlidir. Günümüzde uçaklarda kullanılmakta olan mekanik düzenekler elektronik sistemlere dönüşmektedir. Birçok kontrol mekanizması, iletişim ekipmanları ve eğlence ekipmanları gibi sistemler uçaklarda kabin ve kokpit içine dahil olmaktadır.

Ne kadar çok alt sistem olursa bu alt sistemlerin hem kendi içindeki hem de sistemdeki diğer alt sistemler ile entegre bir şekilde sorunsuz olarak çalışması gerekmektedir. Bu gerekliliğin sonucu olarak da elektromanyetik uyumluluk gereksinimleri ve testleri ön plana çıkmaktadır.

3.1 Havacılıkta Kullanılan EMC Standartları

Havacılıkta uygulanan EMC testleri kapsamında ticari ve askeri iki temel alanda farklı standartlara uyum gösterilmesi gerekmektedir. Uluslararası otoritelerin veya hükümetlerin yayınlamış olduğu standartlar kullanılmakla birlikte firmaların özel olarak hazırladığı teknik uyumluluk dokümanları veya şartnameleri de EMC testleri kapsamında kullanılmaktadır.

3.1.1 Sivil Havacılık

Sivil havacılıkta dünyada genel geçer olarak kabul görmüş ve kullanılmakta olan RTCA DO-160 standardıdır. Genel ismi "Havadaki Ekipmanlar için Çevresel Koşullar ve Test Prosedürleri" olarak geçmektedir. Aviyonik veya mekanik ekipmanların çevresel testlerini tarif eden, test prosedürlerini tanımlayan, test düzeneklerini tanımlayan, ekipmanların uçakta bulunduğu konumu ve güvenlik seviyesine göre testten geçme kalma kriterlerini tarif eden bir standarttır. Radyo Teknik Havacılık Komisyonu (RTCA) tarafından yayınlanmaktadır.

İçerisinde 26 adet bölüm bulunmaktadır. Bunlar dışında da üç ek içermektedir. 26 bölüm içerisinde örnek olarak çevresel titreşim testleri, radyo frekansı emisyon ve bağışıklık testleri, yıldırım testleri ve elektrostatik boşalma testleri yer almaktadır.

RTCA DO-160 standardı ilk olarak 28 Şubat 1975'te hava araçlarında kullanılan sistemlerde, aviyonik elektronik donanım tasarımı için test prosedürlerini açıklamak amacıyla yayınlanmıştır. Yıllar içinde teknolojinin gelişmesi ve ne yazık ki yaşanan kazalar sonucunda öğrenilen dersler ile standart birçok revizyona uğramıştır. En güncel revizyonu 8 Aralık 2010'da yayınlanan "G" revizyonudur.

Firmaların bu uluslararası komitelerin çıkardığı standartlara ek olarak firma gereksinimlerine yer verdiği teknik gereklilik dokümanları veya şartnameleri de bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Airbus firmasına ait ABD 100 ve ABD 200 dokümanları örnek verilebilmektedir. Bu tip dokümanlar genel olarak RTCA DO-160 standardı ile uyum içerisinde oluşturulmaktadır. Fakat bazı uçak tasarımlarına özel olarak bu dokümanlarda farklı değişiklikler olabilmektedir.

3.1.2 Askeri Havacılık

Askeri havacılıkta kullanılmakta olan ekipmanlar ve alt sistemler askeri standartlara göre test edilirler. Söz konusu askeri standartlar, piyasada kullanılmakta olan endüstriyel standartlara kıyasla oldukça sıkı kurallara sahiptirler ve daha zorlayıcı koşullar altında testler içermektedirler. Askeri standartların ilk örneği 1964 yılında Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın MIL-STD-82 standardıdır. Devamında ise sistem gereksinimlerinin oluşması ile bir çok standart oluşmuştur. Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'na ait MIL-STD-461 ve MIL-STD-464 standartları ile beraber NATO'ya ait AECTP 500, İngiltere Savunma Bakanlığı'na ait DEF STAN 59-411, Fransa'ya ait GAM-EG-13 ve Almanya'ya ait VG 95370 standartları bulunmaktadır [2].

3.2 Havacılıkta EMC Test İlkeleri

Uçak içerisinde elektronik ekipmanların ve sistemlerin sayısının her geçen gün artmasıyla, uçak içerisinde çalışmakta olan aviyonik ekipman ve sistemlerin neden olduğu elektromanyetik alan kirliliği her geçen gün artmakta ve karmaşıklaşmaktadır.

Uçak içerisinde oluşan söz konusu elektromanyetik ortamın içerisinde bulunan ekipman ve sistemlerin, girişim sorunları yaratmadan veya bu kirli elektromanyetik ortamın etkisi

altında olmadan beklenen çalışma performansını sergilemesi önemli bir zorunluluktur. Diğer birçok sektöre göre havacılıkta kurallar ve limit değerleri çok katıdır. Bu durumun sebebi ise birçok elektronik ekipmanın birlikte çalışma zorunluluğu ve olası bir performans kaybının sonuçlarının çok ağır olmasından kaynaklanmaktadır.

Elektromanyetik girişim aviyonik ekipman ve sistemlerin beklenen performansı sergilemesi açısından büyük bir tehdittir. Elektromanyetik uyumluluk ise elektromanyetik girişim sorunlarının ortadan kaldırılması konusunu kapsamaktadır. EMC ile EMI problemlerinden aviyonik ekipmanların korunması ve dolaylı olarak da yolcuların ve uçak mürettebatının korunması amaçlanmaktadır.

Bir aviyonik ekipman veya sistem, dış ortamdan maruz kaldığı elektromanyetik enerjiden etkilenmeden performansını istenilen şekilde verebiliyorsa ve aynı zamanda uçak içerisindeki diğer aviyonik ekipmanlar ve sistemlerin istenilen çalışma performansını etkilemiyorsa söz konusu aviyonik ekipman veya sistemin elektromanyetik girişim konusunda sorunsuz olduğu kabul edilmektedir.

Elektromanyetik uyumluluk, bir aviyonik ekipman veya sistemin elektromanyetik alandan etkilenmeden istenilen performansı göstermesi olarak görülse de sistemin kendi içindeki alt ekipmanlardan etkilenmeden çalışması da gerekmektedir.

Sistemlerin kendi aralarındaki elektromanyetik uyumluluk dışında sistemin kendi içerisindeki alt parça aviyonik ekipmanların uyumluluk seviyeleri de incelenmekte ve test edilmektedir.

Bu kapsamda aviyonik ekipman veya sistemin elektromanyetik uyumluluğu değerlendirilirken aşağıdaki durumlarda sorunsuz çalışması gerekmektedir.

- Dış çevrede bulunan doğal elektromanyetik kaynaklardan ve çevrede bulunan başka aviyonik ekipman ve sistemlerin çevreye yaydığı elektromanyetik gürültüden etkilenmeyip istenilen çalışma performansını sergilemesi
- Dış çevrede bulunan diğer aviyonik ekipman ve sistemlerin beklenen çalışma performansları üzerinde herhangi bir bozulma etkisine neden olacak miktarda elektromanyetik gürültü yaymaması
- Kendi yapısında bulunan bir alt parçası veya sisteminin başka bir ekipmanın çalışmasında bozucu bir elektromanyetik gürültü oluşturmaması

Uçak içerisinde bulunan aviyonik ekipmanların ve sistemlerin birbirlerinin çalışma performansını etkilemesi sorununun önüne geçebilmek adına ekipmanlar gerçek kullanım noktalarına taşınmadan önce laboratuvar ortamında test edilmektedir. Bu testler sırasında uluslararası olarak kabul görmüş standartlar kullanılmaktadır. Zamanla bu söz konusu standartlar teknolojinin gelişmesi ve yaşanan tecrübeler doğrultusunda sürekli olarak güncellenmektedir yani bu standartlar sürekli olarak güncellenen dokümanlardır.

3.3 EMC Testlerinin Sınıflandırılması

Elektromanyetik girişimin oluşması noktasında üç ana unsur bulunmaktadır. Bunlar; elektronik gürültünün çıkış noktası sayılacak olan kaynak noktası, gürültüden etkilenen ve çalışması bozulan kurban ve son olarak söz konusu gürültünün kaynaktan kurbanı ulaşmasını sağlayan kuplaj yoludur. Söz konusu elektromanyetik girişimin taşınması iletkenlik ve ışımaya olarak iki ana türe ayrılmaktadır. Bir aviyonik ekipman veya sistem uçak içerisinde hem elektromanyetik gürültünün kaynağı hem de kurbanı olabilmektedir. Bir aviyonik ekipman ya da sistem kapsamında elektromanyetik uyumluluk kavramı iki temel mantığa ayrılmaktadır.

Bunlardan ilki aviyonik ekipman veya sistemin çevresinde bulunan diğer ekipmanların ve sistemlerin beklenen çalışma performansını etkilememesidir. Bu noktada gürültü kaynağının bir tehdit yaratmayacağı kadar elektromanyetik girişim yaratması gerekmektedir. Aviyonik ekipmanın veya sistemin, çevresine yaymış olduğu elektromanyetik gürültü ölçülmelidir.

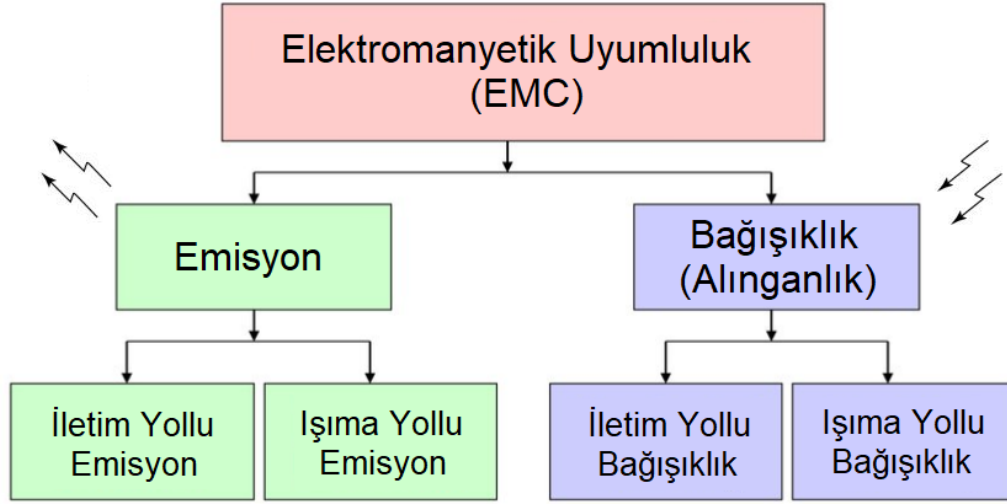
Testler sonucundaki ölçümler, referans olarak alınan uluslararası standartlarda geçen kabul şartları ile uyum içerisinde olmalıdır.

Söz konusu elektromanyetik gürültünün çevresindeki diğer ekipmanlar için tehdit oluşturmayacak düzeyde olması elektromanyetik uyumluluğun emisyon (yayılım) kolunu yaratmaktadır.

Bunlardan ikincisi; bir aviyonik ekipmanın veya sistemin uluslararası otoriteler tarafından yayınlanan standartlara uygun olarak, ekipmanın kategorisine bağlı olacak şekilde ekipmanın uygun laboratuvar koşullarında elektromanyetik girişim gürültüsüne maruz bırakılmasıdır yani test altındaki ekipman kurban rolüne sokulmaktadır. Test sonunda ekipmanın kendisinden beklenen çalışma performansında kısa süreli veya kalıcı olarak kayıp oluşup oluşmadığı kontrol edilmelidir. Bu bakış açısı elektromanyetik uyumluluğun bağışıklık (immunity) kolunu meydana getirmektedir. Elektromanyetik uyumlulukta aşağıdaki gibi dört ana test biçimi bulunmaktadır.

- İletim yollu emisyon (Conducted Emissions - CE)
- İletim yollu bağışıklık/alınanlık (Conducted Immunity/Susceptibility – CS)
- Işıma yollu emisyon (Radiated Emissions – RE)
- Işıma yollu bağışıklık/alınanlık (Radiated Immunity/Susceptibility – RS)

Bir aviyonik ekipman veya sistemin elektromanyetik girişime tepkisini test etmek için kullanılan yöntemler, bağışıklık ve yaydığı emisyon açısından girişim yollarına istinaden ayrılmaktadır. Bu ayrım elektromanyetik uyumluluğun temel hatlarını oluşturmaktadır ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Elektromanyetik uyumluluk testlerinin sınıflandırılması.

Bir aviyonik ekipman ya da sistemin elektromanyetik uyumluluk testleri yapılırken genel mantık şu şekildedir; ekipmanın emisyon değeri ölçülebilir bir değerdir ve limit sınırlarının altında kalması gerekmektedir. Bağıışıklık seviyesi belirlenirken ise ekipman üzerine bozucu sinyaller yollanmaktadır yani test gerçekleştirilmektedir. Bağıışıklık (immunity) ve hassasiyet ya da başka adı ile alınanlık (susceptibility) kavramları eş anlamlı olarak kullanılabilir. Askeri ve sivil havacılık standartlarında genel olarak alınanlık terimi kullanılırken ticari sektörlerde bağıışıklık terimleri kullanılmaktadır. Fakat bu iki terimin tam olarak eş anlamlı olmadığı unutulmamalıdır. Düşük seviyede bir bağıışıklık durumu, daha yüksek seviyede bir hassasiyet veya yüksek seviyede bir alınanlık anlamına gelmektedir. Bunun anlamı da bir aviyonik ekipmanın veya sistemin elektromanyetik uyumluluk noktasında bağıışıklık seviyesini yükseltmek için söz konusu ekipmanın hassasiyet seviyesini veya alınanlık seviyesini azaltmak anlamına gelmektedir.

EMC mühendisliğinde karşılaşılan problemler, çoğu kez, üniversitelerde elektromanyetik kuramındaki denklemlerle açıklanamayacak cinstendir. Yaşanan her EMC sorunu bir başka deneyimdir. Elbette sağlam bir elektromanyetik temel, akıcı düşünme ve bilgisayar yetenekleri gerektirir, ancak eninde sonunda problemlere EMC mühendisliği gözlüğüyle bakılmasını gerektirir [3].

3.4 EMC Test Laboratuvarları

Elektromanyetik uyumluluk testleri yüksek yatırım gerektiren gelişmiş laboratuvarlarda yapılmaktadır. Genellikle Tam yansız ve yarı yansız odalarda testler gerçekleştirilmektedir. Dış ortam gürültüsünün emisyon testlerinde önemi oldukça yüksektir. Testlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için yani test altındaki cihazdan yayılan elektromanyetik gürültünün ölçülebilmesi için dış ortamdan bir elektromanyetik gürültünün gelmemesi gerekmektedir. Uluslararası standartlarda laboratuvar ortam gürültüsü için tavsiye niteliğinde veya zorunlu olarak belirli sınırlar konulmuştur.

Alınanlık testlerinde ise cihaz kurban rolünde olduğu için cihaza aktarılan bozucu sinyallerin insanlara ve çevredeki ekipmanlara ulaşmaması için ilgili laboratuvar koşulları oluşturulmaktadır.

EMC laboratuvarı basit anlamda bir faraday kafesidir. Laboratuvar içerisinde gerçekleştirilen testlerin dış ortamdaki elektronik gürültülerden etkilenmemesi gerekmektedir. Aynı zamanda laboratuvar içerisinde oluşturulan bozucu sinyallerin dış ortamdaki cihazları da etkilememesi gerekmektedir. Laboratuvarlar kurulduğu binadan ve kampüsten bağımsız olarak topraklanmalıdır. Ortak toprak noktaları dış ortamda oluşan elektronik gürültüleri laboratuvar içerisine taşıyabilmektedir.

Laboratuvar iç yüzeyi özel olarak tasarlanmış soğurucular ile kaplanmaktadır. Soğurucular farklı geometrilerde tasarlanabilir fakat genel olarak piramit şeklindedirler. Test yapılacak laboratuvarlarda limit frekans değerlerine göre soğurucuların tasarım ve malzeme çeşidi değişebilmektedir. Soğurucular genel olarak ferrit ve karbon emdirilmiş sünger yapısındadır.

3.4.1 Laboratuvar Akreditasyonları

Akreditasyon sisteminin genel amacı ilgili laboratuvarlarda gerçekleştirilen test ve ölçüm işlemlerinin doğruluğunu belgelemektir. Bu sayede ilgili test aynı ekipmanlarla başka bir zaman başka bir laboratuvarda gerçekleştirilse de benzer sonuçların alınması amaçlanmaktadır. Bu noktada da bağımsız kuruluşlar ve otoriteler laboratuvarlara

denetimler gerçekleştirmektedir ve test laboratuvarlarının uluslararası standartlar tarafından konulan kurallara uyması beklenmektedir.

Laboratuvarda kullanılan ekipmanlar, laboratuvar ortam şartları, laboratuvar personelinin yetkinliği gibi konularda otoriteler test laboratuvarlarını denetlemektedir.

Laboratuvar çalışanları akreditasyon konusunda genel olarak ISO/IEC 17025 "Deney Ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Gereklilikler" standardını kullanmaktadır. Otoriteler de bu kapsamda laboratuvarlara akreditasyon belgesi vermektedir.

Test laboratuvarlarının bağımsızlığı ve güvenilirliği oldukça önemli iki temel kavramdır. Bu güvenilirliğin sağlanması için de bağımsız kuruluşlar tarafından laboratuvarlara akreditasyon belgeleri verilmektedir. Bu sayede laboratuvarda kullanılan ekipmanların kalibrasyonları, personellerin yetkinliği ve kalite yönetim sistemleri kontrol edilebilmektedir.

Türkiye Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) Türkiye’de akreditasyon konusunda yetkili olan ulusal kuruluştur. TÜRKAK aynı zamanda Avrupa Akreditasyon Birliği’ne tam üyedir.

3.4.2 Laboratuvarlarda Kalibrasyon

Kalibrasyon işlemleri test laboratuvarlarında kullanılan tüm ekipmanların ölçümlerini doğru bir şekilde yapması için uygulanmaktadır. Bunun sonucunda laboratuvarların, testlerde kullanmış oldukları tüm test ve ölçüm cihazlarını kalibre ettirmesi gerekmektedir. Bu işlemler özel olarak uluslararası standartlar tarafından ayrıca tanımlanmış olan kalibrasyon laboratuvarlarında gerçekleştirilmektedir. Kalibrasyon süresi; ekipmanın kullanım sıklığı, kritikliği ve ekipmanın kalibrasyonlar arası sapma miktarına göre kullanıcısı tarafından belirlenmektedir.

Kalibrasyon işlemleri ile yapılan ölçümlerin sonuçlarının doğruluğu garanti edilir ve müşteriye ulaşacak raporun güvenilirliği sağlanır.

3.4.3 Test Sonuçlarının Raporlanması

Test altında bulunan ekipmanın testleri test planlarına ve talep edilen standartlara uygun olarak akredite test laboratuvarlarında gerçekleştirildikten sonra sonuçların raporlama evresi başlamaktadır. Bu aşamada laboratuvar, testleri TÜRKAK tarafından almış olduğu akreditasyon kapsamında gerçekleştirdiyse, hazırlanacak test sonuç raporunun ilk sayfasına TÜRKAK logosunu eklemelidir.

Laboratuvarlar test raporlarının hazırlama kısmında da uluslararası standartların tarif ettiği genel geçer ve kabul görmüş formatlarda test raporunu hazırlar. Test raporlarında olabildiğince test sırasında çekilen fotoğraflara, ölçüm sonuçlarına kanıt olarak yer verilmelidir. Aynı zamanda testler esnasındaki ortam koşulları, testler sırasında kullanılmakta olan cihazların kalibrasyon tarihleri ve testlerin adım adım gerçekleştirilmesini tarif eden prosedürlere test raporlarında yer verilmelidir.

4. HAVACILIKTA EMC TESTLERİ

Sivil havacılıkta genel olarak kullanılmakta olan uluslararası standart RTCA DO-160'dır. Uçak içerisinde kullanılan alt sistemler müşterinin özel bir şartnamesi veya teknik gereklilik dokümanı olmadığı sürece RTCA DO-160 kapsamında test edilmektedir. RTCA DO-160 içerisinde çevresel testler, elektriksel testler ve elektromanyetik uyumluluk testleri yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında incelenecek olan testler aşağıdaki gibidir;

- İletim yolu bağımsızlık (RTCA DO-160G Bölüm 20.4)
- Işıma yolu bağımsızlık (RTCA DO-160G Bölüm 20.5)
- İletim yolu emisyon (RTCA DO-160G Bölüm 21.4)
- Işıma yolu emisyon (RTCA DO-160G Bölüm 21.5)

4.1 Bağımsızlık Testleri

Bağımsızlık testleri RTCA DO-160G standardına Bölüm 20'de geçmektedir. İlgili bölüm elektromanyetik yayınımlara karşı gösterilen alınganlık (iletkenlik ve ışımaya yoluyla) konusundaki testleri içermektedir.

Bu bölümdeki testlerin amacı test altındaki aviyonik cihaz ve kabloları;

- Işıyan bir RF alan vasıtasıyla
- Ara bağlantı kablolarına veya güç kablolarına bir enjeksiyon probu indüksiyonu vasıtasıyla

uygulanan belirli bir seviyedeki RF modülasyonu ile güce maruz kaldıklarında performans özelliklerinde belirtilen sınırlar içinde çalışmaya devam edip etmeyeceğinin belirlenmesidir. Yani test altındaki cihazın beklenen çalışma performansını tam olarak sağlaması hedeflenmektedir.

İki temel test yöntemi bulunmaktadır;

- 10 kHz – 400 MHz frekans aralığında, test altındaki cihazın kablo demetlerine bir enjeksiyon probu vasıtasıyla RF işaretleri uygulanır (iletkenlik yoluyla bağışıklık).
- 100 MHz'den yüksek frekanslarda, test altındaki cihaz ışımaya yoluyla RF alanına maruz tutulur (ışımaya yoluyla bağışıklık).

100 MHz – 400 MHz aralığında her iki yöntem de uygulanmaktadır. Işıma yoluyla bağışıklık testlerinin yansımali veya yansimasız test odalarında yapılması mümkündür.

Bu testlerin sonucunda test altındaki cihazların HIRF, T-PED'ler veya sistemde bulunan diğer ekipmanlardan yayılacak emisyonlar gibi çeşitli RF tehditlerine karşı davranışı belirlenir. Test seviyeleri belirlenirken kullanılan kategoriler ile aviyonik ekipmanın iletkenlik ve ışımaya yoluyla RF emisyon seviyeleri belirlenir.

Bu testler, uçak üzerinde veya civarında yüksek çıkış gücüne sahip RF vericilerinin yani radar veya haberleşme vericilerinin etkilerini simüle etmek üzere tasarlanmıştır.

Bu testler, test altındaki aviyonik cihazın RF alınganlığı çevresel kalifikasyonu için yeterlidir. Ancak daha önce belirtildiği üzere sistemlerin uçak üzerine yerleşmesinin sertifikasyonun yapılması amacıyla ek testler gerekebilir bu ek testler müşteri özel teknik dokümanlarında geçebilir. Test altındaki cihaz için test esnasında kullanılacak kategoriler RF test seviyelerini ve cihazın minimum RF alınganlık değerini belirler. Bu test kategorileri ekipmanın performans standardında yani ekipmanın test planında tanımlanabilir. Test edilecek cihaz için test esnasında kullanılacak test kategorilerinin değerı genellikle hava aracının iç RF ortam seviyeleri bilinmeden belirlenir. Ayrıca cihazlar genellikle birden çok tipte hava aracında kullanılmak üzere tasarlanır. Bu sebep ile test sırasında kullanılacak kategorilerin sınırları uçak içerisindeki RF ortam seviyesinden daha yüksek seviyede seçilir. Eğer ekipmanın test prosedüründe bir test seviyesi kategorisi belirlenmemiş ise cihaz

üreticisi cihazın yerleştirileceği yer, maruz kalacağı dış ortamlar ve kullanım şekline göre testi gerçekleştirmelidir.

Ekipmanlar veya ekipmanların alt-sistemleri ilk olarak kendi içerisinde elektromanyetik uyumlu olmalıdır. Yani özet olarak ekipmanı meydana getiren cihazlar kendi arasında uyumlu olmalı aynı zamanda herhangi bir elektromanyetik girişim olmamalıdır [8].

4.1.1 İletkenlik Yolu ile Bağışıklık Testi

Teste başlamadan önce test altındaki cihazın kategorisi belirlenmelidir. Bu kategori ekipmanın bulunduğu konum, görevi ve güvenlik katsayı kullanılarak belirlenir. Kategoriler RTCA DO-160G standardından alınmıştır.

Kategori Y ve O: Bu kategoriler A seviyesi cihazlar çok yüksek elektromanyetik ortamda bulunduğu zaman kullanılır. Bu ortamlarda hiç elektromanyetik ekranlama bulunmaz.

Kategori W: Bu kategori A seviyesi cihazlar çok yüksek elektromanyetik ortamda bulunduğu zaman kullanılır. Bu ortamlarda minimal elektromanyetik ekranlama bulunur.

Kategori M: Bu kategori A seviyesi cihazlar orta yükseklikte elektromanyetik ortamda bulunduğu zaman kullanılır. Bu ortamlarda bir miktar elektromanyetik ekranlama bulunur. Örneğin; kokpit, aviyonik kompartımanı gibi bölgeler.

Kategori R: Bu kategori B seviyesi cihazların laboratuvar testleri için kullanılır. Seviye A cihazlar için yeterli miktarda ekranlama sağlanan bölgelerde kullanılıyorsa bu seviyedeki cihazlar için de kullanılabilir. Bu durumda cihaz kurulumları ile ilgili dikkat edilmesi gereken ciddi hususlar vardır.

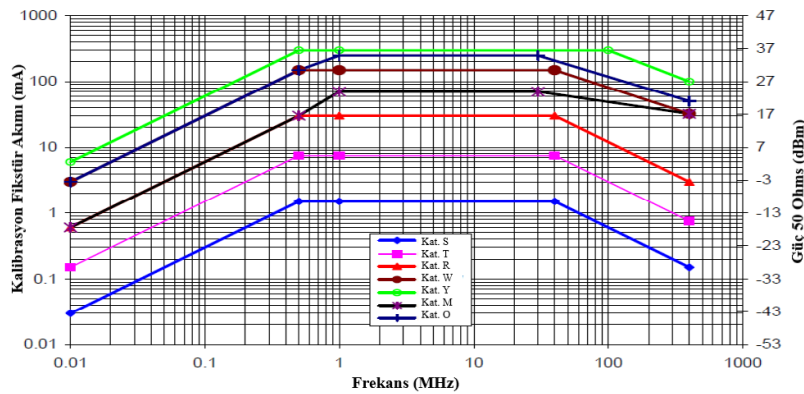
Kategori T: Bu kategori C seviyesi cihazların laboratuvar testleri için kullanılır. Seviye A cihazlar son derece iyi ekranlama sağlanan bölgelerde kullanılıyorsa bu cihazlar için de kullanılabilir. Bu durumda da cihaz kurulumları ile ilgili dikkat edilmesi gereken ciddi hususlar vardır.

Kategori S: Bu kategori C seviyesi cihazların laboratuvar testleri için kullanılır. Kullanım alanı Kategori T'ye benzemektedir. Kategori T'den farkı, çok daha iyi ekranlama sağlanan bölgelerdeki cihazlar için kullanılabilmesidir. Benzer olarak bu durumda da cihaz kurulumları ile ilgili dikkat edilmesi gereken ciddi hususlar vardır.

İletkenlik yolu ile bağışıklık test kategorileri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. İletkenlik yolu ile bağışıklık test kategorilerine ait grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: İletkenlik yolu ile bağışıklık test kategorileri.

Frekans (MHz)	M (mA)	O (mA)	R (mA)	S (mA)	T (mA)	W (mA)	Y (mA)
0.01	0.6	3	0.6	0.03	0.15	3	6
0.5	30	150	30	1.5	7.5	150	300
1	70	250	30	1.5	7.5	150	300
30	70	250	30	1.5	7.5	150	300
40	-	-	30	1.5	7.5	150	300
100	-	-	-	-	-	-	300
400	32	50	3	0.15	0.75	32	100



Şekil 4.1: İletkenlik yolu ile bağışıklık test kategorileri grafiği.

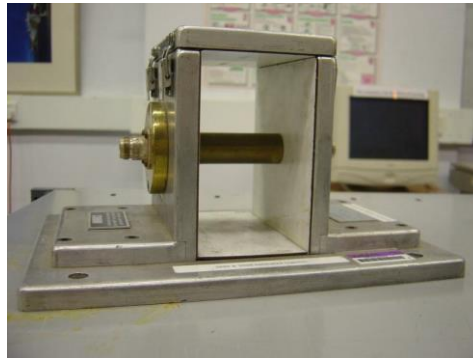
Kategori seçimi yapıldıktan sonra testin uygulanacağı bağlantı birimleri belirlenmelidir. Test altındaki aviyonik ekipmana veya ara bağlantı birimlerine bağlayan tüm kablo demetlerine bu test uygulanmalıdır. Ara bağlantı kabloları tek tek veya toplu olarak test edilebilmektedir.

Aynı anda birden çok prob kullanılarak birden çok kablo demetine aynı anda test uygulanabilir. Kendi içerisinde yedekli olan cihazlar için bu yöntem ayrı olarak gereklidir. Güç dönüş kabloları veya dış bir toprağa bağlanan toprak kabloları test edilen kablo demetine dahil olmamalıdır. Test iki adımdan oluşmaktadır; İlk adımda test öncesinde kalibrasyon yapılmalıdır İkinci adımda ise cihaz test edilmelidir.

Akım problemlerine bir örnek Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Testlerden önce gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerinde kullanılan fikstür düzeneğine bir örnek Şekil 4.3’de ifade edilmiştir.



Şekil 4.2: Akım problemleri.



Şekil 4.3: Kalibrasyon fikstürü.

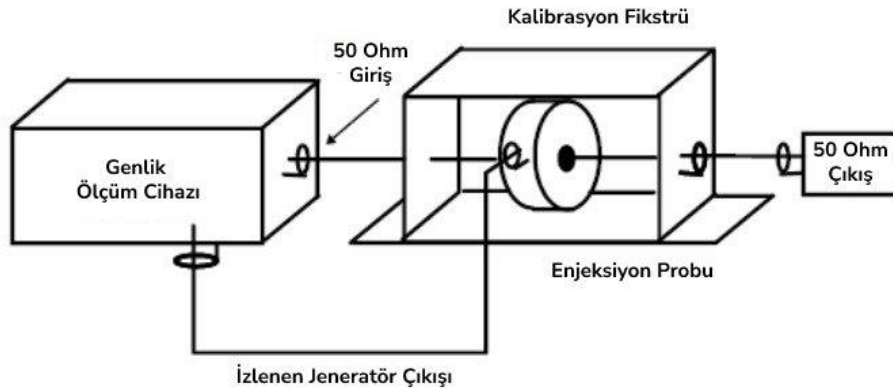
Güç kalibreli ve akım sınırlı test gerçekleştiriliyor ise;

1. Kalibrasyon fikstüründe standartta tanımlı limit akımı oluşturulur.
2. Enjeksiyon probuna doğru olan ileri güç ölçülür. Bu güç cihazın test limitini oluşturur.
3. Ekipman testi sırasında güç limiti veya kategori için belirlenen akım üst limitine kadar güç uygulanır.
4. DO-160 standardının F versiyonundan önce uygulanan yöntemdir.

Akım kalibreli ve güç sınırlı test gerçekleştiriliyor ise;

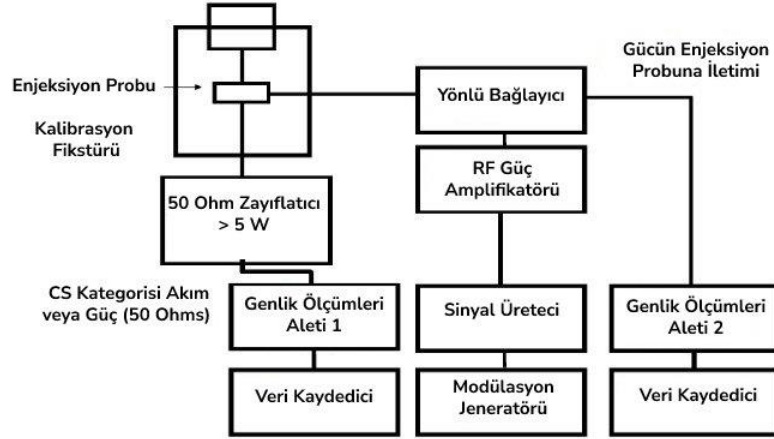
1. Kalibrasyon fikstüründe standartta tanımlı limit akımı oluşturulur.
2. Enjeksiyon probuna doğru olan ileri güç ölçülür. Bu güç cihazın test limitini oluşturur.
3. Ekipman testi esnasında akım limitinin veya güç limitinin 6 dB üstüne kadar güç uygulanır.
4. DO-160 standardının F versiyonundan sonra bütün kategoriler için bu test uygulanır.

Enjeksiyon probu ile kayıp faktörünün belirlenmesine ait şema Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

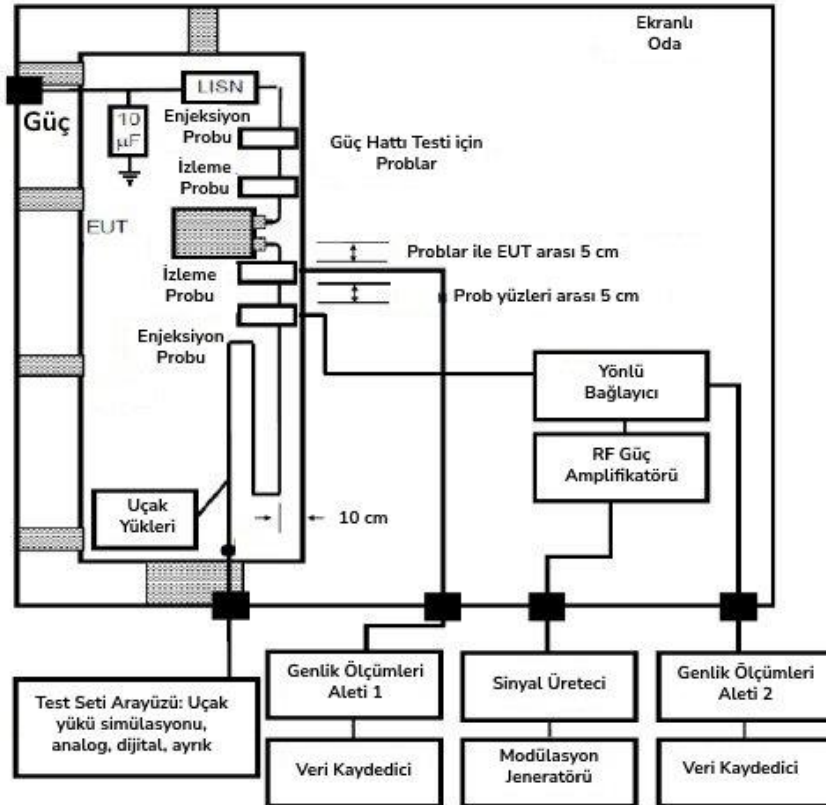


Şekil 4.4: Enjeksiyon probu ile kayıp faktörünün belirlenmesi.

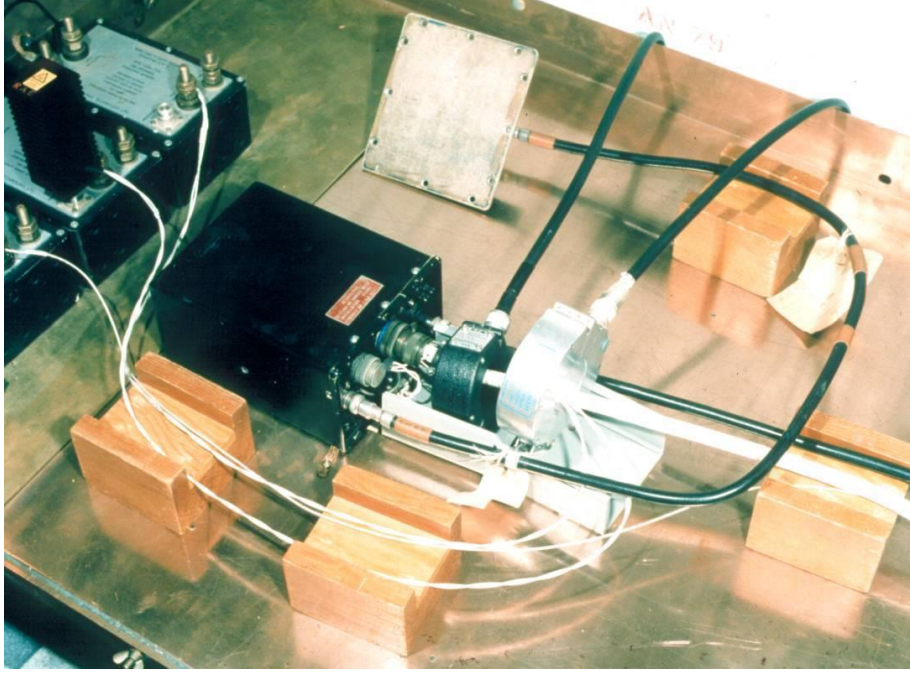
İletkenlik yoluyla bağışıklık testi kalibrasyon düzeneğine ait şema Şekil 4.5’de gösterilmiştir. İletkenlik yoluyla bağışıklık testine ait şema ise Şekil 4.6’da gösterilmiştir. İletkenlik yolu ile bağışıklık testleri esnasında çekilen bir fotoğraf Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: İletkenlik yoluyla bağışıklık testi kalibrasyon düzeneği.



Şekil 4.6: İletkenlik yoluyla bağışıklık test şeması.



Şekil 4.7: İletkenlik yoluyla bağışıklık test düzeneği örneği.

4.1.2 Işıma Yolu ile Bağışıklık Testi

Teste başlamadan önce test altındaki cihazın kategorisi belirlenmelidir. Bu kategori ekipmanın bulunduğu konum, görevi ve güvenlik katsayı kullanılarak belirlenir.

Kategori B, D, F, G ve L: Cihazın tesis edileceği bölgede hava aracının sağladığı zayıflatma ve maruz kalacağı HIRF ortam seviyesine göre uygun kategori seçilir.

Kategori R:

- 100 – 400 MHz arasında 20 V/m CW ile genliği 20 V/m ve en az %90 derinliği olan 1 kHz kare dalga modülasyonu uygulanır.
- 400 MHz – 8 GHz arasında genliği 150 V/m olan %4 doluluk oranına ve 1 kHz darbe tekrar frekansına sahip işaret uygulanır. Dönen radar işaretini simüle edebilmek için işaret 1 Hz hızında ve %50 doluluk oranıyla açılıp kapatılır.

Kategori S, T, W ve Y:

- 100 MHz'den standartta verilen frekans üst limitine kadar CW ve en az %90 derinliği olan 1 kHz kare dalga modülasyonu uygulanır.
- Test altındaki cihazla alakalı ek modülasyonların da uygulanması değerlendirilmelidir.

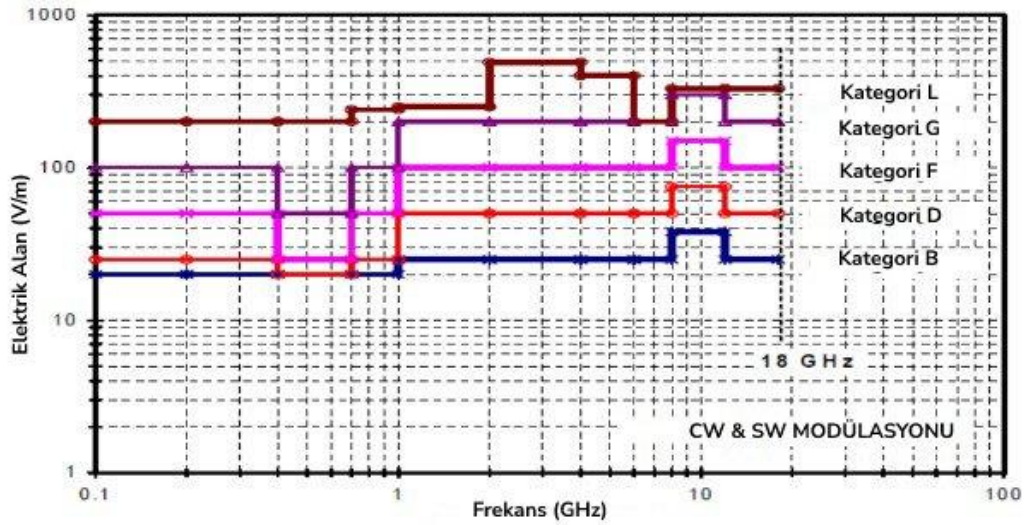
Kategori B, D, F, G ve L:

- 100 MHz – 18 GHz arasında genliği belirlenen CW ile en az %90 derinliği olan 1 kHz kare dalga modülasyonu uygulanır.
- Test altındaki cihazla alakalı ek modülasyonların da uygulanması değerlendirilmelidir.
- 400 MHz – 4 GHz arasında 4 ms darbe genişliği ve 1 kHz darbe tekrar frekansı olan darbe modülasyonu uygulanır.
- 4 GHz – 18 GHz arasında 1 ms darbe genişliği ve 1 kHz darbe tekrar frekansı olan darbe modülasyonu uygulanır. Düşük frekans cevabına sahip cihazlar (Uçuş Kontrol Cihazları) için işaretin 1 Hz'lik bir frekansta ve %50 doluluk boşluk oranıyla açılıp kapatılması değerlendirilmelidir.

1 GHz'in üstü frekanslar için CW elektrik alan değerlerinin (volt/metre) 1.42 katında kare dalga kullanarak CW ve kare dalga şartlarını karşılamak mümkündür. Ayrıca ışıma yoluyla alınganlık testlerinde alternatif olarak yansıma odası kullanmak da mümkündür. Işıma yolu ile bağışıklık test kategorileri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Işıma yolu ile bağışıklık testi kategorileri.

Frekans (MHz)	Kategori R (V/m)	
	SW / CW	PM
Dalga Şekli		
100 – 200 MHz	20	-
200 – 400 MHz	20	-
400 – 700 MHz	-	150
700 MHz – 1 GHz	-	150
1 – 2 GHz	-	150
2 – 4 GHz	-	150
4 – 6 GHz	-	150
6 – 8 GHz	-	150
8 – 12 GHz	-	-
12 – 18 GHz	-	-



Şekil 4.8: Işıma yolu ile bağışıklık test kategori grafiği.

Işıma yolu ile bağışıklık testlerine ait kategori bilgilerinin yer aldığı grafik Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Test altındaki ekipman ve tüm kabloları uygun kategoride belirtilen RF alanlar bir anten vasıtasıyla uygulanır. Test iki adımdan oluşmaktadır. Kalibrasyon adımında alan probu ile uygulanması gereken elektrik alanlar kalibre edilir.



Şekil 4.9: Alan probu.

Test adımı ise kalibrasyon sırasında belirlenen ve gerekli elektrik alanı oluşturacak ileri güç antene uygulanır. Şekil 4.9’da alan probuna örnek gösterilmiştir.

Testler sırasında monopul anten (çubuk anten), log-periyodik anten (logaritmik anten) ve horn anten gibi anten tipleri kullanılmaktadır.

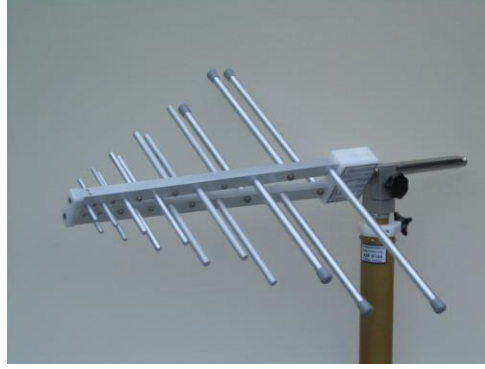
Çubuk yani monopul antenler $\lambda/4$ (çeyrek dalga) boyunda düz metal telden oluşur, alt taş (ground plane) üzerine çoğunlukla dik ve besleme için belirli bir mesafe boşlukla yerleştirilir. Çeyrek dalga boyunun ($\lambda/4$) tam katlarında rezonans hale gelerek maksimum alma ve yayma yaparlar. Rezonans halinde anten empedansı (öz direnç) yalnızca $36,8 \Omega$ değerinde dirençten oluşur. Empedansı çeyrek dalga boyunun altındaysa kapasitif, çeyrek dalga boyunun üstünde ise endüktif olur. Tüm yönlü (omnidirectional) ışına örüntüsüne sahip olan monopul antenlerde, yayılım antene dik ve her yöne eşit bir şekilde dağılımla gerçekleşir. Bu yayılım anten eksenine doğru 0° ’a düşer. Çoğunlukla düşey polarize dalga yayılımı yaparlar. Buna ek olarak benzer yapıya sahip dipol antenlere göre kazancı iki kat fazla olurken, yayılım direnci ise dipol antene göre yarıya düşmektedir [9]. Çubuk antene bir örnek Şekil 4.10’da ifade edilmiştir.



Şekil 4.10: Çubuk anten.

Log-periyodik antenlerin frekanstan bağımsız çalışması, doğrudan doğruya yüksek akımların bulunduğu ve aktif bölge olarak adlandırılan alanın, geometrilerin üzerindeki yerleşimiyle bağlantılıdır. Genel olarak, dalga boyunun dörtte biri büyüklüğündeki elemanların üzerinde oluşan bu bölge, frekansın değişimiyle anten üzerinde hareket eder. Aktif bölgenin anten üzerinde gerekli elemanları bulabildiği ve yerleşebildiği durumlarda log-periyodik antenin işlevsel olduğu söylenebilirken, diğer durumlarda bu söylenemez [10].

Aktif bölgenin anten üzerindeki dağılımı, geometrik katsayı ile artan veya azalan ardışık frekanslarda yaklaşık olarak benzerdir. Bir başka deyişle, aktif bölgenin ardışık iki frekansta yer değiştirmesi, onun durağan olması ve antenin geometrik katsayı ile ölçeklenmesiyle yaklaşık olarak eşdeğerdir. Antenin sonsuz büyüklükte olması durumunda bu eşdeğerlik tam olabileceken, elemanların kesintiye uğraması nedeniyle iki durum arasında bir miktar fark oluşmaktadır. Yine de aktif bölgenin antenin boyuna göre küçüklüğü göz önüne alındığında ve bu bölgenin antenin iki ucuna da çok yaklaştırılmayacağı düşünüldüğünde, bu farkın önemsiz olduğu anlaşılabilir. Sonuç olarak, geometri ve dalga boyunun aynı oranda değiştiği, bu yüzden de antenin, ardışık iki frekans için, aynı elektriksel özellikleri göstermesi gerektiği söylenebilir. Bunlara ek olarak, elemanların yeterince sık yerleştirilmesiyle aktif bölgenin ardışık frekanslar arasındaki hareketi yumuşatılır ve anten üzerinde çok fazla şekil değiştirmeden ilerlemesi sağlanır. Bu sayede, zaten periyodik olmaya zorlanmış olan elektriksel özellikler, ara frekanslarda da çok fazla değişmezler ve anten yaklaşık olarak frekanstan bağımsız çalışır [10]. Log-periyodik antene bir örnek Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



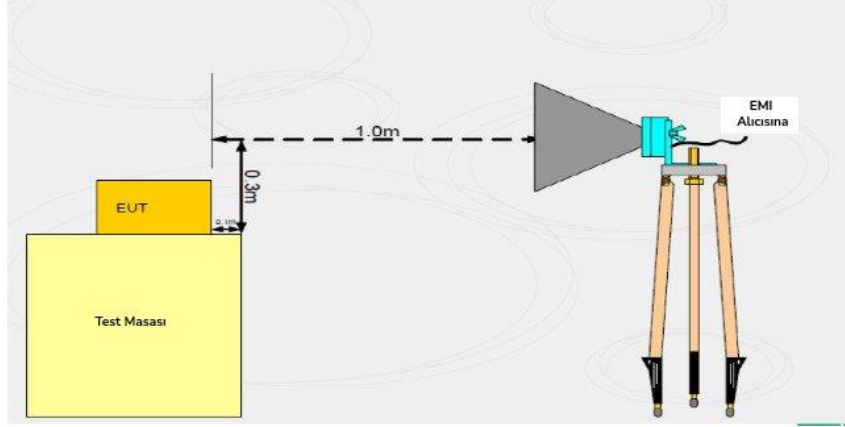
Şekil 4.11: Log-periyodik anten.

Horn antenin isminde geçen horn kelimesi İngilizcede boynuz anlamına gelmektedir. Antenin şekli boynuza benzediği için bu şekilde isimlendirilmiştir. Mikrodalga frekanslarında daha fazla kullanılmakta olan bir anten çeşididir. Kullanılma nedeni olarak prototip üretiminin oldukça kolay bir şekilde yapılabilmesi aynı zamanda gerekli lensler yardımı ile kazanç, yönlülük gibi önemli performans parametrelerinde önemli iyileştirmeler yapılabilir. Elektromanyetik enerjide izotropik antenlere benzer olarak homojen bir dağılım oluşturmaz. Bir dalga kılavuzu olarak çalışabilecek enerjinin ilgili bir istikamette dağıtımını gerçekleştirecek, yön verdiği alanda ise daha farklı şiddetlerde ışımlar oluşabilmektedir. Kazanç ifadesi ışıma yapılan enerjinin referans alınan anten bazında belirlenmiş bir istikamette yükselme şeklidir [11].

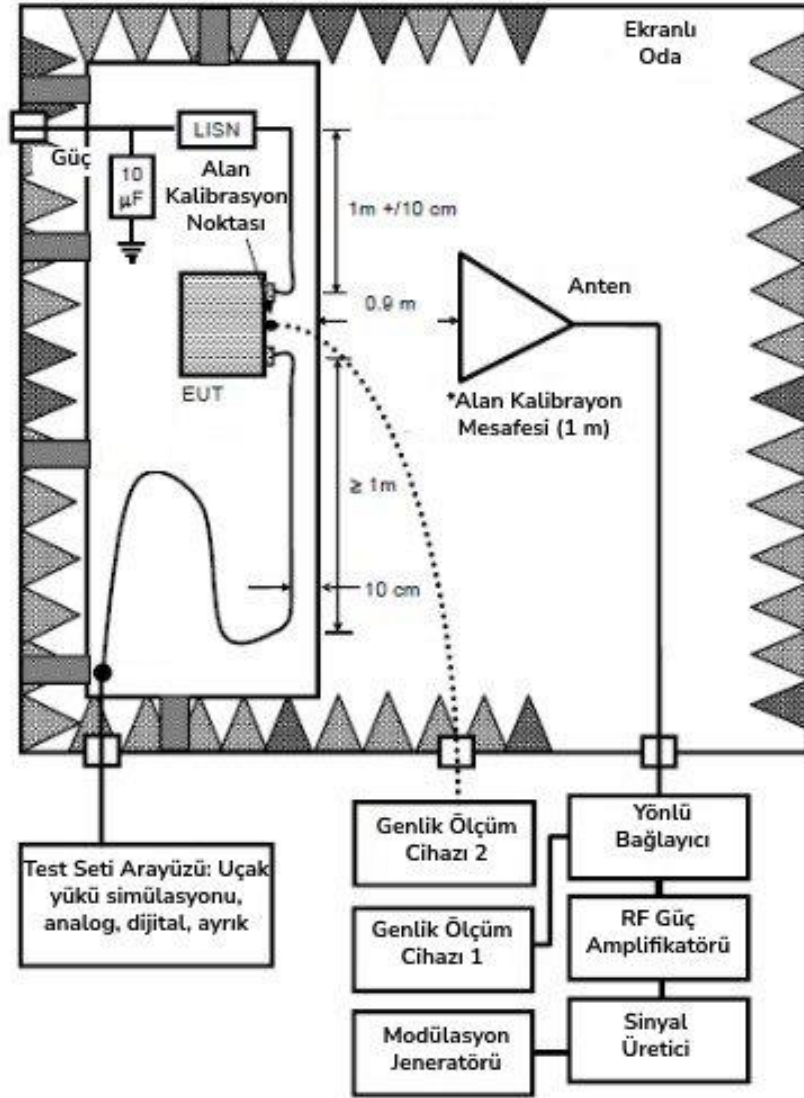
Horn antene bir örnek Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Horn antene ait bir test düzeneği örneği Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Işıma yoluyla bağışıklık testine ait test şeması ise Şekil 4.14’de örneklendirilmiştir.



Şekil 4.12: Horn anten.



Şekil 4.13: Horn anten ile test düzeneği örneği.



Şekil 4.14: Işıma yoluyla bağışıklık test şeması.

4.2 Emisyon Testleri

Emisyon testleri RTCA DO-160G standardına Bölüm 21'de geçmektedir. İlgili bölümde cihazın çevreye yaydığı elektromanyetik alan emisyonu (iletkenlik ve ışıma yoluyla) konusundaki testleri içermektedir. Yani test altındaki cihazın çevreye yaydığı RF gürültünün seviyesi test edilmeye çalışılmaktadır.

Bu bölümdeki testlerin amacı test altındaki cihazın ve kablolarının ışıma yolu ile ve iletkenlik yolu ile çevresine yaydığı elektromanyetik kirliliğin miktarını ölçmektir. Cihaz ve ilgili kabloların ışıma yolu ile emisyon testleri antenler kullanılarak yapılır. Kabloların iletkenlik yoluyla emisyon testleri akım problemleri kullanılarak yapılır.

Kategoriler aviyonik ekipmanın hava aracında bulunduğu bölge ve ekipman ile hava aracındaki radyo antenlerinin arasındaki mesafeye göre belirlenir. Bu değerler hava aracının tipine göre değişiklik gösterebilir.

Kategori B: Girişimin kabul edilebilir seviyelerde olmasının beklendiği bölgelerde kullanılan bir kategoridir.

Kategori L: Bu kategori hava aracının açıklıklarından (pencere, kapı) ve radyo alıcılarının antenlerinden uzaktaki bölmelere yerleştirilecek cihazlar için uygundur. Aviyonik bölmesi için kullanılabilir.

Kategori M: Bu kategori hava aracının açıklıklarının elektromanyetik olarak önemli büyüklükte olduğu ancak radyo alıcısının anteninin doğrudan görülmediği bölmelerde kullanılabilir. Bu kategori yolcu uçaklarının yolcu kabinlerinde kullanılabilir.

Kategori H: Bu kategori radyo alıcısının anteninin doğrudan görüldüğü bölmelerde kullanılır. Genelde hava aracının dışındaki cihazlara uygulanır.

Kategori P: Bu kategori HF, VHF veya GPS radyo alıcılarının antenlerine yakın olarak tesis edilmiş cihazlar ve kabloları için veya hava aracının çok az ekranlama sağladığı bölmelerde kullanılır.

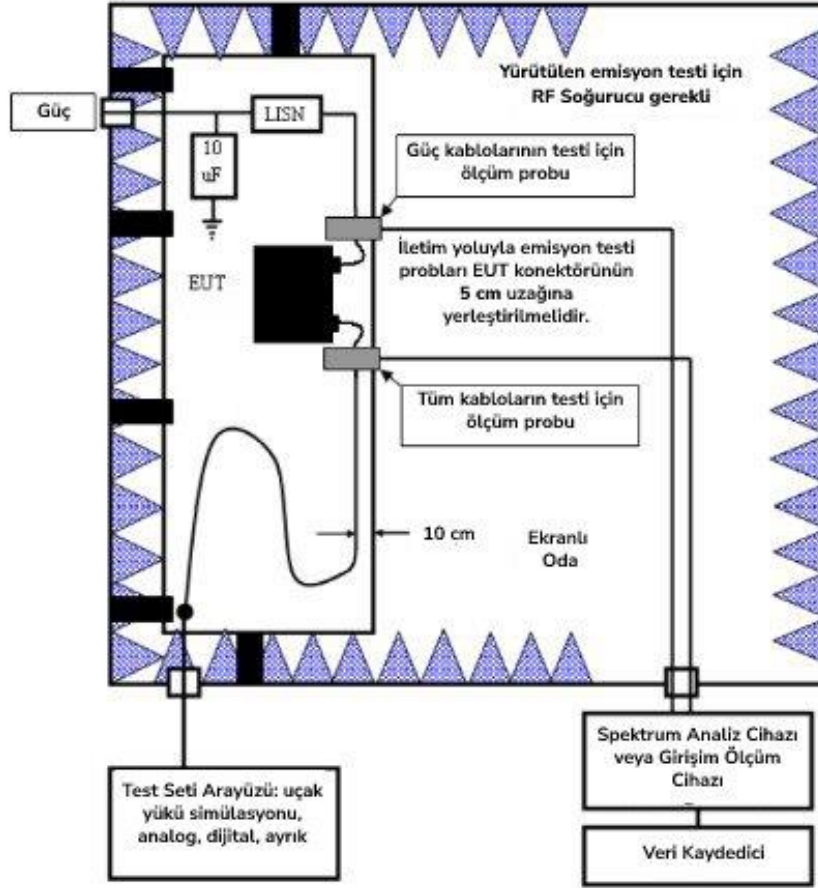
P Kategorisi GPS/GNSS sistemlerinin hava araçlarının iniş fazı sırasında kullanılmasıyla ilgili gelişmeler sonucunda standarda eklenmiştir. Aviyonik sistemlerin emisyonlarının GPS/GNSS frekans bandında azaltılması ihtiyacı doğmuştur. İletkenlik yoluyla emisyon koşulları da HF alıcılarla ilgili sorunlara istinaden oluşturulmuştur.

Kategori Q: Bu kategori HF, VHF veya GPS radyo alıcılarının antenlerine yakın olarak tesis edilmiş cihazlar ve kabloları için veya hava aracının çok az ekranlama sağladığı bölmelerde kullanılır.

Bu bölüm vericiler veya alıcıların antenlerinden yayılan ilgisiz işaretleri ölçmek veya kontrol etmek için kullanılmaz. Test altındaki cihaz bir toprak düzlemi üzerine yerleştirilmelidir.

4.2.1 İletkenlik Yolu ile Emisyon Testi

İletkenlik yoluyla oluşan emisyonlar 150 kHz ve 152 MHz arasında ölçülür. Bu emisyonlar limit eğrilerinde verilen değerlerden daha yüksek olmamalıdır. Güç kabloları ve ara bağlantı kabloları için farklı limit eğrileri vardır. İletkenlik yoluyla emisyon testine ait test şeması Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



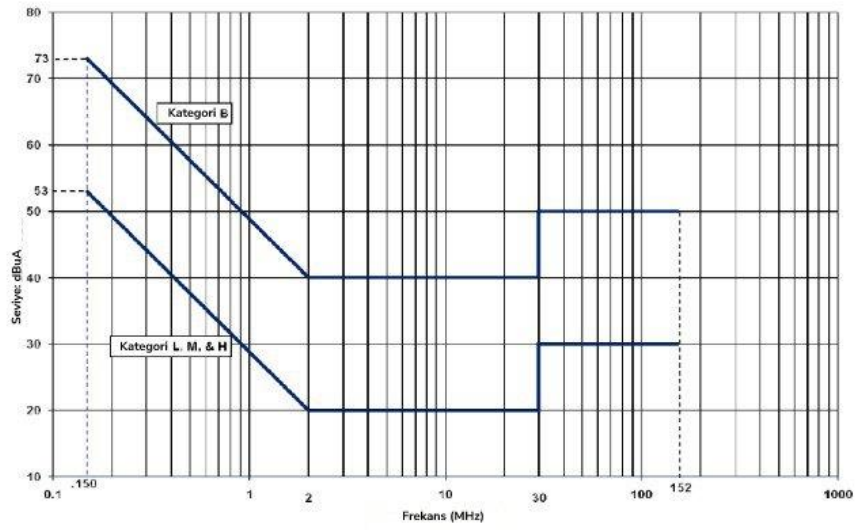
Şekil 4.15: İletkenlik yolu ile emisyon test şeması.

Birincil güç kabloları ara bağlantı kablosu kabul edilmez. Anten besleme kabloları yayın yapmadığı veya alıcı modunda çalışırken ara bağlantı kablosu sayılır.

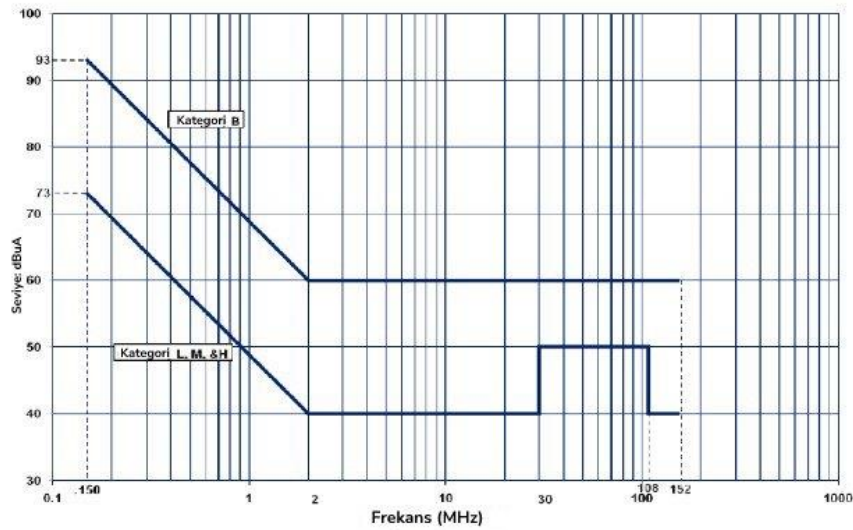
Akım probu test altındaki cihazdan 5 cm uzakta yerleştirilir. Konnektörün büyüklüğü 5 cm'yi aşıyorsa olabilecek en yakın noktaya yerleştirilir.

Emisyon testlerinde ekipmanın topraklanma seviyesi oldukça önemlidir. Topraklama güvenlik sebebi ile koruma özelliğini (earthing) ve daha hassas ekipmanların korunması (grounding) olarak düşünülür. Elektromanyetik uyumluluk bakışı ile bakıldığında hassas ekipmanların korunmasının sağlanması ve istem dışı oluşan elektronik gürültülerin iletkenler vasıtası ile toprağa gönderilmesi olarak düşünülebilir. Sonuç olarak DC ve 50 Hz AC şebekelerin topraklanması sonucu elektromanyetik uyumluluk amacı ile yüksek

frekansa sahip sistemlerin topraklanması arasında ciddi şekilde farklılıklar bulunmaktadır. EMC bakış açısı ile topraklamada temel iki faktör bulunmaktadır. Bunlar öncelikle frekans, devamında ise akımdır. EMC bakış açısı ile topraklama uygulaması sistemde problem yaratabilecek elektromanyetik gürültünün oluşma ihtimalini düşürmektedir. Güç hatlarına uygulanan iletkenlik yolu ile emisyon test seviyeleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Veri hatlarına uygulanan iletkenlik yolu ile emisyon test seviyeleri ise Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16: İletkenlik yolu ile emisyon test seviyeleri (güç hatları).



Şekil 4.17: İletkenlik yolu ile emisyon test seviyeleri (veri hatları).

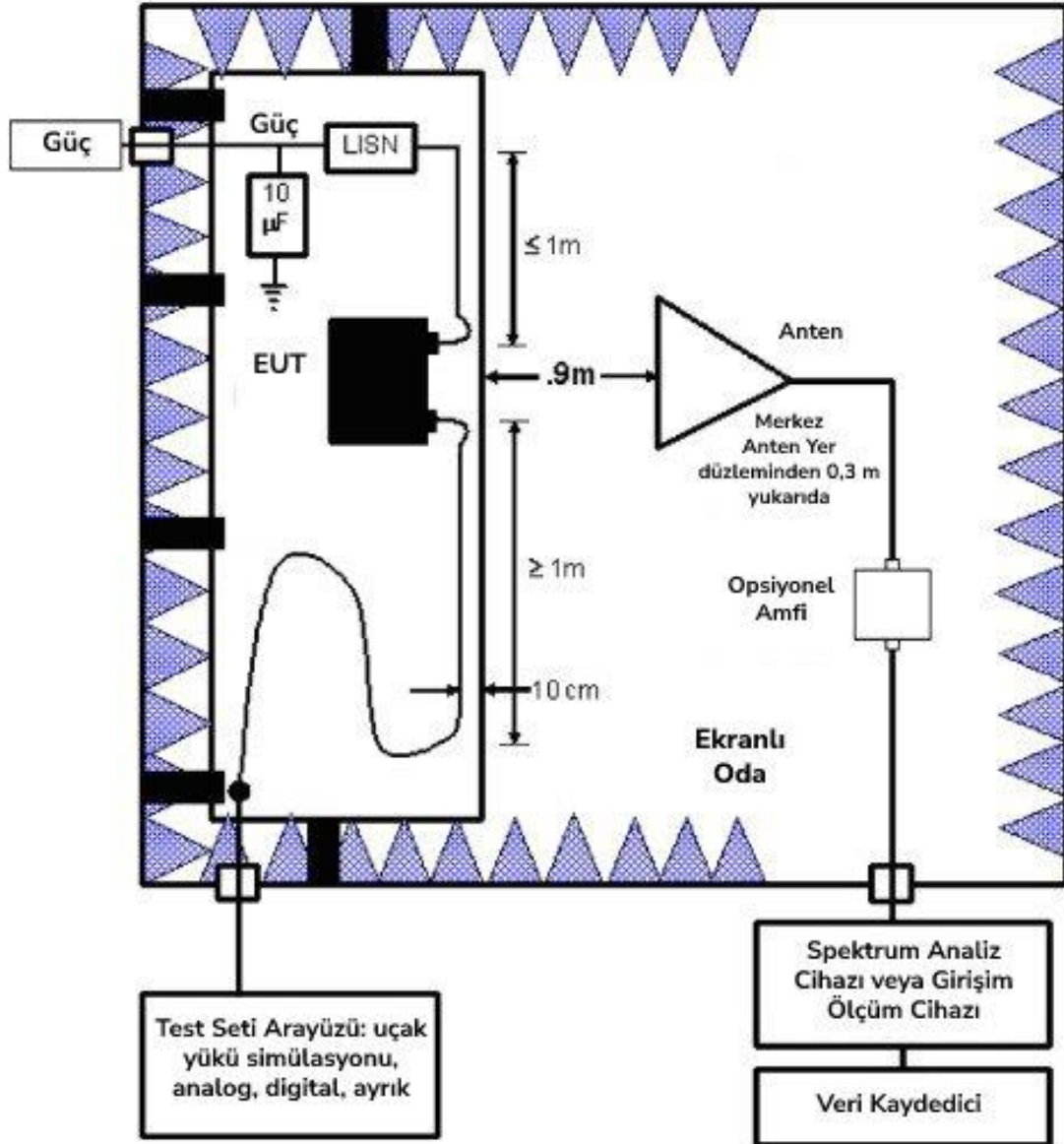
4.2.2 Işıma Yolu ile Emisyon Testi

100 MHz – 6 GHz arasında ölçme yapılır. Cihazlar, kabloları ve ara bağlantılarından ışıma yoluyla yayılan emisyonlar limit eğrilerindeki değerlerden daha yüksek olmamalıdır.

Alan değerleri uygun antenler kullanılarak belirlenir. Düzeltme faktörlerine (kablo kayıpları, uydurma devreleri vb.) dikkat edilmelidir.

Lineer polarizasyonda çalışan antenler kullanılmalıdır. Yatay ve dikey polarizasyonlar için ölçmeler yapılır. Test altındaki cihazın maksimum ışıma yapacağı çalışma modları kullanılmalıdır.

Test altındaki cihazın bütün açıklıklarının alıcı anten tarafına ışıma yaptığı ölçümler yapılmalıdır. Ekranlı oda içerisindeki çevre seviyesinin ölçümlerinin yapılması tavsiye edilmektedir. Eğer yansız oda içerisindeki elektromanyetik gürültü, test limit eğrisine 3 dB'den fazla yaklaşmışsa doğru bir ölçüm yapılamayabilir. Işıma yolu ile emisyon testine ait test şeması Şekil 4.18'de ifade edilmiştir.

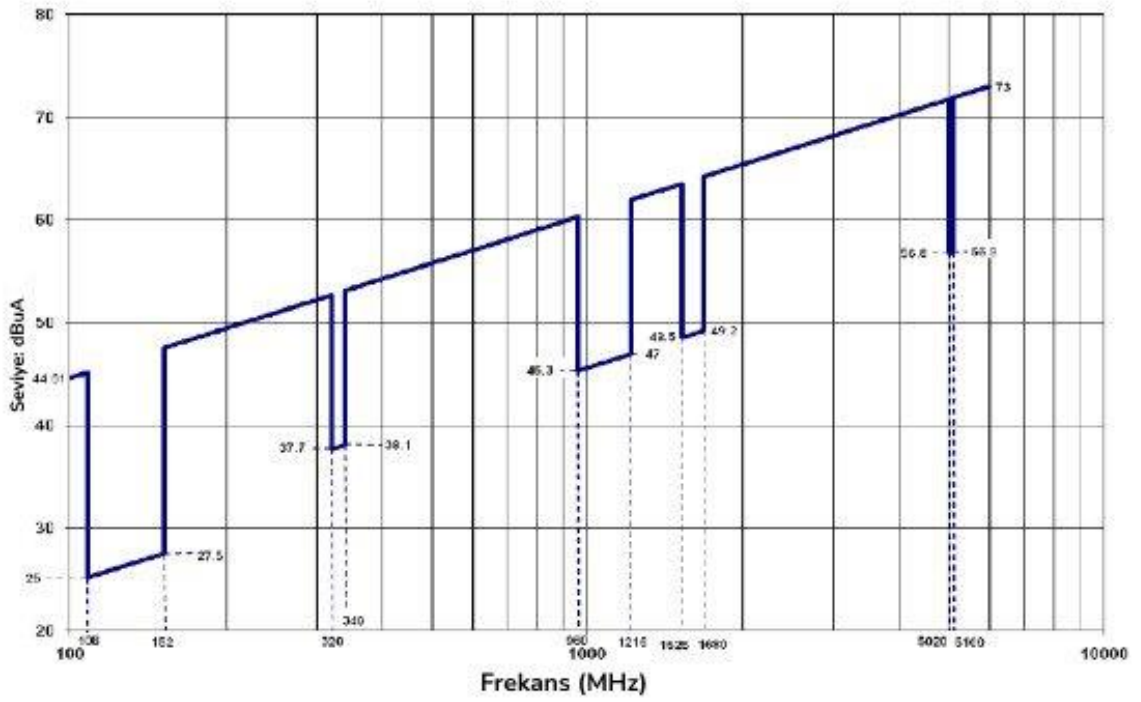


Şekil 4.18: Işıma yolu ile emisyon test şeması.

Horn anten ile gerçekleştirilen ışıma yolu ile emisyon test düzeni Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Işıma yolu ile emisyon testine ait limit seviyeleri ise Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.19: Işıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği (horn anten).



Şekil 4.20: Işıma yolu ile emisyon test limit seviyeleri.

4.3 Testlerin Planlanması

Elektromanyetik uyumluluk testleri başlamadan önce test planları yazılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir;

- Test edilecek ürünün tasarım aşaması tamamlanmıştır. Ekipmanın hangi revizyonda olduğu belirlenmiş ve ürün ağacı çıkarılmıştır.
- Test edilecek ürün genel hatları ile tanıtılmıştır.
- Test edilecek üründe kullanılmakta olan yazılım revizyonu belirlenmiştir. Test için özel bir yazılım kullanılacak ise gerçek hayatta kullanılacak yazılımı simüle ettiği kanıtlanmış ve kayıt altına alınmıştır.
- Test matrisleri hazırlandığında kaç adet numune hazırlanacağı ve test sırasının nasıl olacağı belirlenmiştir. Bu seçimler testleri gerçek hayatta ürünün karşılaşılabileceği çevresel koşulları maksimum şekilde simüle edebilmesi ön planda tutularak yapılmıştır.
- Ürünün güvenlik veya kritiklik seviyesi belirlenmiştir. Buna istinaden her test özelinde uluslararası standartlarda uygun bir şekilde test kategorileri seçilmiştir. Bu kategoriler özelinde de emisyon limit değerleri, uygulanan bozucu sinyal çeşidi ve gücü gibi kavramlar belirlenmiştir.
- Testlerde ürünün kaç adet çalışma modu olduğu ve testlerden geçme kalma kriterleri belirlenmiştir.
- Test sonuç rapor formatında yer alması istenen maddelere yer verilmiştir.

5. UÇAK İÇİ GÖRÜNTÜLEME ÜNİTELERİNİN EMC TESTLERİ

Uçak içerisinde kullanılmakta olan birçok görüntüleme ekipmanı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları uçuş içi yolcuların eğlence amaçlı kullandıkları koltuk arkası görüntüleme sistemleri, kabin görevlilerinin kullanmış olduğu anons, aydınlatma gibi sistemlerin kontrol edildiği görüntüleme üniteleri ve kokpit içerisinde pilotlara bilgi akışını sağlamak için kullanılan görüntüleme üniteleri örnek olarak verilebilmektedir.

Uçak içi eğlence (IFE) sistemleri, havayolu şirketleri, mürettebat üyeleri ve temelde yolcular gibi farklı taraflar için çeşitli hizmetler sunabilmektedir. Bu hizmetler, yazılım ve donanım bileşenleri aracılığıyla sağlanır; bazı bileşenler doğrudan yolcular tarafından kullanılırken diğerleri dolaylı olarak kullanılmaktadır [12].

Kabin içerisindeki uçuş içi eğlence sistemlerinde koltuk arkasında kullanılan görüntüleme üniteleri sayıca oldukça yüksek oldukları için kabin içerisinde yaydıkları elektromanyetik gürültünün önemi oldukça yüksektir. Standart bir dar gövdeli yolcu uçağında 185 ila 236 arasında koltuk bulunmaktadır. Bu da aynı sayıda görüntüleme ünitesinin kabin içerisinde bulunacağı anlamına gelmektedir. Geniş gövdeli uçaklarda koltuk sayısı 400'e yükselmektedir ve buna bağlı olarak görüntüleme üniteleri sayısı da artmaktadır. Kabin içi kontrol ünitesine ait bir örnek Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Kabin içi koltuk arkası görüntüleme ünitelerine ait bir örnek Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Kabin içi kontrol ünitesi.



Şekil 5.2: Koltuk arkası görüntüleme üniteleri.

Uçak içerisindeki alanın sınırlı olması sebebi ve görüntüleme ünitelerinin sayısının yüksek olması bu ünitelerin elektromanyetik uyumluluk testlerini oldukça önemli kılmaktadır. Görüntüleme ünitelerinden EMC açısından beklentiler uçak içerisindeki diğer aviyonik alt sistemleri ve ekipmanları etkilememesidir, çalışma performanslarını düşürmemesidir. Aynı şekilde yolculara normal uçuş esnasında kesintisiz bir şekilde hizmet verebilmesi için uçak içerisindeki diğer aviyonik alt sistemlerden etkilenmeden, istenilen çalışma performansını sergilemesi beklenmektedir. Acil durumlarda ise yolcuları bilgilendirmek ve yönlendirmek için kullanılan uçak içi eğlence sistemlerindeki görüntüleme üniteleri tüm durumlarda çevredeki elektromanyetik gürültüden etkilenmeden ve çevreyi etkileyecek bir elektromanyetik gürültü yaymadan çalışmalıdır.

Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen uçak içerisindeki koltuk arkası görüntüleme ünitelerine ait EMC test sonuç örnekleri paylaşılmıştır. Bu testler iletkenlik yolu ile emisyon bağımsızlık testleri ve ışıma yolu ile emisyon bağımsızlık testleridir.

5.1 Test Altındaki Cihaz

Uçak içi koltuk arkası görüntüleme üniteleri, koltuk çeşitlerine göre değişmektedir. Uçak içi ekonomi sınıflarında koltuk yapısına da bağlı olarak daha küçük üniteler kullanılırken, birinci sınıflarda daha büyük ve kompleks yapıda görüntüleme üniteleri kullanılabilir.

Teknik isterler doğrultusunda görüntüleme ünitelerinde kullanılan ses çıkışı, USB tip-A çıkışı veya USB tip-C çıkışı gibi özellikler entegre edilebilmektedir.

Müşteri tercihinine göre birinci sınıfta kullanılan görüntüleme ünitelerinin boyutları 15,6'' veya 18.5'' gibi ölçüler olmaktadır. Ekonomi sınıfında ise genellikle 11.6'' ve 13.3'' boyutlarında görüntüleme üniteleri kullanılmaktadır.

Görüntüleme ünitelerinde kullanılan işlemciler genel olarak aynı olmakla birlikte çözünürlük ve hafıza boyutları değişkenlik gösterebilir.

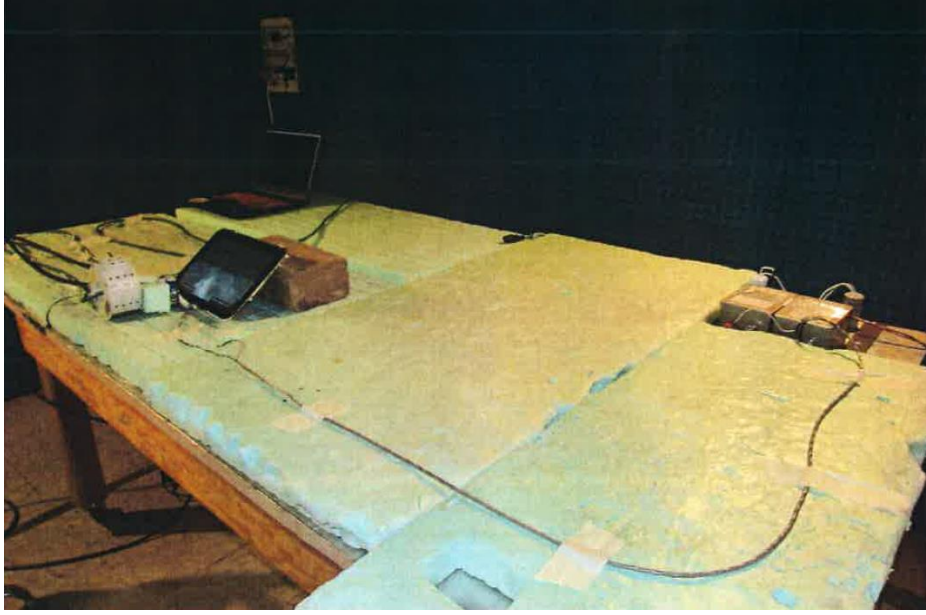
5.2 Bağışıklık Testleri

Test altındaki cihaza ışınma ve iletkenlik yolları ile elektromanyetik gürültü enjekte edilmiştir. Bu işlem sonucunda ekipman üzerinde herhangi bir performans kaybı olmaması hedeflenmiştir. Test esnasında ekipman kurban olarak düşünülmüştür. Testte uçak içerisindeki aviyonik ekipmanlardan, uçak dışı sistemlerden, yolcuların taşınabilir elektronik ekipmanları gibi cihazlardan yayılan elektromanyetik gürültü simüle edilmeye çalışılmıştır.

5.2.1 İletkenlik Yolu ile Bağışıklık Testi

Testler uluslararası kabul görmüş RTCA DO-160 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak test altındaki cihaza ait test planı oluşturulmuş devamında bu plana ve standartlara uygun olarak testler gerçekleştirilmiştir. Uygulanacak testler, test kategorileri ve test limit seviyeleri belirlendikten sonra test adımına geçilmiştir.

Test öncesinde standartlara uygun olarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Devamında yine standartlara uygun olarak test düzeneği kurulmuştur. Test altındaki cihazın bağlantı kablolarına, enjeksiyon probu ve monitör probu 5 cm aralıklar ile yerleştirilmiştir. Test altındaki cihaz için seçilen kategori ve test limitine uygun olarak test başlatılmıştır. İletkenlik yolu ile bağışıklık test düzeneğine ait bir örnek Şekil 5.3'te ifade edilmiştir.



Şekil 5.3: İletkenlik yolu ile bağışıklık test düzeneği örneği.

Bağışıklık testlerinde test altındaki cihaz kurban olarak düşünöldüğü için enjekte edilen bozucu sinyallerin test altındaki cihazda bir bozulma oluşturup oluşturmadığı kontrol edilmektedir.

5.2.2 Işıma Yolu ile Bağışıklık Testi

Testler uluslararası kabul görmüş RTCA DO-160 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Diğer testlerde olduğu gibi ilk olarak test altındaki cihaza ait test planı oluşturulmuş devamında bu plana ve standartlara uygun olarak testler gerçekleştirilmiştir. Uygulanacak testler, test kategorileri ve test limit seviyeleri belirlendikten sonra test adımına geçilmiştir.

Test öncesinde standartlara uygun olarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Devamında yine standartlara uygun olarak test düzeneği kurulmuştur. Testler sırasında kullanılan her antenin ilk olarak kalibrasyonu yapılmış devamında test düzeneği buna uygun olarak kurulmuştur. Test altındaki cihaz için seçilen kategori ve test limitine uygun olarak test başlatılmıştır.

Bu testin amacı, test edilen cihazın 100 MHz – 8 GHz frekans aralığında ışımaya yolu ile yayılan elektrik alanlarına karşı bağışıklık kabiliyetini doğrulamaktır.

Test altındaki cihaza uygulanacak elektrik alan seviyeleri aşağıda verilmiştir. Test esnasında teste giren cihazda arıza meydana gelmemelidir veya teknik özelliklerinde belirtilen toleransların dışında fonksiyon ve performans kaybı olmamalıdır. 100 MHz – 400 MHz frekans aralığı için 20 V/m - CW, 400 MHz – 8 GHz frekans aralığı için 150 V/m - PM uygulanmıştır.

Test sırasında çubuk anten, log-periyodik anten, büyük horn anten ve küçük horn anten kullanılmıştır. Kullanılan bu antenler hem yatay hem de dikey polarizasyonda konumlandırılarak testler gerçekteştirilmiştir. Şekil 5.4'de ışımaya yolu ile bağışıklık test düzeneği örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Işımaya yolu ile bağışıklık test düzeneği örneği.

5.3 Emisyon Testleri

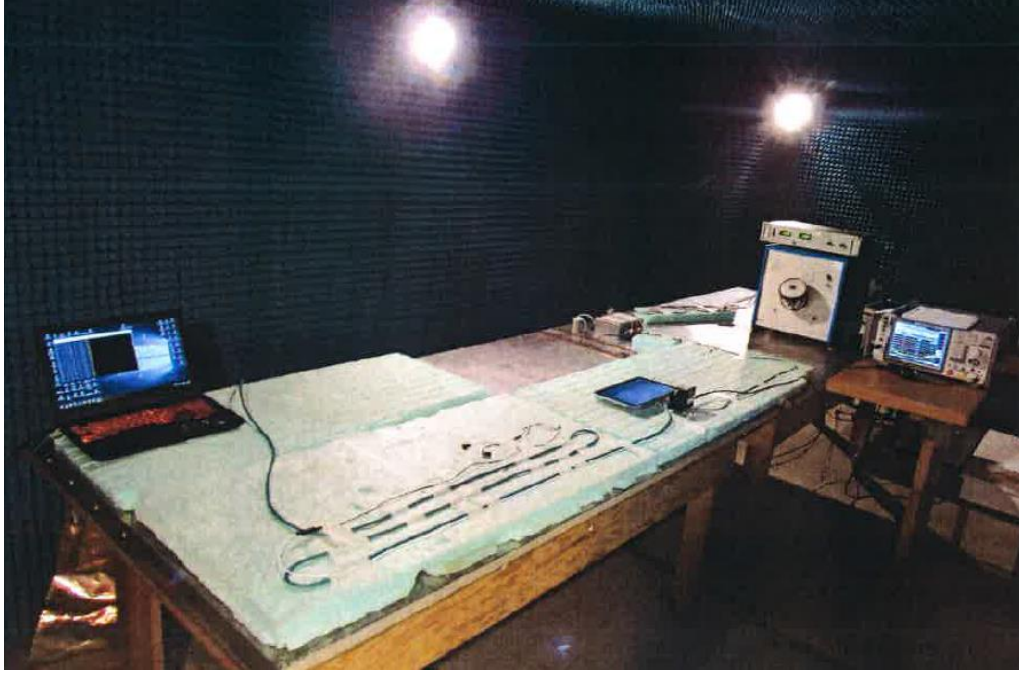
Test altındaki cihaz tarafından çevreye yayılan elektromanyetik gürültü ışıma ve iletkenlik yolları ile tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu işlem sonucunda test öncesi belirlenen elektromanyetik gürültü limit seviyelerinin aşılmaması hedeflenmiştir. Test esnasında ekipman kaynak olarak düşünülmüştür. Teste uçak içerisindeki aviyonik ekipmanların, uçak dışı sistemlerin, yolcuların taşınabilir elektronik ekipmanlarının test altındaki cihaz sebebi ile çalışma performansını kaybetmemesi amaçlanmıştır.

5.3.1 İletkenlik Yolu ile Emisyon Testi

Testler uluslararası olarak kabul görmüş RTCA DO-160 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak test altındaki cihaza ait test planı oluşturulmuştur devamında ise bu plana ve standartlara uygun olarak testler gerçekleştirilmiştir. Uygulanacak testler, test kategorileri ve test limit seviyeleri belirlendikten sonra test adımına geçilmiştir.

Kablo yolu ile iletilen gürültüler 150 kHz ile 152 MHz frekans bölgesinde besleme ve haberleşme kablolarında ölçülmektedir. Test altındaki cihaz tarafından üretilen parazit akımlar, kelepçe yapısına sahip parazit ölçüm ekipmanları ile ölçülmektedir.

Bu noktada akım probu kullanılmaktadır. Akım probu test altındaki cihazın kablosuna 5 cm uzaklıkta yerleştirilir. Test öncesinde standartlara uygun olarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Devamında yine standartlara uygun olarak test düzeneği kurulmuştur. Test altındaki cihaz için seçilen kategori ve test limitine uygun olarak test başlatılmıştır. İletim yolu ile emisyon test düzeneğine ait bir örnek Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5: İletim yolu ile emisyon test düzeneği örneği.

5.3.2 Işıma Yolu ile Emisyon Testi

Testler uluslararası olarak kabul görmüş RTCA DO-160 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak test altındaki cihaza ait test planı oluşturulmuştur devamında ise bu plana ve standartlara uygun olarak testler gerçekleştirilmiştir. Uygulanacak testler, test kategorileri ve test limit seviyeleri belirlendikten sonra test adımına geçilmiştir.

Bu test 100 MHz ile 6000 MHz arasında test altındaki cihazdan ışıma yolu ile yayılacak emisyonların ölçümü için yapılmaktadır. Test düzeneği kurulurken ekipman, güç kabloları ve bağlantı kabloları standartta tarif edilen şekle uygun olduğu kontrol edilmiştir.

Test sırasında çubuk anten, log-periyodik anten, büyük horn anten ve küçük horn anten kullanılmıştır. Kullanılan bu antenler hem yatay hem de dikey polarizasyonda konumlandırılarak testler gerçekleştirilmiştir. Yatay polarizasyon ışıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Dikey polarizasyondaki test düzeneği örneği ise Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Yatay polarizasyonda ışıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği.



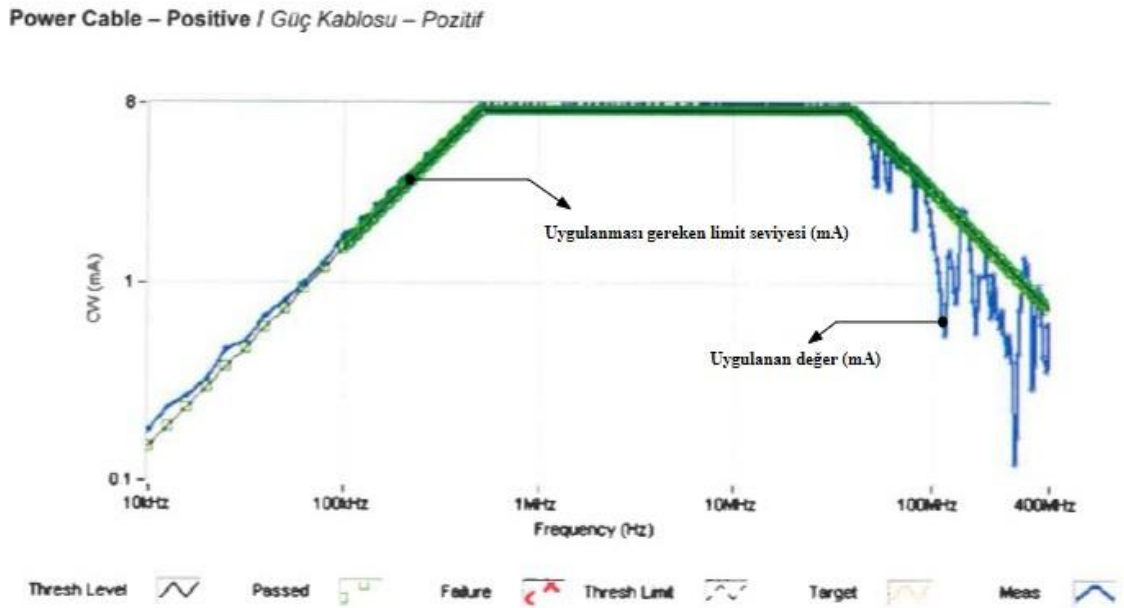
Şekil 5.7: Dikey polarizasyonda ışıma yolu ile emisyon test düzeneği örneği.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

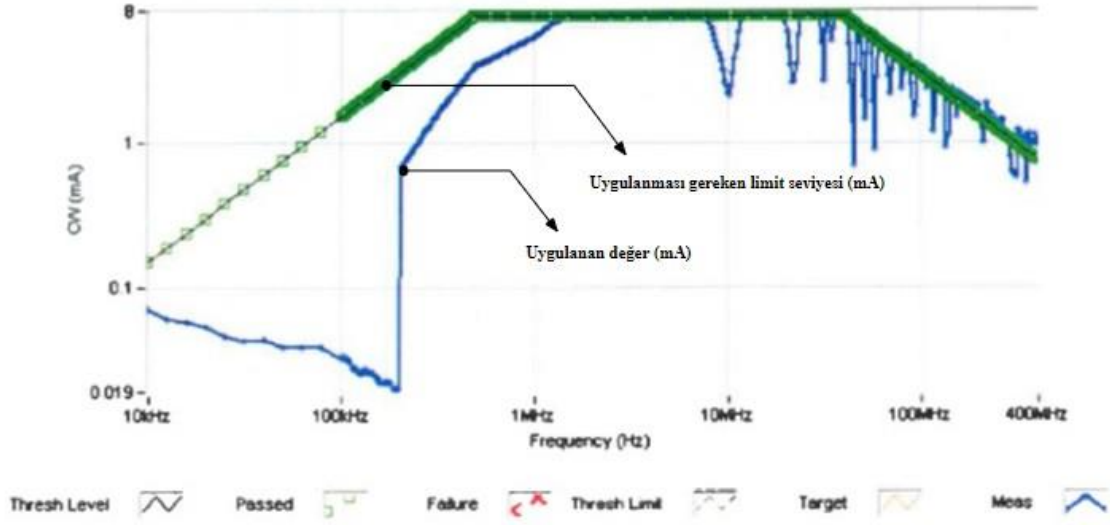
Bu tez çalışmasında uçak içerisinde kullanılan koltuk arkası konumlandırma ile yolcuların uçuş sırasında eğlence sistemi olarak kullandığı, kabin görevli bölmesinde konumlandırılması ile de kabin içi anons, ışıklandırma gibi hareketlerin kontrol edildiği ekranlar elektromanyetik uyumluluk bakış açısıyla incelenmiştir.

Elektromanyetik uyumluluğun anlaşılabilmesi adına EMC ve EMI kavramları havacılık sektörü bakış açısı ile genel hatlarıyla anlatılmıştır. Devamında ise RTCA DO-160 standardına uygun olarak iletkenlik ve ışıma yolu ile emisyon ve bağışıklık testleri incelenmiştir ve uçak içi kullanımda olan koltuk arkası bir görüntüleme ünitesinin elektromanyetik uyumluluk testleri yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

İletkenlik yolu ile bağışıklık testinde güç ve haberleşme hatlarına bozucu sinyaller ayrı ayrı enjekte edilmiştir. Pozitif ve negatif hatlara bozucu sinyaller ayrı ayrı enjekte edilmiştir. Güç hattına elektromanyetik gürültünün enjekte edilmesine ait test sonucu grafiği Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Güç hattına elektromanyetik gürültünün enjekte edilmesi.



Şekil 6.2: Haberleşme hattına elektromanyetik gürültünün enjekte edilmesi.

Haberleşme hattına elektromanyetik gürültünün enjekte edilmesine ait test sonucu grafiği Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

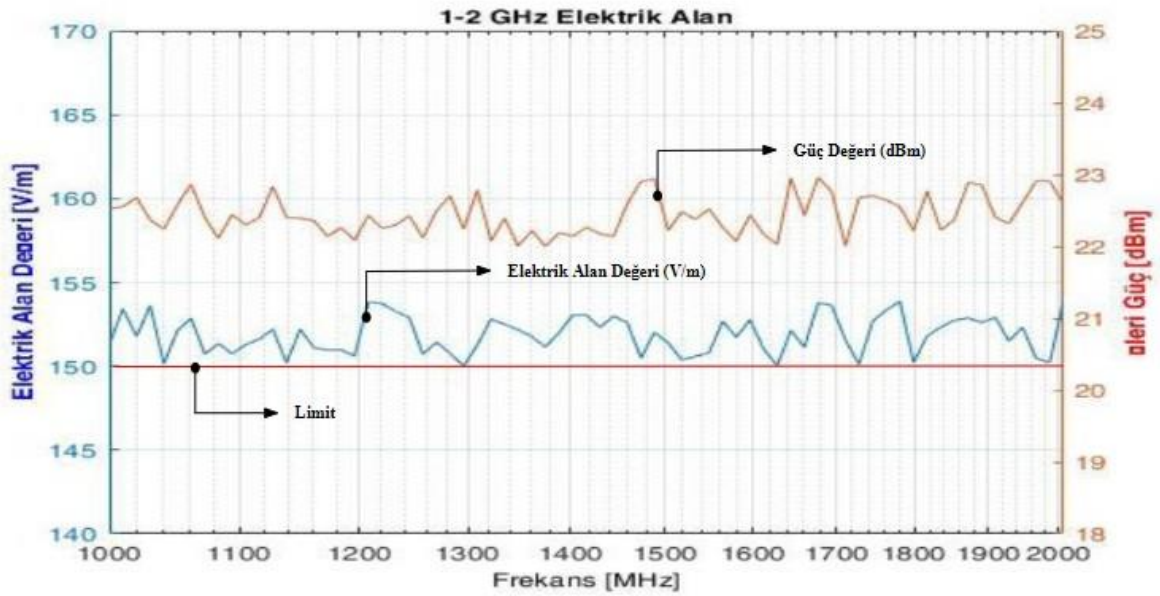
Gerçekleştirilen testin sonucu incelendiğinde hedeflenen bozucu sinyallerin gönderilmesinde bir sorun olmadığı ve standartta talep edilen değerlere ulaşıldığı tespit edilmiştir. Test öncesi gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerinde de hedeflenen gürültünün uygulanabilirliği test edilmiştir. Testin bir bağışıklık testi olması sebebi ile test esnasında test altındaki ürünün performansı izlenmiştir. Söz konusu performans kriterleri koltuk arkası görüntüleme ünitesinin haberleşme hattında bir kopma yaşanmaması ve test sırasında oynatılan videoda görüntü ve ses kaybının yaşanmamasıdır. Test süresince söz konusu performans kriterleri gözlenmiş ve herhangi kayıp yaşanmamıştır.

İletim yolu ile bağışıklık testinde yaratılmaya çalışılan durum, test altındaki cihaza uçak içerisinde bulunan başka bir elektronik ekipmandan ilettim yolu ile enjekte olabilecek elektromanyetik gürültünün oluşturulmasıdır. Test esnasında bu söz konusu elektromanyetik gürültü test altındaki cihaza uygulanmıştır. Sonuç olarak test altındaki cihaz ışıma yolu ile bağışıklık testinden başarı ile geçmiştir.

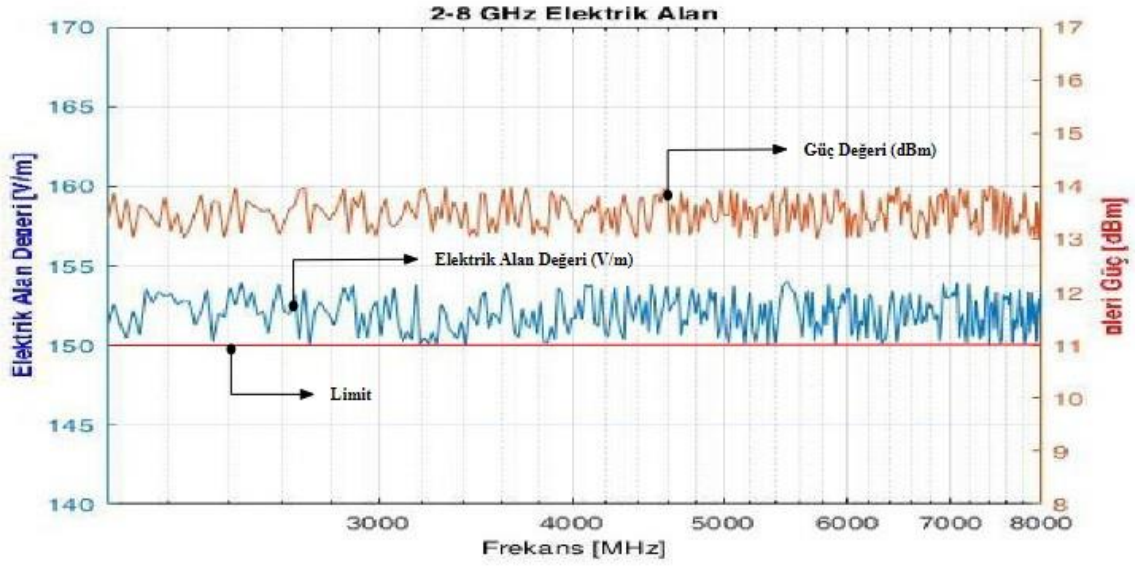
Işıma yolu ile bağımsızlık testinde elektromanyetik gürültü RTCA DO-160G standardında talep edilmiş olan, 100 MHz – 400 MHz frekans aralığı için 20 V/m - CW, 400 MHz – 8 GHz frekans aralığı için ise 150 V/m – PM olarak yatay ve dikey anten polarizasyonunda ayrı ayrı olacak şekilde uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen testlerin sonuçlarından 1 GHz – 2 GHz arası yatay eksen ölçüm sonucu Şekil 6.3’de gösterilmiştir.

Gerçekleştirilen testlerin sonuçlarından 2 GHz – 8 GHz yatay eksen ölçüm sonucu ise Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3: 1 GHz – 2 GHz yatay eksen ölçüm sonucu.



Şekil 6.4: 2 GHz – 8 GHz yatay eksen ölçüm sonucu.

Gerçekleştirilen testin sonucu incelendiğinde hedeflenen bozucu sinyallerin gönderilmesinde bir sorun olmadığı ve standartta talep edilen değerlere ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu değerlerin ölçümü sırasında elektrik alan problemleri kullanılmıştır. Test öncesi gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerinde de ulaşılmaması gereken gürültünün uygulanabilirliği kontrol edilmiştir.

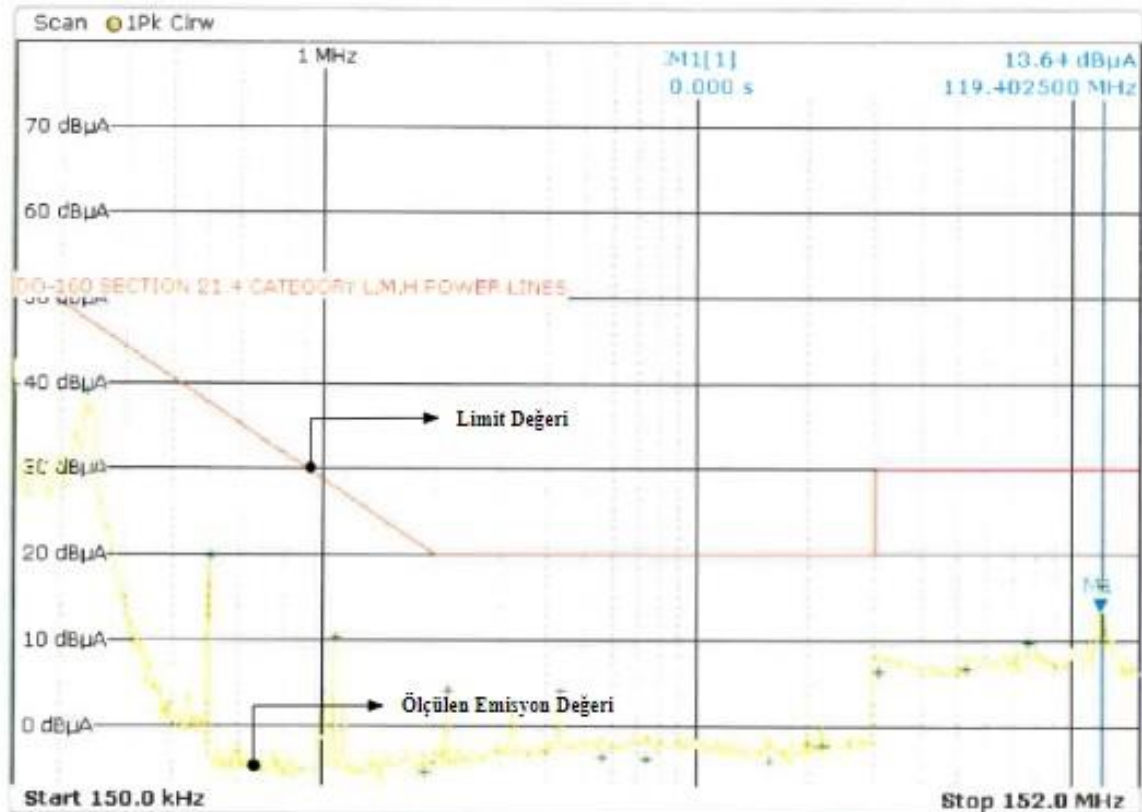
Testin bir bağışıklık testi olması sebebi ile test esnasında test altındaki ürünün performansı izlenmiştir. Söz konusu performans kriterleri koltuk arkası görüntüleme ünitesinin haberleşme hattında bir kopma yaşanmaması ve test sırasında oynatılan videoda görüntü ve ses kaybının yaşanmamasıdır. Işıma ve iletkenlik yolu ile bağışıklık testlerinde performans kriterleri benzer olarak seçilmiştir. Test süresince söz konusu performans kriterleri gözlenmiş ve herhangi bir kayıp yaşanmamıştır.

Işıma yolu ile bağışıklık testinde yaratılmaya çalışılan durum, test altındaki cihaza uçak içerisinde başka bir elektronik ekipmandan ışımaya yolu ile enjekte olacak elektronik gürültünün oluşturulmasıdır. Test yarı yansız test odasında gerçekleştirilmiştir. Test sırasında oda içerisinde insan sağlığı sebebi ile kimse bulunmayıp, kameralar yardımı ile test

altındaki cihazın performansı incelenmiştir. Test esnasında söz konusu elektromanyetik gürültü test altındaki cihaza uygulanmıştır. Sonuç olarak test altındaki cihaz ışıma yolu ile bağışıklık testinden başarı ile geçmiştir.

İletim yolu ile emisyon testlerinde test altındaki cihaz kaynak olarak düşünöldüğü için test altındaki cihazdan yayılan emisyon seviyesi iletkenlik yolları üzerinden kontrol edilmiştir. Kalibrasyon sırasında akım probuna 150 kHz'de sınırın en az 6 dB altında bir sinyal gönderilmiştir. Akım seviyesi osiloskobu kullanılarak uygun yük direnci belirlenmiştir. Aynı zamanda akımın dalga seviyesinin sinüzoidal olduğu doğrulanmıştır.

Şekil 6.5'de test altındaki cihazın güç kablosundan alınan ölçümler doğrultusunda iletkenlik yolu ile gerçekleştirilen emisyon testine ait test sonucu gösterilmiştir.



Şekil 6.5: İletim yolu ile emisyon testi güç kablosu test sonucu.

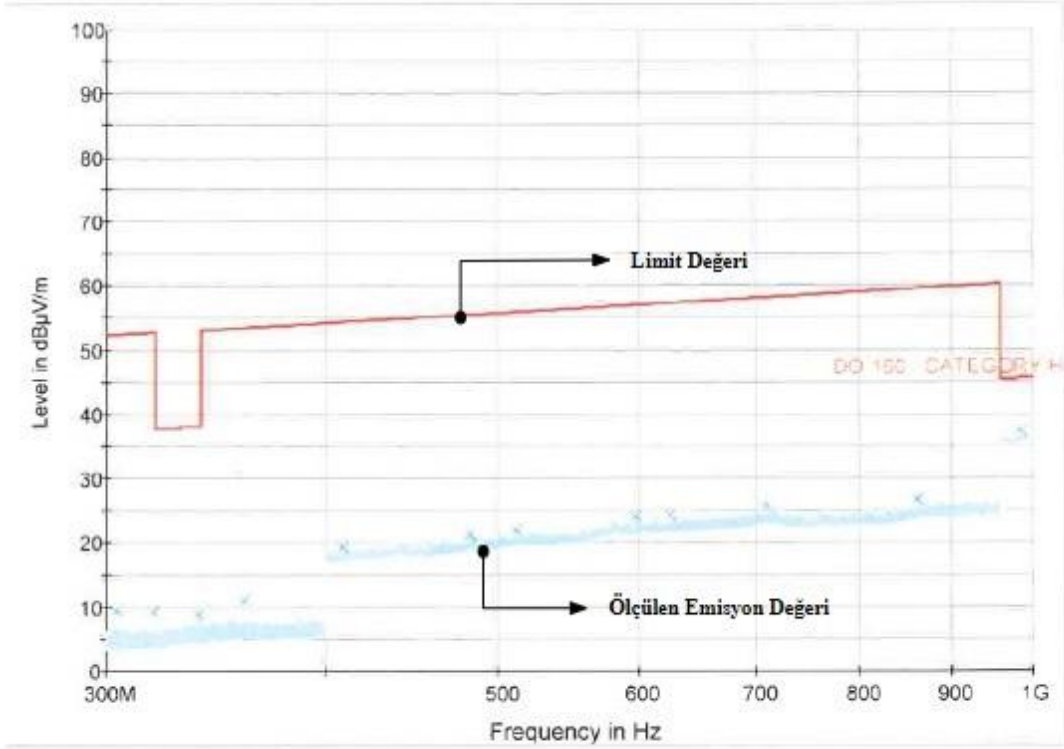
İletim yolu ile emisyon test sonuçları incelendiğinde test altındaki cihazdan yayılan emisyon seviyelerinin hedeflenen limit değerlerinin altında kaldığı görülmüştür. Bu test senaryosunun amacı, test altındaki cihazdan iletim yolları ile uçak içerisindeki diğer elektronik ekipmanlara ulaşacak elektromanyetik gürültünün seviyesinin tespit edilmesidir. Testte başarı kriteri, test altındaki cihazdan yayılacak elektromanyetik gürültü seviyesinin RTCA DO-160G standardındaki limit grafiklerinde yer alan emisyon seviyelerinin altında kalmasıdır. Şekil 6.5’de görüldüğü üzere ölçülen emisyon seviyeleri sarı renk ile gösterilmiştir ve kırmızı renk ile belirtilen limit seviyelerinin altında kalmıştır.

Sonuç olarak test altındaki cihazın uçak içerisinde yerleştirildiğinde çevresindeki diğer aviyonik ekipmanlara, yolcuların kişisel elektronik ekipmanlarına veya yer sistemleri için bir tehdit oluşturmadığı kanıtlanmıştır ve ekipman iletkenlik yolu ile emisyon testinden başarı ile geçmiştir.

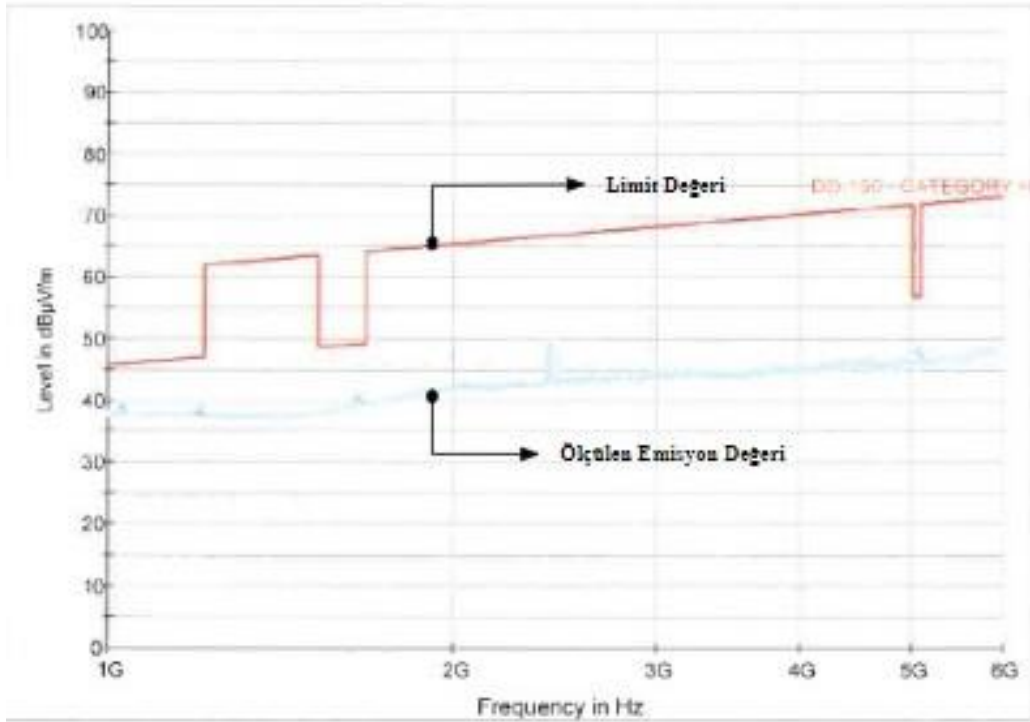
Işıma yolu ile emisyon testlerinde de iletkenlik yolu ile emisyon testlerine benzer olarak test altındaki cihaz kaynak olarak düşünüldüğü için test altındaki cihazdan yayılan emisyon seviyesi ışımaya yolları üzerinden kontrol edilmiştir. Bu test senaryosunda amaçlanan durum test altındaki cihazdan yayılabilecek elektromanyetik gürültülerin ışımaya yolları ile uçak içerisinde bulunan diğer aviyonik ekipmanlara olası etkisini analiz etmektir.

Işıma yolu ile emisyon testinde 100 MHz ile 6000 MHz frekans aralığı yatay ve dikey polarizasyonda taranmıştır. Işıma yolu ile gerçekleştirilen emisyon testine ait 300 MHz – 1 GHz ölçüm sonucu Şekil 6.6’da gösterilmiştir. 1 GHz – 6 GHz aralığına ait ölçüm sonucu ise Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

Işıma yolu ile emisyon test sonuçları incelendiğinde test altındaki cihazdan yayılan emisyon seviyelerinin hedeflenen limit değerlerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Testte başarı kriteri, test altındaki cihazdan yayılacak elektromanyetik gürültü seviyesinin RTCA DO-160G standardındaki limit grafiklerinde yer alan emisyon seviyelerinin altında kalmasıdır. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de görüldüğü üzere ışımaya yolu ile ölçülen emisyon seviyeleri mavi renk ile gösterilmiştir ve kırmızı renk ile belirtilen limit seviyelerinin altında kalmıştır.



Şekil 6.6: Işıma yolu ile emisyon testi 300 MHz – 1 GHz ölçüm sonucu.



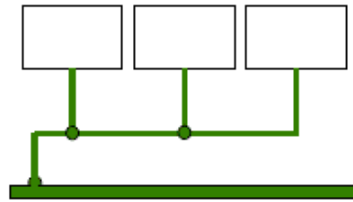
Şekil 6.7: Işıma yolu ile emisyon testi 1 GHz – 6 GHz ölçüm sonucu.

Özellikle uçak içerisinde ilgili ekipmandan birden fazla bulunduğu durumlarda ışıma yolu ile emisyon testi daha fazla önem kazanmaktadır. Uçakların haberleşme frekanslarında test altındaki cihazın uçakta bulunan diğer haberleşme ekipmanları ile bir girişim yapması kesinlikle istenmeyen bir durumdur.

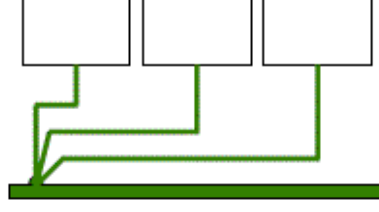
Sonuç olarak test altındaki cihazın uçak içerisinde yerleştirildiğinde çevresindeki diğer aviyonik ekipmanlara, yolcuların kişisel elektronik ekipmanlarına veya yer sistemleri için bir tehdit oluşturmadığı kanıtlanmıştır ve ekipman ışıma yolu ile emisyon testinden başarı ile geçmiştir.

Test sonuçları belirtildikten sonra ilgili testlerden başarı elde edilmesi için görüntüleme ünitelerinin tasarımları yapılırken dikkat edilmiş olan noktalar öneri olarak aşağıdaki gibi sunulmuştur.

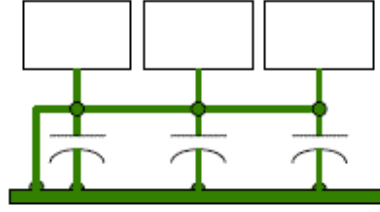
1. Ürün üzerindeki topraklama noktaları belirlenmiştir. Bu topraklama noktaları baskı devre kartı ve filtreler üzerinde bulunmaktadır. Aynı zamanda güç hatları, işaret hatları ve cihaz kasası da topraklanmıştır. Şekil 6.8’de tek noktadan topraklanmış bir sistem örneği gösterilmiştir. Şekil 6.9’da ise çoklu şekilde bir noktadan topraklanmış sistem örneği gösterilmiştir. Şekil 6.10’da karma topraklama sistemi gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Tek noktadan topraklama tekniği.

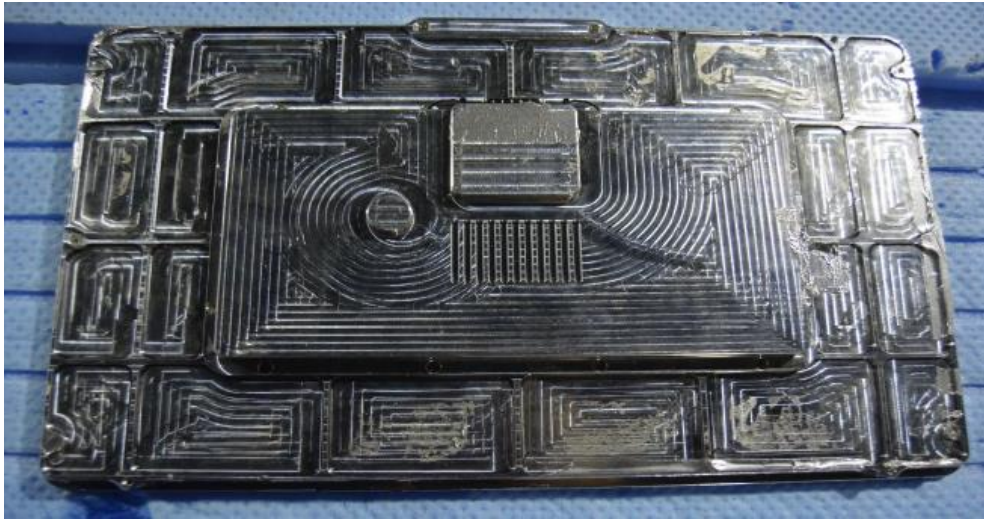


Şekil 6.9: Çoklu şekilde topraklama tekniği.



Şekil 6.10: Karma topraklama tekniği.

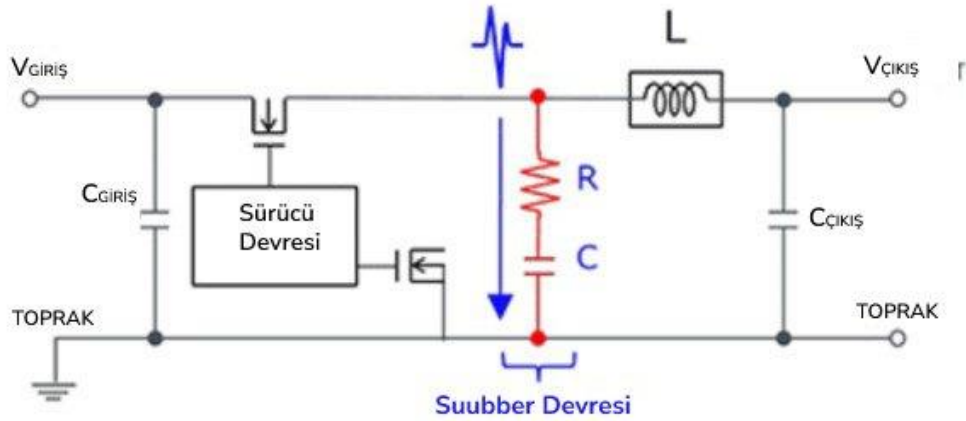
2. Ekranlama metodu kullanılmıştır. Ekranlama işlemi ekipman içerisindeki ortamı dış elektromanyetik ortamdaki ortama izole etmiştir. Aynı zamanda ekipman içerisindeki iç elektromanyetik ortamın dışarıya sızmasını engellemiştir. Bu şekilde özellikle ışınım yolu ile yapılan testlerde pozitif katkı sağlanmıştır. Şekil 6.11’de görüntüleme ünitesinin dış – arka yüzeyinin ekranlama işlemi için iletken yapıda olduğu görülmektedir.



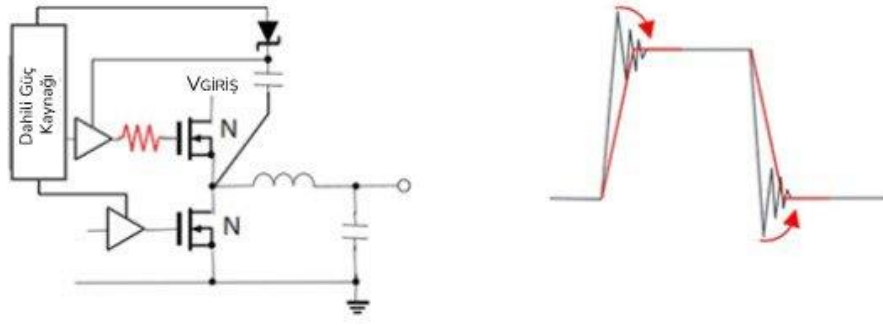
Şekil 6.11: Görüntüleme ünitesi dış yüzeyi ekranlama örneği.

3. Baskı devre kartı üzerindeki bağ noktalarına özellikle dikkat edilmiştir. Bağ noktası iki iletken arasındaki elektriksel bağlantıya verilen isimdir. Referans noktalarının baskı devre kartı üzerinde her yerde aynı olması amaçlanmıştır. Bu da bağlantıların çok düşük empedans ile yapılması sonucunda oluşmuştur.
4. Baskı devre kartı dizaynı aşamasında snubber devreleri kullanılmıştır. Anahtarlama elemanlarının ilettime girmesi esnasında hızlı bir akım yükselmesi gerçekleşmektedir. Anahtarlama elemanının izin verdiği değerin üstünde olan bu yükselmenin engellenmesi için snubber devreleri kullanılmıştır. Aynı şekilde anahtarlama elemanlarının kesime girmesi esnasında da anahtarlama uçları arasında yüksek gerilimler oluşmaktadır. Bunun da önüne geçmek için snubber devresi kullanılmıştır. Şekil 6.12’de snubber devresine örnek gösterilmiştir.

Elektromanyetik uyumluluk açısından gerilim ve akım yükselişlerinin önüne geçilmesi ekipman üzerinde testler açısından iyileştirme sağlamıştır. Şekil 6.13’de söz konusu iyileştirmeye örnek verilmiştir.

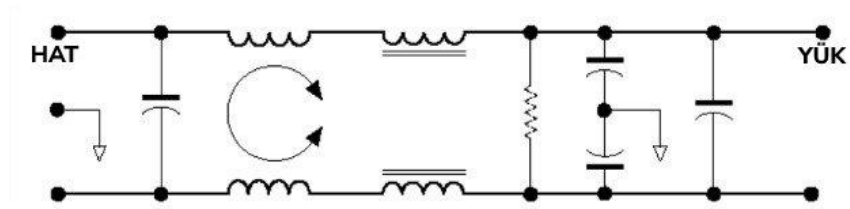


Şekil 6.12: Örnek snubber devresi.

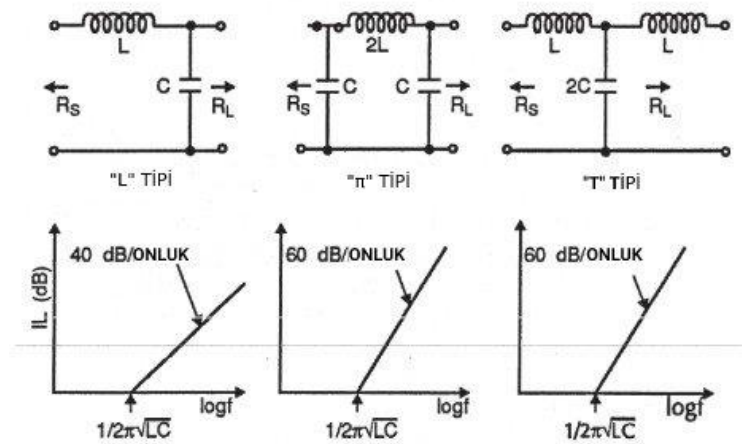


Şekil 6.13: Snubber devresinin akıma etkisi.

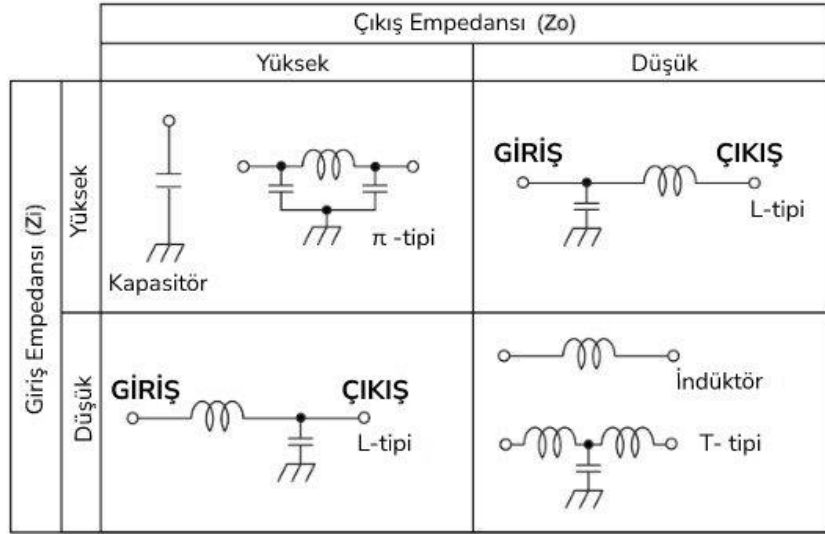
5. Filtreleme işlemleri baskı devre kartı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Filtreler iletkenler üzerinden yayılan elektromanyetik girişimi engellemek amacı ile kullanılmıştır. Şekil 6.14'de örnek bir filtre şeması gösterilmiştir. Filtre çeşitleri yapılarına göre "L", " π " ve "T" tipleri olarak adlandırılır. Kullanılan filtre yapısına istinaden araya girme kayıpları Şekil 6.15'de gösterilmiştir.



Şekil 6.14: Elektronik filtre şemaları.



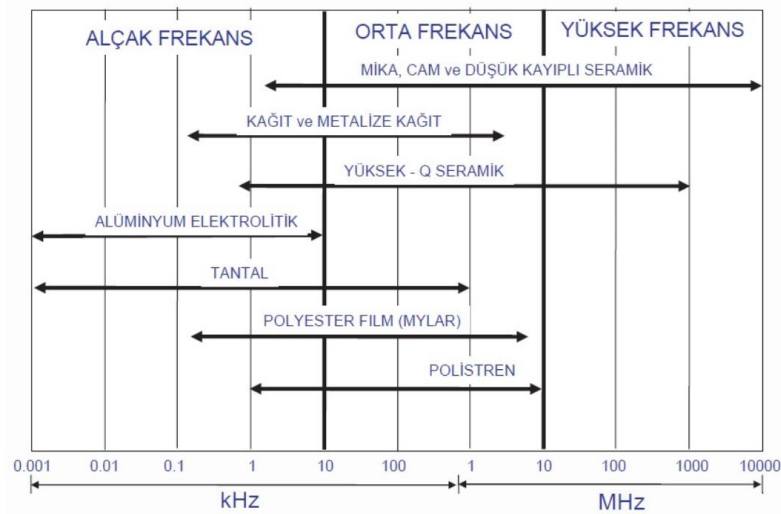
Şekil 6.15: Filtre tiplerinin araya girme kayıp oranları.



Şekil 6.16: Empedans duruma göre seçilebilecek filtre çeşitleri.

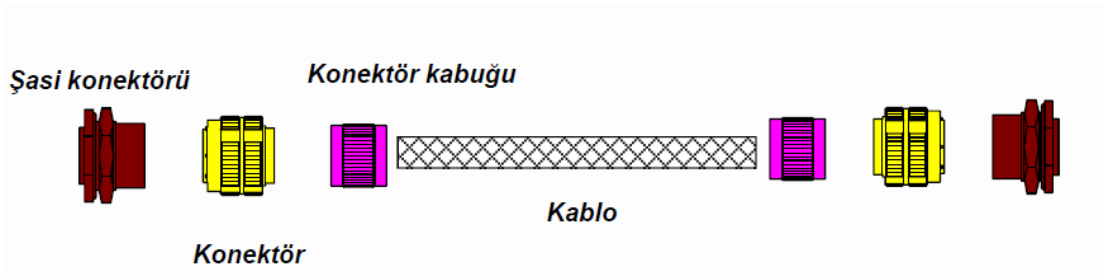
Filtre çeşitleri baskı devre kartındaki tasarıma, kullanım yerine ve şekline göre değişmiştir. Giriş veya çıkış empedans seviyelerine bağlı olarak seçilmesi önerilen filtre çeşitleri Şekil 6.16'da gösterilmiştir.

- Baskı devre kartında kullanılan kondansatörler devrenin çalışma frekansına göre uygun malzemede seçilmiştir. Kondansatörlerde malzeme yapısı – frekans arasındaki ilişki Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17: Kondansatör malzemeleri ve çalışma frekansları arasındaki ilişki.

7. Ekipmanların kabloları elektromanyetik uyumluluk açısından önemli bir noktadadır. Devre elemanlarından biri olan kablo elektromanyetik enerjiyi hedef yüke kadar taşımaktadır. Sistemlerde genellikle en uzun ekipman oldukları için elektromanyetik gürültünün alıcısı veya vericisi olarak yani bir anten gibi davranabilirler. Bu durumu engellemek adına kablolar örgü iletken yapı içerisinde taşınmıştır. Kablonun iki ucunda bulunan konektörlerde şasi olarak düşünülüp iletken örgü yapı bu şasilerde sonlandırılmıştır. Şekil 6.18’de örnek bir kablolama yapısı gösterilmiştir.



Şekil 6.18: Örnek bir kablolama yapısı.

6.1 Araştırma Sonuçları

Bu tez çalışması sonucunda havacılıkta kullanılan aviyonik ekipmanlardan olan, koltuk arkası görüntüleme ünitelerinin elektromanyetik uyumluluk test süreci analiz edilmiştir. Söz konusu test süreci ilk etapta test planlarının hazırlanması ile başlamaktadır. Test planları hazırlanırken içerisinde yer alması gereken detayların içeriği konusunda bilgiler verilmiştir. Bu bilgilerden en kritik olanları; hedeflenen testin hangi standarda uyumlu olması gerektiği ve bu standartta hangi kategori altında test edileceğidir.

Test sürecindeki ikinci adım olan testin gerçekleştirileceği laboratuvara karar verilmesi adımında izlenmesi gereken yollar ve dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir. Bu aşamada laboratuvar akreditasyonu, test ekipmanlarının kalibrasyonu gibi süreçler önem arz etmektedir.

Test sürecindeki üçüncü aşama olan, testlerin icrası noktasında dikkat edilmesi gerekli olan noktalara değinilmiştir. Testler sırasında ışımaya yolu ile emisyon testleri esnasında referans

alınan standartta verilen limit değerlerinin ilk test aşamada aşıldığı görülmüştür. Limit aşımı olan frekans aralığı 120 MHz ile 160 MHz aralığı olmuştur. Bu frekans band aralığı incelendiğinde, test edilen ekipmanda bulunan haberleşme modülünün çalışma frekansının 120 MHz ile 160 MHz aralığı olduğu saptanmıştır. Yapılan kontroller sonucunda haberleşme modülünün devre çıkışına bir filtre devresi yerleştirilmediği tespit edilmiştir. İlgili haberleşme modülün çıkışına π tipi bir filtre yerleştirilmiştir. Testler tekrarlandığında 120 MHz ile 160 MHz frekans band aralığındaki limit aşımının gerçekleşmediği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak söz konusu elektromanyetik uyumluluk sorunu bu şekilde çözülmüştür.

Testlerin sonuçları incelendikten sonra, elektromanyetik uyumluluk konusunda bir sorun yaşanmaması için tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken noktalardan bahsedilmiştir. Tasarım aşamasında bu bilgiler ışığında tasarımı gerçekleştirmek ilerleyen süreçte tasarım tamamlandıktan sonra gerçekleştirilecek testlerde çıkabilecek olası problemlerin önüne geçilmesi konusunda fayda sağlayacaktır. Test sırasında fark edilen eksikliklerin giderilmesi için tasarımın değişme süreci projeleri hem zaman hem de bütçe olarak oldukça sıkıntıya sokmaktadır. Eğer mümkünse tasarım aşaması devam ederken ön testlerin gerçekleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Üstüner, F., “Elektromanyetik Uyumluluğa Giriş Ve Temel Kavramlar”, Paket Eğitimi, *Tübitak UEKAE Ulusal Elektronik Ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü*, Ankara, (2005).
- [2] C. M. Yıldız, “Elektromanyetik Uyumluluk İçin İletim Yollu Elektromanyetik Girişime Karşı Bağışıklık Artırma Ve İletim Yollu Emisyon Azaltma Teknikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, (2020).
- [3] J. C. Maxwell, “A Treatise on Electricity and Magnetism (Vol.1)”, *The Clarendon Press*, Oxford, (1873).
- [4] İ. Bacanak, “Helmholtz Dalga Denkleminin Analizi: Maxwell Denklemleri Ve Silindirik Elektromanyetik Dalgalar”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2018).
- [5] Griffiths, D. J., Elektromagnetic Teori (Çev. Ed. Karaoğlu, B.), 2. Baskı, *Arte Yayıncılık*, İstanbul, (1996).
- [6] O. Çerezci, Z. Kartal, K. Pala, A. Türkkan, “Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri”, *F. Özsan Matbaacılık*, Bursa, (2012).
- [7] Wikipedia, “Elektromanyetik Spektrum, [online]”, Erişim Tarihi: 10 Mayıs 2022, https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_spektrum.
- [8] Üstüner, F., “MIL-STD-461E”, Paket Eğitimi, *Tübitak UEKAE Ulusal Elektronik Ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü*, Ankara, (2006).
- [9] B. Özken, “Monopol Antenlerin Çalışma Karakteristiğinin Çeşitli Yöntemlerle Düzenlenmesi ve Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İskenderun, (2021).
- [10] Ö. Ergül ve L. Gürel, “Elektromanyetik Benzetim Ortamında Genetik Algoritmalar Kullanarak Geniş Bantlı Log-Periyodik Anten Dizgesi Tasarımı”, *Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü*, Ankara, (2015).
- [11] N. B. Alpaydin, “Radar Uygulamalarında Horn Antenler İçin Dielektrik Mercekli Lens Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2019).
- [12] A. Akl, T. Gayraud, P. Berthou, “Key Factors in Designing In-Flight Entertainment Systems”, *CNRS-LAAS, Université de Toulouse*, Toulouse, (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Özgür Tufan

Doğum tarihi ve yeri : 27.03.1994 / Çorlu

e-posta : ozgur.tufann@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / Elektrik Mühendisliği	2018
Lise	Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	2013