

**BİNEK ARAÇLARIN SİNYAL LAMBALARININ
SÜRÜCÜ DEVRE KARTLARINDA
ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM ANALİZİ ve
OPTİMİZASYONU**

Özgür ÇEVİK



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNEK ARAÇLARIN SİNYAL LAMBALARININ SÜRÜCÜ DEVRE
KARTLARINDA ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM ANALİZİ ve
OPTİMİZASYONU**

Özgür ÇEVİK
501805007

Prof. Dr. Güneş YILMAZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİNEK ARAÇLARIN SİNYAL LAMBALARININ SÜRÜCÜ DEVRE KARTLARINDA ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM ANALİZİ ve OPTİMİZASYONU

Özgür ÇEVİK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) yaşamın her alanında önemli olduğu gibi otomotiv endüstrisinde de önem taşımaktadır. Önlemler alınmadığı takdirde elektromanyetik alanlardan etkilenen otomobillerde öngörülmesi zor olan kazalar olabilmektedir. Elektrik ile çalışan cihazlarda akımların oluşturduğu elektrik ve manyetik alanların birbirleri ile etkileşimi sonucunda ortaya çıkan girişimler çalışma kararlılığını etkileyebilir. Bu nedenle girişim kaynakları ve kurbanlar belirlenmeli, önlemler alınarak sistem kararlılığının korunması hedeflenmelidir.

Tez çalışmasında otomotiv sinyal lambasına ait devre kartının oluşturabileceği elektromanyetik emisyonlar incelenmiştir. Girişim kaynağı olan devrenin tasarımında yapılan değişikliklerin emisyon seviyelerini etkilediği görülmüştür. İletim ve yayılım yoluyla yapılan emisyon ölçümleri ilk olarak tasarımda anahtarlama ve giriş kondansatörlerinin yer aldığı durum için gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bu kondansatörlerin yer almadığı tasarım için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Aynı ölçümler devrede bulunan ferrit ile direnç değişikliği yapılarak gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlar birbirleri ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

İletim yoluyla yapılan emisyon ölçümleri esnasında düşük frekans bölgesinde limitlere yaklaşıldığı görülmüştür. Devredeki gerilim düşürücü dönüştürücünün anahtarlama frekansı olan 200kHz'e yakın frekanslarında üst limitler ile farkın yaklaşık 10 dBuV'a düşmesi ile kritik seviyelere yaklaşılmıştır. Ferrit yerine direnç kullanılan devrede ise tüm frekans aralığında yaklaşık olarak 20dBuV zayıflama olduğu görülmüştür. Yayılım yoluyla yapılan emisyon ölçümlerinde sonuçların birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Anahtarlama kondansatörü bulunmayan devrenin 30MHz ile 40MHz aralığında, diğer devrelere göre 6dBuV bir zayıflama yaptığı ölçülmüştür. Alınan ölçümler sonucunda yayılım yolu girişimleri önlemek için anahtarlama kondansatörünün etkili olduğu, iletim yolu girişimleri önlemek için ise ferrit kullanımının etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik uyumluluk, elektromanyetik girişim, otomotiv endüstrisi, iletim yoluyla emisyon, yayılım yoluyla emisyon, kondansatör, ferrit
2021, xii + 57 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN
CIRCUIT OF SIGNAL LAMPS ON THE PASSENGER VEHICLES

Özgür ÇEVİK

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Electromagnetic Compatibility (EMC) is important in all areas of life, as well as in the automotive industry. Accidents that are difficult to predict can occur as a result of a vehicle that we drive can be affected by electromagnetic fields. Interferences that occur as a result of the interaction of electric and magnetic fields created by currents in electrically operated devices can affect the operating stability. For this reason, sources of interference and victims should be determined and it should be aimed to prevent malfunctions by taking on-site measures.

In thesis study, the electromagnetical emissions that can be created from an automotive signal lamp through the circuit board were examined. The effect of the lighting product which is a source of interference, on the emission values has been observed with the changes made in the circuit design. Radiated emission and conducted emission measurements were taken firstly with the switching and input capacitors in the circuit design. Then same measurements were taken without switching and input capacitors. Same emission measurements were made by changing the resistor with the ferrite bead in the circuit. The measurements were compared each other and reached to the conclusion.

During the emission measurements made by conduction, was observed the limits were approached in the low frequency region. The difference decreased to approximately 10 dBuV with the upper limits at frequencies close to 200kHz, which is the switching frequency of the step-down converter in the circuit. Using resistor instead of ferrite In the circuit, it has been observed that there is an attenuation of approximately 20dBuV in the entire frequency range. The measurements made by radiated, showed close results with each other. It has been measured that the circuit without a switching capacitor has an attenuation of 6dBuV compared to other circuits in the range of 30 MHz to 40 MHz. As a result of the measurements, it has been seen that the capacitor is effective to prevent radiated interference, and ferrite bead is effective to prevent conduction interference.

Key words: Electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, automotive industry, conducted emission, radiated emission, capacitor, ferrite bead
2021, x + 57 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde bilimsel desteği ve değerli yorumları ile çalışmamın her aşamasında yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Güneş YILMAZ'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Gösterdiği sabır ve anlayış ile tez çalışmam esnasında beni cesaretlendiren değerli eşim Nur AKAN ÇEVİK'e ve sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Tezim içerisindeki ölçümlerin gerçekleşmesini sağlayıp, büyük bir özveri göstererek Consept EMC laboratuvarının kapılarını sonuna kadar açan Dr. Nuh YALÇIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Değerli yöneticilerime ve bu tez çalışmasında kullanılan cihazın gerçekleşmesini sağlayan FEKA Otomotiv'e teşekkürlerimi sunarım.

Özgür ÇEVİK
12/11/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Elektromanyetik Teori.....	3
2.1.1 Düzlemsel Elektromanyetik Dalgalar	6
2.1.2 Elektromanyetik Dalgaların Enerjisi.....	7
2.1.3 Elektromanyetik Dalgaların Yoğunluğu (Güç Yoğunluğu)	8
2.2. Elektromanyetik Girişim	9
2.3. Elektromanyetik Uyumluluk ve Testleri	11
2.3.1. Emisyon Testleri	13
2.3.2. Bağışıklık (Immunity) Testleri.....	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	31
3.1. Işık Yayan Diyot (LED)	31
3.2. DC/DC Dönüştürücü Devreler	33
3.2.1 Gerilim Düşüren DC/DC Dönüştürücüler	33
3.2.2 Gerilim Yükselten (Boost) Dönüştürücüler	36
3.3 Baskı Devre Kartı Tasarımı.....	37
4. BULGULAR	42
4.1. Ferrite Bead Etkisi.....	44
4.2. Giriş Kondansatörlerinin Etkisi.....	46
4.3. Anahtarlama Kondansatörlerinin Etkisi	48
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
B	Manyetik alan
$\text{dB}\mu\text{V}$	Desibel mikrovolt
E	Elektrik alan
F	Kuvvet
InGaN	İndiyum galyum nitrit
$k(w)$	Dalga sayısı
l	Kapalı bir yol
q	Elektrik yükü
S	Kapalı bir alan
$u[n]$	S yüzeyine dikey birim vektör
μF	Mikro farad
W	Toplam enerji yoğunluğu
W(e)	Elektrik alanın boşlukta enerji yoğunluğu
W(m)	Manyetik alanın boşlukta enerji yoğunluğu
λ	Dalga boyu
ε	Dielektrik sabiti
μ	Manyetik geçirgenlik
j	Elektromanyetik dalga yoğunluğu
ξ	İletilen bozulma

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Alternatif Akım
AEC	Otomotiv Onaylı
ALSE	Emici Korumalı Muhafaza
AN	Anten
CE	İletilen Emisyon
CI	İletilen Bağışıklık
CISPR	Uluslararası Radyo Girişimi Özel Komitesi
CTRL	Kontrol
DC	Doğru Akım
DUT	Test Altındaki Cihaz
EM	Elektromanyetik
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Elektromanyetik Girişim
ESD	Elektrostatik Deşarj
EUT	Test Altındaki Ekipman
FB	Ferit
FCC	Federal İletişim Komisyonu
FET	Alan Etkili Transistor
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IC	Tümleşik Devre
LED	Işık Yayan Diyot
LISN	Hat Empedansı Stabilizasyon Ağı
MIL-STD	Askeri Standart
OATS	Açık Alan Test Ortamı
PCB	Baskılı Devre Kartı
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RE	Yayılan Emisyon
RF	Radyo Frekansı
RI	Yayılan Bağışıklık
SAC	Yarı Yankısız Oda
SET	Ayar
SW	Anahtarlama
TEM	Enine Elektromanyetik Hücre
TVS	Anlık Gerilim Bastırıcı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrik Alan ve Manyetik Alanın Vektör ile Gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Farksal Mod Akımları.....	11
Şekil 2.3. Ortak Mod Akımları.....	11
Şekil 2.4. Temel Uygulama Mekanizmaları.....	12
Şekil 2.5. CISPR 25 LISN Şematiği	14
Şekil 2.6. AN Testi - Test Düzeneği	15
Şekil 2.7. Clamp-on Current Probe Test Düzeneği Üst Görünüm	16
Şekil 2.8. Clamp-on Current Probe Test Düzeneği Yan Görünüm.....	16
Şekil 2.9. Rod Anten Test Düzeneği Üst Görünüm – Dikey Polarizasyon.....	18
Şekil 2.10. Rod Anten Test Düzeneği Yan Görünüm – Dikey Polarizasyon.....	19
Şekil 2.11. Bikonik Anten Test Düzeneği Üst Görünüm – Dikey Polarizasyon	19
Şekil 2.12. Bikonik Anten Test Düzeneği Yan Görünüm – Yatay Polarizasyon	20
Şekil 2.13. Log-Periyodik Anten Test Düzeneği Üst Görünüm – Dikey Polarizasyon ..	20
Şekil 2.14. Log-Periyodik Anten Test Düzeneği Yan Görünüm – Yatay Polarizasyon .	21
Şekil 2.15. Horn Anten ile Test Düzeneği Üst Görünüm – Yatay Polarizasyon	21
Şekil 2.16. Horn Anten ile Test Düzeneği Yan Görünüm – Dikey Polarizasyon.....	22
Şekil 2.17. Stripline Metodu ile Test Düzeneği Üst Görünüm	22
Şekil 2.18. Stripline Metodu ile Test Düzeneği Yan Görünüm	23
Şekil 2.19. Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Üst Görünüm	23
Şekil 2.20. Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Yan Görünüm	24
Şekil 2.21. İzotropik Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Üst Görünüm.....	24
Şekil 2.22. İzotropik Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Yan Görünüm.....	25
Şekil 2.23. Montaj-Taşıma Seviyesi – Elektrostatik Deşarj Testleri	26
Şekil 2.24. Sistem Seviyesi- Direkt Deşarj Testi	27
Şekil 2.25. Sistem Seviyesi- Dolaylı Deşarj Testi	27
Şekil 2.26. İletilen Bağışıklık Test Düzeneği Üst Görünüm	28
Şekil 2.27. İletilen Bağışıklık Test Düzeneği Yan Görünüm.....	29
Şekil 2.28. Yayılan Bağışıklık Test Düzeneği Üst Görünüm	29
Şekil 2.29. Manyetik Alan Test Düzeneği	30
Şekil 3.1. Elektrolüminesans Olayı Görseli	31
Şekil 3.2. OSRAM – KW2 CFLNM2.TK LED	31
Şekil 3.3. OSRAM – KW2 CFLNM2.TK LED Işık Çıkış Katsayısı / Akım Grafiği ...	32
Şekil 3.4. Lineer Regülatör Temel Yapısı.....	34
Şekil 3.5. Gerilim Düşüren (Buck) Dönüştürücü Temel Yapısı	35
Şekil 3.6. LED Bilgi Dokümanı – Çalışma Gerilimleri	36
Şekil 3.7. Diodes – AL8860Q Dönüştürücü	36
Şekil 3.8. Gerilim Yükselten (Boost) Dönüştürücüler	37
Şekil 3.9. AL8860Q Pin Diyagramı	37
Şekil 3.10. AL8860Q Dönüştürücüsünün Temel Devre Şeması.....	38
Şekil 3.11. Temel Devre Şeması	38
Şekil 3.12. PCB Fiziki Yüzeyi	38
Şekil 3.13. PCB üzerinde LED ve Giriş Filtre Komponentleri Yerleşimi	39
Şekil 3.14. PCB Üzerine Tüm Komponentlerin Yerleşimi	39
Şekil 3.15. LED ile Heatsink Bölgesine Termal Viaların Eklenmesi	40
Şekil 3.16. PCB Üst Yüzeyi.....	40

Şekil 3.17. PCB Alt Yüzeyi	41
Şekil 3.18. Montajı Tamamlanan Ürün Görsele	41
Şekil 4.1. Emisyon Dedektörleri Örnek Sinyal Ölçüm Mekanizması.....	43
Şekil 4.2. Temel Devre üzerinden alınan CE Ölçüm Sonuçları.....	43
Şekil 4.3. Temel Devre üzerinden alınan RE Ölçüm Sonuçları.....	44
Şekil 4.4. Ferrite Bead Çıkarılan Devre Şeması.....	44
Şekil 4.5. Ferrite Bead Değişikliği Sonrası CE Ölçüm Sonuçları	45
Şekil 4.6. BLM31PG121SZ1 kodlu FB'nin Frekans-Empedans Eğrisi	45
Şekil 4.7. Ferrite Bead Değişikliği Sonrası RE Ölçüm Sonuçları.....	46
Şekil 4.8. Dönüştürücü Giriş Kondansatörleri Çıkarılan Devre.....	46
Şekil 4.9. Giriş Kondansatörleri Çıkarılma Sonrası CE Ölçüm Sonuçları.....	47
Şekil 4.10. Giriş Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası RE Ölçüm Sonuçları.....	47
Şekil 4.11. Anahtarlama Kondansatörleri Çıkarılan Devre.....	48
Şekil 4.12. Anahtarlama Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası CE Ölçüm Sonuçları ...	48
Şekil 4.13. Anahtarlama Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası RE Ölçüm Sonuçları ...	49
Şekil 4.14. Karşılaştırmalı CE Ölçüm Sonuçları.....	50
Şekil 4.15. Karşılaştırmalı RE Ölçüm Sonuçları.....	50

1. GİRİŞ

19. yüzyılın sonunda icadı gerçekleşen otomobilin, günümüze gelene kadar uğradığı değişiklikler ve getirdiği yeniliklerin sonlanmadığı, her geçen gün yeni bir anlayış katılarak değişime devam ettiği görülmektedir. Otomobilin bu denli değişime uğraması ve günümüzde de fosil yakıtların dünya üzerinde sonlanmaya başlaması ile birlikte elektrikli motorlara geçiş süreci de hızlanmıştır. Bu geçiş süreci elektrikli araçların kullanımını ve gelişimini arttırmıştır. Elektrikli motorlar ile çalışan araçların kullanımını beraberinde batarya teknolojisinin gelişimine neden olmuştur. Bataryaların kapasiteleri de otomobil kullanım menziline belirlediğinden mümkün olduğunca daha az enerji sarf eden elektrikli ya da elektronik cihazların kullanımını da zorunlu kılmıştır.

Bu tezde üzerinde çalışma gerçekleştirilen otomotiv aydınlatma ürünü de bu gelişmeler sonucunda halojen ampullü yapılar yerine kullanılan ışık yayan diyot (LED) lu bir üründür. Elektrikli araç üreticileri de araç menziline etkisinden ötürü LED içeren aydınlatma ürünlerine ağırlık verip, halojen aydınlatma ürünlerinden uzaklaşmaktadır (Topaloğlu ve Çevik, 2019).

Otomobil üzerinde kullanılan elektronik yapı içeren ürünlerin artması, bu yapıların birbirleri ile olan etkileşimlerinin kontrol altına alınmasını da zorunlu kılmıştır. Her elektronik yapının doğal ve yapay elektromanyetik (EM) alanlardan ya da etrafında çalışan elektronik yapıların oluşturduğu EM alanlardan etkilenmemesi gerekir. Ayrıca bir yapının diğer elektronik yapıları da etkilememesi gerekmektedir. LED ve elektronik kontrol yapısı içeren aydınlatma ürünleri de EM alanlardan etkilenmemeli ya da içerisinde bulunduğu sistemin EM alanlarını etkilememesi gerekmektedir.

Aydınlatma ürünleri tasarlanırken, tasarımcı firmanın uyması gereken yasal zorunluluklar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, kıtaya ve ülkelere göre farklılık gösteren aydınlatma regülasyonlarıdır. Diğer, ürün LED ve elektronik kontrol yapısı içeriyorsa ülkelere göre farklı alt ve üst limitleri bulunan elektromanyetik uyumluluk (EMC) standartlarıdır. Tasarımcı firmalar aydınlatma ürünlerinde öncelikle aydınlatma regülasyonlarını yerine getirirler. Bir LED türü ve bu LED'in sürülme elektrik akımı belirlenir. Sonrasında ise

belirlenen yapının, baskılı devre kartı (PCB) tasarlanır. PCB tasarımında tasarımcı öngörü ve edindiği tecrübeler doğrultusunda EMC açısından uyumlu bir yapı oluşturur. Ardından yapı için gerekli komponentleri belirler. Bunlar kondansatör, direnç, bobin, ferrit vb. gibi EM ortamlarda parçanın dışarıdan gelen EM alanlara karşı bağışıklığını artırıcı ya da etkileşim halinde olduğu diğer elektronik ürünlere girişim yapmasını önleyici olarak kullanılırlar. Ayrıca tasarımcı, kartın üzerindeki komponent yerleşimini EM alanlarda gösterebileceği etkilere göre düzenler, PCB üzerindeki topraklama alanını dengeli ve mümkün olduğunca geniş tutmaya çalışır.

Otomotiv sektöründe EMC testleri, uluslararası standartlar ve üreticilerin bu standartlara göre belirlediği limitler doğrultusunda yapılmaktadır. IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) tarafından belirlenen CISPR-25 limitleri ve ölçüm metotları ile birlikte ISO 11452 standartları baz alınarak yapılır. Otomotiv üreticileri de bu limitleri araçlarının uygulama alanlarına göre değerlendirmesiyle ölçümler yapılmasına izin verir.

Bu tez çalışmasının konusu olan sürücü devre kartının EM girişim ölçümlerini yapabilmek için ise temel olarak Yayılım Yoluyla Emisyon (RE), İletim Yoluyla Emisyon (CE), İletilen Bağışıklık (CI) ve Yayılan Bağışıklık (RI) konuları üzerinde durulmuştur. Yayılım Yoluyla ve İletim Yoluyla Emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm kendi içerisinde, frekans aralıklarına bağlı olarak, farklı metotlar, farklı anten ve düzenekler ile yapılmaktadır.

Plastik çevre birimleri ve soğutucu ile birleştirilip toplanan PCB ile yapılan ölçümler esnasında limitlere yakınlığı ölçülmüştür. Limitlerin altında kaldığı kritik noktalar gösterilmiş olup, devredeki filtre komponentlerinin ölçümlere etkisi anlatılmıştır.

Tezin 2. bölümünde EMC'nin teoride dayandığı kuramsal bilgiler verilir, EM'de kullanılan denklemler üzerinde durulmuştur. 3. bölümde üzerinden ölçümler alınacak devrenin tasarımı ve seçilen komponentler hakkında bilgiler verilmiştir. 4. bölümde tasarlanan devre ve EMC'yi etkileyen komponentlerin çıkarılması sonucunda alınan emisyon ölçümleri anlatılmıştır. Son olarak bu ölçümlerin birbirleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde yapılan tez çalışmasındaki kuramsal temeller ve ilgili kaynak araştırmaları üzerinde durulacaktır. Öncelikle EM alanların ortaya çıkması ve tarihçesi anlatılacaktır. Ardından elektromanyetik girişim (EMI) 'in önemi ile karşımıza çıkarabileceği problemler anlatılacaktır.

1800'lerin sonunda Marconi'nin yapmış olduğu spark-gap testi esnasında girişim ve düzeltme kavramları ortaya çıkmıştır. 1901 yılında yine Marconi'nin gerçekleştirdiği bakır kablolarla ilk transatlantik iletim ile ortaya çıkan sorunları bulmak ve önlemek için yine girişim kavramını kullandığı bilinmektedir. O yıllarda sadece önemli olan radyo alıcılar olduğundan ve etrafta girişime sebep olacak çok etken olmadığından problemleri çözmek şuanda bulunduğumuz döneme göre basitti. Bununla birlikte 1920li yıllarda radyo alıcıları ve antenlerin yarattığı girişim ve çözümleri üzerinde akademik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İlk EMI problemleri için üretilen çözümler, 1930'lu yıllarda ortaya çıkan elektrikli motorlar ve elektrikli demir yollarında görülen girişimlerin önlenmesinde zayıf kalmıştır (Clayton, 2006).

2. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla kullanımı artan radyolar, navigasyon cihazları ve radarlar ile uçaklar arasında oluşan EMI'n artmasına çözüm olarak kalabalık olmayan spektrumla iletim frekanslarının taşınması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Ancak 1950'de transistorun, 1960'da tümleşik devrenin (IC), 1970'de ise mikroşlemcilerin üretilmesi ile birlikte girişimlerin çeşitliliği ve zorluğu artmıştır. Mikroşlemcilerin gelişmesi, anahtarlama hızlarının artması ve IC'lerin minyatürleşmesi ile birlikte EMI sorunlarının oluşumu artmaya devam etmiştir. Günümüzde ise gelişen elektronik teknolojisinin sonucu olarak EMI sorunları devam etmektedir. Ancak yapılan tasarım ve analiz çalışmaları ile problemler ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

2.1. Elektromanyetik Teori

Elektromanyetik alan teorisini öğrenebilmek için öncelikle temel olarak bilinmesi gereken 2 alan tanımı bulunmaktadır. Bunlar elektrik alan ve manyetik alandır. Birim yüke etkileyen elektrik alan, uzayda herhangi bir noktada bulunan elektrik kuvvetinin

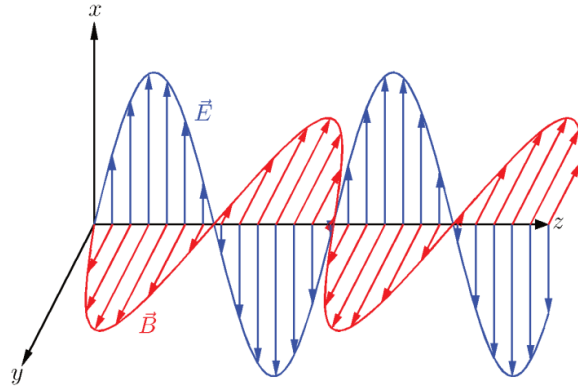
büyüklüğü ile tanımlanır. Elektrik yüklerinin birbirini çekmesi ve itmesi ile oluşan alandır , \vec{E} ile gösterilir ve birimi volt/metre (V/m). E; elektrik alan şiddeti aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2.1)$$

Burada F; kuvveti, q; elektrik yükünü temsil etmektedir. Manyetik alan ise uzaydaki bir nesne üzerinde bulunan manyetik etkiyi açıklayan alandır ve sabit mıknatıslar ile hareket halindeki elektrik yüklerinden oluşan alandır , \vec{B} ile gösterilen manyetik alan vektörünün birimi Tesla (T)'dir. Manyetik alanın en önemli konularından birisi olan manyetik akı yoğunluğu da , \vec{B} ile gösterilir. , \vec{v} hızıyla hareket eden q yükü üzerinde bir , \vec{F} kuvveti oluşturur (Karabulut, 2011). \vec{B} ; manyetik akı yoğunluğunu, q; elektrik yükünü, \vec{v} ; hızı temsil edecek şekilde kuvvet;

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

Elektrik alan ve manyetik alan birbirlerine dik olduğu Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Elektrik Alan ve Manyetik Alanın Vektör ile Gösterimi

İletken bir ortamda manyetik ve elektrik alanlar birlikte bulunabilirler. Elektrik alan ile manyetik alanların yüklerin hareketinden kaynaklandığını ve zamana göre değişen elektrik alanın manyetik alan, aynı şekilde zamana göre değişen manyetik alanın elektrik

alanı oluşturabileceği bilinmektedir. Bundan ötürü elektromanyetik alan ise elektrik alan ve manyetik alanın birleşmiş hali olarak tanımlanabilir (Karataş, 2010).

Klasik olarak EM teori, aşağıda belirtilecek dört Maxwell denklemi ile özetlenir.

1. Kapalı bir yüzeyden (S) geçen elektrik alan akışı, bu yüzeyin içerdiği net elektrik yükü (q) ile orantılıdır. Elektrik alan için Gauss yasası olarak kabul edilen denklem, elektrik alanın onu oluşturan elektrik yüküyle orantılı olduğunu bildirir.

$$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{u}_N dS = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (2.3)$$

2. Kapalı bir yüzeyden geçen (S) manyetik alan akışı sıfırdır. Manyetik alan için Gauss yasası olarak bilinen denklem, tek bir manyetik kutbun olamayacağını, ancak herhangi bir manyetik kutbun her zaman eşit zıt kutupla çift olduğunu bildirir.

$$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{u}_N dS = 0 \quad (2.4)$$

3. Kapalı bir yol (l) boyunca elektrik alan dolaşımı, dâhil edilen yüzey (S) boyunca manyetik alan akışının zamansal değişim hızına eşittir. Faraday-Henry yasası olarak bilinen bu denkleme göre, geçici olarak değişen bir manyetik alan, yoğunluğu manyetik alan yoğunluğunun değişim oranıyla orantılı bir elektrik alan indükler.

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \vec{u}_N dS \quad (2.5)$$

4. Kapalı bir yol (l) boyunca manyetik alan dolaşımı, dâhil edilen yüzey (S) boyunca toplam elektrik akımı (I) ile orantılıdır. Ampere yasası olarak bilinen bu denkleme göre bir elektrik akımı veya geçici olarak değişen bir elektrik alanı, yoğunluğu doğrusal olarak elektrik akımı yoğunluğuna ayrıca ek olarak değişkenlik oranına bağlı olan bir manyetik alanı indükler.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot \vec{u}_N dS \quad (2.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan \vec{E} elektrik alan yoğunluğunu; \vec{B} manyetik alan yoğunluğunu; u_N , S yüzeyine dikey olan birim vektörü; $d\vec{l}$, l boyundaki iletken uzunluğunu; $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} C^2/N.m^2$ boşluğun dielektrik sabitini; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} V.sec/A.m = 4\pi \cdot K_m$ ise boşluğun manyetik geçirgenliğini tanımlamaktadır.

\vec{E} Elektrik alan yoğunluğunu ve \vec{B} manyetik alan yoğunluğunu diferansiyel forma dönüştürmek istersek;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.7)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.8)$$

burada \vec{j} elektrik akımı yüzey yoğunluğudur.

2.1.1 Düzlemsel Elektromanyetik Dalgalar

EM dalganın üretimi, Maxwell'in 3. ve 4. Denklemlerine göre, zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlardan birinin diğerini zamansal değişim oranıyla orantılı bir derecede indükleyecek şekilde birbirine bağlı olduğunu varsayar.

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} \quad (2.10)$$

Bu iki denklemi karşılaştırdığımızda;

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = u^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (2.11)$$

ξ ; \vec{x} yönünde \vec{u} hızında iletilen bozulmadır. Elektrik ve manyetik alan, \vec{X} eksenini yönünde bir hızla iletilir. Bu hız boşlukta aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/sec} \cong 3 \times 10^8 \text{ m/sec} \quad (2.12)$$

Tanımlanan EM dalgalara, düzlem veya lineer polarize EM dalgalar denir çünkü hem elektrik hem de manyetik bileşenler belirli düzlemlerde birbirine dik olarak salınır. E bileşeninin düzlemi, EM dalganın düzlemi olarak kabul edilir.

Ek olarak, elektrik ve manyetik alanlar $\nu = \omega/2\pi$ frekansı ile harmonik olarak değişiyor ise, o zaman dalga boyu $\lambda = 2\pi/k_w$.

$$E = E_0 \sin k_w(x - ct) = E_0 \sin(k_w x - \omega t) \quad (2.13)$$

$$B = B_0 \sin k_w(x - ct) = B_0 \sin(k_w x - \omega t) \quad (2.14)$$

$\omega = 2\pi\nu = k_w \cdot c$ dairesel frekans ve $k_w = 2\pi/\lambda$ ise dalga sayısı olarak adlandırılır. Yukarıdaki denklemleri kullanarak ve $\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t}$ eşitliğinden faydalanarak,

$$E = cB \quad (2.15)$$

Elde edilir. EM dalganın iki bileşeninin birbiriyle aynı fazda olduğunu gösterir.

2.1.2 Elektromanyetik Dalgaların Enerjisi

Bir elektrik alanın boşlukta enerji yoğunluğu;

$$W_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (2.16)$$

Bu denklem EM dalganın elektrik bileşeniyle ilgili enerji yoğunluğunu belirtir. Buna göre manyetik alan içerisindeki enerji yoğunluğu;

$$W_m = \frac{1}{2\mu_0} B^2 \quad (2.17)$$

$$W_m = W_{me} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 \quad (2.18)$$

Olduğu görülür ve toplam enerji yoğunluğu;

$$W = W_m + W_{me} = \varepsilon_0 E^2 \quad (2.19)$$

2.1.3 Elektromanyetik Dalgaların Yoğunluğu (Güç Yoğunluğu)

EM dalganın yoğunluğu (şiddeti), enerji yoğunluğunun dalga hızına çarpımına eşittir.

$$\vec{J} = \vec{c} W \quad (2.20)$$

Bir düzlem için, boşlukta harmonik dalga;

$$\vec{J} = \vec{c} \varepsilon_0 E^2 \quad (2.21)$$

$$\vec{J} = \vec{c} \varepsilon_0 \vec{E} \times \vec{B} \quad (2.22)$$

$$\vec{J} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (2.23)$$

Bir düzlemin harmonik dalga yoğunluğu bilindiğinde boşlukta elektrik bileşeninin büyüklüğü aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$E^2 = J \quad (2.24)$$

Dalga Empedansı; $\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 376.87 \Omega \cong 377 \Omega$ buradan,

$$E^2 = J \times 377 \quad (2.25)$$

Buna göre, vakumdaki veya havadaki manyetik bileşenin büyüklüğü aşağıdaki gibi bulunur.

$$B^2 = \frac{\mu_0}{c} J \quad (2.26)$$

$$B^2 \cong J \times 4.2 \times 10^{-15} \quad (2.27)$$

Belirli bir ortam içerisindeki \vec{B} ile \vec{H} arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H} \quad (2.28)$$

Burada μ_r ortamın bağıl manyetik geçirgenliğidir. Hava veya boşlukta $\mu = 1$ kabul edilirse, düzlem için hava veya boşlukta harmonik dalga denklem (13) ve (26)'a göre aşağıdaki gibi gösterilir.

$$E/H = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cong 377 \Omega \quad (2.29)$$

Farklı birimler ile \vec{B} arasındaki ilişki ise (hava veya boşlukta),

$$1 \text{G} (\vec{B}) = 1 \text{Oe} (\vec{H}) = 10^{-4} \text{T} (\vec{B}) = 79.58 \text{A/m} (\vec{H}) \text{ dir.}$$

2.2. Elektromanyetik Girişim

Elektromanyetik girişim (EMI), elektrik ile çalışan cihazların çalışmaları esnasında oluşturdukları EM alanlarının, birbirleriyle etkileşime girip çalışma fonksiyonlarını etkilemesinden kaynaklanan bir kavramdır. Bir EM işarete başka bir EM işaretin indüklenmesi ya da karışması olayıdır. Girişim sonucunda cihazların çalışma performanslarında bozulma veya çalışamaz hale gelmeleri görülebilir. Ayrıca yıldırım,

güneş ışınları, kozmik yayınlar ve atmosferik olaylar ise girişime neden olan doğal kaynaklardır.

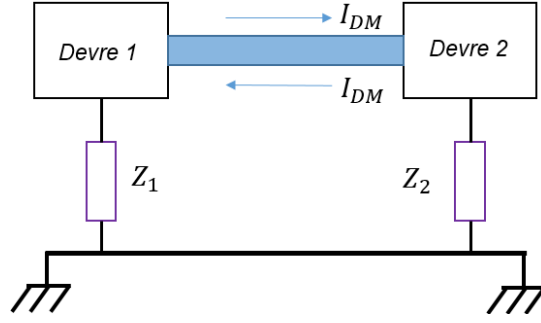
EMI tamamen olağan bir olay olup, çevredeki EM işaretlerin bir araya gelerek toplamda farklı işaretler oluşturmasına sebep olabilir. EMI'n neden olduğu bir bozulma, birçok faktöre bağlı olduğundan ve tahmin edilmesi zor olduğundan devre tasarımı esnasında girişimi önlemek büyük önem taşımaktadır.

Girişim kaynağından çıkan EM enerji, diğer cihazlara farklı yollar üzerinden ulaşabilir. Bu bir iletken yol ile olacağı gibi hava üzerinden ışıma yoluyla da gerçekleşebilir. Bu iletim mekanizmalarına kuplaj mekanizmaları adı verilir. EMI ışıma ve iletkenlik yoluyla olmak üzere iki tür kuplaj mekanizması ile gerçekleşir.

İşıma yoluyla yayılım; Havadan yayılan, çoğunlukla 30MHz'in üstündeki frekanslarda etkili olan, farksal ve ortak mod akımları ile gerçekleşebilen, düşük empedanslı yollar üzerinden aktarılan yayılımdır. 30MHz'in altındaki frekanslarda yayılım az düzeyde olduğundan etkisi az olmaktadır.

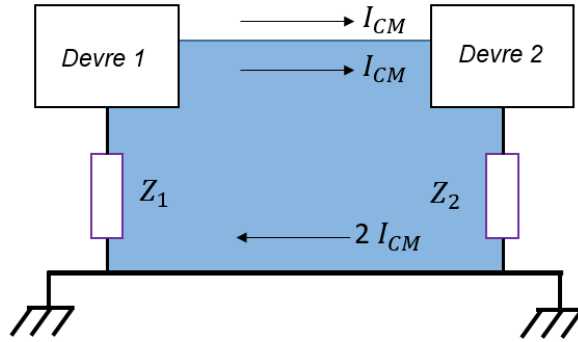
İletkenlik yoluyla yayılım; direkt olarak bağlantı yoluyla oluşan, çoğunlukla 30MHz altında etkili olan, farksal ve ortak mod akımları ile gerçekleşebilen yayılım türüdür.

Farksal mod akımları devre üzerinde tasarlanan işaretlerin akımlarıdır. Kaynaktan çıkıp gidiş yolundan akarak, devreyi dönüş yolu doğrultusunda tamamlar. Eşit ve zıt yönlü akımlardır. Aynı genlikte ve zıt yönde aktıkları için farksal mod akımlarının oluşturacağı alanlar birbirlerinin etkilerini azaltırlar. Bu gürültülerin temel nedeni cihaz içerisinde bulunan devre bileşenlerinin kendi aralarında etkileşime girerek istenilmeyen gerilim farkları oluşturmasıdır.



Şekil 2.2. Farksal Mod Akımları

Ortak mod akımları kötü topraklama veya kötü ekranlama nedeniyle devreyi toprak veya ekran üzerinden tamamlayan istenmeyen akımlardır. Genellikle bir parazit kondansatörü üzerinden sisteme girer ve iletkenler üzerinde döner. Besleme veya kablolar üzerinden aynı yönde akar ve devreyi toprak veya ekran üzerinden akarak tamamlar. Aralarında potansiyel fark olmadığı için yükten hiçbir akım akmaz ve devre iletkenler vasıtası ile toprak üzerinden tamamlanmış olur. Başlıca oluşma sebebi, güç kaynaklarındaki anahtarlama işlemlerinde oluşan endüktif açma kapama darbeleridir.



Şekil 2.3. Ortak Mod Akımları

Ayrıca girişime sebep olan ve gürültü kaynağı olan cihazlara kaynak, girişime maruz kalan cihazlar ise kurban olarak adlandırılır.

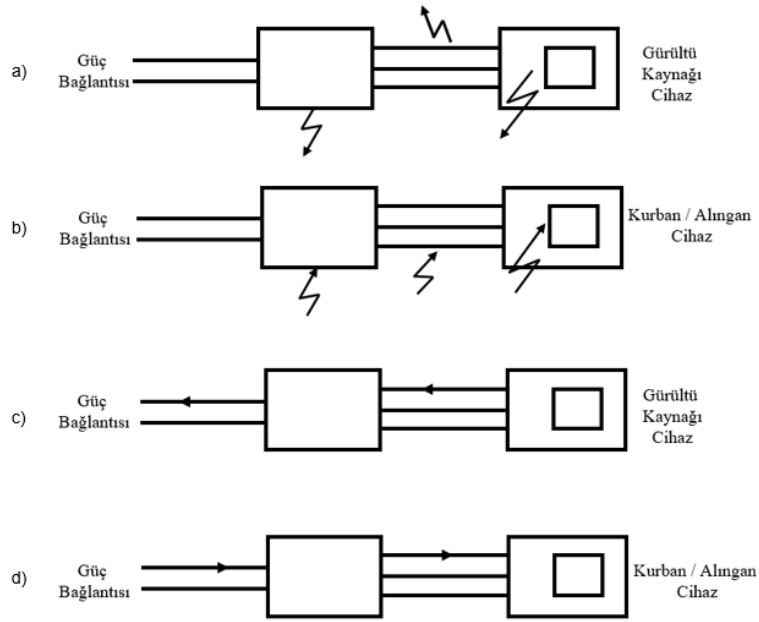
2.3. Elektromanyetik Uyumluluk ve Testleri

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle kullanımı artan ve artmaya devam edecek olan elektrik, elektronik, elektromekanik cihazlar, çalışmalarını esnasında birbirleri ile istenmeyen şekilde etkileşime geçebilirler. Örneğin; otomobillerde bulunan elektronik

fren sistemlerinin, cep telefonu yayınlarından etkilenmesi, iki sistem arasında bir etkileşimin olduğunu gösterir. Tüm bu cihazların ve sistemlerin birbirleri ile etkileşim içerisinde olduğu alanlarda, fonksiyonlarının bozulmadan çalışmaları için uymaları gereken gereklilikler bulunmaktadır.

Elektromanyetik uyumluluk (EMC), bir cihazın ya da sistemin bulunduğu ortamda diğer cihaz ya da sistemlerin çalışmasını etkileyecek şekilde EM girişim oluşturmamasını ve yine cihazın ya da sistemin bulunduğu ortamdan diğer cihazların oluşturacağı EM girişimden etkilenmeyecek şekilde yeterli bağışıklığa sahip olması gerekliliğini açıklar.

EMC testleri 4 ana başlık altında toplanmaktadır. İletilen Emisyon (CE), Yayılan Emisyon (RE), İletilen Bağışıklık (CI) ve Yayılan Bağışıklık (RI) olarak sınıflandırılır. Bu testlerin temel olarak uygulanmaları Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Temel Uygulama Mekanizmaları a) RE b) RI c) CE d) CI

Emisyon testleri, tasarlanan elektronik cihazdan istenmeyen şekilde üretilen ve çevredeki diğer cihazlara bir iletken vasıtası ya da hava yoluyla yayılan sinyallerin ölçülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bağışıklık testleri ise tasarlanan elektronik cihaza iletken yolu ya da hava yoluyla yayılan sinyallerin, cihaz üzerinde bozucu etkisinin ölçülmesi ile gerçekleştirilir.

Otomotiv sektöründe ise EMC testleri komponent ve araç üzeri olmak üzere iki seviyede yapılmaktadır. Komponent seviyesinde, cihaza laboratuvar ortamında testler uygulanır. Ölçümleri etkilemese bile komponent seviyesi testlerde, PCB nin montajı yapılacağı plastik birimler ve montaj ekipmanları ile bir bütün halinde üretilerek testler gerçekleştirilir.

Komponent seviyesi testleri belirlenen limitler dâhilinde başarı ile tamamlayan cihaz, otomotiv üreticisine araç üzeri seviye testlerini yapmak için gönderilir. Bu seviyede araç üzerinde bulunan tüm sistemler toplanarak ölçümler gerçekleştirilir. Ölçümler esnasında otomobilin motoru çalışır halde de olabildiğinden EM uyumluluğu ön planda olmaktadır.

2.3.1. Emisyon Testleri

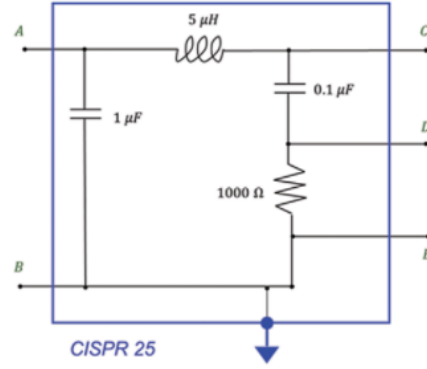
Emisyonlar, cihazın normal çalışması esnasında istenmeyen bir şekilde üretilen, gürültüyü temsil eden EMI türleridir. Emisyon testleri ise farklı kuplaj türleri ile oluşan bu gürültüleri ölçen ve belirlenen limitler içerisinde olup olmadığını yorumlayan kontrol mekanizmalarıdır. Belirlenen limitler cihazın bulunduğu ticari pazara göre değişebilmektedir. Limitler tamamen belirlenmeli ve yoruma bırakılmamalıdır. Bu sebeple bulunan ticari pazara göre FCC (Federal İletişim Komisyonu), CISPR (Uluslararası Radyo Girişimi Özel Komitesi) ve MIL-STD (Military Standard) kuruluşları emisyon limitlerini belirlemektedir.

Tez çalışmasında kullanılan cihazın ticari pazarı otomotiv sektörü olduğundan, ölçüm limitleri CISPR tarafından temel alınarak müşterilerin belirlediği değerler ile gerçekleştirilmiştir. Otomotiv üretici firmalar belirlenen bu limitleri kendi araçlarının bulunduğu koşullara göre aşağıya çekerek, araç üzerinde bulunan cihazların performanslarının üst seviyelerde çalışmasını ve güvenli bölgelerde olmasını beklemektedir.

İletilen Emisyon (Conducted Emission) Testleri

İletilen emisyon testlerinin amacı, gürültü kaynağı olan cihazın güç kablosuna aktardığı gürültü akım ve gerilimlerini ölçmektir. Ayrıca bu akımların sistemin ortak güç ağına gelmesinden ötürü sınırlandırma yapılmasına yardımcı olmaktadır.

LISN (Line Impedance Stabilization Network) iki amaca sahiptir. İlki yayılan emisyon ölçümlerinin yankısız odası gibi, test dışındaki gürültünün ölçümü etkilememesini sağlamaktır. İkinci amacı ise ürüne tüm ölçümler esnasında sabit bir empedans sunmaktır.



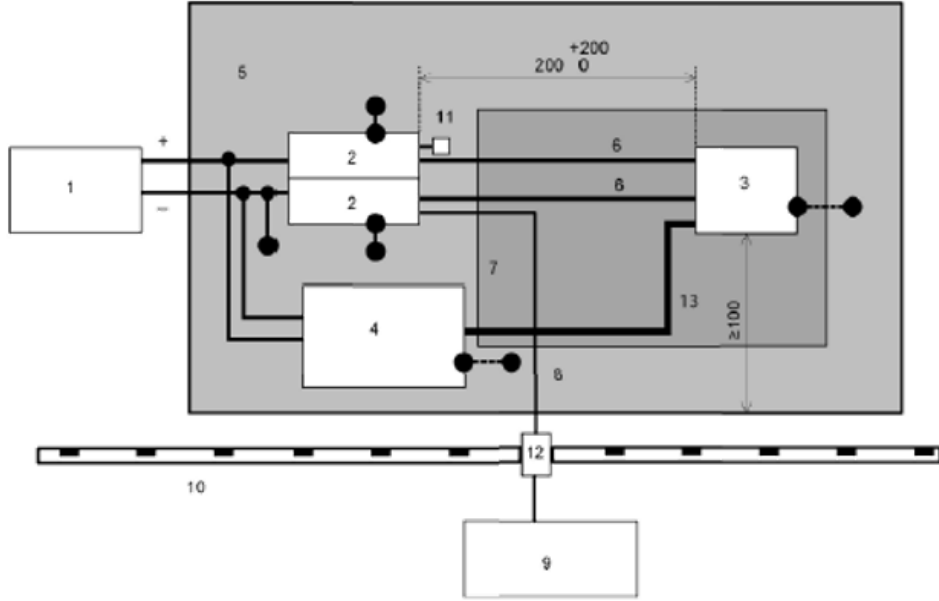
Şekil 2.5. CISPR 25 LISN Şematığı

Şekil 2.5’de verilen CISPR 25 LISN devresinin A portu güç kaynağının pozitif besleme ucu, B portu ise güç kaynağının toprak bağlantısıdır. C portu EUT (test uygulanacak donanım) pozitif besleme ucu, D portu EMI ölçüm cihazına gidecek bağlantı ucu ve E portu ise EUT toprak bağlantısını temsil etmektedir.

İletilen emisyon testleri otomotiv sektöründe, Sanal Ağ Testi, Şerit Çubuk Testi ve Kelepçeli Akım Probu ile yapılan test olarak 3 çeşittir. Bu testlerden şerit çubuk testi genel olarak bir ürün birden fazla otomobilde kullanıldığında yapıldığından detaylı açıklama yapılmamıştır ancak Sanal Ağ ve Kelepçeli Akım Probu testleri detaylı olarak anlatılacaktır.

Sanal Ağ Testi (Artificial Network - AN)

İletilen emisyon testlerinden olan AN (Sanal Ağ) testi, ölçüm yapılacak cihaz ile güç kaynağı arasına eklenen bir LISN ile yapılır. Testin yapılma amacı, ürüne bağlanacak kabloların emisyon seviyesini ölçmektir. Aşağıda otomotiv sektörü temel alınarak hazırlanan AN test düzeneği verilmiştir.



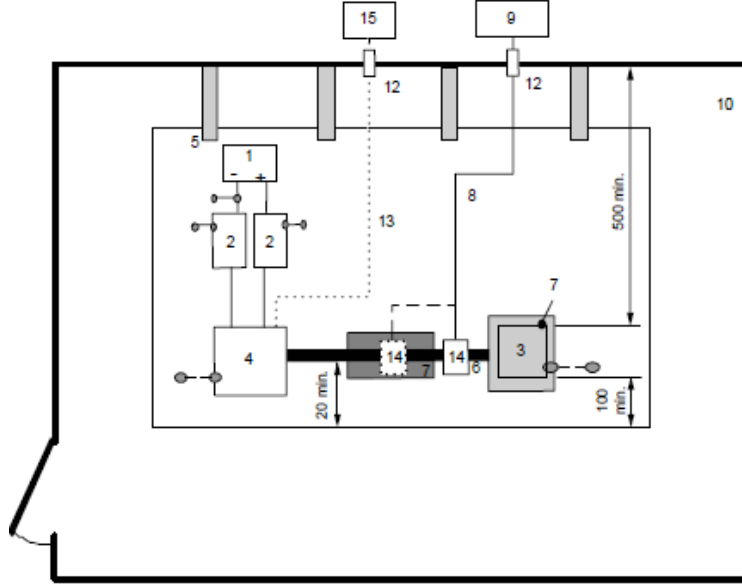
Şekil 2.6. AN Testi – Test Düzeneği

Şekil 2.6’de AN Test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; güç kaynağı, 2; LISN 3; EUT, 4; yük simülasyonu, 5; toprak düzlemi, 6; güç iletim kabloları, 7; bağlı dielektrik sabiti $\epsilon_r \leq 1.4$ olan 50 mm kalınlığa sahip düzlem, 8; çift ekranlamalı koaksiyel kablo, 9; ölçüm ekipmanı, 10;Ekranlanmış düzlem, 11; 50 ohm yük, 12; bölme duvarlı konektör, 13; test kablo grubu şeklindedir. EUT’un üzerinde bulunduğu topraklama düzleminin kenarlara olan uzaklığı minimum 100 mm’dir. LISN ile EUT arasındaki mesafe ise 200 mm olmalıdır. (CISPR 25)

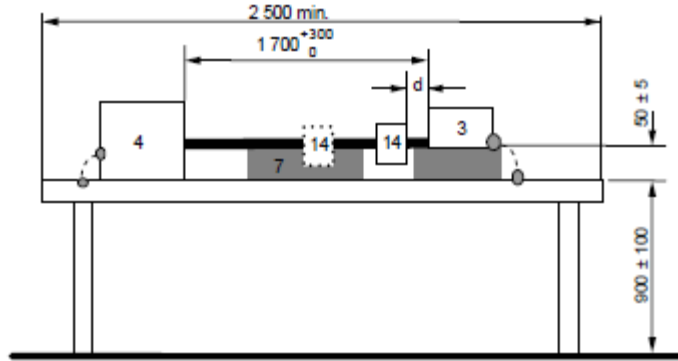
Ölçüm 150kHz-108MHz aralığında yapıлып, bütün kablolar üzerinden iletilen EM seviyelere bakılmaktadır.

Kelepçeli Akım Probu Testi (Clamp-on Current Probe)

EUT den belli uzaklıklara yerleştirilen akım probu ile yapılan bu ölçümün amacı kablo aracılığı ile sistemde bulunan diğer cihazlara aktarılan emisyonları ölçmektir.



Şekil 2.7. Clamp-on Current Probe Test Düzenegi Üst Görünüm



Şekil 2.8. Clamp-on Current Probe Test Düzenegi Yan Görünüm

Şekil 2.7 ve 2.8 'de görünümelerde yer alan Clamp-on Current Probe test düzeneginde bulunan bileşenler, 1; Güç Kaynağı, 2; LISN, 3; EUT, 4; Yük Simulatörü, 5; Topraklama Yüzeyi, 6; Kablo grubu, 7; Düşük Bağlı Dielektrik Düzenegi, 8; Koaksiyel Kablo, 9; Ölçüm Ekipmanı, 10; Ekranlı Alan, 12; bölme duvarlı konektör, 13; Fiber Optik Kablo,

14; Akım Probu, 15; Görüntüleme ve Tetikleme Sistemi ve Şekil-4 de 14; Anten Eşleştirme Ünitesi görülmektedir.

Ölçüm esnasında akım probu, EUT'den 50mm ile 750mm uzağa farklı aralıklar ile konumlandırılır. Probu EUT'e en yakın olduğu konumda en yüksek emisyon ölçümü görülmesi yüksek ihtimal dahilindedir. Ölçüm 9kHz ile 108MHz aralığında yapılmaktadır. (CISPR 25)

Yayılan Emisyon (Radiated Emission) Testleri

Yayılan Emisyon testlerinin amacı, gürültü kaynağı olan cihazın ışıma yoluyla oluşturduğu elektrik alanları ölçmek, bunları belirlenen limitler dâhilinde olduğunun kontrolünü yapmaktır. OATS (Açık Alan Test Ortamı) ya da SAC (Yarı Yankısız Oda) ortamlarında ölçümler gerçekleştirilir. Genel olarak ise SAC ortamında testler gerçekleştirilir. SAC, içerisinde yansımayı önleyen ve radyo frekanslarını sönmüleyen malzemelere sahiptir. SAC'ın temel amacı test esnasında EM emisyonların test sonucuna etkisini önlemektir. Yarı yankısız olarak adlandırılmasına sebep olan ise yan duvarların gürültü sönmüleyen yapılar ile kaplı olmasına rağmen oda tabanının bu yapılara sahip olamamasıdır. Bu sebeple tabandan minimum seviyede bile olsa yansıma yapabilir ve bu yansıma tüm ölçümlere tolerans olarak eklenerek sonuçlar gözlemlenir.

Testler ALSE (Emici Korumalı Muhafaza) ve TEM (Enine Elektromanyetik Hücre) metotları ve farklı frekans aralıklarında kullanılan antenler ile gerçekleştirilir.

ALSE metodunda 0,15MHz ile 30MHz aralığında dikey monopol anten, 30MHz ile 300MHz aralığında bikonik antenle, 200MHz ile 1GHz aralığında logaritmik-periyodik anten ile ve 1GHz ile 6GHz aralığında ise horn ya da logaritmik-periyodik anten ile ölçümler gerçekleştirilir.

Çeşitli antenler, şerit çubuk ve farklı manyetik alan bobinleri ile gerçekleştirilen bu testler ile emisyon ölçümler gerçekleştirilmektedir.

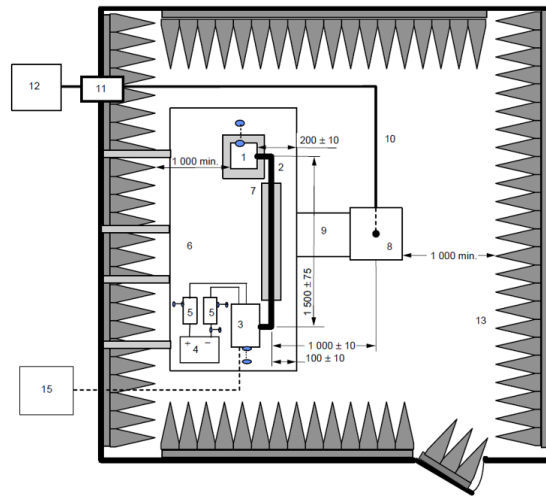
Anten Testleri

Yayılan Emisyon testlerinin en genel olarak kullanılanı olan bu test biriminde farklı antenler ile testler gerçekleştirilir. EUT üzerinden ortama yayılan emisyon seviyeleri Rod anten, bikonik anten, logaritmik-periyodik anten ve horn ile bu testler ölçülmektedir.

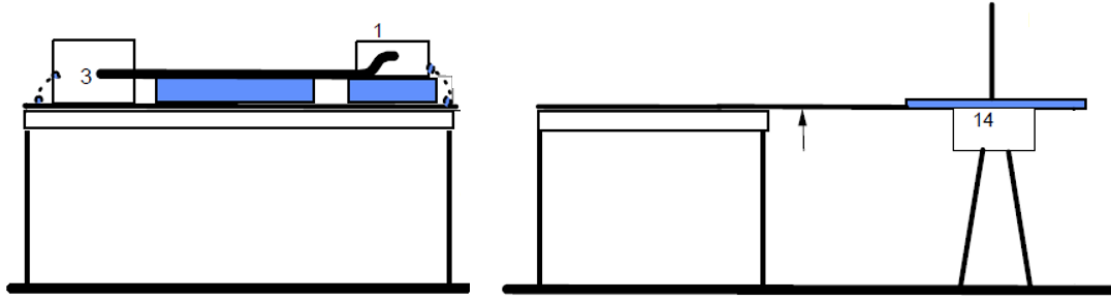
Bu testlerde 150kHz ile 30MHz arası dikey polarizasyonda, 30MHz ve üstü ise hem dikey hem de yatay polarizasyonda ölçümler alınır. Antenler test düzleminde toprak taban yüzeyinden en az $100\text{mm} \pm 10\text{mm}$ yüksekte bulunmalıdır. Testlerin gerçekleştirileceği SAC, hem EUT nin hem test antenlerinin, SAC duvarları ya da sönümleyen hücrelerden en az 1 mt uzakta olacak büyüklükte olmalıdır.

Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da Rod Anten test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Kablo Grubu, 3; Yük Simülatörü, 4; Güç Kaynağı (Otomotiv sektörü için araç aküsü), 5; LISN, 6; Topraklama Yüzeyi, 7; Düşük Bağlı Dielektrik Düzeneği, 8; Rod Anten, 9; Topraklama Bağlantısı, 10; Çift Ekranlamalı Koaksiyel Kablo, 11; bölme duvarlı konektör, 12; ölçüm ekipmanı, 13; RF Absorbe Yüzeyler, 15; Görüntüleme ve Tetikleme Sistemi ve Şekil-4 de 14; Anten Eşleştirme Ünitesi görülmektedir.

Ölçüm esnasında anten ile topraklama yüzeyine bağlı masa üzerinde bulunan kablo arasında 1mt mesafe bulunmaktadır. Ölçüm 150kHz ile 30MHz aralığında yapılarak, belirlenen sınırlar arasındaki değerlerin kontrolü yapılır.



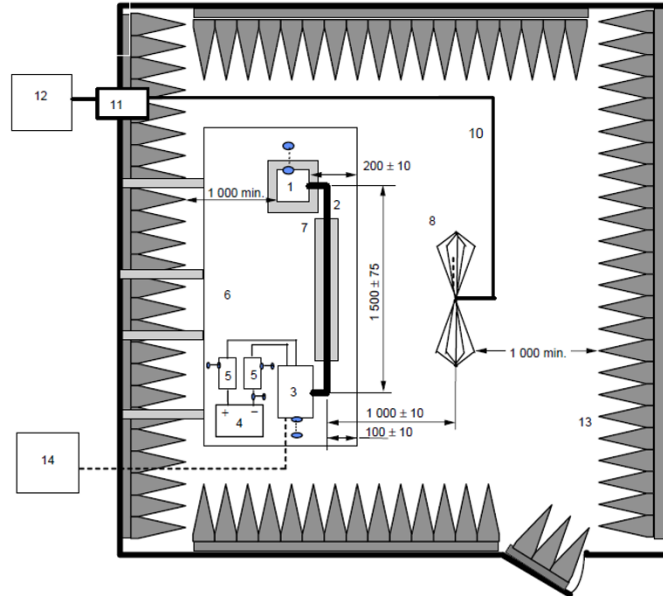
Şekil 2.9. Rod Anten Test Düzeneği Üst Görünüm – Dikey Polarizasyon



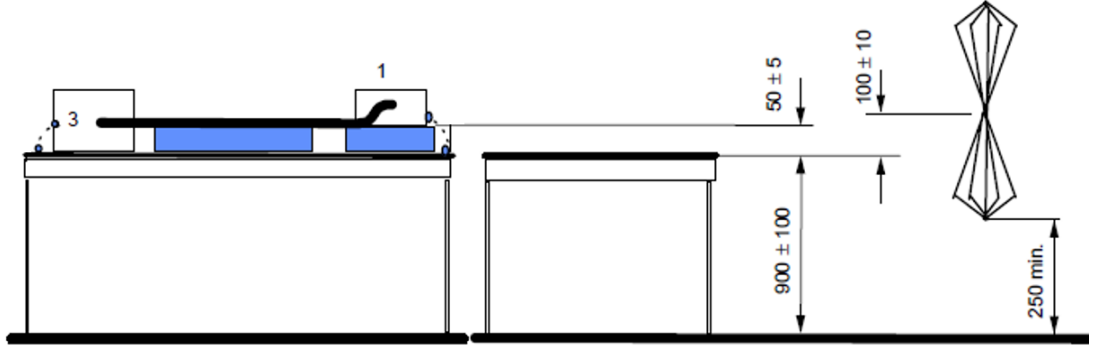
Şekil 2.10. Rod Anten Test Düzenegi Yan Görünüm – Dikey Polarizasyon

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de Bikonik Anten test düzeneginde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Kablo Grubu, 3; Yük Simülatörü, 4; Güç Kaynağı (Otomotiv sektörü için araç aküsü), 5; LISN, 6; Topraklama Yüzeyi, 7; Düşük Bağlı Dielektrik Düzenegi, 8; Bikonik Anten, 10; Çift Ekranlamalı Koaksiyel Kablo, 11; bölme duvarlı konektör, 12; ölçüm ekipmanı, 13; RF Absorbe Yüzeyler, 14; Görüntüleme ve Tetikleme Sistemi görülmektedir.

Bikonik anten ile hem dikey hem yatay polarizasyonda 30MHz ile 300MHz aralığında ölçüm yapılarak, belirlenen sınırlar arasındaki değerler kontrol edilir.



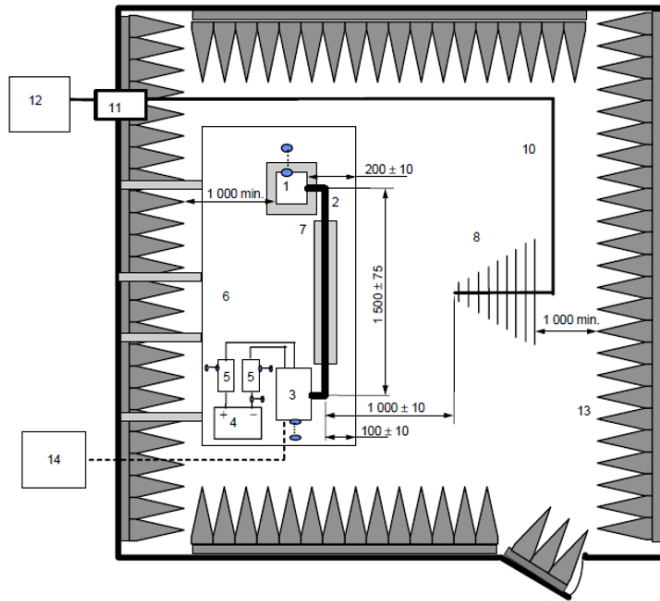
Şekil 2.11. Bikonik Anten Test Düzenegi Üst Görünüm – Dikey Polarizasyon



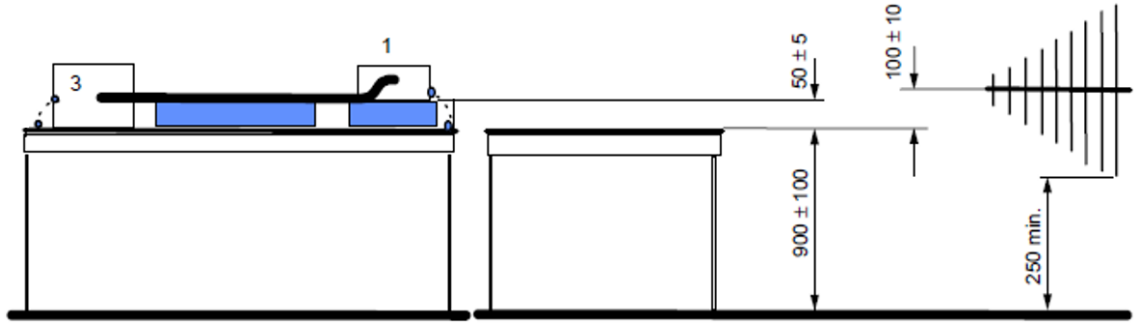
Şekil 2.12. Bikonik Anten Test Düzeneği Yan Görünüm – Yatay Polarizasyon

Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’de Logaritmik-Periyodik Anten test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Kablo Grubu, 3; Yük Simülatörü, 4; Güç Kaynağı (Otomotiv sektörü için araç aküsü), 5; LISN, 6; Topraklama Yüzeyi, 7; Düşük Bağlı Dielektrik Düzeneği, 8; Logaritmik-Periyodik Anten, 10; Çift Ekranlamalı Koaksiyel Kablo, 11; bölme duvarlı konektör, 12; ölçüm ekipmanı, 13; RF Absorbe Yüzeyler, 14; Görüntüleme ve Tetikleme Sistemi görülmektedir.

Logaritmik-Periyodik anten ile hem dikey hem yatay polarizasyonda 200MHz ile 1GHz aralığında ölçüm yapılarak, belirlenen sınırlar arasındaki değerler kontrol edilir.



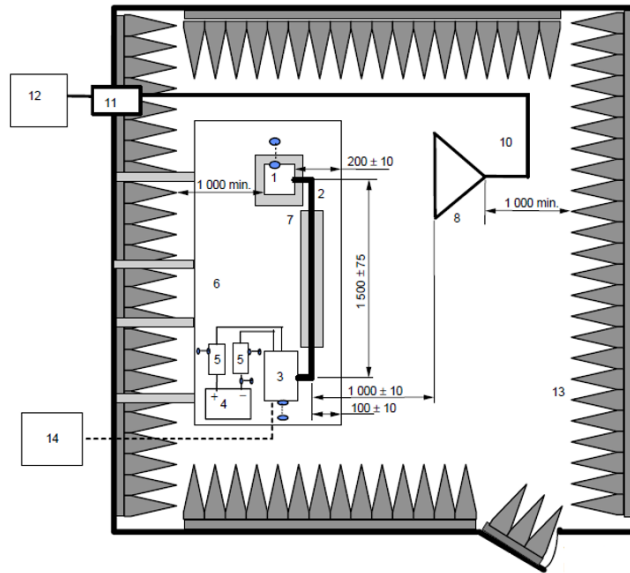
Şekil 2.13. Log-Periyodik Anten Test Düzeneği Üst Görünüm – Dikey Polarizasyon



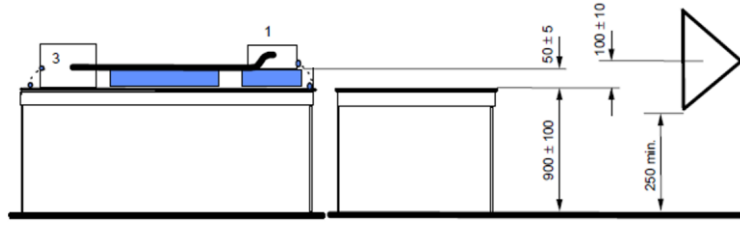
Şekil 2.14. Log-Periyodik Anten Test Düzeneği Yan Görünüm – Yatay Polarizasyon

Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da Horn Anten test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Kablo Grubu, 3; Yük Simülatörü, 4; Güç Kaynağı (Otomotiv sektörü için araç aküsü), 5; LISN, 6; Topraklama Yüzeyi, 7; Düşük Bağlı Dielektrik Düzeneği, 8; Horn Anten, 10; Çift Ekranlamalı Koaksiyel Kablo, 11; bölme duvarlı konektör, 12; ölçüm ekipmanı, 13; RF Absorbe Yüzeyler, 14; Görüntüleme ve Tetikleme Sistemi görülmektedir.

Horn anten ile hem dikey hem yatay polarizasyonda 1GHz – 6GHz aralığında ölçüm yapılarak, belirlenen sınırlar arasındaki değerler kontrol edilir.



Şekil 2.15. Horn Anten ile Test Düzeneği Üst Görünüm – Yatay Polarizasyon

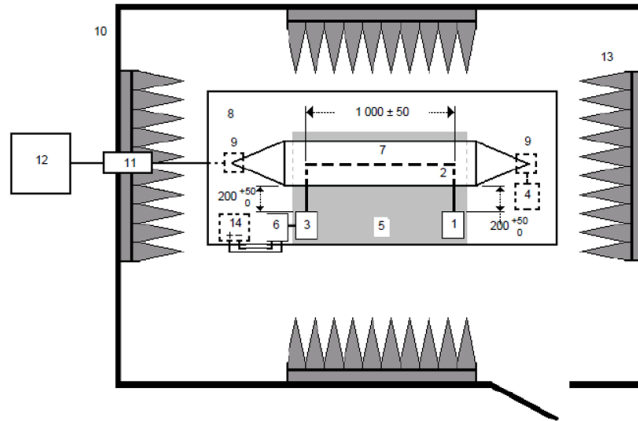


Şekil 2.16. Horn Anten ile Test Düzeneği Yan Görünüm – Dikey Polarizasyon

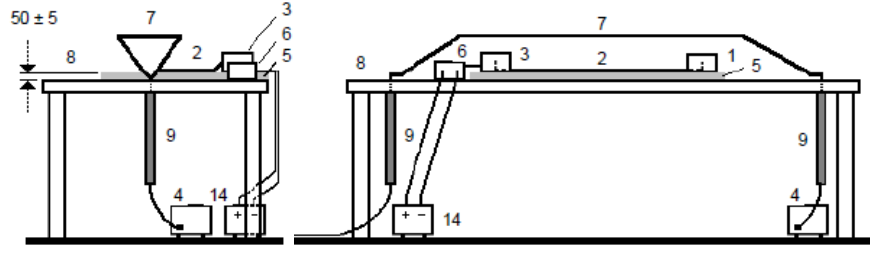
Şerit Çubuk (Stripline) Testi

Şerit bir çubuk altına yerleştirilen EUT'den, şerit yüzeyine aktarılan emisyon ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de Stripline metodu ile yapılan test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Kablo Grubu, 3; Yük Simülatörü, 4; 50 Ohm Yük 5; Düşük Bağlı Dielektrik Düzeneği, 6; LISN, 7; Merkez İletken Ara Yüzey (Septum), 8; Topraklama Yüzeyi, 9; Eşleştirme Düzeneği, 10; Ekranlı Oda Duvarı, 11; Bölme Duvarlı Konektör, 12; ölçüm ekipmanı, 13; RF Absorbe Yüzeyler, 14; Güç Kaynağı (Otomotiv aküsü) görülmektedir.

EUT, topraklama yüzeyinden 50 ± 5 mm yüksekte, septumun kenar ucundan 200mm uzakta ve 50 Ohmluk yükün bulunduğu tarafta konumlandırılır. 1700mm ile 2000mm uzunluğa sahip kablo grubunun 1000 ± 50 mm lik kısmı septuma paralel olarak, konumlandırılır. Kalan kısımlar ise güç kaynağı ve 50 Ohmluk yüke bağlanır. Yük simülatörü de septum kenarından 200 ± 50 mm uzağa konumlandırılarak 100kHz ile 1GHz aralığında ölçümler alınır.



Şekil 2.17. Stripline Metodu ile Test Düzeneği Üst Görünüm

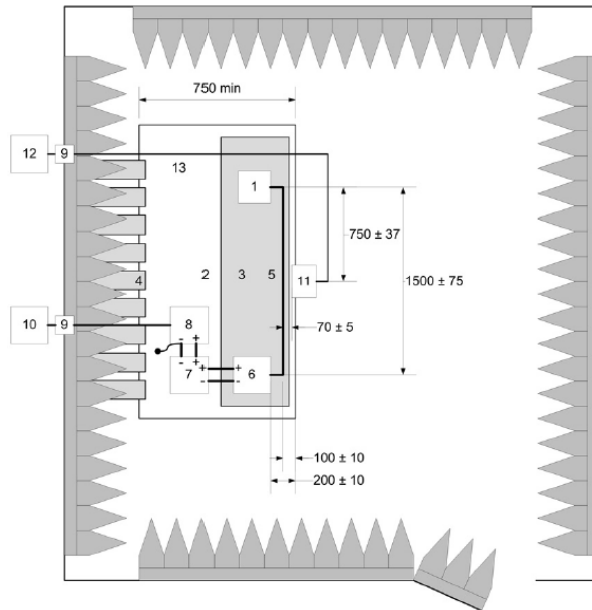


Şekil 2.18. Stripline Metodu ile Test Düzeneği Yan Görünüm

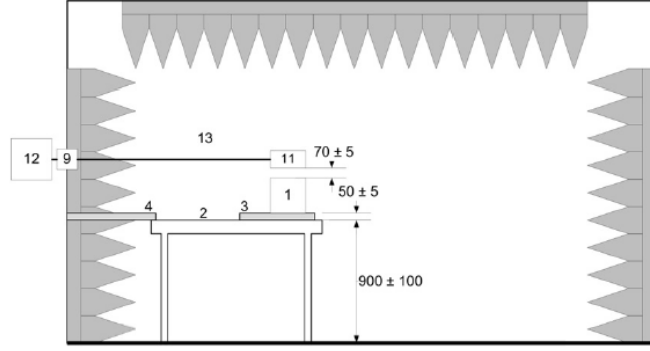
Manyetik Alan Bobini (Magnetic Field Coil) Testi

Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de Manyetik prob lar ile yapılan Manyetik Alan Bobini test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Topraklama Yüzeyi, 3; Düşük Dielektrikli Bağıl Yüzey, 4; Oda Duvarı ile Toprak Yüzeyi arasındaki Elektriksel Bağlantı, 5; Test Kablo Grubu, 6; Yapay Yük, 7; Sanal Ağ, 8; Akü, 9; Bağlantı Ekipmanı, 10; Güç Kaynağı, 11; Manyetik Prob, 12; Test Sonuç Alıcısı, 13; Koaksiyel Kablo, görülmektedir.

12cm çapa sahip manyetik prob ile ISO 11452-8 standardına göre yapılan bu testte manyetik prob düzeneği, teste maruz bırakılan ürünün 70mm yukarısında bulunmaktadır. 20Hz ile 150kHz arasındaki davranışı ölçülür.



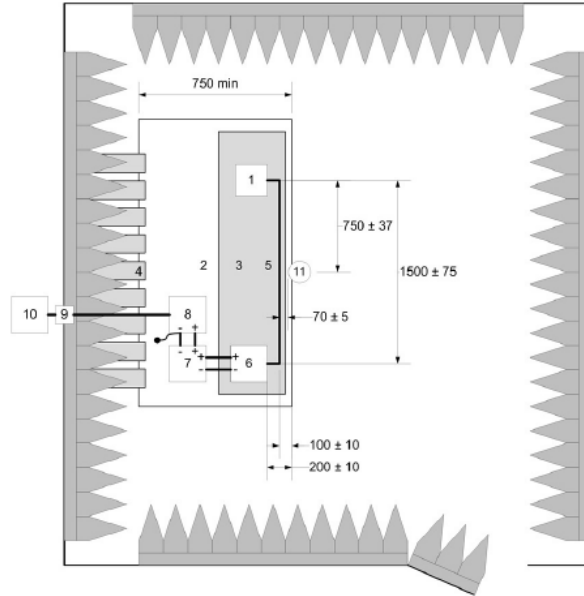
Şekil 2.19. Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Üst Görünüm



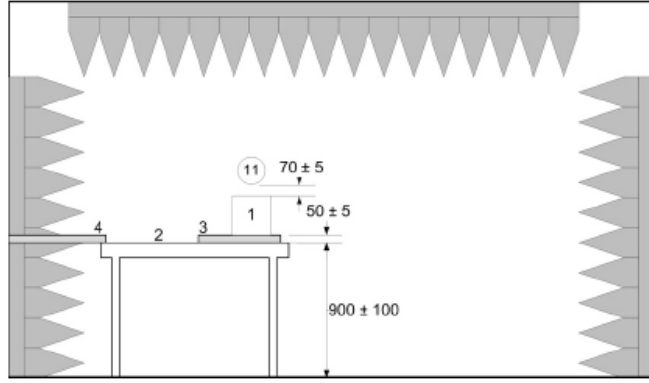
Şekil 2.20. Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Yan Görünüm

İzotropik Manyetik Alan Bobini Testi

Şekil 2.21 ve Şekil 2.22’de İzotropik Manyetik Prob ile yapılan İzotropik Manyetik Alan Bobini test düzeneğinde bulunan bileşenler 1; EUT, 2; Topraklama Yüzeyi, 3; Düşük Dielektrikli Bağıl Yüzey, 4; Oda Duvarı ile Toprak Yüzeyi arasındaki Elektriksel Bağlantı, 5; Test Kablo Grubu, 6; Yapay Yük, 7; Sanal Ağ, 8; Akü, 9; Bağlantı Ekipmanı, 10; Güç Kaynağı, 11; İzotropik Manyetik Alan Bobini görülmektedir.



Şekil 2.21. İzotropik Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Üst Görünüm



Şekil 2.22. İzotropik Manyetik Alan Bobini Test Düzeneği – Yan Görünüm

Bu testte izotropik manyetik alan bobini 100cm^2 alana sahip bir küre biçimindedir. Teste maruz bırakılacak parçadan 70mm yükseklikte tutularak, parçanın 1Hz ile 400kHz arasındaki davranışı ölçülür.

2.3.2. Bağışıklık (Immunity) Testleri

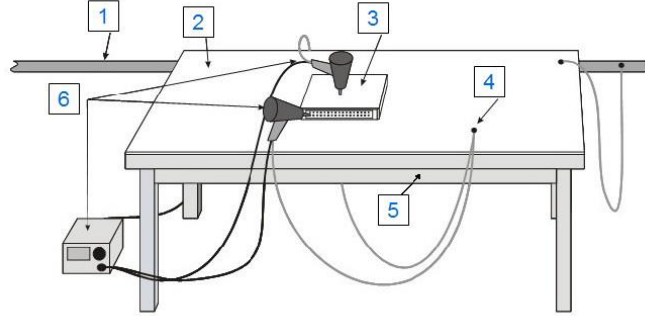
Parçanın içerisinde bulunacağı EM alanlar içerisinde bu alanlara karşı bağışıklığının da önemi yaydığı emisyon kadar önemlidir. Çünkü parça diğer sistem birimleri ile çalışması esnasında maruz kalacağı EM kirliliğe karşı bir bağışıklığa sahip olmalıdır ve bu EM kirliliğin parçanın fonksiyonelliğini etkilememesi gerekmektedir.

Bu bölümde anlatılacak bağışıklık testleri, maruz kalınacak alanlara karşı etkisini ölçmek için yapılmaktadır. Testler esnasında cihazlara çalışmalarını bozabilecek türde sinyaller, farklı iletim yoluyla uygulanır. Uygulama esnasında test edilen cihazın fonksiyonelliğini etkilememesi ya da performansını etkilememesi beklenir.

Elektrostatik Deşarj (ESD) Testleri

Günümüzde çoğu kez etkileşimde olduğumuz cihazların statik elektriğe karşı etkileşimi vardır. İnsan saçı, pamuk gibi malzemeler statik elektrik ile şarj olabilir ve bu şarj sonrası, herhangi bir elektronik cihaz ile temas ettiği anda, cihaz üzerine deşarj olmaktadır.

Parçanın çalışması, taşınması ya da sistemlerdeki elektrostatik yüklere maruz bırakıldığı durumlarda, bağışıklık testleri arasında yer alan elektrostatik deşarj testleri yapılır.

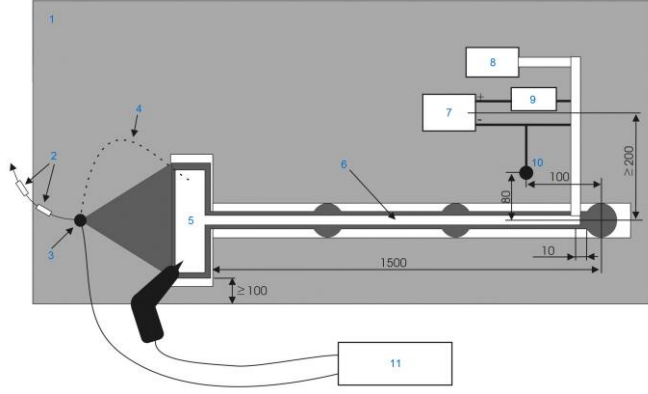


Şekil 2.23. Montaj-Taşıma Seviyesi – Elektrostatik Deşarj Testleri

Şekil 2.23’de gösterilen Assembly yani taşıma ve montaj esnasında oluşabilecek statik yüklere maruz kalacak parçanın test düzeneğinde, 1; Toprak Hattı, 2; Toprak Yüzeyi, 3; EUT, 4; Toprak Noktası, 5; Tahta Masa, 6; ESD Jeneratörü görülmektedir.

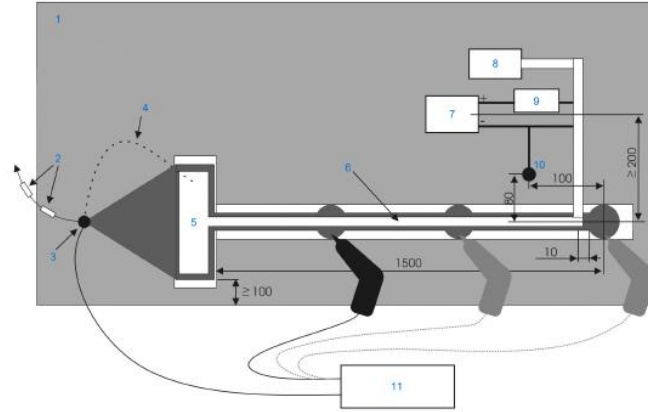
ISO 10605 standardına göre yapılan bu test esnasında havadan yani parçanın plastik gövdesi üzerine ya da direkt parçanın elektrik giriş pinlerine elektrostatik yükler ESD jeneratörüne bağlı olan ESD tabancaları aracılığı ile uygulanır. Bu test esnasında parça elektriksel olarak bir bağlantıya sahip değildir yani kapalı moddadır. Direkt olarak giriş konektör pinlerine sırasıyla $\pm 2\text{kV}$, $\pm 4\text{kV}$ ve $\pm 6\text{kV}$ uygulanır. Plastik gövde ya da havadan ise sırasıyla $\pm 4\text{kV}$, $\pm 8\text{kV}$ ve $\pm 15\text{kV}$ uygulanır. Testler sonunda parça üzerinde fonksiyonellik ölçümleri yapılır.

Şekil 2.24’de gösterilen sistem seviyesi testleri esnasında parçanın çalışması esnasında maruz kaldığı elektrostatik yüklere karşı bağışıklığı ölçülür. Test düzeneğinde, 1; Toprak Yüzeyi, 2; $470\text{k}\Omega$ Yüksek Gerilime Dayanıklı Topraklama Dirençleri, 3; ESD Jeneratörü için Toprak Referans Noktası, 4; EUT Toprak Bağlantısı (Gerekli ise), 5; EUT, 6; Test Kablo Düzeneği, 7; Besleme Aküsü, 8; Kontrol Ekipmanları, 9; Sanal Ağ, 10; Ekipman ve akü için Toprak Referans Noktası, 11; ESD Jeneratörü görülmektedir.



Şekil 2.24. Sistem Seviyesi - Direkt Deşarj Testi

Parçanın çalışması esnasında, direkt olarak parçanın belirlendiği yüzeylerine sırasıyla $\pm 4\text{kV}$ ve $\pm 8\text{kV}$ uygulanır.



Şekil 2.25. Sistem Seviyesi - Dolaylı Deşarj Testi

Şekil 2.24’de yer alan Direkt Deşarj Testinden farklı olarak parça ile akü arasındaki kablo yüzeylerine sırasıyla $\pm 4\text{kV}$, $\pm 8\text{kV}$ ve $\pm 15\text{kV}$ uygulanarak, parçanın elektrostatik yüklere karşı bağışıklığı Şekil 2.25’de yer alan dolaylı deşarj testi ile ölçülür.

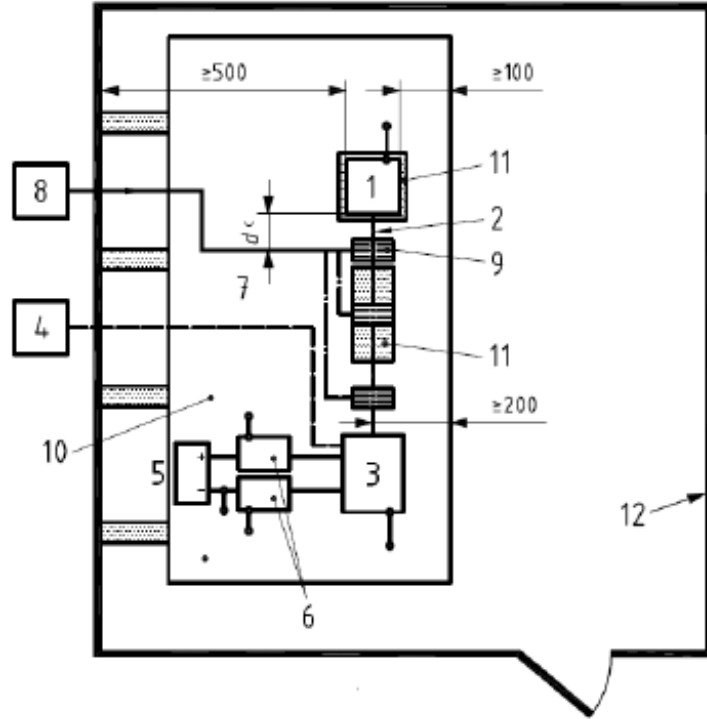
İletilen Bağışıklık Testi (Conducted Immunity)

İletilen bağışıklık testi, test edilen cihaza dışarıdan iletim yoluyla bozucu sinyaller uygulanarak yapılmaktadır. ISO 11452-4 standardında ki düzenek ve sinyaller baz alınarak gerçekleştirilir. Test sinyallerini uygulamak için test edilecek cihazın giriş

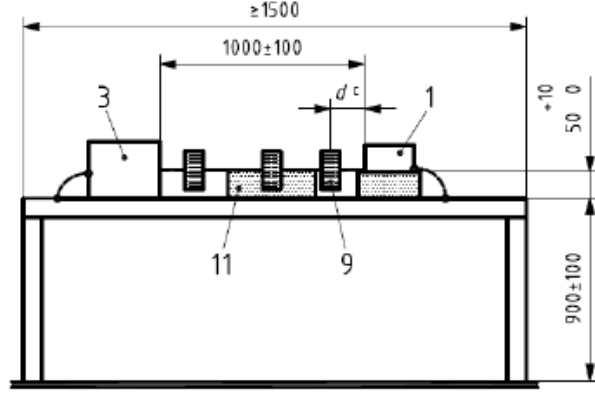
sinyallerine, akım enjeksiyon probu eklenerek girişteki sinyaller bozulmaya çalışılır. Test ortak ve ayrık mod olarak iki metot ile gerçekleştirilir. Ortak mod uygulandığı anda, akım enjeksiyon probunun toprak bağlantısı, cihazın toprak bağlantısı ile birleştirilir. Ayrık mod uygulandığı esnada ise akım enjeksiyon probunun toprak bağlantısı cihazdan ayrı bir toprak bağlantısı ile sağlanır.

Bozucu sinyallerin uygulandığı frekans aralığı ise 100kHz ile 400MHz arasındadır. Ayrıca akım enjeksiyon probu parçadan 15cm, 45cm ve 75cm uzaklıklarda eklenerek ölçüm gerçekleştirilir.

Şekil 2.26 ve Şekil 2.27’de İletilen Bağışıklık Testinin düzenekleri görülmektedir. Burada emisyon testlerinden farklı olarak kurban ve bozucu ekipmanlar sistem üzerinde yer değiştirerek testler gerçekleştirilir.



Şekil 2.26. İletilen Bağışıklık Test Düzenekleri Üst Görünüm

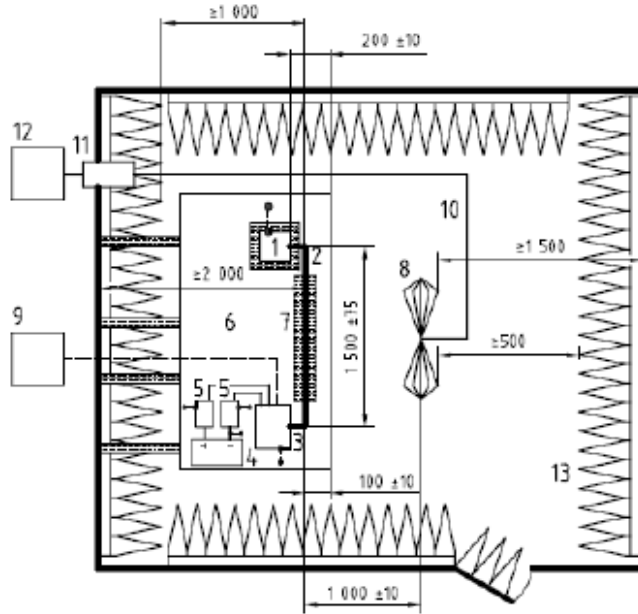


Şekil 2.27. İletilen Bağışıklık Test Düzeneği Yan Görünüm

Yayılan Bağışıklık Testi (Radiated Immunity)

İletilen bağışıklık testinde cihazın girişine uygulanan bozucu sinyaller, yayılan bağışıklık testi esnasında antenler vasıtası ile hava aracılığı ile uygulanır. Testler esnasında baz alınan standart ISO 11452-2 dir. Bikonik, Logaritmik-Periyodik ve Horn Antenler vasıtası ile 200MHz ile 6GHz frekans aralığında sinyaller uygulanır.

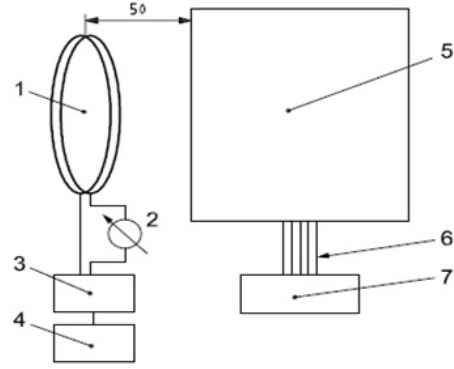
Şekil 2.28'de gösterilen yayılan bağışıklık test düzeneğinde bikonik anten kullanılmıştır.



Şekil 2.28. Yayılan Bağışıklık Test Düzeneği Üst Görünüm

Manyetik Alan Testi

Bağışıklık testleri arasında yer alan Şekil 2.29’da düzeneği görülen Manyetik Alan testi, test edilecek cihazın içerisinde hassas manyetik bir komponent, örneğin; cihazda hall sensörü ya da manyetik-indüktif bir sensör var ise uygulanır. ISO 11452-8 standart limitlerinin esas alındığı bu test için, 60cm çapa sahip, Helmholtz bobin kullanılarak 15Hz ile 150kHz arasında sinyaller uygulanıp, ölçüm gerçekleştirilir.



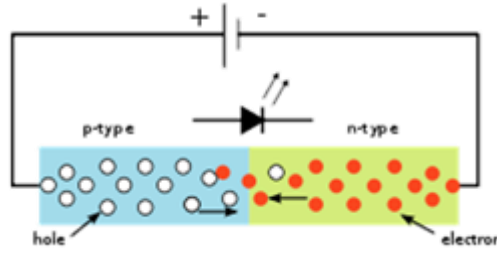
Şekil 2.29. Manyetik Alan Test Düzeneği

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölüm içerisinde, tez çalışmasında yer alan LED, DC/DC dönüştürücüler ve PCB tasarımında dikkat edilen hususlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

3.1. Işık Yayan Diyot (LED)

LED (Light Emitting Diode) aslında bir p-n jonksiyona sahip diyottur. Elektrotları uygun bir gerilim ile beslenirse, yarı iletken yüzeyindeki elektronlar, elektron delikleriyle birleşerek ekstra enerjiyi fotonlar şeklinde serbest bırakır. Elektrolüminesans olarak adlandırılan ve Şekil 3.1’de temel olarak gösterilen bu olay sonucunda ışınım sonucunda, yüzeyinden ışık ortaya çıkar (Taylan ve ark. 2019).



Şekil 3.1. Elektrolüminesans Olayı Görseli

Otomotiv aydınlatma ürünlerinde halojen ya da floresan ampul yerine çok sık kullanılan LED, bu tez çalışmasında bulunan devre kartının önemli bileşenleri arasında yer almıştır. Çalışmada KW2 CFLNM2.TK kodlu Şekil 3.2’de gösterilen OSRAM firmasının ürettiği beyaz renkli ışık veren LED kullanılmıştır.



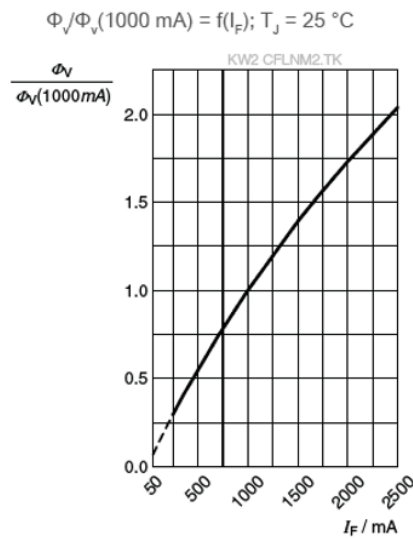
Şekil 3.2. OSRAM – KW2 CFLNM2.TK LED

Bu LED'in seçilmesi esnasında LED'den çıkan ışık miktarına, LED'in jonksiyon termal direnç katsayısına ve rengine dikkat edilmiştir. Bu kıstaslar ürünün kullanım alanı olan ön sis aydınlatma ürünündeki, yasal regülasyonlara uyulması için önem taşır. Termal direnç katsayısının düşük olması LED'in çalışması sırasında oluşturacağı ısı miktarının düşük olmasını sağlayacaktır. Bunun sonucunda cihaz ömür testlerini başarıyla tamamlayacaktır.

Tez çalışmasında kullanılan beyaz ışık yayan LED'ler, genellikle yüksek parlaklığa sahip InGaN (İndiyum Galyum Nitrit) içeriğe sahip mavi LED'lerin üzerine ince bir fosfor tabakasıyla kaplanması sonucu oluşturulur. Burada yüksek enerjili fotonlar, fosfor materyalindeki atomlar tarafından absorbe edilir ve yeni, daha düşük frekanslı fotonlar yayılır. Bu fenomen floresans olarak adlandırılır(Taylan ve ark. 2019).

Beyaz ışık, mavi LED'den gelen ışık ile fosfor tabakadan yayılan, çoğunlukla sarı ışık üreten ancak aynı zamanda görünür spektrumun dalga boylarında fotonlar yayan ışığın birleşiminden oluşur(Taylan ve ark. 2019).

Seçilen LED, 50mA ile 1500mA sürme akımı ile ışık çıkışı verebilmektedir. Ancak LED'in normal çalışma akımı 1000mA olup bu değer dışındaki tüm akımlarda Şekil 3.3'te yer alan grafikteki katsayı ile çarpılıp, ışık çıkışı değişebilmektedir .



Şekil 3.3. OSRAM – KW2 CFLNM2.TK LED Işık Çıkış Katsayısı / Akım Grafiği

3.2. DC/DC Dönüştürücü Devreler

Tezin konusu olan elektronik devre üzerinde de DC/DC dönüştürücü bulunduğundan, bu konu hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Güç elektroniğinin en büyük araştırma alanı olan dönüştürücüler, neredeyse her elektrik ile çalışan cihazda bulunmaktadır. Dönüştürücüler 4 ana başlığa ayrılmış durumdadır.

- 1- Alternatif Akım / Alternatif Akım (AC/AC) Dönüştürücüler
- 2- Alternatif Akım / Doğru Akım (AC/DC) Eviriciler
- 3- Doğru Akım / Doğru Akım (DC/DC) Dönüştürücüler
- 4- Doğru Akım / Alternatif Akım (DC/AC) Eviriciler

AC/AC ya da DC/DC Dönüştürücüler sadece gerilim seviyesini düşürür ya da artırır. AC/DC veya DC/AC Eviriciler ise gerilimi ilgili cihazlarda kullanmak üzere birbirlerine evirirler. AC/DC eviriciler genellikle şehir şebekesinden gelen AC sinyali, elektronik cihazlarda kullanmak üzere DC sinyale evirir. DC/AC eviriciler ise elektronik cihazın kullandığı ya da ürettiği DC sinyali, AC ile çalışan elektrik cihazlarında kullanmak üzere AC sinyale evirir.

Tez çalışmasında kullanılan cihazın fonksiyonlarını yerine getirmek için DC gerilim gerekmekte ve LED araç aküsünden elde edilen gerilimden daha düşük bir gerilim ile çalıştığından, tez içerisinde DC/DC dönüştürücüler kullanılmış ve bu dönüştürücüler üzerinde durulmuştur.

3.2.1 Gerilim Düşüren DC/DC Dönüştürücüler

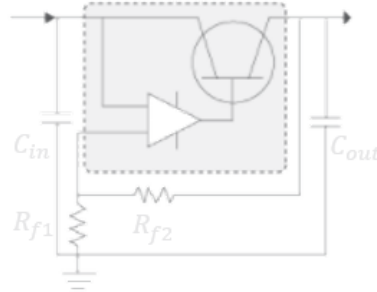
Temel olarak, girişine uygulanan gerilim seviyesini, kontrol edeceği yük ve akım kontrolü için azaltan devrelere gerilim düşürücü devreler denir. Lineer ya da Anahtarlamalı Gerilim Düşüren devreler olarak 2 ana başlık altında yer alırlar. Bu çalışmada gerilim düşüren DC/DC dönüştürücü kullanılmıştır ve avantajlar ile dezavantajları açıklanacaktır.

Lineer Gerilim Düşüren DC/DC Dönüştürücüler

Lineer regülatör olarak adlandırılan bu devre türünde, giriş gerilimi regüle edilerek çıkışta düşük gerilim elde edilir. Bu yapılarda, regülatörün üreteceği sabit gerilim değeri, regülatörün direncine göre değişir. İstenen çıkış gerilimini elde etmek için regülatörün giriş kısmına, çıkıştan yüksek bir giriş gerilimi gerekmektedir.

Lineer regülatörler, düşük akım gerektiren, giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki farkın küçük olduğu sistemler için uygundur. Çünkü giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki fark regülatör üstünde tamamen ısı şeklinde ortaya çıkacaktır. Bu durum regülatörün bozulmasına ya da veriminin düşmesine neden olacaktır (Clayton 2006).

Avantajları; basit yapıda, düşük maliyetli ve düşük EM gürültü oluşturmasıdır. Dezavantajları ise, düşük verimli, yüksek ısı oluşturan ve düşük güç kontrol eden yapılar olmasıdır (Clayton 2006). Şekil 3.4 temel olarak bir lineer regülatörün iç yapısı ve kullanım şeklini göstermektedir. Belirtilen dirençler ile çıkışta kontrol edilecek akım seviyesi belirlenir.



Şekil 3.4. Lineer Regülatör Temel Yapısı

Anahtarlama Gerilim Düşüren DC/DC Dönüştürücüler

Günümüzde güç yönetiminin gereksinimleri, farklı yük koşullarında daha az güç tüketimi, daha az tasarım alanı, yüksek verimlilik ve geniş aralıklı giriş gerilimine uygunluktur. Bunu yerine getirebilmek için ise anahtarlama yapıları geliştirilmiştir. Anahtarlama dönüştürücüler, genel olarak bir FET (Alan Etkili Transistör)'i, hızlı bir şekilde açıp kapatarak anahtarlamaı gerçekleştirir.

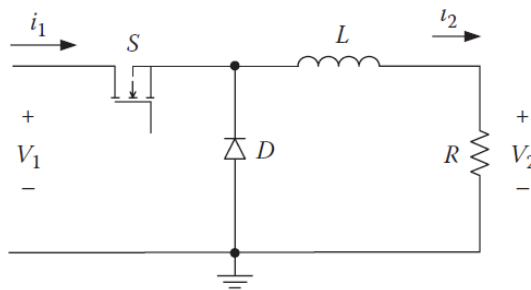
Anahtarlama gerçekleştirilirken, dönüştürücü giriş enerjisini geçici olarak depolamakta ve bu enerjiyi farklı bir gerilim seviyesinde çıkışına aktarmaktadır. Anahtarlamanın hızı yüke aktarılacak miktarı ayarlamaktadır. Anahtarlama esnasında yük ya tamamen iletilmiştir ya da tamamen sıfıra inmiştir, bu sebeple dönüştürücü üzerinde neredeyse hiç yük harcanmamaktadır.

Anahtarlama dönüştürücülerde lineer regülatörlerden farklı olarak, gerilim seviyesi yükseltilebilir hatta gerilimin kutbu değiştirilebilir. Bu sebeple birbirinden farklı topolojilere sahip anahtarlama dönüştürücüler (buck, flyback vb.) bulunmaktadır. Gelişen üretim metotları ve yarı iletken teknolojileri sayesinde de FET ler anahtarlama dönüştürücüler içerisine eklenmektedir (Maniktala 2012).

Şekil 3.5’de anahtarlama gerilim düşüren devrenin temel olarak yapısı görülmektedir. Buck ya da step-down dönüştürücü olarak adlandırılan dönüştürücü türünde, S olarak adlandırılmış FET anahtar kapalı moda geldiğinde yani devre tamamlandığında enerji anahtar üzerinden girişten L bobin üzerine indüklenir. Anahtar açık moda geldiğinde ise L üzerinde indüklenen enerji, D diyot vasıtasıyla R yük üzerine yani çıkışa aktarılır. Yük üzerindeki akım (i_2), çıkış akımına (i_o) eşittir. Çıkış gerilimi (V_2) ile giriş gerilimi (V_1) olarak alınır ise u dönüştürücünün transfer fonksiyonu D aşağıdaki gibi bulunur.

$$i_2 = i_o \quad (3.1)$$

$$D \cong \frac{V_2}{V_1} \quad (3.2)$$



Şekil 3.5. Gerilim Düşüren (Buck) Dönüştürücü Temel Yapısı

Tez çalışmasındaki devrede gerilim düşürücü regülatör kullanılmış olup, araç bataryası gerilimi olan 12V DC, LED sürme gerilimi Şekil 3.6’da belirtilen ortalama değer 6.2V DC gerilim seviyesine düşürülmüştür.

Forward Voltage Groups		
Group	Forward Voltage [®] I _F = 1000 mA min. V _F	Forward Voltage [®] I _F = 1000 mA max. V _F
5C	5.60 V	6.20 V
6B	6.20 V	6.75 V

Şekil 3.6. LED Bilgi Dokümanı – Çalışma Gerilimleri

LED’in optik istemlerine göre belirlenen akım ve gerilimine uygun gerilim düşürücü olarak *Diodes* firmasının AEC (Otomotiv Onaylı) *AL8860Q* ürünü (Şekil 3.7) seçilmiştir.

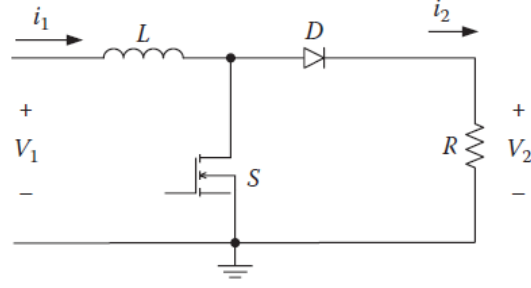


Şekil 3.7. *Diodes* – *AL8860Q* Dönüştürücü

3.2.2 Gerilim Yükselten (Boost) Dönüştürücüler

Şekil 3.8’de temel olarak gösterilen boost veya step-up dönüştürücü olarak bilinen gerilim yükselten dönüştürücü türünde, S anahtarı kapalı moda geldiğinde, enerji yalnızca girişten bobin üzerine indüklenir ve yüke (R) doğru gitmez. S anahtarı açık moda geldiğinde ise bobin üzerinde indüklenen enerji, diyot üzerinden çıkışa iletilir ve yük için gerekli gerilim sağlanır. Çıkış gerilimi (V_2) ile giriş gerilimi (V_1) olarak alınır ise u dönüştürücünün transfer fonksiyonu D aşağıdaki gibi bulunur.

$$D \cong \frac{V_2 - V_1}{V_2} \quad (3.3)$$

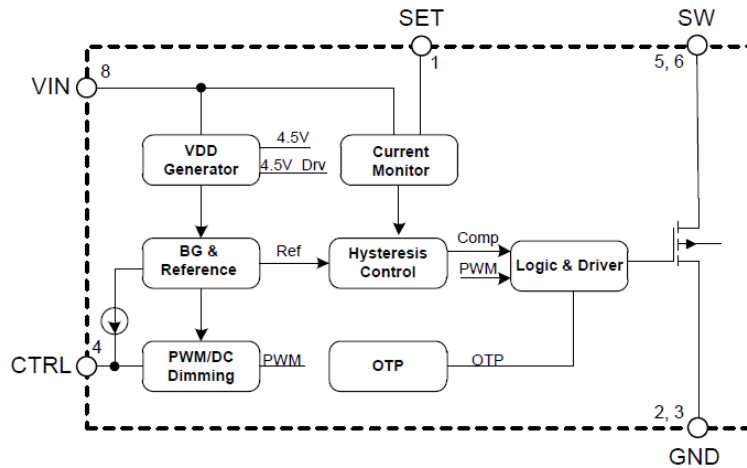


Şekil 3.8. Gerilim Yükselten (Boost) Dönüştürücüler

3.3 Baskı Devre Kartı Tasarımı

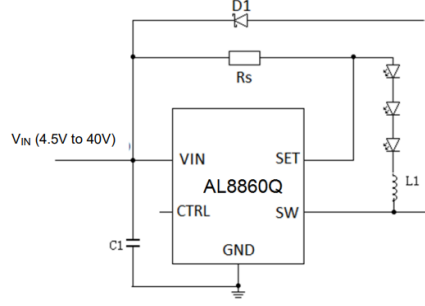
Tez çalışmasının kritik kısmı olan baskı devre tasarımı bu bölümde anlatılacaktır. Burada LED'in optik istemleri için gerekli olan sürme akımı 800mA ve 6.2V sürme gerilimine göre tasarım şekillenmeye başlanmıştır.

Tasarımda kullanılan *AL8860Q*; içerisinde yerleşik bir FET bulunan dönüştürücüdür. 1,5 Amper akım ve 40 Volt gerilim çıkışı sağlayabilir. 1 numaralı SET (Ayar) pinine bağlanan direnç ile çıkış akımı ayarlanabilen ve 4 numaralı CTRL (Kontrol) pinine gelen PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) sinyali ile çıkış akımını değişen zamanlarda istenilen seviyelerde değiştirebilen bir dönüştürücüdür ve pin diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir. SW (Anahtarlama) pinleri ise dönüştürücünün yapısında bulunan FET'in Drain bacağıdır ve LED'in katot kısmı bu bacağı bir bobin üzerinden bağlanmaktadır.

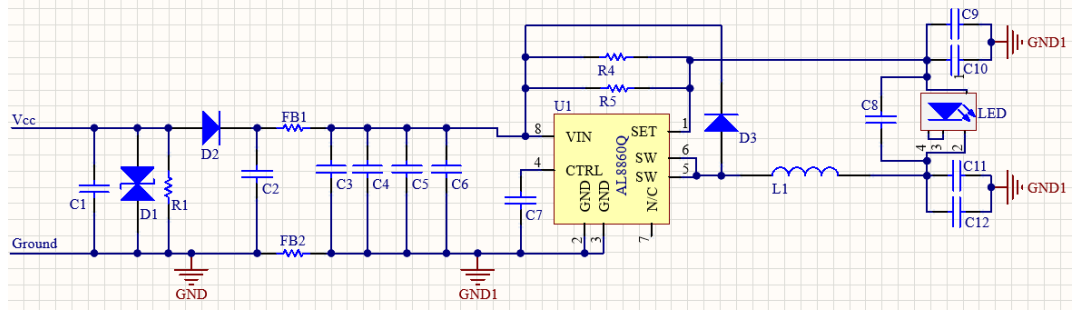


Şekil 3.9. *AL8860Q* Pin Diyagramı

Dönüştürücünün teknik bilgi dokümanı incelendikten sonra devre şeması öncelikle Şekil 3.10'da yer alan temel devre şeması üzerine kurgulanmıştır. Burada eksik olan komponentler, filtre komponentleri, ters polarite diyodu ve TVS (Transient Voltage Suppresor) diyotu eklenip Şekil 3.11'da görülen devre şeması oluşturulmuştur.

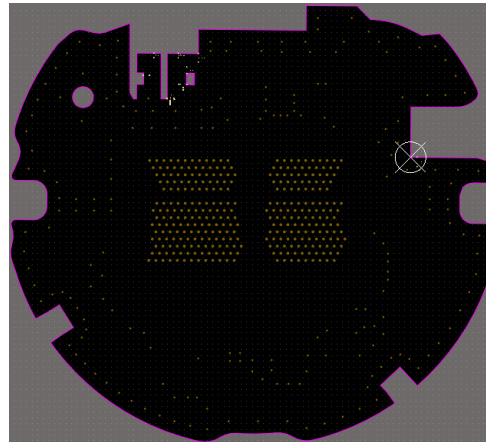


Şekil 3.10. AL8860Q Dönüştürücüsünün Temel Devre Şeması



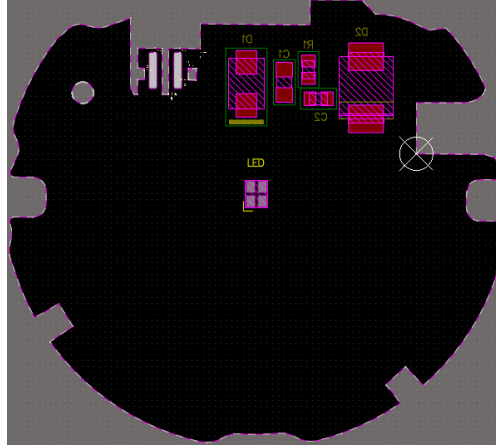
Şekil 3.11. Temel Devre Şeması

Oluşturulan devre şemasından sonra, PCB'nin tasarımına başlanılır.

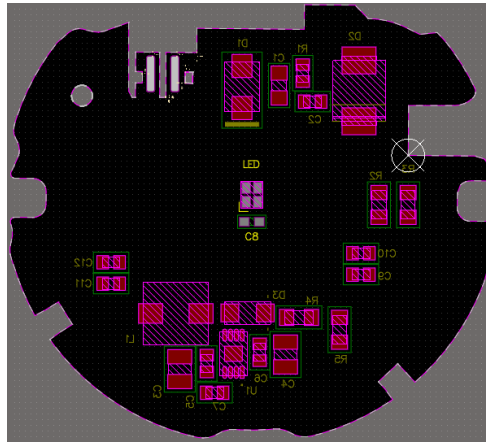


Şekil 3.12. PCB Fiziki Yüzeyi

Ardından Şekil 3.11’da bulunan devre şemasındaki komponentlerin PCB üzerine dizilimi gerçekleştirilir. Optik tasarım biriminden gelen LED konumu ve mekanik tasarım biriminden gelen parçanın besleme geriliminin uygulanacağı konektör bölgesi sabitlenir. Devrenin giriş kısmında yer alan, alçak geçiren filtre komponentleri olan C1, C2 kondansatörleri ile R1 direnci konektör bağlantı bölgesine en yakın şekilde konumlandırılır (Şekil 3.13). Ayrıca anlık darbe gerilim testlerini aşmak için kullanılmış D1 referanslı TVS diyot tasarımda giriş kısmına konumlandırılarak devreyi koruması amaçlanmıştır. D2 referanslı ters-polarite diyotu ise, EUT’ye uygulanabilecek ters gerilimlerde devreyi korumak için yine giriş kısmına konumlandırılmıştır. Şekil 3.14 te ise tüm komponentler konumlandırılmıştır.

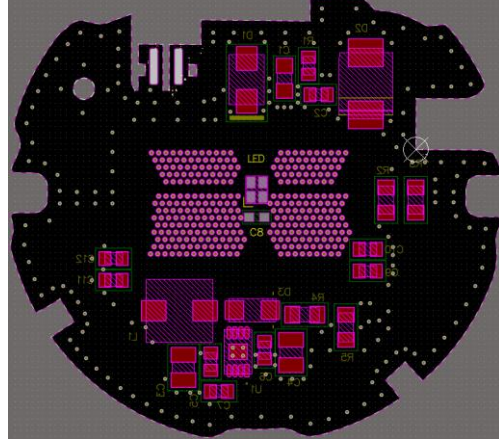


Şekil 3.13. PCB üzerinde LED ve Giriş Filtre Komponentleri Yerleşimi



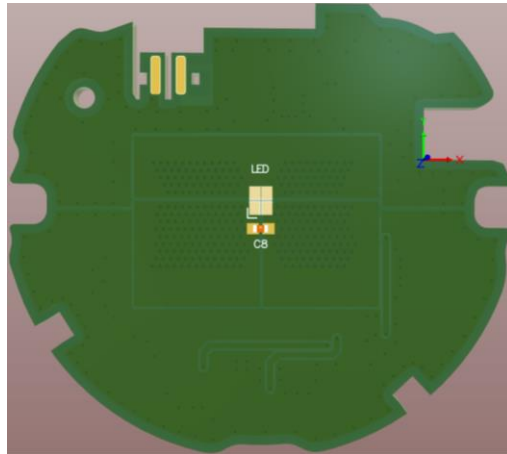
Şekil 3.14. PCB Üzerine Tüm Komponentlerin Yerleşimi

LED'in termal açıdan zarar görmemesi için, tam arkasına yerleştirilen heatsink bölgesine temas etmesi açısından etrafına PCB'de Şekil 3.15'de görüldüğü üzere vialar açılır.

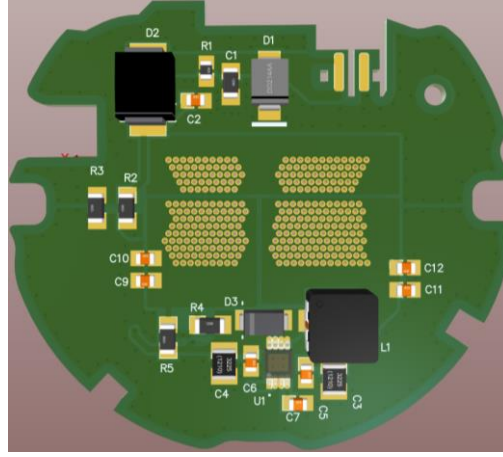


Şekil 3.15. LED ile Heatsink Bölgesine Termal Viaların Eklenmesi

Tüm ayarlamalar bittikten sonra, iletken yollar birleştirilir ve PCB üzerindeki kalan alan toprak bağlantısı ile bağlanır. PCB tasarımının son hali Şekil 3.16'da Üst Yüzeyi, Şekil 3.17'de Alt Yüzeyi gösterilmiştir. Şekil 3.16'da kırmızı ile olan görünüm tasarım programının 2 boyutlu yüzeyinden, yeşil görünüm ise 3 boyut üzerinden alınan gösterimlerdir. Şekil 3.17'de ise mavi ile olan görünüm tasarım programının 2 boyutlu yüzeyinden, yeşil görünüm ise 3 boyut üzerinden alınan gösterimlerdir.

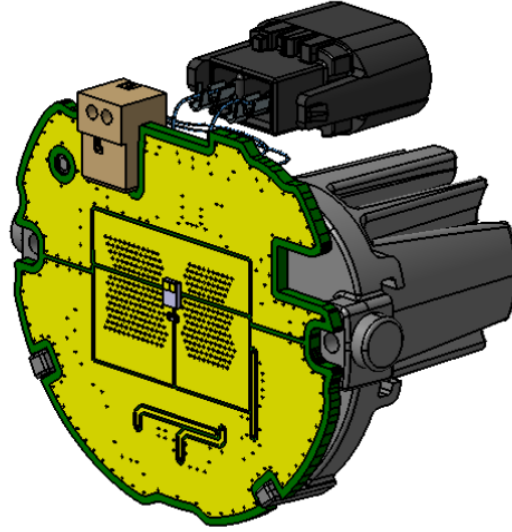


Şekil 3.16. PCB Üst Yüzeyi



Şekil 3.17. PCB Alt Yüzeyi

PCB nin, soğutucu ve konektör bağlantısı ile tamamlanmış hali şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Montajı Tamamlanan Ürün Görseli

4. BULGULAR

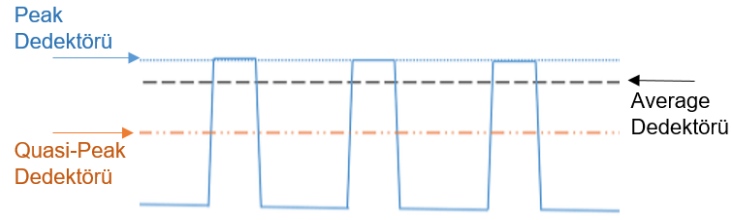
Bu tez çalışmasında dönüştürücülerde büyük problemlerin yaşandığı, tasarımda değişiklikler yapılmasına sebep olan, yayılan emisyon ve iletilen emisyon testlerinin ölçümleri alınmıştır. Emisyon testlerinde devre üzerinde yapılan değişikliklerin, emisyon seviyelerini hangi ölçüde etkilediği üzerinde durulmuştur.

İlk olarak, PCB tasarımında esas alınan ve öngörülen komponentlerin yer aldığı temel devre için ölçümler alınmıştır. Ardından PCB üzerinde yer alan komponentlerin değişiminin, farklı metotlar ve farklı komponentler ile yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

CE ölçümleri için CISPR25 standardından daha düşük üst limitlere sahip olan MBN10284-4 müşteri limitleri esas alınmıştır. Böylelikle cihazın daha zorlu limitler altında davranışı gözlemlenmiştir.

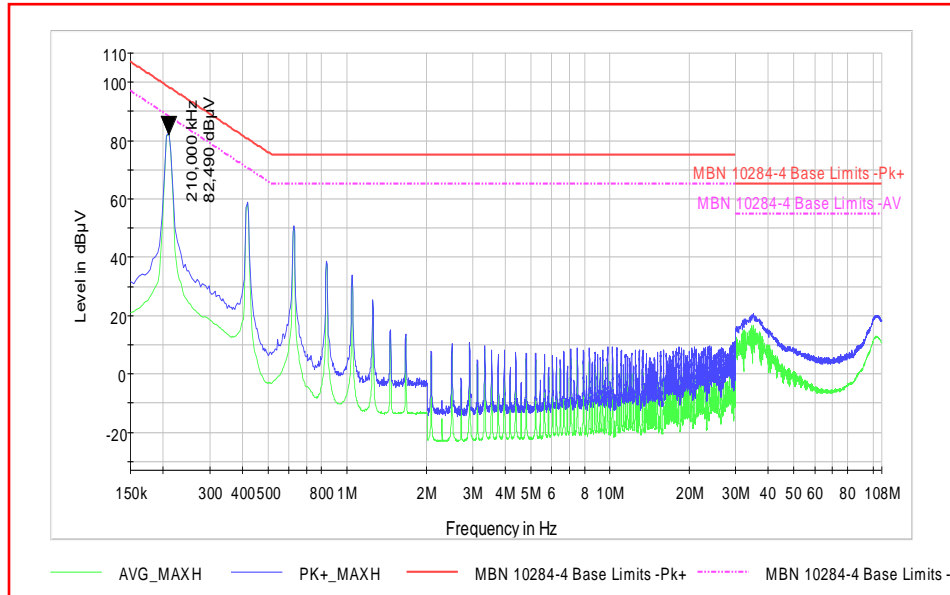
RE ölçümleri için de CISPR25 standardını referans alan ECE R10 regülasyon limitleri esas alınarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. ECE R10 regülasyonunda da limitler CISPR 25 standardından daha düşüktür.

Ölçümler alınırken EUT üzerindeki emisyonu ölçmek için kullanılan dedektörler, otomotiv sanayisi için CISPR 16-1 de tanımlanmıştır. Bunlar Peak, Quasi Peak ve Average detektörlerdir. EUT test esnasında bu dedektörler tarafından taranır ve bu standartlarda açıklanan limitler ile karşılaştırmamıza olanak sağlar. Peak dedektörü isminden de anlaşılacağı üzere en kötü durumu ölçen detektördür ve yayılan sinyaldeki her harmoniğin tepe değerini ölçer. Quasi-Peak Dedektörü, her sinyal bileşenini tekrarlama oranına göre ölçer ve tekrarlama oranı ne kadar hızlı olursa, o bileşene verilen ağırlık kadar yüksek ölçüm gösterir. Average Dedektörü, periyodu boyunca her sinyal bileşenini ortalama değerini ölçer. Şekil 4.1’de örnek ölçüm gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Emisyon Dedektörleri Örnek Sinyal Ölçüm Mekanizması

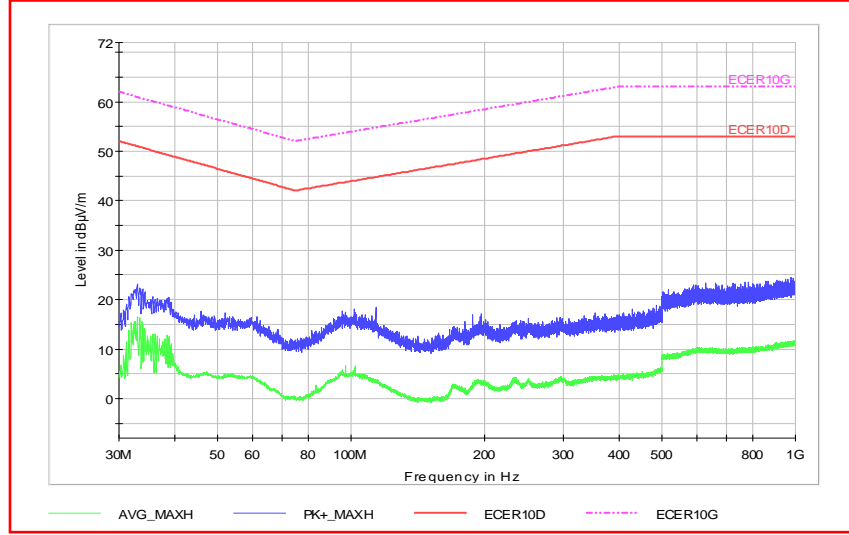
Şekil 4.2’de ilk tasarlanan devre üzerinden alınan CE ölçümleri yer almaktadır. Ölçümler tepe değerlerini ölçmek için Peak dedektörü ve ortalama değerleri ölçmek için Average dedektörü ile yapılmıştır. Limitlere en yakın değer devrenin anahtarlama frekansı olan 180KHz civarında görülmüştür. Burada tepe değeri ölçümünde izin verilen değer yaklaşık olarak 105dBuV dir, cihaz üzerinden ölçülen değer ise 78.81dBuV olmuştur. Sonuçlardan da görüleceği üzere düşük frekanslarda özellikle 400kHz’de 60dBuV, 600kHz de 50dBuV seviyesinde limitlere çok yakın ölçümler alınırken yüksek frekanslarda limitlerden uzak sonuçlar alınmıştır. Bunun nedeni harmoniklerin genlik değerlerinin frekans yükseldikçe azalmasıdır.



Şekil 4.2. Temel Devre üzerinden alınan CE Ölçüm Sonuçları

Şekil 4.3’de ilk tasarlanan devre üzerinden alınan RE ölçümleri görülmektedir. 30MHz üzerinde gerçekleştirilen bu ölçümlerde beklendiği üzere limit değerlere çok

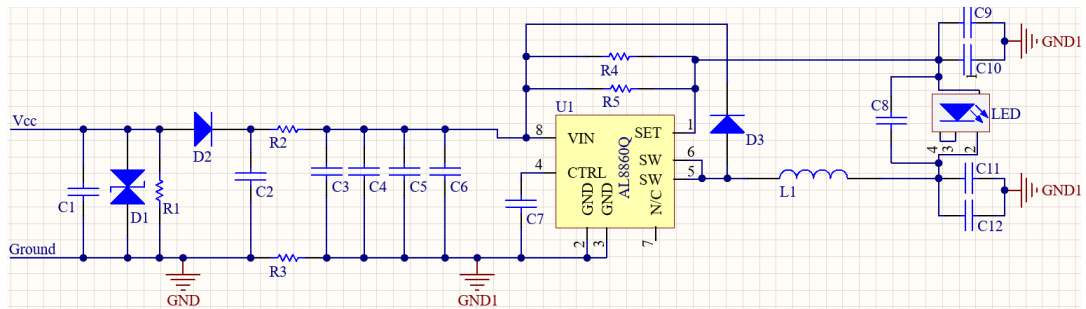
yaklaşmadığı görülmüştür. Topraklama alanının cihaz üzerinde geniş yer kaplamasından ötürü yüksek ışıma değerlerine izin vermemesi ve PCB'de yer alan komponentlerin yerleşiminden dolayı aralarındaki bağlantı yollarının kısa olması limitlerden uzak ölçümlerin alınmasına neden olarak gösterilebilir.



Şekil 4.3. Temel Devre üzerinden alınan RE Ölçüm Sonuçları

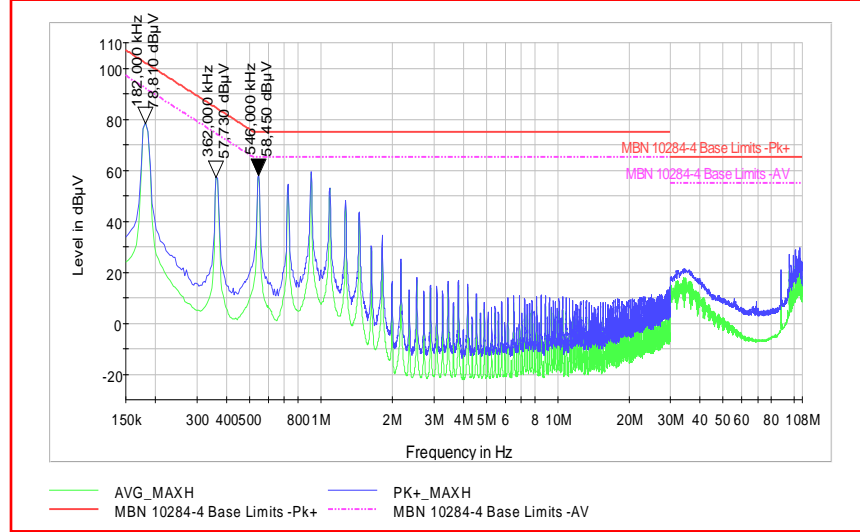
4.1. Ferrite Bead Etkisi

Devre kartının girişinde yer alan ve özellikle iletilen bağışıklık testlerinde kullanılması öngörülen ferrite bead (FB) komponentlerinin yayılım yoluyla emisyon ölçümlerine etkisi görülmeye çalışılmıştır. Temel devre şeması Şekil 3.10 da bulunan FB1 ve FB2 referanslı BLM31PG121SZ1 kodlu Murata firmasının ürettiği FB, 0R (sıfır ohm) değerine sahip R2 ve R3 referanslı dirençler ile değiştirilmiştir (Şekil 4.4).



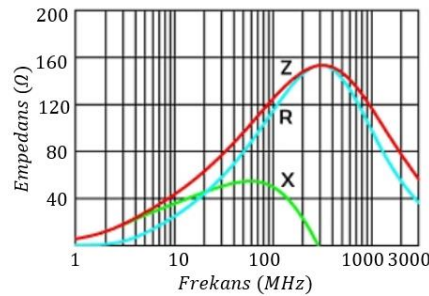
Şekil 4.4. Ferrite Bead Çıkarılan Devre Şeması

Şekil 4.5'te 0R ile değiştirilen FB li devrenin CE ölçümleri yer almaktadır. Anahtarlama frekansına yakın bölgede limit değerlere yaklaşıldığı görülmektedir. En yakın olarak 540kHz civarında görülen tepe değeri 58.45dBuV olup, standardın belirlediği limit olan yaklaşık 70dBuV değerine yaklaşmıştır. Ayrıca düşük frekans bölgesinde, FB çıkarılan devrenin ölçümlerinde 20dBuV bir zayıflama olduğu görülmektedir.

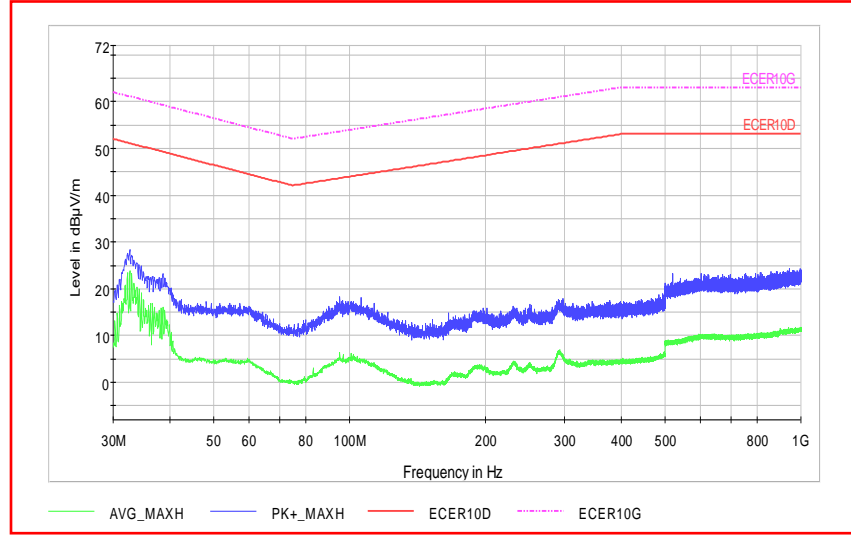


Şekil 4.5. Ferrite Bead Değişikliği Sonrası CE Ölçüm Sonuçları

Şekil 4.7'da FB çıkarılan devrenin RE ölçümleri yer almaktadır. 0R bulunan devrenin RE ölçümleri ile FB'li devre ölçümleri kıyaslandığında, 0R nin farklı frekanslarda 8dBuV a kadar zayıflattığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak kullanılan FB'in farklı frekanslarda farklı direnç göstermesidir. Şekil 4.6'da kullanılan FB'nin frekansa göre empedans değişikliği eğrisi görülmektedir.



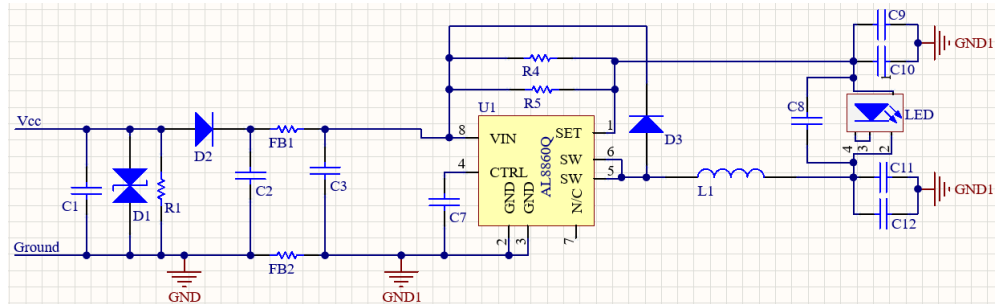
Şekil 4.6. BLM31PG121SZ1 kodlu FB'nin Frekans-Empedans Eğrisi



Şekil 4.7. Ferrite Bead Değişikliği Sonrası RE Ölçüm Sonuçları

4.2. Giriş Kondansatörlerinin Etkisi

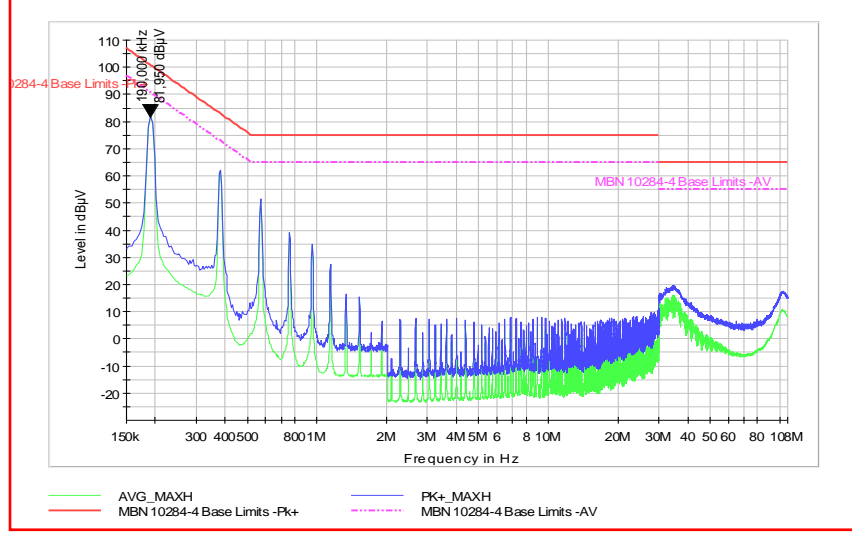
Şekil 3.11'da bulunan, dönüştürücünün giriş kısmında hem yayılan hem de iletilen bağışıklık testleri için eklenen C4, C5, C6 kondansatörlerinin yayılan emisyon ölçümlerine olan etkisi görülmeye çalışılmıştır. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi devre üzerinden C4, C5 ve C6 kondansatörleri çıkarılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8. Dönüştürücü Giriş Kondansatörleri Çıkarılan Devre

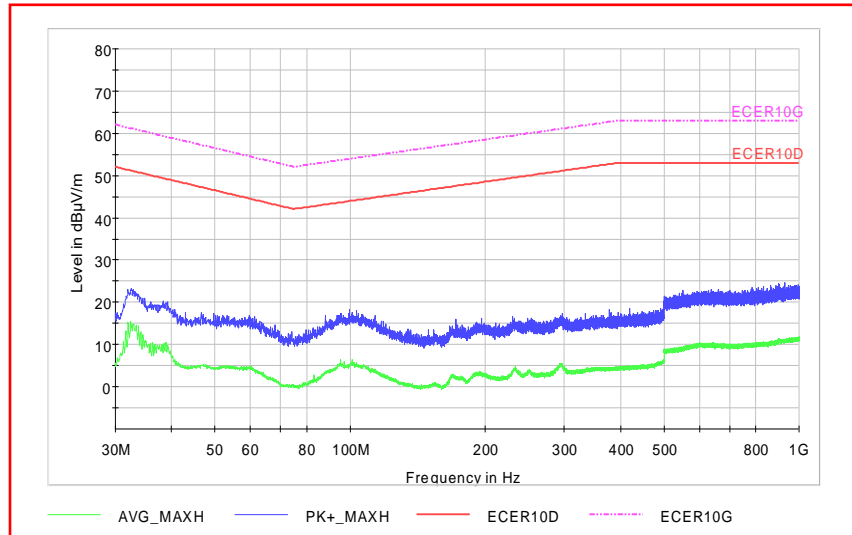
Dönüştürücü girişinde yer alan 10 uF (mikrofarad) C4 ve 1uF değere sahip C5 ile C6 kondansatörlerinin çıkarılması sonrasında yapılan CE ölçümleri şekil 4.9'da yer almaktadır. Temel devrenin anahtarlama frekansına yakın 190kHz bölgesinde 81.95dBuV değeri ölçülmüştür. Kondansatörlerin çıkarılması frekansa göre devrenin empedansında değişim yarattığından, temel devreye kıyasla 2 dBuV zayıflatma yaparak

limitlere yaklaştırmıştır. Yüksek frekanslara gidildikçe limitlerden yine uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.9. Giriş Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası CE lçm Sonuçları

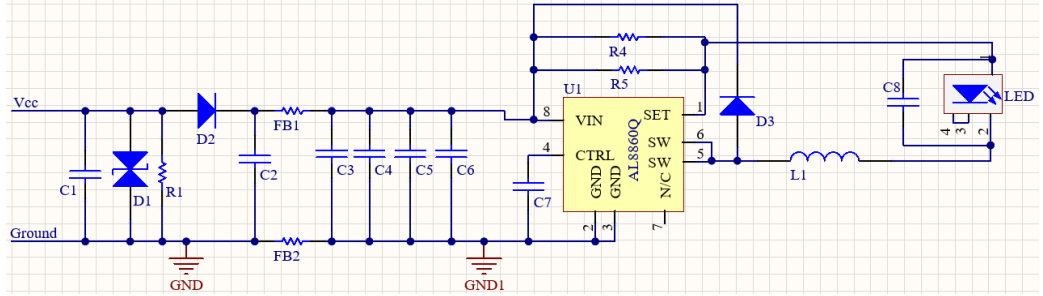
Şekil 4.10'da dönüştürücü giriş kondansatörleri olmayan devrenin RE lçm sonuçları bulunmaktadır ve Şekil 4.3'de bulunan temel devre ölçümlerine yakın değerler göstermiştir. Bu sebeple yüksek kapasite değerine sahip dönüştürücü kondansatörlerinin yüksek frekanslarda bir etkisinin olmadığı grlmştir.



Şekil 4.10. Giriş Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası RE lçm Sonuçları

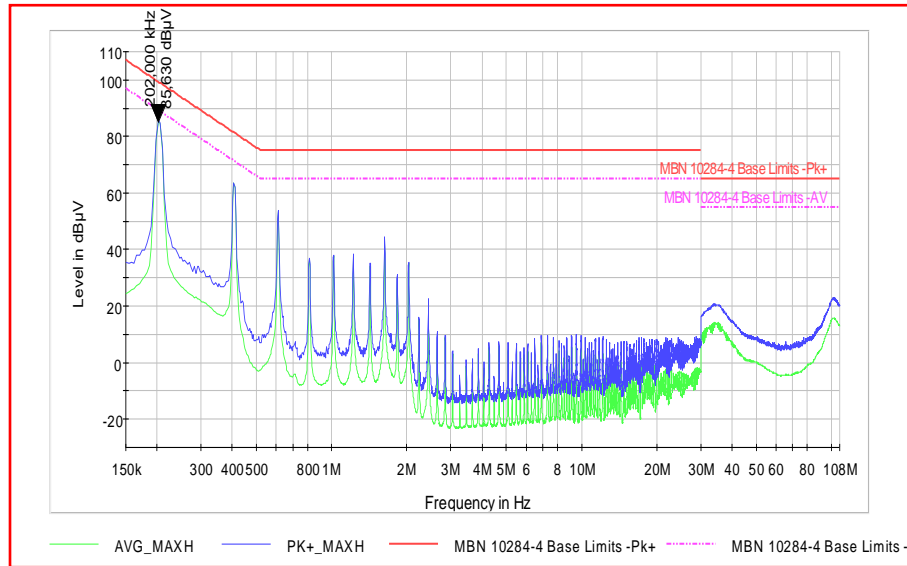
4.3. Anahtarlama Kondansatörlerinin Etkisi

Şekil 3.10.'da bulunan, dönüştürücünün anahtarlama kısmında yayılan emisyon testleri için eklenmiş olan C9, C10, C11 ve C12 kondansatörlerinin ölçümlere olan etkisi görülmeye çalışılmıştır. Şekil 4.11.'de gösterildiği gibi devre üzerinden C9, C10, C11 ve C12 kondansatörleri çıkarılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.



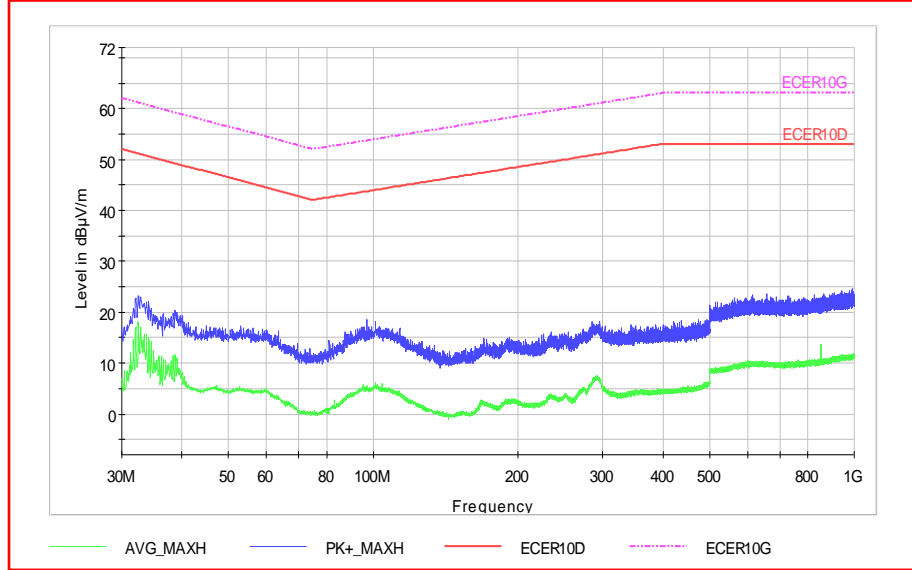
Şekil 4.11. Anahtarlama Kondansatörleri Çıkarılan Devre

Dönüştürücünün anahtarlama kısmında yer alan 2.2nF değere sahip C9, C10, C11 ve C12 kondansatörlerinin çıkarılması sonrası alınan CE ölçümleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Ölçümlerde görüldüğü üzere düşük frekanslarda 12dBuV lara kadar bir zayıflama yapmış ve anahtarlama frekansının katları seviyelerinde de bu zayıflama devam etmiştir.



Şekil 4.12. Anahtarlama Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası CE Ölçüm Sonuçları

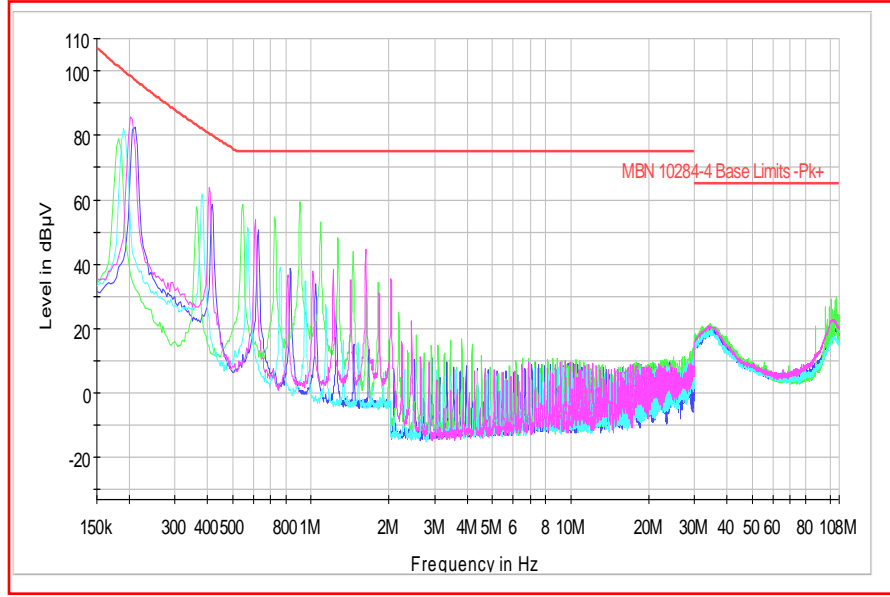
Şekil 4.13’de yer alan ölçümlerde de anahtarlama kondansatörlerinin çıkarılması RE ölçümlerinde, temel devreden alınan ölçümler ile kıyaslandığında bir fark yaratmadığı görülmüştür. Anahtarlama frekansının 200kHz civarında olması nedeniyle yüksek frekanslarda, kondansatörlerin bir etki yaratmadığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.13. Anahtarlama Kondansatörleri Çıkarılması Sonrası RE Ölçüm Sonuçları

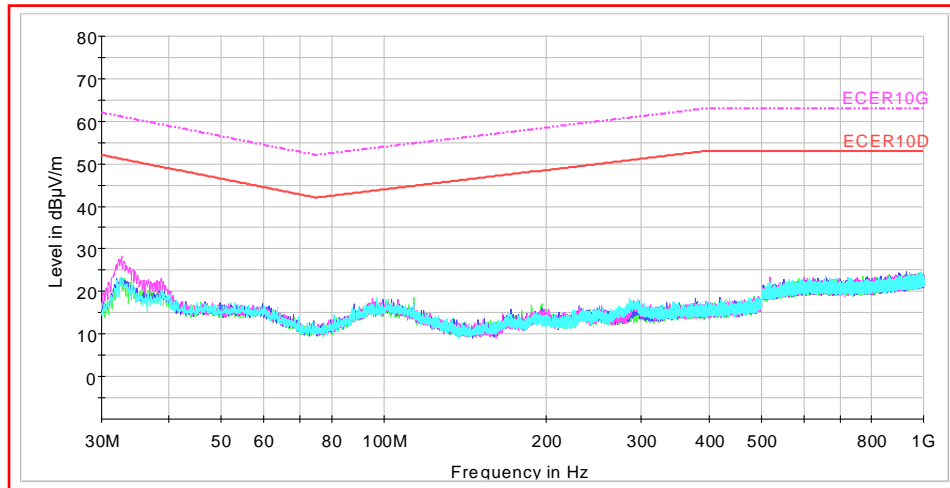
Gerçekleştirilen tüm CE ölçümlerinin birbirleri ile karşılaştırmalı hali Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Şekil 4.14 üzerinde yer alan işaretlerden mavi renk ile gösterilen temel devrenin ölçüm sonuçları, yeşil olan FB değişikliği yapılan devrenin ölçüm sonuçlarını, turkuaz renk dönüştürücünün giriş kondansatörlerinin çıkarılmış olduğu ölçümleri ve mor renk ise anahtarlama kondansatörlerinin çıkarılması sonucu elde edilen CE ölçümlerini göstermektedir.

Ölçüm sonuçlarının ortak noktası, düşük frekanslarda limitlere çok yakın sonuçlar alınırken 2MHz sonrası ölçümlerde limitlere uzak sonuçlar elde edilmesidir.



Şekil 4.14. Karşılaştırmalı CE Ölçüm Sonuçları

Şekil 4.15’de karşılaştırmalı olarak RE ölçümleri verilmiştir. Ölçüm sonuçlarındaki renklerin CE ölçümleri ile aynı renkte olmasına dikkat edilmiştir. Görüldüğü üzere RE ölçümlerinde limitlerden oldukça uzak sonuçlar görülmüştür. Sadece mor renk ile gösterilen anahtarlama kondansatörleri bulunmayan devrenin ölçümleri 32MHz civarında genelden farklı bir sonuç göstermiştir. Bu da o noktada rezonans olması ve kondansatör olmamasından dolayı gürültünün toprağa akamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.15. Karşılaştırmalı RE Ölçüm Sonuçları

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında otomotiv sektöründe kullanılacak anahtarlama bir dönüştürücüye sahip LEDli aydınlatma ürünü için yapılan emisyon testleri üzerinde durulmuş ve ürün üzerinde müşteri ve standart limitler doğrultusunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Girişimlere sebep olan olaylara ek olarak EMC önemi anlatılmıştır. Emisyonları azaltıcı yapılan çalışmalar üzerinde durularak, yapılan ölçümler arasındaki farklar belirtilmiştir.

Cihaz üzerinden tezin de konusu olan EM girişimin etkilerini görebileceğimiz ölçümler alınmıştır. Burada CE ölçümleri müşteri standardı olan MBN10284-4 e göre, RE ölçümleri ise otomotiv sektörü EMC regülasyonu ECE R10 a göre yorumlanmış olup bu standartlarda yer alan limitler ölçüm kriteri olarak esas alınmıştır.

Ölçüm gerçekleştirirken kullanılması gereken dedektörler ise Peak, Quasi-Peak ve Average dedektörleri olup, otomotiv sektöründe kullanılacak bir cihazın ölçümü alınacağından, dedektörler CISPR 16-1 standardına uyumlu olmalıdır. Ölçüm için Quasi-Peak dedektör kullanılmamıştır çünkü Peak dedektörü ölçümler esnasında limitlere Quasi-Peak ten daha yakın değerler vermiştir.

Öncelikle öngörü önlemleri alınarak tasarlanan ürünün CE ve RE ölçümleri alınmış, ardından devre üzerinde bulunan ve EMC testlerini başarıyla tamamlaması için eklenen giriş filtre kondansatörleri, anahtarlama kondansatörleri çıkarılarak, ayrıca ferrit ile 0R (sıfır ohm) değişiklikleri yapılarak, bunların temel ölçümler üzerindeki farklılıklarını gözlemlenmeye çalışılmıştır.

RE ölçümleri kıyaslandığında, farklı yapıdaki devreler olmasına rağmen ölçümlerin birbirleri ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Sadece anahtarlama kondansatörü olmayan devrenin 30MHz ile 40MHz aralığında, diğer devre yapılarından 6dBuV luk bir fark göstererek üst limitlere yakın sonuçlar vermektedir. Örneğin 30MHz de ortalama 23dBuV alınan ölçümler, anahtarlama kondansatörü olmayan devreden 28dBuV olarak alınmaktadır. Buna da anahtarlama elemanı olarak dönüştürücünün içerisinde bulunan FET'in gate ucunda bulunan kondansatörün şarj esnasındaki gecikmesi sebep olmaktadır.

CE ölçümleri kıyaslandığında ise, ortak olarak 150kHz ile 2MHz arasında üst limitlere çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Dönüştürücünün anahtarlama frekansı olan 200kHz civarında 85.74dBuV e varan ölçümler alınmıştır. FB yerine 0R dirençlerin bulunduğu devreden alınan ölçümler diğerlerine oranla 20dBuV a varan farkı göstermektedir. Bu da FB in sadece yüksek frekansları bastırmakla kalmayıp, düşük frekanslarda içerisinde ki rezistif yapının ölçümlerde yararlı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak yapılan ölçümlerde görülen özellikle anahtarlama döndürücü devrelerinde kondansatörler ve ferrit kullanımlarının EM girişimleri önleyeceği görülmüştür. Bu sebeple tasarımlarda bu komponentlerin bulunması iletilen emisyon testlerinin başarıyla tamamlanmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca tez çalışmasında yapılmayan layout değişikliği ve komponent yerlerinin değişimi de emisyon testlerine etki edebilir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, H. Ç. Elektromanyetik Girişim Süzgeç Tasarımı. , 179.
- Anahtarlamalı Dönüştürücü Teknik Bilgi Dokümanı. Erişim
<https://www.diodes.com/part/view/AL8860Q?BackID=8075>
- Bishnoi, H. *Behavioral EMI Models of Switched Power Converters.* , 193.
- Carlton, R. M. 2003. An overview of emerging international measurement standards in electromagnetic compatibility for integrated circuits. 2003 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No.03CH37446) : *2003 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility.* Symposium Record (Cat. No.03CH37446) (C. 1), Boston, MA, USA, : IEEE: , 108-113.
- Clayton, R. P. 2006. *Introduction to Electromagnetic Compatibility.* , 1013: 49-78.
- CISPR 25. Vehicles, boats and internal combustion engines – *Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*
- CISPR 16-1. Specification For Radio Disturbance And Immunity Measuring Apparatus And Methods - *Part 1-1: Radio Disturbance And Immunity Measuring Apparatus - Measuring Apparatus*
- Döner, H. *Radiated Emission EMC Testing Using Full Anechoic Chambers.* , 105.
- Düven, İ. 2008. *Electromagnetic Immunity Improvement of Flat Panel Display Driver Board.* , 79-82.
- ECE R10. Electromagnetic Compatibility - Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility
- ECE R19. Uniform provisions concerning the approval of power-driven vehicle front fog lamps
- Feng, D. A Study on Conducted EMI in Cascaded Boost Converters with SiC Devices., 85.
- Ferrit Teknik Bilgi Dokümanı. Erişim
murata.com/en-eu/products/productdetail?partno=BLM31PG121SZ1%23
- Göker, G. 2012. *EMC Design of RF Circuits.* , 90.
- ISO 10605. *Road Vehicles - Test Methods For Electrical Disturbances From Electrostatic Discharge*

ISO 11452 *Component Test Methods for Electrical Disturbances in Road Vehicles*

ISO 11452-2. Road Vehicles - Component Test Methods For Electrical Disturbances From Narrowband Radiated Electromagnetic Energy - *Part 2: Absorber-Lined Shielded Enclosure*

ISO 11452-4. Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy — *Part 4: Harness excitation methods*

ISO 11452-8. Road Vehicles - Component Test Methods For Electrical Disturbances From Narrowband Radiated Electromagnetic Energy - *Part 8: Immunity To Magnetic Fields*

Karagöl, H. Da-Da Dönüştürücülerde Elektromanyetik Uyumluluk Sorunları ve Çözüm Önerileri , 125.

Karataş, M. H. Elektromanyetik Uyumluluk Araştırması ve Kablolar Üzerinde Testleri. , 146.

Karabulut, T. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) Deneylerinin Fiziksel Analizi ve 900/1800MHZ GSM Bandında İletim ve Işınmı Deneylerinin Değerlendirilmesi. , 25.

LED Teknik Bilgi Dokümanı. Erişim
https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-8551438/KW2%20CFLNM2.TK_EN.pdf Konu:

Luo, L. F. 2017. *Advanced DC/DC Converters.* , 737. : 2-16

Maniktala, S. 2012. *Switching Power Supplies A-Z.* , 769: 43-74

MBN 10284-4. EMC Performance Requirements – *Component Tests (Commercial Vehicles and Buses)*

Noble, I. E. 1994. Electromagnetic compatibility in the automotive environment. *IEEE Proceedings - Science, Measurement and Technology*, 141(4): 252.

Qasem, M. A. EMI Reduction on High-Speed PCB Using Electromagnetic Bandgap Structure. , 40.

Salihoğlu, E. 2015. Elektromanyetik Uyumluluk Yönünden Temel Devre Yapılarının İncelenmesi. , 54.

Schneider, M. J. *Design Considerations to Reduce Conducted and Radiated EMI.* , 155.

Topaloğlu, T. Çevik, Ö. 2019. *Investigation of the Effects of Laser Based, LED and Halogen Bulb Lighting Products on Electric Vehicle Performance.* , 17

Yıldız, M. C. 2020. Elektromanyetik Uyumluluk için İletim Yollu Elektromanyetik Girişime Karşı Bağışıklık Artırma ve İletim Yollu Emisyon Azaltma Teknikleri. 201

Çetinel, M. 2010. Bir Traktör için EMC Uygulaması. , 132

Öğüt, A. PCB Design and Internal Wiring with Reduced EMI (Electromagnetic Interference) for Flat TV Applications. , 93

Öner, İ.D. Güç Elektroniği Sistemlerinde Elektromanyetik Uyumluluğun İncelenmesi. , 146.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgür ÇEVİK
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul / 1988
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : İstanbul Haydarpaşa Anadolu Meslek Lisesi, 2005
Ön Lisans : İstanbul Marmara Üniversitesi, 2007
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Günsan Elektrik (2013-2016)
FEKA Otomotiv(2016- ...)

İletişim (e-posta) : ozgurcevik1988@gmail.com

Yayımları :

1. Coşkun, O., Çevik, Ö., Eken, R., Bekiryazıcı, Ş., Yılmaz, G., Modeling and Simulation the Effect of Different Structures in A LED Driver Board on Conducted Emission Level. *ELECO 2021 13th INTERNATIONAL CONFERENCE on ELECTRICAL and ELECTRONICS ENGINEERING*, 25-27 Kasım 2021, Bursa, Türkiye
2. Coşkun, O., Çevik, Ö., Sağ, E., Yılmaz, G. 2021. OTOMOBİL YAN SİNYAL LAMBASININ LED SÜRÜCÜ KARTINA AİT İLETİLEN EMİSYON TESTİNİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ. *OTEKON 2020, 10th International Automotive Technologies Congress*, 6-7 Eylül 2021, Bursa, Türkiye
3. Topaloğlu, T., Çevik, Ö., Yılmaz, G., Demir, A. 2019. Investigation of the Effects of Laser Based, LED and Halogen Bulb Lighting Products on Electric Vehicle Performance. *Irditech Management 2019*, İstanbul, Türkiye
4. Bakcan, M.R., Mantar, S., Çevik, Ö., Yılmaz, G. 2018. Otomotiv Sektöründe EMU Testlerinin Gerçekleştirilmesi ve Işınım Yollu Yayılım Simülasyon Karakteristiğinin

Karşılaştırılması. *ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, 30 Kasım – 1 Aralık 2018, Bursa, Türkiye

5. Ataşalan, M.F., Çevik, Ö., Kocabıyık, E., Bakcan, M.R., Yılmaz, G. 2018. Front Fog and Corner Lamp Enhancing Driving Safety by Using a Common LED and Reflector Design, *Irditech Management 2018*, İstanbul, Türkiye
6. Gürsoy, A.C., Çevik, Ö. Kocabıyık, E., Kamaş, İ., Yavuz, C. 2017. DETECTION OF POSSIBLE FAILURES OF AUTOMOBILE EXTERNAL LIGHTINGS, *11. Ulusal Aydınlatma Kongresi 2017*, İstanbul, Türkiye