



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GÜÇ ŞEBEKELERİNDE İLETİLEN YAYINIMLARIN GÜÇ
KALİTESİ ANALİZİ VE GİDERİLMESİ**

Doktora Tezi

Seçil GENÇ

Danışman
Prof Dr. Okan ÖZGÖNENEL

II. Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Burcu GÜNDOĞDU

SAMSUN
2023

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**GÜÇ ŞEBEKELERİNDE İLETİLEN YAYINIMLARIN GÜÇ
KALİTESİ ANALİZİ VE GİDERİLMESİ**

Doktora Tezi

Seçil GENÇ

Danışman

Prof Dr. Okan ÖZGÖNENEL

II. Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Burcu GÜNDOĞDU

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.21.011 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Seçil GENÇ tarafından, Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL danışmanlığında hazırlanan “GÜÇ ŞEBEKELERİNDE İLETİLEN YAYINIMLARIN GÜÇ KALİTESİ ANALİZİ VE GİDERİLMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 29.12.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM Samsun Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Nur SARMA Düzce Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Cenk GEZEGİN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Ünal KURT Amasya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

27/11 / 2023
Seçil GENÇ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: GÜÇ ŞEBEKELERİNDE İLETİLEN YAYINIMLARIN GÜÇ KALİTESİ ANALİZİ VE GİDERİLMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım 27.11.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 6

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

27 /11 / 2023
Prof Dr. Okan ÖZGÖNENEL

ÖZET

GÜÇ ŞEBEKELERİNDE İLETİLEN YAYINIMLARIN GÜÇ KALİTESİ ANALİZİ VE GİDERİLMESİ

Seçil GENÇ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora, Aralık/2023

Danışman: Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL

Elektrikli araçlar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevre dostu bir çözüm sunarlar. Araçtan şebekeye ve şebekeden araca teknolojisi, elektrikli araçların enerji depolama sistemleri aracılığıyla şebekeye enerji sağlamasını veya şebekeden enerji almasını mümkün kılar. Bu amaçla kullanılan çift yönlü AA/DA dönüştürücülerinin şebekede kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bunun yansıya, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanmasıyla birlikte güç dönüştürücülerinin sayısı giderek artmaktadır. DA güç kaynakları doğrudan bir evirici aracılığıyla AA sisteme ya da öncesinde bir DA-DA dönüştürücü kullanılarak eviriciyle uyumlu bir DA gerilim seviyesine ayarlanabilir ve ardından bir evirici kullanılarak üç faza dönüştürülebilir. Güç elektroniği ve yarı iletken teknolojilerindeki ilerlemeler, elektrikli ve elektronik cihaz tasarımlarını yüksek frekansta anahtarlama kapasitesinin artmasına beraberinde ise yüksek verimli ve yoğun güce sahip kompakt tasarımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ancak artan anahtarlama frekansı, elektromanyetik girişim sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu girişimler genellikle dönüştürücülerle mikro şebekelerle bağlantılı diğer donanımların işleyişini olumsuz etkileyebilir veya zarara uğratabilir. 2 kHz'e kadar olan ve 150 kHz'den başlayan frekanslar için standartlar ve normlar varken, 2-150 kHz frekans aralığında sadece önerilen yöntemler ve yayılım sınırları vardır. Bu nedenle bu aralıktaki frekanslar için yeni yöntemler bulmak veya diğer frekans aralıklarının yöntemlerini uyarlamak gerekmektedir. İlk tasarım aşamasında cihazın elektromanyetik girişiminin hesaba katılması, tasarımcıların da elektromagnetik uyumluluğu gerçekleştirmeden önce düşük maliyetle karşılamasını sağlayabilir. Bu çalışmada DA ve AA tek fazlı/üç fazlı sistemler üzerinde yaygın kullanılan evirici tipleri kullanılarak bir dizi iletilen yayılım ölçümleri yapılmıştır. 9-150 kHz frekans aralığında herhangi bir standart olmadığı için bu aralık için standart sınırlar önerilmiştir. Gerçek ölçüm sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Şebekeye iletilen yayılımın azaltılması için süzgeç tasarım adımları açıklanmıştır. Süzgeç tasarım parametreleri hesaplanırken ölçüm belirsizlikleri de dikkate alınmış ve en kötü durum şartlarını karşılayacak şekilde süzgeç tasarım adımları açıklanmış ve gürültü zayıflatma başarımı deneysel ve benzetim ortamında doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel yaklaşımla sunulmuş ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Elektromanyetik girişim, İletilen yayınımlar, Ortak mod yayılımı, Fark mod yayılımı, Empedans uyumsuzluğu, Elektromanyetik girişim süzgeci, Elektromanyetik uyumluluk

ABSTRACT

POWER QUALITY ANALYSIS AND SUPPRESSION OF CONDUCTED EMISSIONS ON POWER GRIDS

Secil GENC

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Ph.D., December/2023

Supervisor: Prof. Dr. Okan OZGONENEL

Electric vehicles provide an environmentally friendly solution by reducing dependence on fossil fuels. Vehicle-to-grid and grid-to-vehicle technology makes it possible for electric vehicles to supply or take energy from the grid through energy storage systems. The use of bidirectional AC/DC converters for this purpose is becoming increasingly common in the grid. In addition, the number of power converters is increasing as renewable energy sources are connected to the grid. DC power sources can be converted directly to AC with an inverter, or they can be pre-set to an inverter-compatible DC voltage level using a DC-DC converter and then converted to three-phase using an inverter. Advances in power electronics and semiconductor technologies have enabled electrical and electronic device designs to increase switching capability at high frequencies, resulting in compact designs with high efficiency and power density. However, increased switching frequency brings with it the problem of electromagnetic interference. This interference can often adversely affect or damage the operation of converters and other equipment connected to microgrids. While there are standards and norms for frequencies up to 2 kHz and starting from 150 kHz, in the frequency range 2-150 kHz there are only recommended methods and radiation limits. Therefore, it is necessary to find new methods for frequencies in this range or to adapt methods for other frequency ranges. Taking into account the electromagnetic interference of the device at the initial design stage can also enable designers to meet electromagnetic compatibility at low cost before realization. In this study, conducted emission measurements were performed on both DC and AC single-phase/three-phase systems, utilizing commonly employed inverter types. Since there is no standard for the frequency range 9-150 kHz, standard limits are proposed for this range. The actual measurement results are compared with the simulation results and the results are found to be consistent with each other. Filter design steps are explained to reduce the radiation transmitted to the network. The measurement uncertainties are taken into account while calculating the filter design parameters and the filter design steps are explained to meet the worst case conditions and the noise attenuation performance is verified experimentally and simulated. The obtained results are presented with a statistical approach and a comparative evaluation is made.

Keywords: Electromagnetic interference, Conducted emissions, Common mode noise, Differential mode noise, Impedance mismatch, Electromagnetic interference filter, Electromagnetic compability

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Tüm bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, kendimi geliştirmem için destekleyen ve kendisi ile çalışmaktan mutluluk ve gurur duyduğum değerli danışmanım Prof. Dr. Okan Özgönenel'e, araştırmalarımın ilk aşamasından itibaren bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Burcu Gündoğdu hocama ve tez izleme komitesinde yer alan değerli Dr. Öğr. Üyesi Nur Sarma ve Dr. Öğr. Üyesi Cenk Gezegin hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışmasına katkı sağlayan İngiltere'deki University of Nottingham, Elektrik-Elektronik Mühendisliği-Elektromanyetik Araştırma grubu başkanı D. W. P. Thomas ve Steve Greedy hocalarıma ve PEMC grubundaki Mark Sumner hocama ve bu gruptaki değerli araştırmacı arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bölümümdeki değerli hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma bu süreçteki desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışma sürecimde beni destekleyen, birçok fedakârlıkta bulunan ve büyük bir sabırla yanımda olan kıymetli anneme, babama, sevgili kardeşime ve her zaman benim yanımda olan biricik eşime sonsuz teşekkür ederim. Bu süreçteki en büyük anlayışı sergileyen canım oğlum Kutluhan'ıma tezimi hediye ediyorum.

Bu tez çalışmasına verdikleri maddi destek için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığı'na (Proje No: PYO.MUH.1904.21.011) teşekkür ederim.

Seçil GENÇ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Yazın Geçmişi.....	3
1.1.1. Batarya Sistemlerine EMG Etkisi	3
1.1.2. Yaygın Kullanılan Dönüştürücülerin EMG Etkisi	3
1.2. Tezin Amacı ve Katkısı.....	6
2. KURAMSAL TEMELLER.....	12
2.1. İletilen Yayınlar ve Zorlukları	12
2.2. Elektromanyetik Standart Sınırlar.....	13
2.3. Standart Sınır Grafiklerinin Elde Edilmesi	14
2.4. İletilen Yayın Gürültü Modları	15
2.5. EMG Ölçümü.....	16
2.6. EMG İşaretlerinin Okunması	21
2.7. EMG Süzgecinin Yapısı ve Elemanları	23
2.8. Kısa Zaman Fourier Dönüşümü.....	26
2.9. EMG Zaman Alanı İşaretlerinin Çözümlemesi.....	28
2.10. İstatiksel Yaklaşımla İletilen Yayınların Çözümlemesi	29
2.10.1. Kruskal-Wallis Testi	29
2.10.2. Mann Whitney Testi	30
2.10.3. İstatiksel Grafik Yaklaşımı	31
2.11. DA Sistemlerinde Kullanılan Güç Kalitesi Dizinleri.....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. DA Sistemlerinde İletilen Yayınlar	35
3.2. Tek Faz Sistemlerde İletilen Yayınlar	43
3.2.1. Çift Yönlü AA/DA Dönüştürücü	44
3.3. Üç Faz Sistemlerde İletilen Yayınlar.....	55
3.4. Üç Faz EMG Süzgeci.....	63
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	68
4.1. DA Sistemlerinde İletilen Yayınlardan Elde Edilen Bulgular	68
4.2. Tek Faz Sistemlerde İletilen Yayınlardan Elde Edilen Bulgular	75
4.3. Üç Faz Sistemlerde İletilen Yayınlardan Elde Edilen Bulgular	84
4.4. Üç Faz EMG Süzgecinden Elde Edilen Bulgular	99
5. SONUÇ	101
5.1. Gelecek Çalışma ve Öneriler	103
KAYNAKLAR	104
ÖZ GEÇMİŞ.....	111

SİMGELER VE KISALTMALAR

EMG	: Elektromanyetik Girişim
FM	: Fark Mod
OM	: Ortak Mod
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
FCC	: Federal İletişim Kurulu
CISPR	: Uluslararası Radyo Girişimi Özel Komitesi
MIL-STD	: ABD Askeri Standartları
DEF-STA	: Amerika Birleşik Devletleri Askeri Standartları
LED	: Işık Yayan Diyod
FD	: Fourier Dönüşümü
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
KZFD	: Kısa Zaman Fourier Dönüşümü
DGB	: Darbe Genişlik Bindirimi
AGK	: Anahtarlama Gerilim Kaynağı
EMU	: Elektromagnetik Uyumluluk
V2G	: Araçtan Şebekeye (Vehicle to Grid)
G2V	: Şebekeden Araca (Grid to Vehicle)
SOC	: Bataryanın Dolma Durumu
İY	: İletilen Yayınım
GFD	: Güç Faktörü Düzeltme
CEM	: Hesaplamalı Elektromanyetik Alanlar
AK	: Avrupa Komisyonu
LISN	: Hat Empedansı Dengeleme Ağı

TEM-CELL	: Elektromanyetik Hücre Yöntemleri
TAD	: Test Altındaki Donanım
RBW	: Aralık Genişliği
CCCV	: Sabit Akım Sabit Gerilim
AMN	: Yapay Şebeke Ağı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Melez AA/DA mikro şebeke	1
Şekil 1.2. Frekans tayfının güç kalitesi bakımından değerlendirilmesi	2
Şekil 2.1. NTT müşteri şikâyet veri tabanından donanım arızasına neden olan gürültü frekansları	12
Şekil 2.2. Standart sınırların frekansa bağlı genlik değişimi	14
Şekil 2.3. EMG gürültü modları	15
Şekil 2.4. LISN'nin devreye bağlantısı	17
Şekil 2.5. İletilen yayınımların ölçümü için kullanılan (a), (b) LISN devre şemaları	18
Şekil 2.6. LISN empedansının frekansa bağlı değişimi	19
Şekil 2.7. 50Hz genlikli işaretin denetlenmesi için osiloskop bağlantısı ve işaretin zamana bağlı değişimi	20
Şekil 2.8. LISN ile FM ve OM ayırıcısının şeması	21
Şekil 2.9. EMG alıcısının iç yapısı	21
Şekil 2.10. EMG dedektörlerinin işareti okuması	22
Şekil 2.11. EMG süzgeci iç yapısı	23
Şekil 2.12. EMG süzgeci iç yapısı	23
Şekil 2.13. Cihazda arıza durumunda oluşan kaçak akı yolu	24
Şekil 2.14. 1 seviye L (a), pi (b) ve T tip (c) tip ve EMG süzgeç yapıları	25
Şekil 2.15. EMG süzgeç yapısı seçimi	26
Şekil 2.16. KZFD'nün uygulaması	27
Şekil 2.17. Kutu grafiği yaklaşımı	31
Şekil 2.18. Kutu grafiği bölümleri	32
Şekil 2.19. Ana etki grafiği	33
Şekil 3.1. Sistemin öbek çizelgesi	35
Şekil 3.2. Sistemin akış şeması	36
Şekil 3.3. Yayınımların ölçümü için MATLAB benzetim devresi	37
Şekil 3.4. PSIM ortamında DA-DA dönüştürücü İY test devresi	39
Şekil 3.5. Değişken gerilim kaynağı alt sistemi	39
Şekil 3.6. Sistem yapısı (a) ve DA-DA dönüştürücü alt sistemi(b)	41
Şekil 3.7. LISN alt sistemi	41
Şekil 3.8. DA sistemlerde EMI ölçümü için test düzeneği	42
Şekil 3.9. G2V dolum cihazının öbek çizelgesi	44
Şekil 3.10. Batarya dolum cihazının işlevleri	45
Şekil 3.11. Farklı yük koşulları altında toplam İY ölçümü (a), LISN Mate ile ortak ve fark gürültünün ayrılması (b) için deney seti kurulumu	46
Şekil 3.12. Sistemin öbek çizelgesi	47
Şekil 3.13. Tek faz sistemlerde iletilen yayınımların ölçümü akış çizelgesi	48

Şekil 3.14. LISN kullanımı ile birlikte dönüştürücünün bilgisayar benzetimi.....	49
Şekil 3.15. LISN'nın temel devre şeması	50
Şekil 3.16. Tek faz şebekelerde LISN bağlantı şeması.....	50
Şekil 3.17. Anahtarların kapı işaretlerinin elde edilme şeması (a) ve Simulink alt sistem modeli (b)	52
Şekil 3.18. İletilen yayının OM ve FM gürültülerine ayrılması	52
Şekil 3.19. Bataryanın SOC alt sistemi (a) ve denetimi şeması (b)	52
Şekil 3.20. MATLAB ortamında EMG süzgecinin yapısı	55
Şekil 3.21. Sistemin öbek çizelgesi.....	55
Şekil 3.22. Üç faz sistemlerde yayının incelenmesi için akış şeması	56
Şekil 3.23. Yüksüz(a) ve yüklü(b) durumda üç faz sistemlerde iletilen yayınımın ölçümü	57
Şekil 3.24. Kablo düzeni 1 (a), 2 (b) ve 3 (c).....	59
Şekil 3.25. Üç faz sistemlerde EMG ölçümünün PSIM benzetim devresi	61
Şekil 3.26. OM ve FM gürültü azaltma gereksinimine göre gerekli köşe frekansının belirlenmesi	62
Şekil 3.27. EMG süzgeç yapısı eşdeğer devresi	63
Şekil 3.28. Üç faz EMG ölçümü için test düzeneği(a) ve ayrıştırması(b)	64
Şekil 3.29. Gerekli OM (a) ve FM (b) zayıflatma	65
Şekil 3.30. EMG süzgeç yapısı (a), OM (b) ve FM (c) gürültüsü eşdeğer devresi ve iç yapısı (d)	66
Şekil 3.31. EMG süzgecinin AA çözümlemesi için PSIM devresi.....	66
Şekil 3.32. Süzgecin AA çözümlemesi cevabı	67
Şekil 3.33. Üç faz EMG süzgeç tasarımı	67
Şekil 3.34. Deney düzeneği bağlantı şeması.....	67
Şekil 4.1. Dönüştürücü giriş, çıkış ve LISN gerilimlerinin zamana bağlı değişimi.....	68
Şekil 4.2. LISN gerilimin zaman ve frekans ekseninde genlik değişimi	68
Şekil 4.3. EMG işaretinin spektogramı.....	69
Şekil 4.4. İY'ın yüke bağlı değişimi	69
Şekil 4.5. GOD'un yüke bağlı değişimi.....	70
Şekil 4.6. İY'ın giriş gerilimine bağlı değişimi	70
Şekil 4.7. GOD'un giriş gerilimine bağlı değişimi	71
Şekil 4.8. Değişken kaynak giriş gerilimi (a) ve dönüştürücü çıkış gerilimi (b)	72
Şekil 4.9. 410V (a) ve 300V (b) kaynak gerilimi LISN zaman alanı gerilimi	72
Şekil 4.10. 410V (a) ve 300V (b) kaynak gerilimi LISN çıkışı HFD sonucu.....	73
Şekil 4.11. LISN (a) ve DA –DA azaltan tip dönüştürücü (b) çıkış gerilimi.....	74
Şekil 4.12. DA –DA azaltan tip çoklu dönüştürücüye bağlı İY değişimi	74
Şekil 4.13. Azaltan tip dönüştürücüden iletilen yayının	75
Şekil 4.14. Test ortamının gürültüsü.....	75

Şekil 4.15. Farklı yük koşullarında İY	76
Şekil 4.16. Yük gruplarının ana etki grafiği.....	78
Şekil 4.17. Toplam yayınının zaman (a) ve frekans alanı (b) cevabı.....	78
Şekil 4.18. Doğrusal olmayan yük koşullarında iletilen yayınının standart sınırlarla karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.19. FM gürültüsünün zaman (a) ve frekans alanında (b) ölçüm sonucu.....	79
Şekil 4.20. OM gürültüsünün zaman (a) ve frekans alanında (b) ölçüm sonucu	80
Şekil 4.21. Motor sürücüsü ve elektronik yükler koşulu altında FM ve OM gürültüsünün önerilen standartlarla karşılaştırılması	80
Şekil 4.22. Bataryanın SOC’u, akımı ve gerilimi	81
Şekil 4.23. Pozitif kaynak tarafı LISN'nın çıkışı	81
Şekil 4.24. EMG alıcısı çıkışı: Toplam İY (a) ile OM ve FM gürültüleri(b).....	82
Şekil 4.25. SOC’un yayanımlar üzerindeki etkisi (a) ve ayrıntılı gösterimi (b)	83
Şekil 4.26. Toplam iletilen yayınının bastırılması	83
Şekil 4.27. Süzgeçlenmiş OM ve FM gürültülerinin EMG alıcısı görüntüsü.....	84
Şekil 4.28. Yayınının deneysel ve benzetim sonuçlarının karşılaştırması	84
Şekil 4.29. Test ortamının gürültü seviyeleri ölçümü	85
Şekil 4.30. Her fazda ölçülen iletilen yayınımlar.....	85
Şekil 4.31. Kablo uzunluğunun İY’a etkisi.....	86
Şekil 4.32. Farklı kablo uzunluğu için “kutu grafiği” (a) ve “ana etki grafiği” (b) kablo uzunluğunun etkisi.....	88
Şekil 4.33. Kablo düzeninin İY’a etkisi	88
Şekil 4.34. Kablo düzeninin İY’a etkisinin kutu grafikleri (a), (b) ve ana etki grafikleri (c), (d)	89
Şekil 4.35. Sürücüdeki süzgecin yayınıma etkisi.....	90
Şekil 4.36. Sürücüdeki süzgecin yayınıma etkisinin kutu (a) ve ana etki (b) grafiği.....	91
Şekil 4.37. Paralel bağlı dönüştürücünün yayınıma etkisi	91
Şekil 4.38. Paralel bağlı dönüştürücünün yayınıma etkisinin kutu (a) ve ana etki (b) grafiği	92
Şekil 4.39. Farklı yük durumlarına bağlı İY değişimi	92
Şekil 4.40. Farklı motor yükü durumlarında İY’ın kutu (a) ve ana etki (b) grafiği	93
Şekil 4.41. Motor yüksüz durumdayken farklı frekans/hız koşullarında İY	93
Şekil 4.42. Farklı motor hızında yüksüz durumda İY’ın kutu (a) ve ana etki (b) grafiği	94
Şekil 4.43. Motor yüklü durumdayken farklı frekans/hız koşullarında İY	95
Şekil 4.44. Farklı motor hızlarında yüklü durumda İY’ın kutu (a) ve ana etki (b) grafiği	95
Şekil 4.45. Benzetim ve deneysel çalışmanın kıyaslanması	96
Şekil 4.46. PSIM ortamında farklı kablo uzunluğunun İY’a etkisi.....	96
Şekil 4.47. PSIM ortamında farklı yük koşullarının İY’a etkisi	97
Şekil 4.48. Süzgeçsiz durumda toplam İY (a) ve OM ile FM gürültüleri (b)	98

Şekil 4.49. Toplam gürültünün (a) ve OM-FM (b) gürültülerin süzgeç ile bastırılması.....	98
Şekil 4.50. Süzgeçsiz durumda iletilen yayınımların zaman(a) ve frekans alanı cevabı	99
Şekil 4.51. Süzgeçsiz durumda İY	99
Şekil 4.52. Süzgeçli durumda yayılım işaretinin frekans alanı cevabı (a) ve ilgili standartlarla kıyaslanması(b).....	100

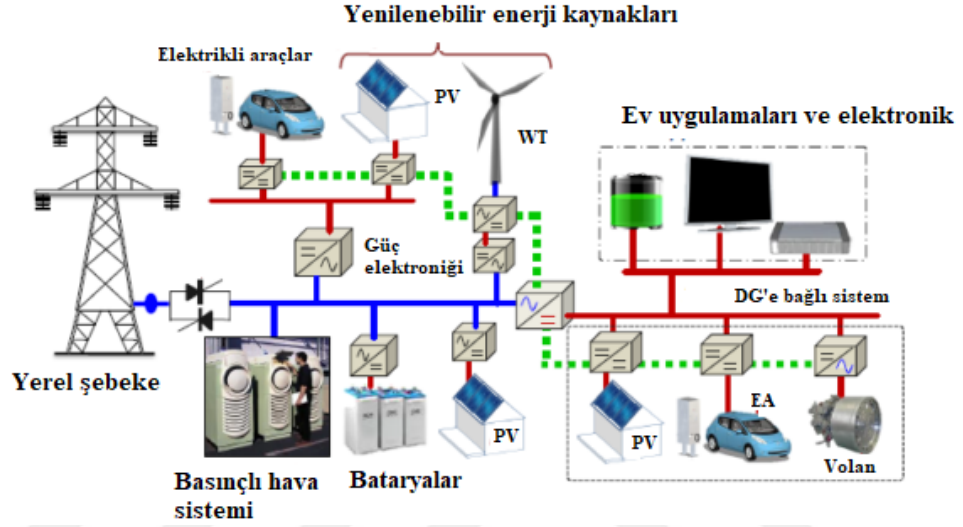


TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Tek faz sistemlerde önerilen çalışmaya genel bakış	8
Tablo 2.1. IEC-61000-3-8 standardının frekansa bağlı matematiksel ifadesi.....	14
Tablo 2.2. Standart kuruluşlarca belirlenen aralık genişliği	22
Tablo 3.1. Dönüştürücü anma değerleri.....	38
Tablo 3.2. Sistemin devre parametreleri	51
Tablo 3.3. EMG süzgeci için hesaplanan değişkenler	54
Tablo 3.4. Kullanılan motor yapıları.....	58
Tablo 3.5. Farklı yük durumunda motorun hızı	60
Tablo 4.1. Değişken yük koşullarının DFSB ve dalgalanma indeksleri bakımından değerlendirilmesi	70
Tablo 4.2. Değişken giriş gerilimi koşullarının DFSB ve dalgalanma indeksleri bakımından değerlendirilmesi	71
Tablo 4.3. Yük gruplarının Kruskal-Wallis test istatistiği	77
Tablo 4.4. Kablo uzunluğunun Kruskal Wallis cevabı	86
Tablo 4.5. Kablo uzunluğunun Mann-Whitney cevabı.....	87

1. GİRİŞ

Son yıllarda, dağıtık üretimin artmasıyla birlikte doğru akım (DA) mikro şebekeleri elektrik şebekesinde giderek daha yaygın hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif akım (AA) şebekeye bağlanmasıyla birlikte DA-DA ve çift yönlü AA-DA dönüştürücülerine gösterilen ilgi Şekil 1.1.'de verildiği üzere giderek artmaktadır (Baillieul et al. , 2016).



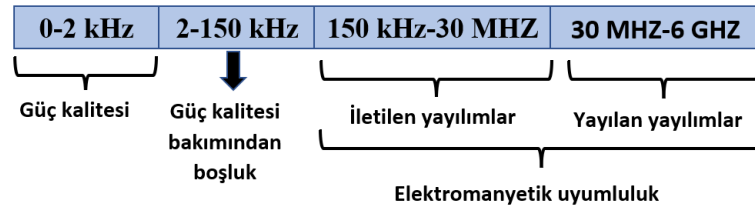
Şekil 1.1. Melez AA/DA mikro şebeke

DA mikro şebeke sisteminde, dönüştürücünün her iki tarafında DA sızgıları ile birden fazla darbe genişlik bindirimi (DGB) tabanlı dönüştürücü kullanılır. Aynı zamanda, elektrikli araçlar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevre dostu bir çözüm sunduğundan araçtan şebekeye (V2G) ve şebekeden araca (G2V) teknolojisi de yaygınlaşmaktadır. Bu amaçla kullanılan çift yönlü AA/DA dönüştürücülerin yüksek anahtarlama hızları elektromanyetik girişimlere (EMG) neden olmaktadır. EMG, bir cihazdan elektromanyetik radyasyon veya elektromanyetik iletimin neden olduğu istenmeyen bir etkidir ve yönetimi elektromanyetik uyumluluk (EMU) olarak adlandırılır (Heldwein et al. , 2009). Girişimin ana kaynağı DGB anahtarlama hızıdır. Güç sistemlerinde darbe yükselme ve düşme süreleri 200ns'den daha azdır ve bu durum iletilen (0,15-30 MHz) ve yayılan (30 MHz-1 GHz) girişim kaynağının sebebidir (Betta et al. , 2004; Revol et al. , 2010; Safayet and Islam, 2021).

Elektrikli bir makine veya cihaz içindeki her bir yüksek frekanslı bileşenin yüksek frekanslı eşdeğer devreleri verimlilik kayıplarına ve ısı üretiminin artmasına neden olur. Bu aynı zamanda gerilim dalgalanmaları, frekans sapmaları ve diğer

elektiriksel bozukluklar olarak da ortaya çıkabilir. Bu sorunlar, bağlı cihazların başarımı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir ve donanım arızalarına veya arızalarına yol açabilir. 2kHz'in üzerindeki bu bozukluklar alçak gerilim (AG) (Chen et al. , 2021; Larsson et al. , 2010; Rönnberg et al., 2017; Wang et al. , 2019), orta gerilim (OG) (Knenicky et al. , 2020) ve yüksek gerilim (YG) (Lennerhag et al. , 2020) şebekelerinde "yüksek frekans bozulması" olarak da adlandırılmaktadır. Mikro şebekenin frekans aralığı çok düşük frekanstan (9 kHz'in altında), 9-150kHz ve 150kHz-30MHz gibi çok yüksek frekans aralıklarına kadar değişebilir (Bartak and Abart, 2013; Rönnberg et al., 2017). İletilen yüksek frekanslı yayınımlar AA şebeke tarafında da etkilemektedir. Bu yayınımlar yalnızca zaman ekseninde veya genliğinde değişmemektedir, ayrıca frekans tayfı boyunca da büyük değişim sergilerler. Tüm bu bileşenler farklı genlikte ve farklı etkilerde kendilerini harmonikler/yüksek frekanslı girişimler olarak gösterirler.

Geleneksel güç kalitesi problemleri olarak 2kHz'e kadar olan düşük frekanslar ele alınmaktadır. şekil 1.2'de gösterildiği gibi 2-150 kHz frekans aralığında standartlar bakımından bir güç kalitesi boşluğu vardır (Khilnani, et al., 2022; Leroi, 2021; Ritzmann, et al. , 2020a; Ritzmann, et al. , 2020b; Sandrolini et al. , 2018). Ancak, bu frekans aralığında standartların olmaması, 2 ile 150 kHz arasındaki standart sınırları belirlemek için Avrupa standardizasyon komisyonu (CENELEC) IEC 61000-2-2 ve IEC 61000-2-12 standartları dahil eden iki rapor yayımlamıştır (P.C.T.50627:2015, 2015; CENELEC SC 205A,2017). Modern dönüştürücülerin başarımlarının llmesi ve tahmin edilmesi ile ilgili belirsizlikler, yeni standartlara ihtiyaç duyulmasını ve yeni çözümlleme teknikleri geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Alfalahi et al. , 2021).



şekil 1.2. Frekans tayfının güç kalitesi bakımından değerlendirilmesi

Günümüzde ise elektrik dağıtım şirketleri 9 ile 95 kHz frekans aralığında iletilen yayınımlı anahtarlama gerilim kaynağı (AGK), balastlar ve diğer cihazlar için bir kısıtlama getirmemektedir. Ancak, bu yüksek frekans aralığındaki yayınının şebekeye donanımları nasıl etkilediği belirsizliğini hala korumaktadır. EMG ve elektromagnetik uyumluluğu güç elektroniği cihazları için iki önemli unsurdur ve ilk tasarım

aşamasında cihazın EMG'sinin hesaba katılması, tasarımcıların da EMU gerçekleştirmeden önce düşük maliyetle karşılamasını sağlamaktadır.

1.1. Yazın Geçmişi

1.1.1. Batarya Sistemlerine EMG Etkisi

Güç elektroniği anahtarlama yapıları cihazlar, çalışmasının doğası gereği şebeke tarafına istenmeyen elektromanyetik girişim iletirler. Özellikle anahtarlama frekansı yüksek güç elektroniği devrelerinde EMG göz ardı edilemeyecek bir sorundur. Batarya sistemleri de yüksek frekans dalgalanmasına neden olan güç elektroniklerine bağlıdır. Günümüzde, bahsedilen akım dalgalanmasının batarya sisteminin başarımını nasıl etkilediği ve özellikle bataryanın yaşlanması üzerinde herhangi bir ciddi etkisinin olup olmadığı henüz tam olarak bilinmemektedir (Ferraz et al. , 2018). Fakat batarya ile ilgili çoğu araştırma düşük frekanslara odaklanmaktadır (De Breucker, 2012). DA dönüştürücüsündeki yüksek frekanslı anahtarlama kaynaklı akım dalgalanması bataryanın yaşlanmasında bataryanın ısı, direnci ve ulaşılan güç seviyelerinin yanında daha az önemli kalmaktadır. Bu sorunun yenilebilmesi için EMG gürültü kaynağının modellenmesi gereği ortaya konmuştur. Akım dalgalanmasının bataryanın yaşlanması üzerindeki eksik etkisinin giderilmesi için yüksek frekanslı modeller ortaya konmuştur (Ferraz et al. , 2018; Jeschke et al. , 2017; Li et al. , 2022). (García et al. , 2018) Vektör uydurma ve Fourier dönüşümü (FD) ile yüksek frekans modeli oluşturulan bataryanın dolma durumu (SOC) tahminini modeldeki endüktif parametreye bağlı olarak yapmıştır. Fakat elde edilen sonuçlarda henüz yüksek frekanslı girişimlerin batarya yaşlanmasını nasıl etkilediği ile ilgili net bir sonuç yoktur ve bu alandaki çalışmalar devam etmektedir. (Mariscotti, 2022; Spadacini et al. , 2017), elektrikli araçlarda kullanılan batarya sistemlerine iletilen yayınımların (İY) etkisi incelemiştir. Özellikle kullanılan kablo uzunluğuna bağlı olarak İY seviyesinin değişimini gözlemlemişlerdir. Bu durumun batarya sistemine olumsuz etkisini önlemek için süzgeç tasarımı önermişlerdir. (Mutoh et al., 2005), elektrikli araç batarya sistemlerinde dönüştürücülerden kaynaklı EMG gürültülerinin bastırılması için farklı anahtarlama denetim yöntemlerini önermişlerdir.

1.1.2. Yaygın Kullanılan Dönüştürücülerin EMG Etkisi

Çeşitli gerilim seviyelerinde DA dağıtım hatları vardır: Elektrikli ulaşım sistemleri (demiryolları, metrolar, çeşitli enerji depolama cihazlarını içeren tramvay

hatları, yol kenarı ve araç üstü), güç üretimi ve çeşitli ve farklı güç kaynakları (fotovoltaik sistemler, mikro türbinler, rüzgâr çiftlikleri, vb.), enerji depolama tesisleri (süper kapasitörler ve piller gibi). Bunların hepsi aynı gerilim seviyesindeki bir DA şebeke ağına veya dönüştürücüler aracılığıyla farklı gerilim seviyesine bağlanırlar. Son zamanlarda, daha fazla güneş enerjisi üretim sistemlerinin ve bunların yüklerinin birbirine bağlanmasıyla ve raylı sistemlere olan talebin artışıyla birlikte DA iletim hatları giderek yaygınlaşmaktadır. Ülkemiz dışında, ayrıca enerji iletimindeki 150 km üstü hatlarda, üstünlüklerinden dolayı DA iletim hatları kullanımı (Norveç ve Hollanda arasında 580 km, İtalya'da 420 km, Avustralya ve Tazmania arasında 290 km, İsveç ve Almanya arasında 250 km uzunluğundaki iletim hattı) ve kullanılan güç dönüştürücüleri giderek yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda, özellikle demiryollarında ve diğer DA hatlarında DA-DA dönüştürücüleri giderek yaygınlaşmaktadır. Birçok akıllı şebeke uygulamasında, bu dönüştürücüler aynı anda veya farklı anlarda anahtarlanmaktadır (Bojarski et al., 2013). Bunun yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanmasıyla çift yönlü AA-DA dönüştürücülerine gösterilen ilgi de giderek artmaktadır. Doğrusal olmayan cihazların artan kullanımı, artan 'güç harmonikleri' ve dolayısıyla güç kalitesinde düşüş ile sonuçlanmaktadır. Bunun yanı sıra, AGK, floresan lambalar, elektronik veri işlemcileri, güç kaynağı anahtarları gibi elektronik ve elektrikli cihazlar elektromanyetik gürültü üreten yaygın kullanılan diğer yapılardır. Konu kapsamındaki yazın geçmişini incelemeleri aşağıda verilmiştir.

(Khilnani et al., 2020) 0-2kHz ve 2-150 kHz (Ensini et al. , 2018) mikro şebeke tabanlı bir DA/DA dönüştürücüden kaynaklanan yayınımların güç kalitesi incelemesini yapmıştır. Değişken yük durumunun yayınımlara etkisini incelemiş ve DA güç kalitesi standartlarının olmaması nedeniyle yayınımların nicelleştirilemediğini belirtmişlerdir. Bu sorunu yenmek için bazı güç kalitesi dizinleriyle DA sistemlerindeki yayınımları incelemişlerdir.

(Ballukjamet al., 2023), çoklu dönüştürücü durumunda anahtarlanmalar arasındaki zaman gecikmelerinin ortak mod akımının istatistiksel ölçümü üzerine yoğunlaşmıştır. Yayınım kaynağı birden fazla olduğu durumda şebekeyi hangisinin etkilediğini bulmak zorlaşmaktadır. Bu durum için eşdeğer devrenin parazitik elemanlarla modellenmesi gerekliliğini vurgulamıştır.

DA-DA dönüştürücülerinin yaygın olarak kullanıldığı bir diğer yapı LED sürücü devreleridir. (Espín-Delgado et al., 2020; Rönnberg et al., 2011) LED sürücülerin

sayısına bağılı olarak İY'ın değişimini gözlemlenmişler ve bu artışın doğrusal olmamasının yanısıra komşu cihazları da etkilediğinden beklenen doğrusal artışla sonuçlanmadığını raporlamışlardır. (Larsson et al., 2010; Mahesh et al., 2008), yüksek frekanslı balastlara sahip neredeyse tüm floresan lambalar, akımdaki harmonik içeriği azaltmak için aktif güç faktörü düzeltme (GFD) devreleri kullandığını ve bu dönüştürücünün akımının sıfır geçiş noktalarında yüksek frekanslı girişimlere neden olan salınımların olduğunu ortaya koymışlardır.

(Khilnani et al., 2022), DA şebekesinde çoklu DA/DA dönüştürücü kullanıldığında ortak giriş bağlantı noktasında kullanılan DA sığacına bağılı olarak EMG girişimini bastırma durumlarını ele almışlardır. Bu anlayışla, elektromanyetik uyumluluk çerçevesinden ve 2-150 kHz aralığında DA sığağ tasarımına bağılı güç kalitesi standartları için bir çerçeve geliştirmeye yönelmiştir.

Yol aydınlatma sistemi, enerji nakil hattında güç kaybına neden olan uzun mesafeli ve büyük hacimli yollarda kurulmaktadır. Yol aydınlatma sisteminde gündüzleri batarya dolarken fazlası şebekeye eviriciler ile verilir. Gece saatinde bataryadan depolanan enerji yine eviriciler ile LED lambaları besler. Hava koşullarına bağılı olarak bataryada yeterli enerji yoksa şebekeden LED'ler beslenmektedir. Mikro şebeke sistemi, şebekeye bağılı veya şebekeden bağımsız sistemden oluşur. Her iki sistemde de LED aydınlatma armatürleri için gerekli enerjiyi sağlamak için eviriciler kullanılmaktadır. (Jettanasen and Ngaopitakkul, 2019), mikro şebeke sistemindeki bağımlı ve bağımsız eviricilerin İY'a etkisini incelemişlerdir. Buna bağılı olarak EMG süzgeç tasarımlarının kullanılan evirici yapısına göre farklı olması gerektiğini belirtmişlerdir.

(Hizarci, 2022; Hizarci et al. , 2021), bir fazlı GFD ve üç fazlı fotovoltaiik evirici devreleri için elektromanyetik girişim gürültü modelini çıkarmıştır. Fakat, önerilen tasarımda düşük maliyeti sağlayacak yüksek güç yoğunluğuna sahip, en uygun süzgeç elemanı seçimi anlatılmıştır.

Ülkemizde, 2021'de elektrik depolama tesislerinin şebeke bağlantısı, SCADA ile izlenmesi ve yan hizmetler kapsamında kullanılmasına dair teknik gereksinimler TEİAş tarafından yayımlanmıştır. Fakat, bu yönetmelikte arada kullanılacak güç dönüştürücülerinden kaynaklı yüksek frekanslı bozuklukların şebekeye etkisi göz ardı edilmiştir. Bu bakımdan EPDK'nın yeni yönetmeliğine ek bir mevzuat geliştirilmesi

gereği de ortaya çıkmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, yine 2022'in ilk üç ayında trafiğe kaydı yapılan elektrikli otomobil sayısı 1.342 iken, bu rakam 2023'ün aynı döneminde ise 4.870 adede yükselmiştir. Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılmasıyla birlikte artacak olan iletilen yayınımın şebekeye etkisi de artacaktır. Diğer bir ifadeyle ülkemizde batarya sistemlerinin kullanıldığı alanlardaki artışa bağlı olarak da şebeke tarafında iletilen yayınımın konusunda 2-150 kHz aralığındaki güç kalitesi sorunları giderek artacaktır.

Bunun yanında bu girişimleri çözümlemek amacıyla hesaplamalı elektromanyetik alanlar (computational electromagnetics-CEM) elektromanyetik alanları ve dalgaları içeren mühendislik problemlerini sayısal olarak çözmede önemli bir rol oynamaktadır. Hesaplamalı elektromanyetik, elektromanyetik bilimlerde de giderek artan yaygınlık kazanmıştır (Gallarreta et al., 2023; Lodetti et al., 2023; Niewiadomski et al., 2021). Çünkü EMU'yu belirlemede ve ortadan kaldırmada vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu kapsamda (IEEE, 2023; Pignari, 2006), EMG'nin daha doğru çözümlenmesi için hesaplamalı elektromanyetik alanında ölçüm belirsizlikleri ve istatistiksel yaklaşımları kapsayan yeni teknolojik gelişmelerin gerekliliği vurgulanmıştır. Yine, Avrupa Birliği'nin tarafından fon sağlanan Horizan Marie Skłodowska-Curie ve ETOPIA projeleri gelecekteki teknolojik gelişmelerle eşgüdümlü olarak EMG çözümü ve güç uygulamaları alanlarında yenilikçi çözümler sunulması için çağrı açmışlardır (ETOPIA, 2022). Bu sorunlar bu çalışmanın yapılmasını belirlemede önemli teşvik kaynağı olmuştur.

1.2. Tezin Amacı ve Katkısı

Yapılan çalışmalar ve tezler incelendiğinde genel yaklaşımın 150kHz üstü frekans aralığında olduğu ve bu aralıktaki girişimlerin incelenmesi, standartlaştırılması ve bastırılması üzerine çok az çalışma olduğu görülmüştür. Ayrıca ülkemizde de yayımlanan EPDK'nın yeni yan hizmet yönetmeliğinde bu frekans bandıyla alakalı bir güç kalitesi boşluğu olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, iletilen yayınımın bakımından DA, tek ve üç faz sistemlerde yapılan katkılar yöntemi olarak üç bölüm halinde sunulmuştur.

İlk bölümde, DA sistemlerde MATLAB ve PSIM benzetim ortamında 410/48V gerilimli azaltan tip DA-DA dönüştürücü oluşturulmuştur. Bu kapsamda, çeşitli giriş gerilimi ve farklı yük koşullarında iletilen yayınımın önerilen standart sınırlar

bakımından incelenmiştir. İletilen yayınımların çözümlenmesinde KZFD kullanılmış ve yayınımların frekansa bağlı enerjisinin değişimi spektogram kullanılarak incelenilmiştir. Aynı zamanda daha hızlı işlem yapan PLECS programı kullanılarak DA şebekesine çoklu dönüştürücü bağlanması durumundaki etkiler gözlemlenmiştir. Bu alanda yapılan katkılar aşağıda sıralanmıştır.

- Geniş çerçevede farklı durum şartları (yük, giriş gerilimi, kullanılan pencere uzunluğu gibi) için DA güç kalitesi dizinleriyle EMG yayınımları değerlendirilmiş ve genel değerlendirme sunulmuştur. Ayrıca birden fazla dönüştürücü sisteme bağlandığında yayınımların değişimleri sunulmuştur.

- Spektogram yöntemi kullanılarak yayınımların frekansa bağlı enerjisi incelenmiştir.

İkinci bölümde, yazın geçmişinde de anlatıldığı üzere iletilen yayınımların batarya sistemlerine etkisi ile ilgili boşluk üzerine değinilmiştir. Bu bölümde, elektrikli araçların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması ile birlikte şebeke tarafına iletilen yayımlar nedeniyle oluşacak güç kalitesi sorunu incelenmiştir. Bu nedenle ikinci kısımda batarya sistemlerinde yaygın kullanılan tek faz çift yönlü AA/DA dönüştürücü yapısı ele alınmıştır. Tek fazlı sistemdeki İY ile ilgili sorunlar, bazı çalışmalarda incelenmiştir (Blahnik et al., 2018; Ensini et al., 2018b); Ferraz et al., 2018; García et al., 2018; Mathur and Raman, 2020; Spadacini et al., 2017). (Blahnik et al., 2018), tek fazlı çekiş motorunda kullanılan dönüştürücünün düşük harmonik girişim etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada EMG gürültüsü, basitçe Fourier dönüşümü ile frekans alanına dönüştürülmüştür. Fakat, bu yaklaşım girişimlerin incelenmesi için yeterli değildir. Ayrıca, KZFD sonuçlarının standart sınırlarla kıyaslanabilmesi için dB μ V logaritmik ifadesine dönüştürülmesi gerekirken bu durum da sağlanmamıştır. (Mathur and Raman, 2020), tek faz sistemlerde elektromanyetik uyumluluğu anlamak ve ölçmek için girişimlerin dikkatli bir şekilde ölçülmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Ancak yapılan ölçümler sisteme bağlı yüke bağlı değişkenlik göstermektedir. Dönüştürücünün yük durumuna bağlı anahtarlama yaptığı belirli bir frekans aralığında güçlü girişim sinyalleri üretilmektedir (Yousaf et al., 2013). Fakat, (Ensini et al., 2018b) sadece doğrusal yüklerin iletilen yayınımlar üzerindeki etkisi ve (Yousaf et al., 2013) yayınımları bastırmak için uygun süzgeç tasarımını sadece doğrusal yük için önermiştir. Dönüştürücüler yükle orantılı bir frekansta anahtarlama yapmadıkları için güvenilir süzgeç tasarımı için doğrusal

olmayan yükler dahil tüm yük türleri değerlendirilmelidir. Bu alandaki çalışmalar incelendiğinde bugüne kadar tüm yük koşullarında iletilen yayınımlar araştırılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma, özellikle G2V (şebekeden araca) sistemlerinde tüm yük koşullarını içeren uygun süzgeç tasarımı boşluğunu doldurmak için yapılmıştır. Bu çalışmanın bir başka yeniliği de pilin SOC'a dayalı yayınımlar üzerindeki etkisinin şimdiye kadar araştırılmamış olmasıdır. Elektrolitlerdeki iyon taşınması pilin difüzyonunu ve polarizasyonunu etkilediğinden, bir güç pilinin empedansı parazitik etkenlerle değişmektedir (Li et al., 2022). Bu alandaki genel araştırmalar, yüksek frekanslı model özelliklerinden yararlanarak Lion pillerindeki SOC tahminidir (García et al., 2018; Ferraz et al., 2018). Ancak, (García et al., 2018) ve (Ferraz et al., 2018) SOC'a dayalı iletilen yayınımlardaki değişimi göz ardı etmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmalarla ilgili bu çalışmada sunulan katkılar aşağıdaki Tablo 1.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Tek faz sistemlerde önerilen çalışmaya genel bakış

Çalışma	Önerilen Çalışma	Bulgu
(Blahnik et al., 2018)	Bu çalışmada zaman-frekans alanı çözümlemesi KZFD kullanılarak elde edilmiştir. FD belirli bir işaretin çeşitli frekans bileşenlerinin zaman alanındaki yeri hakkında bilgi vermez.	EMG gürültüsü, basitçe FD çözümlemesi ile frekans alanına dönüştürülmüş ancak bu durum yeterli değildir.
	KZFD sonuçları, yayının seviyesini belirlemek ve standart sınırlarla kıyaslamak için dB μ V'a dönüştürülmüştür.	KZFD dB μ V'a dönüştürülmemiştir.
(L Ensini et al., 2018b; Miloudi et al., 2017; Yousaf et al., 2013)	Tüm yük türleri İY çözümlemesi için değerlendirilmiştir.	Sadece doğrusal yük durumunda yayınımları bastırmak için uygun süzgeç tasarımı önerilmiştir.
(García et al., 2018)	Önerilen çalışma, SOC bazında İY seviyeleri incelenmiştir. . Bu çalışma, yayınımların pilin yaşlanması üzerine etkisi üzerine farklı bir genel bakış sağlayacaktır.	Lion pillerinin yüksek frekanslı modeli İY ile ilgili özellikler elde edilmiş fakat SOC'a dayalı yayının seviyeleri görmezden gelinmiştir.
Şimdiye kadar yapılan ilgili araştırmalar	Frekans alanı sonuçları, farklı yük türleri için istatistiksel yaklaşımla (Kruskal Wallis analizi) desteklenmiştir. Bu aralıktaki EMG testi belirsizliğine bir referans sunmak için istatistiksel yaklaşımlar tanıtılmıştır. 9-150 kHz frekans aralığı için benzetime dayalı bir tasarım işleyiş adımları açıklanmıştır.	Bu aralıktaki EMG testi belirsizliği, istatistiksel yaklaşımlara dayalı olarak araştırılmamıştır. Genel çalışmalar, esas olarak 150 kHz'in üzerindeki frekans aralığına odaklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise, endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanılan üç fazlı/seviyeli şebekeye bağlı sürücünün/eviricinin elektromanyetik uyumluluğu incelenmiştir. Test düzeneği, CISPR16-1-2 standardına göre oluşturulmuş ve inverterden şebekeye iletilen girişimler ölçülmüştür. İletilen yayınımın kablonun uzunluğuna, kablonun şekline, motorun hızına bağlı olarak değişimi motor yüklü ve yüksüz durumdayken incelenmiştir. Zaman-frekans alanı dönüşümü için HFD uygulanmış ve istatistiksel bir yaklaşımla değerlendirmek için Minitab yazılımı kullanılmıştır. Bu yayınımın şebekeye iletilmesini önlemek için PSIM ortamında süzgeç tasarımı oluşturulmuştur. EMG süzgecinin 9-150 kHz frekans aralığındaki gürültü zayıflatması benzetim ve deneysel ortamda doğrulanmıştır. Bu alanda; (Pahl, 2020; Van Wershoven, 1999), 150 kHz üzerindeki frekanslarda kablo uzunluğuna bağlı olarak İY değişimlerini incelemişler fakat bu yayınımları herhangi bir standart sınır bakımından değerlendirmemişlerdir. (Pignari and Orlandi, 2003), uzun kablonun İY üzerindeki etkisini matematiksel yöntemlerle araştırmışlardır. (Dos Santos et al. , 2017), ekransız kablonun modellemesini benzetim ortamında gerçekleştirerek kablo uzunluğunu deneysel bir kurulum yerine benzetim kullanarak değerlendirmiştir. (Richard, 2007), kablo demetinin İY üzerindeki etkisini 120MHz üst frekans aralığına kadar raporlamıştır. (Benazza et al. , 2020), DA sistemler için kablo etkisini araştırmıştır. Bu alandaki çalışmalardan ayarlanabilir kaynak sürücülerinden (AKS) kaynaklı İY'lar (Gallo et al., 2005; Moreau et al., 2009) tarafından ele alınmıştır. (Luszcz, 2011), sürücü beslemeli AA motorunda uzun kablonun 150kHz -30MHz frekans aralığını kapsayan ortak mod akımı üzerine etkisi incelenmiş fakat farklı uzunluklardaki etkisi değerlendirilmemiştir. (Moreau et al., 2009), AKS sistemlerinde standart sınırlar olmadan 50MHz frekans aralığına kadar İY benzetim ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırmıştır. (Gallo et al., 2005), AKS'de 150kHz-30MHz frekans aralığında değişken yük durumunun İY'a etkisini incelemiştir ancak herhangi bir standart sınır tanımlanmamıştır.

AKS'de iletilen yayınımları bastırmak için yine 150kHz üstü süzgeç tasarımlarına (Hizarci, 2022; Hizarci and Arifoglu, 2019) odaklanılmış ve tasarım sürecine ölçüm belirsizlikleri dahil edilmemiştir. Genel olarak, 9-150 kHz frekans aralığı için AKS'e yönelik EMG süzgeç belirsizlikleri temelinde araştırılmamıştır ve bu konuda sınırlı araştırma mevcuttur. Bu bölüme yapılan katkı aşağıda sıralanmıştır.

- AKS sürücü sistemlerinin yaygın olan 150 kHz üstü frekans aralığı yerine standart sınırların eksik olduğu 150 kHz altı frekans aralığına odaklanılmıştır.

- Ölçüm belirsizliklerindeki durumlar ele alınmış ve bu koşulların EMG üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Bu aralıktaki EMG test belirsizlikleri için rehber olmak amacıyla istatistiksel yaklaşımlar tanıtılmıştır. Bu frekans aralığı için en kötü durumun baz alındığı EMG süzgeç adımları geliştirilmiştir.

- Bu çalışma, kablo uzunluğu, sürücünün hızı ve yük durumu açısından iletilen yayınımlar açısından çeşitli durum etkilerinin kapsamlı istatistiksel çözümlemesini sunmaktadır. Yapılan çalışmalarda süzgeç değişkenlerini belirlerken istatistiksel yaklaşım açısından henüz bir inceleme yapılmamıştır. Diğer bir deyişle EMG analizi için daha detaylı bilgi ihtiyacını karşılamaktadır. Bu nedenle, sunulan araştırma güç elektroniği dönüştürücülerinin tasarlanması ve geliştirilmesi için gereklidir.

- AKS sistemlerinin grup olarak birlikte çalışması durumunun yayınımlar üzerindeki etkisi şu ana kadar araştırılmamış ve standart sınırlar açısından karşılaştırılmamıştır. Bu çalışmada ilgili aralık için sınır önerilmiş ve sürücülerin etkileşiminin İY üzerindeki etkisi sunulmuştur.

Bu çalışma, mevcut bilgilerdeki boşlukları doldurmakta ve güç elektroniği dönüştürücülerinin tasarımı ve geliştirilmesi için temel bilgiler sağlamakta ve bu alandaki yazına değerli bir katkı haline getirmektedir. Kısacası, bu çalışmalar hem DA hem de tek ve üç fazlı AA yayınımların ölçülmesinde yer alan belirsizlikleri doldurarak üç fazlı dönüştürücülerin tasarım aşamasında mühendislere fayda sağlayacaktır.

Ayrıca bataryanın şebekeye bağlanması kapsamında oluşacak iletilen yayınımlardan kaynaklı güç kalitesi problemlerine farkındalık oluşturulup kalite dizinlerinin çeşitlendirilmesi konusunda yardımcı olacaktır. Bu durum elektrik depolama tesislerinin güvenilir bir şekilde şebekeye bağlanmasını ve enerji dağıtımında kararlılık ve verimliliğin artırılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, bu girişimlerin giderilmesi cihazların bakım onarım masraflarının azaltılmasını da sağlayacaktır.

Bu tez çalışması aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2'de EMG ölçümü ile ilgili temel kavramlar açıklanmaktadır. Bölüm 3, DA ve tek ve üç faz sistemlerdeki

iletilen yayınının deneysel ve benzetim ortamında incelenmesiyle ilgili çalışmaların yöntemlerini kapsar.

Elde edilen çıktılar ise Bölüm 4’te sunulmuş ve tartışılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

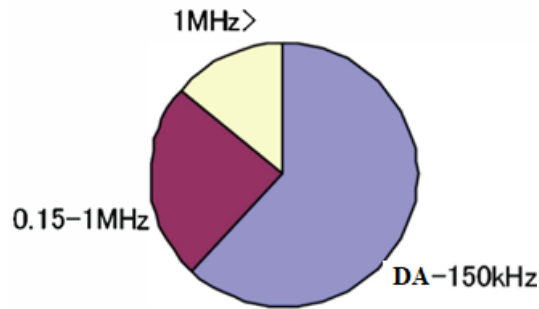


2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. İletilen Yayınım ve Zorlukları

Yayınım şekline göre girişimler iletilen yayılım (30MHz'e kadar) ve ışıma ile yayılım (30MHz üstü) olmak üzere iki çeşittir. EMG testlerinin kablolar ile yapıldığı test iletilen yayılım testiyken, hava ile yapılan test ise ışıma testidir. İletilen yayınımlar da dar aralık işaretler (5 kHz'in altı), geniş aralık işaretler (5 kHz'in üstü) ve geçici salınımlar olmak üzere üçe ayrılırlar. Dolayısıyla buradaki odak noktası, geniş aralık işaretlerini kapsayan iletilen yayılım testleridir (Subhani et al., 2017).

İletilen yayınımdan kaynaklı oluşabilecek uyumluluk sorunlarında, tüm donanımın standartlarda tanımlanan gerilim ve frekans bozulması gereksinimlerini karşılaması gerekir. Bir güç sisteminin başarımının düşmesi sadece bir güç kalitesi sorunu değil, aynı zamanda EMU ile de ilgilidir. Avrupa standardizasyon komisyonu (CENELEC) tarafından elektrik sayaçları, EMG vakaları Almanya ve İsveç'te gözlemlenmiş ve araştırılmıştır. Bu girişimler, sayaç değerlerinin anormal kayıtlanmasına sebep olduğu raporlanmıştır. Ayrıca Almanya'da yapılan ölçümler fotovoltaik dönüştürücünün üst harmoniklerinden kaynaklı, ana şebekeden beslenen gerçek enerjinin elektronik sayaçlarda daha düşük bir seviyede gösterdiğini doğrulamıştır. 2009'da Avrupa Komisyonu (AK), tarafından bir teklif çağrısı sunmuştur fakat dikkate alınmamıştır. Yine Avrupadaki NTT müşteri şikâyet veri tabına ait Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere EMG girişiminden kaynaklanan veri tabanında şikâyetlerin çoğunun DA ile 150 kHz arasındadır.



Şekil 2.1. NTT müşteri şikâyet veri tabanından donanım arızasına neden olan gürültü frekansları

Şebekede iletilen yayınımdan kaynaklı güç kalitesi sorunları aşağıda sıralanmıştır (Leferink, 2015; Rönnberg et al. , 2017).

- Sokak aydınlatmasının istem dışı anahtarlanması, trafik ışıklarının ve toplu

taşıma otobüsleri için trafik denetim sisteminin arızalanması, çamaşır makinesinin yıkama işleminin sona ermesinden sonra kendi kendini yeniden başlatması, otomatik pisuar su denetiminin sürekli çalışmaya geçmesi, TV ve radyo alıcısının işitilebilir gürültüsü (20kHz'e kadar), kahve pişiricinin yanlış denetim lambası işlevi

- Sayaç değerlerinin anormal kayıtlanması
- Doğrusal olmayan elektronik donanımın etkisiyle ısınma
- Hatalı çalışma veya diğer cihazlarla etkileşim ve hatta donanımın zarar görmesi
- Dönüştürücüye bağlı olan pil akımında dalgalanma olabilecek sorunlar

2.2. Elektromanyetik Standart Sınırlar

2 kHz'e kadar olan ve 150kHz'den başlayan frekanslar için standartlar ve normlar bulunmaktadır. Özellikle endüstriyel, bilimsel ve medikal uygulamaları için IEC, FCC ve CISPR, askeri uygulamalar için MIL-STD-461, MIL-STD-464 ve DEF-STAN standartları, 150kHz üstünde kullanılan bazı standartlardır. 2-150kHz iletilen yayınımlar güç kalitesi standartlarının olmaması nedeniyle nicelleştirilememektedir. İletilen yayınımların incelenmesi araştırma ve kavrayışa ihtiyaç duyan bir konudur. 9-150kHz frekans aralığındaki yayınımlara sınır belirlemek için bu aralıkta kullanılan geniş aralık standartları bu frekans aralığına uyarlanmıştır (Bollen et al. , 2014; Heirman, 2020; Larsson and Bollen, 2009). Kullanılan standart sınırlar aşağıda verildiği gibidir.

- Bilimsel, tıbbi veya endüstriyel donanımlar için yayınım sınırı belirleyen CISPR-11 standardı

- Elektriksel aydınlatma sistemleri için yayınım sınırları belirten ve CISPR-11 standardı ile aynı yayınım sınırlarında olan fakat genellikle daha üst frekans aralıklarını da kapsayan CISPR-15 standardı

- Dönüştürücülerinin çalışma koşullarını ve özelliklerini açıklayan IEC TS-62578 standardı, güç hattı iletişimi için kullanılan EN-50065 genel ve EN-50065 endüstriyel (son ikisi 100 kHz'den sonra farklılık göstermektedir) standartları

- Alçak, orta ve yüksek gerilim besleme özelliklerini, gerilim olaylarını ve değişimlerini açıklayan EN-50160 standardı

- 2-150 kHz frekansına uygulanabilen ölçüm yöntemlerini açıklayan IEC

61000-3-8 ve CISPR 16-2-1 standardı

- Askeri cihazların sınırlandırılmasında kullanılan MIL-STD 461 standardının 150 kHz altı frekans sınırını kapsayan kısmı

2.3. Standart Sınır Grafiklerinin Elde Edilmesi

Bu bölümde standartların elde edilmesi IEC 61000-3-8 standardı örneği üzerinden açıklanmıştır. İlgili standart, 3- 9kHz frekans aralığında sabit 134 dB μ V genlikli, 9-95 kHz aralığında 120 dB μ V değerine kadar azalan bir grafik eğrisine sahiptir. İlgili standardın matematiksel ifadesi Tablo 2.1 ile eşitlik (2.1) ve (2.2) kullanılarak elde edilmiştir. Diğer standart sınır grafiklerinde de bu yöntem izlenmiştir. Burada, x frekansının logaritmik karşılığını, y ise frekansa karşılık gelen sınır değeri temsil etmektedir.

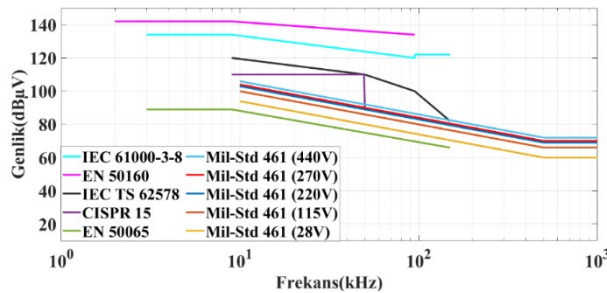
$$\frac{x - x_1}{y - y_1} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \quad (2.1)$$

$$\frac{x - 9.105}{y - 134} = \frac{11.4646 - 9.105}{120 - 134} \quad (2.2)$$

Tablo 2.1. IEC-61000-3-8 standardının frekansa bağlı matematiksel ifadesi

IEC 61000-3-8 Standardı			
Frekans aralığı (Hz)	f≤9000	f≤95000&f>9000	f>95000
Genlik değeri (uV)	134	188.0906-5.9408*log(f)	122

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda, standartların matematiksel ifadesi kullanılarak iletilen yayınımlara sınır oluşturmak için MATLAB ortamında grafiksel sınırlar Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bu iki yayınlım şekli için izin verilen ortam gürültüsünün belirlenen sınır değerlerin altında olması gerekmektedir.



Şekil 2.2. Standart sınırların frekansa bağlı genlik değişimi

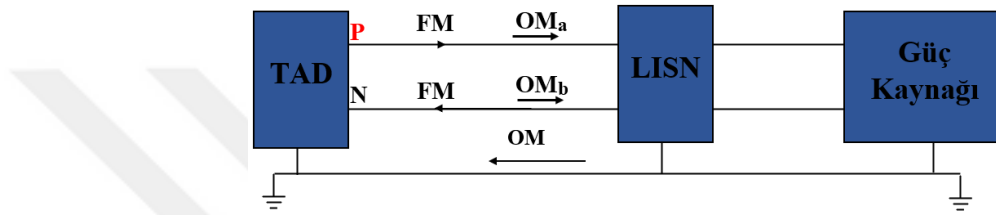
2.4. İletilen Yayınım Gürültü Modları

EMG gürültü, iletim moduna göre ortak mod (common mode) ve fark mod (differential mode) olmak üzere ikiye ayrılır;

- **Fark mod akımlar (FM):** Cihazın normal çalışması için gerekli olan, gidiş ve dönüş akımlarıdır.

- **Ortak mod akımlar (OM):** Cihazın normal çalışması için gerekli olmayan; ancak akışını tamamen önleyemediğimiz, cihaz içerisinde istem dışı akan akımlardır.

Şekil 2.3'te gürültü modları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. EMG gürültü modları

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere faz iletkenindeki FM gürültüsü hat empedansı dengeleme ağına (LISN) akar ve dönüş yolu nötr iletkenidir. Tek fark, bu iki akım arasındaki 180° faz farkıdır. OM gürültüsünde ise devre üzerindeki parazitik olarak adlandırılan sığaçlar nedeniyle devreden toprağa karşı sürekli olarak bir akım akışı olmaktadır. OM gürültüsü faz ve nötr iletkenleri üzerinden aynı yöne doğru iletilir ve dönüş yolunu toprak referansı üzerinden tamamlar. FM ve OM akımları aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır (Yalcin et al., 2023). Burada, I_p pozitif kaynak akımını, I_N negatif kaynak akımını, OM gürültüleri toprağa akan akımlar olduğundan ve FM gürültüleri cihazda dolaşan akımlar olduğundan pozitif kaynak akımı için toplanırken negatif kaynak akımı için çıkarılır.

$$I_p = I_{OMa} + I_{FM} \quad (2.3)$$

$$I_N = I_{OMb} - I_{FM} \quad (2.4)$$

Akımın LISN'nin empedansında akması ile eşitlik (2.5) ve (2.6) hesaplanmaktadır. Burada, V_p ve V_N pozitif ve negatif kaynak gerilimini, Z_{LISN} , LISN empedansını temsil etmektedir.

$$V_p = (I_{OMa} + I_{DM}) * Z_{LISN} \quad (2.5)$$

$$V_N = (I_{OMb} - I_{DM}) * Z_{LISN} \quad (2.6)$$

İletkenin iki gerilimi toplanırsa, sonuç her iletkende akan ortak mod kısmının iki katı olur ve fark mod bileşeni iptal olur. Bu durumda, (2.7) eşitliği elde edilir ve OM gerilimi eşitlik (2.8) ile hesaplanır.

$$V_p + V_N = V_{OMa} + V_{OMb} \quad (2.7)$$

$$\frac{V_p + V_N}{2} = V_{OM} \quad (2.8)$$

FM geriliminin ayrılması için (2.9) eşitliği kullanılır.

$$V_{FM} = \frac{V_p - V_N}{2} \quad (2.9)$$

2.5. EMG Ölçümü

İletilen yayının ölçümü için LISN, 1-ohm, probalar (akım ve gerilim probaları) ve enine elektromanyetik hücre yöntemleri (TEM-CELL) vardır (Kennedy et al. , 2015).

- **Ohm gürültü ölçüm yöntemi:** Test edilen donanıma seri olarak bağlanan harici dirençler boyunca gerilim düşümü ölçülerek iletilen yayınımla gürültüsünün tahminini içerir. Bu yöntem üst frekanslar olan GHz aralığında doğrudur (Deutschmann et al. , 2004).

- **Akım ve gerilim probaları yaklaşımı:** Bu yöntemde, akım probunun etrafında kenetlendiği iletken birincil sargı ve probun kendisi ikincil sargıyı oluşturur. Diğer bir ifadeyle akım transformatörü ilkesine göre çalışır. İletkendeki akım manyetik alanı üretir ve bu dolaşan manyetik alan tayf analizörü tarafından ölçülen gerilimi endükler. Yüksek hassasiyetli bir osiloskopa bağlı küçük bir direnç üzerindeki gerilim, gerilim probu yöntemi kullanılarak ölçülür ve gerilim okuması daha sonra HFD kullanılarak akım tayfına dönüştürülür (Yao et al., 2018).

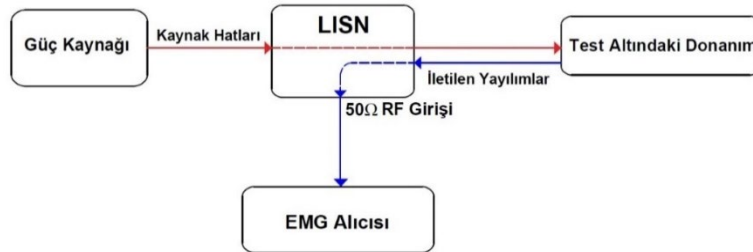
- **TEM-CELL yaklaşımı:** Test altındaki donanım (TAD) hücrenin içine yerleştirilir ve 50ohm'luk çıkış noktasından EMG alıcısına bağlanır. TAD, bağlantı noktaları aracılığıyla hücre içinde gürültü yayar ve 50ohm'luk çıkış tarafından sonlandırılır. Bununla birlikte, TAD'da çok sayıda bağlantı noktası varsa TEM CELL yöntemi uygulanabilirliğini kaybeder (Kennedy et al. , 2015).

Yukarıda açıklanan yöntemlerin olumsuz yönlerinden dolayı hat empedansı dengeleme ağı tercih edilmektedir. LISN çeşitli EMU/EMG test standartlarında belirtildiği gibi, iletilen ve ışıyan yayınımlarını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Hat empedans ağı, yapay şebeke ağı (AMN) veya V ağı olarak da adlandırılır. İsminden

de anlaşılaçağı üzere şebeke empedans farklılık sorununu ortadan kaldırmak ve bütün test laboratuvarlarında standart bir şekilde test yapmak için kullanılırlar. LISN, iletilen yayınının (İY) ölçüm frekansı aralığında olan, AA veya DA güç kaynağı ile ve test altındaki donanım (TAD) arasında sabit bir empedans uyumu (yaklaşık 50Ω) sağlayarak istenmeyen yayınımları engelleyen alçak geçiren bir süzgeçtir. TAD tarafından şebeke tarafına yansıyan gürültü girişimleri LISN ile engellenerek girişimin yalnızca EMG ölçüm cihazından (EMG alıcısı, tayf analizörü, osiloskop, veri toplama kartı vb.) geçişine izin verilir. Aynı zamanda testin güvenilir olması açısından şebeke tarafından gelen gürültüler, LISN ile süzgeçlenerek test sistemine geçişı önlenir. Donanımın özellikleri standartlar ile belirlenmiş olup ölçüm yapılacak sisteme göre çeşitli yapılarda bulunmaktadır. Aşağıda, LISN'ların değışiklik gösterdiği özellikler sıralanmıştır (Ales et al., 2011).

- Frekans aralığı
- TAD'a sağlanan empedans
- Desteklenen faz sayısı
- DA/AA giriş gücünü destekleme durumu
- Anma gücü ve akımı

Şekil 2.4'te LISN'ın devreye bağlantısı gösterilmiştir.

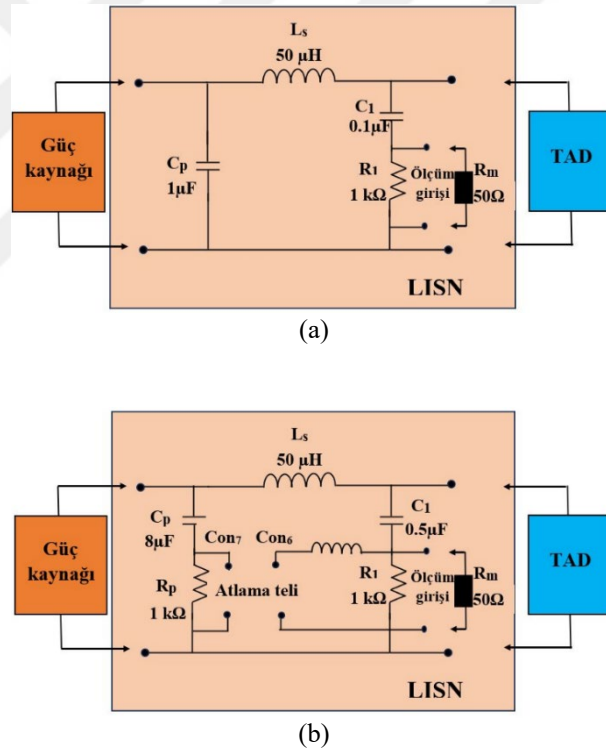


Şekil 2.4. LISN'nın devreye bağlantısı

Şekil 2.5'te bu çalışmada kullanılan ve CISPR 16-1-2/ MIL-STD-461F standardına uyumlu LISN devre şemaları verilmiştir (Ensini, 2018a). LISN'lar, tek veya üç fazlı olabilir ancak hepsi Şekil 2.5'te gösterilen tek fazlı elektrik devresinin ilkesine dayanır. LISN'lar ölçüm yapılacak test standardına uygun olarak üretilirler. Örneğin, CISPR16-100 ölçüm standardına göre tasarlanan LISN, CISPR 16-1-2, CISPR 22, CISPR 15 ve ANSI 63.4 teknik özelliklerini karşılar. Bu sebeple ölçüm

yapılacak test standardına göre LISN temini gereklidir. Ayrıca yapılacak testler, ilgili ölçüm standartlarına uygun olarak yapılmalıdır. Diğer bir deyişle, yayılım testleri EMG'ye neden olan test edilecek olan cihazın bulunduğu ortamdaki diğer cihazların çalışmasından etkilemesini önlemek amacıyla ilgili yasal yönergelerde gösterildiği şekilde gerçekleştirilir. Bu çalışmada, ölçüm standardına uygun olarak ve değerlendirilecek frekans aralığının geniş aralık olmasından dolayı CISPR 16-2-1 'e göre ölçümler yapılmıştır. Işınım testinin ölçümleri ise iletilen yayınımlardan farklı olarak yansımaz odada ve özel antenlerle yapılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan LISN'lar sırasıyla 9kHz-1MHz ve 9kHz- 30MHz frekans aralığındadır. Şu anda Marie Skłodowska-Curie ve ETOPIA projelerinin de odak noktasında olan ve 2-9 kHz frekans aralığını kapsayan LISN'lar bulunmadığı için LISN'ların başlangıç frekansı 9 kHz olarak seçilmek zorunda kalmıştır (Khilnani et al., 2020; Wan et al. , 2021).

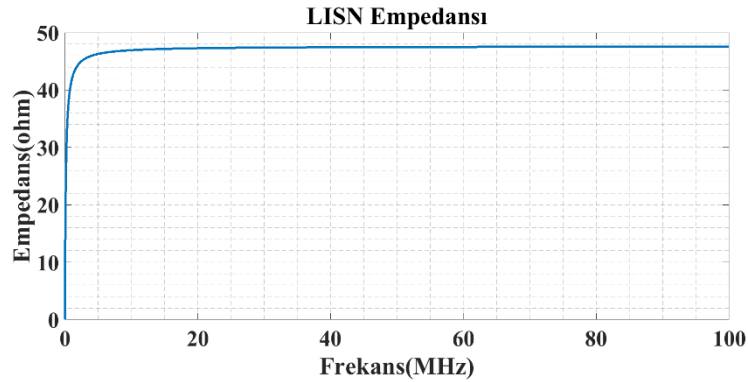


Şekil 2.5. İletilen yayınımların ölçümü için kullanılan (a), (b) LISN devre şemaları

Şekil 2.5.(a)'da verilen LISN üç uçlu bir devredir. R_m olarak temsil edilen üçüncü uç, ölçüm cihazı için alıcı bağlantı ucudur. LISN, besleme ve ölçüm yapılacak cihaz arasına yerleştirildiğinden, cihazın çalışması için 50Hz akım bileşenini geçmesine izin vermelidir. Bu amaçla, L_s endüktans bileşeninin 50Hz'de düşük bir empedansa sahip olması gerekmektedir (DA bileşeni için kısa devredir). Harici ağdan gelen gürültüler, paralel sığaç C_p ile önlenir. Yüksek frekanslarda C_p düşük

değerliyen, L_s yüksek değerdedir. 50Hz frekansta ise, C_p yüksek değerlikli olduğundan 50Hz bileşeni süzgeçlenemez. Genellikle, 0.1 μ F olan C_1 sığacı TAD'dan gelen yüksek frekansları süzgeçler ve 1k Ω olan R_1 direncine sınırlandırır. Bu direnç alıcı direnci olan R_m ile paraleldir. Tüm bu bileşenler ve alıcının 50 Ω direnci, LISN'nin hat empedansı ağı olmasına izin vererek, her ölçüm için karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmemizi sağlar. R_1 ve R_m arasındaki paralel direnç, yüksek frekans bozucu işaret için yaklaşık 50 Ω sabit bir empedans verir. R_1 'in ayrıca güvenlik işlevi de vardır: LISN bağlantısı kesildiğinde C_1 sığacının boşaltılmasına izin verir. Bunun sonucunda 150kHz-30MHz frekans aralığında tasarlanmış olan LISN, 9-150kHz iletilen yayınımları ölçerken bazı problemler ortaya çıkabilir. Özellikle, 9 kHz'e yakın düşük frekanslar seri endüktans ağıdaki dengesizliklerin TAD'a ve alıcıya geçmesine izin verebilir ve bunun tersi de geçerlidir. Yine paralel sığaç olan C_p , ağ bozukluklarını süzgeçlemeyebilir ve C_1 sığacı ise TAD'daki dengesiz işaretin R_1 'e ve dolayısıyla alıcıya geçişine izin vermeyebilir (Ensini, 2018a).

Şekil 2.5(a)'da verilen devrede, güç kaynağı uçları kısa devre edilerek (Thevenin empedansının hesaplanması için) TAD noktaları arasındaki empedansın frekansa bağlı değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Dikkat edilecek olursa empedans yaklaşık 48 ohm'dur.



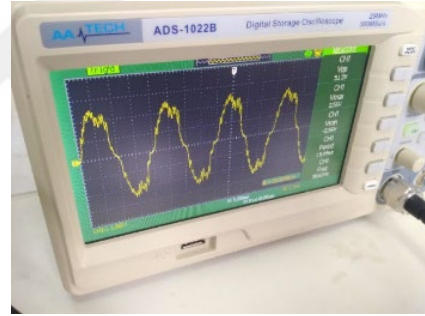
Şekil 2.6. LISN empedansının frekansa bağlı değişimi

Şekil 2.5(b)'deki devrede ise 250 μ H ön süzgeci olmayan bir LISN kullanılmaktadır. Atlama teli bağlanabilmesi için, Con₆ ve Con₇ isimli iki bağlantı noktası bulunmaktadır. Bu iki atlama telinin kullanılma durumuna şu şekilde karar verilmiştir. Bir osiloskop ile, alıcı çıkışındaki 50Hz işaret bileşeninin genliğinin denetlenmesi gerekmektedir. Bu ölçüm için, osiloskop girişinin 50ohm'a getirilmesi gerekmektedir. Osiloskopta 50 Ω girişi yoksa, girişe paralel olarak 50 Ω 'luk bir direnç

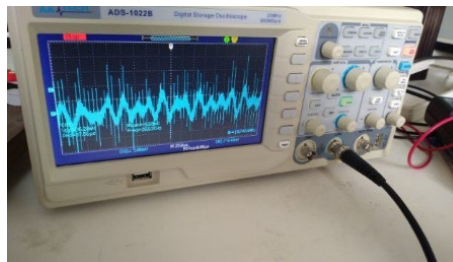
bağlanması gerekmektedir. 50Hz genlikli işaret, tepeden tepeye 2V'un üzerindeyse, LISN'nın üst kapağı açılmalı ve verilen alçak geçiren süzgeç atlama teli Con6 konumuna yerleştirilmelidir. Ardından, 50Hz işaretinin genliği tekrar ölçülerek hala çok yüksekse, alıcı çıkışına harici bir 150kHz yüksek geçiren süzgeç bağlanması gerekmektedir. Bu durum, 50Hz ve 2 kHz'e kadar olan 50Hz'in katları harmoniklerin etkisini azaltılması ve ölçümün bozulmasını önlemek içindir. Bu amaçla, bir osiloskop yardımıyla alıcı çıkışındaki 50Hz işaret bileşeninin genliğinin denetlenmesi ve osiloskopta 50Ω giriş oluşturabilmek için Şekil 2.7'de verilen, girişe paralel olarak 50Ω'luk bir direnç eklenmiştir. Şekil 2.7'de verildiği gibi 50Hz işaretin genliği tepeden tepeye 5.12 V olduğu için (2V'un üzerinde), LISN'ların üst kapakları açılarak, alçak geçiren süzgeç atlama teli con6 konumuna yerleştirilmiştir. Bu durumda, tekrar osiloskopta 50 Hz işaretin genliği ölçüldüğünde Şekil 2.7(c)'de gösterildiği üzere çok küçük bir genlik elde edilmiştir.



(a)



(b)

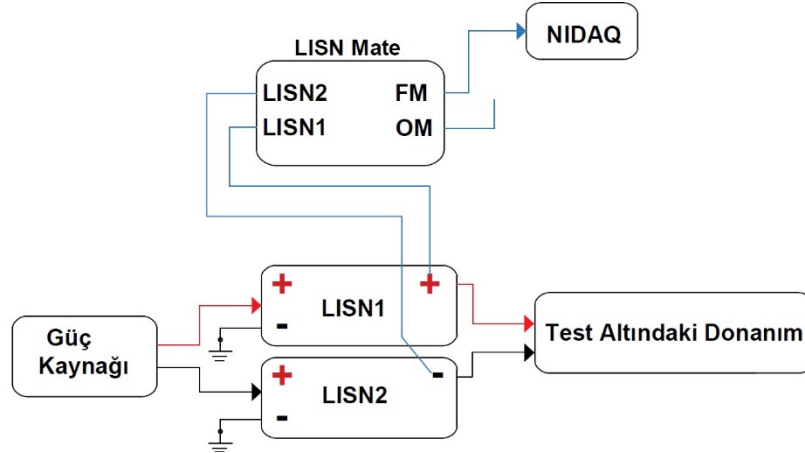


(c)

Şekil 2.7. 50Hz genlikli işaretin denetlenmesi için osiloskop bağlantısı ve işaretin zamana bağlı değişimi

EMG ölçümlerindeki diğer bir unsur ise FM ve OM gürültülerinin ayrılmasıdır. Bu amaçla bu çalışmada kullanılan ayırıcının bağlantı şeması Şekil 2.8'de verimiştir. Kullanıcıların katalog bilgilerinde yer alan, 0° ve 180° terimi, birleştirici

(OM)/ayırıcı(OM) devrelerinin sırasıyla ölçülen girişimin vektörel olarak toplamının ve farkının alındığını ifade etmektedir.

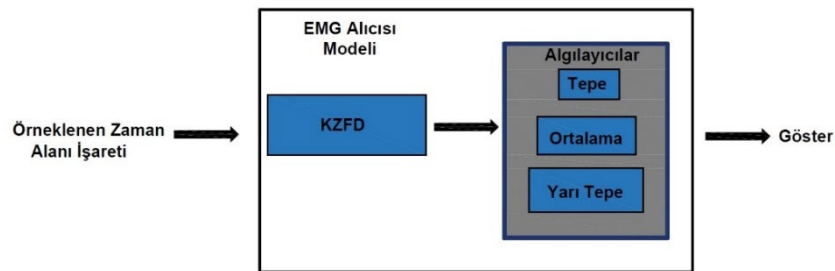


Şekil 2.8. LISN ile FM ve OM ayırıcısının şeması

EMG ölçümlerinin ve test cihazlarının mümkünse ekranlanmış odada yapılması tavsiye edilmektedir. Test ortamında kullanılan tahta masanın boyutları ve testte kullanılan tüm donanımların bağlı olduğu toprak levhası standartlara göre belirlenmektedir.

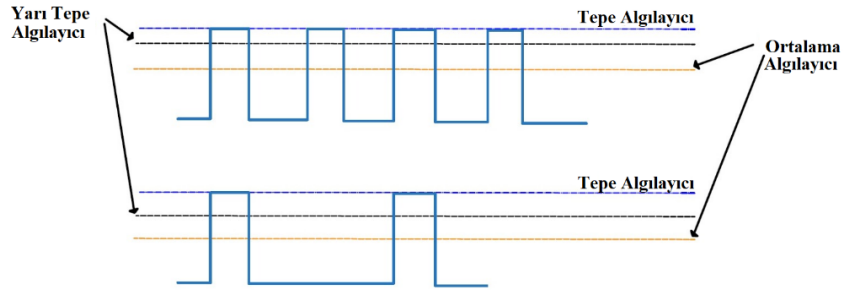
2.6. EMG İşaretlerinin Okunması

Ölçüm sonucunun okunmasında yaygın kullanılan cihaz EMG alıcısıdır. Bir EMG alıcısı, giriş işaretinin tayfını ölçer ve çözümler. Şekil 2.9'da yapısı verilen EMG alıcısı temelde karıştırıcıdan, belirli bir ölçüm aralığında genişliğini seçen ve ayarlanabilir bir ara frekans süzgeçten, zarf alıcısından ve EMG algılayıcılarından (tepe, yarı tepe, ortalama) oluşmaktadır (Karaca et al., 2015).



Şekil 2.9. EMG alıcısının iç yapısı

EMG alıcısında kullanılan yarı tepe, tepe ve ortalama algılayıcıların işareti okuması Şekil 2.10'da verilmiş ve aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.10. EMG dedektörlerinin işareti okuması

EMG ölçümlerinde kullanılan algılayıcılar aşağıda sıralanmıştır (Ott, 2009).

• **Yarı-tepe algılayıcı:** Birçok standartta, iletilen yayının ve ışıyım yayının sınır değerleri genellikle yarı-tepe algılayıcısına göre belirlenmektedir. İşareti, yarı-tepe dedektörü ile darbe yinleme oranına göre değerlendirir. Yarı-tepe algılayıcı, işaretlerin tepe değerlerine göre daha düşük ölçüm değerleri verir. EMU laboratuvarlarında gerçekleştirilen ön testler genellikle tayf algılayıcıları kullanılarak yapılır. Ancak, iç yapılarında genellikle yarı-tepe algılayıcı bulunmaz. Ön uyumluluk için kullanımı zorunlu değildir.

• **Tepe algılayıcı:** Adından da anlaşılacağı gibi, en kötü durumu gösteren, işaretin her harmoniğindeki en yüksek değerini ifade eder. Tepe algılayıcı ile hızlı tarama yapıldığından ön uyumluluk testlerinde kullanılmaktadır. Tarama ölçümünden elde edilen yayının, ilgili standart sınırı aşmıyorsa diğer algılayıcılarla ölçümde yine sınır değerlerin altında kalacağından daha fazla test ölçümü gerekmez.

• **Ortalama algılayıcı:** Ortalama algılayıcı, her bir işaret bileşeninin periyod boyunca ortalama değerini alır ve sadece İY testlerinde gereklidir. Buradaki önemli diğer konu, CISPR ve FCC gibi kuruluşlarca belirlenen aralık genişliğidir (RBW) ve Tablo 'de görüldüğü üzere 150kHz altındaki frekans aralığında 200Hz'tir (Braun et al., 2008; Russer, 2011).

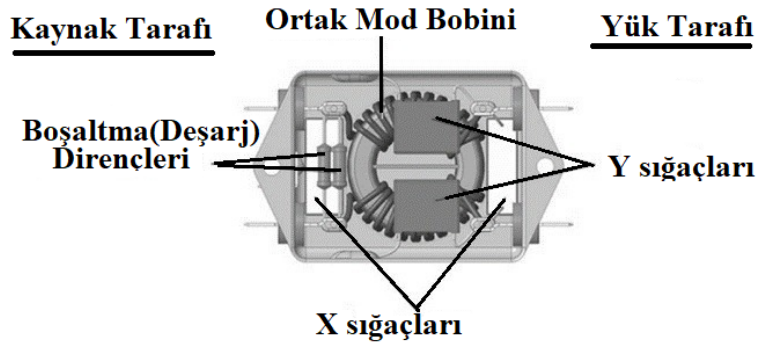
Tablo 2.2. Standart kuruluşlarca belirlenen aralık genişliği

Frekans Aralığı	RBW
9 kHz-150kHz	200Hz
150kHz-30MHz	9kHz
30MHz-1GHz	120kHz
1GHz üstü	1MHz

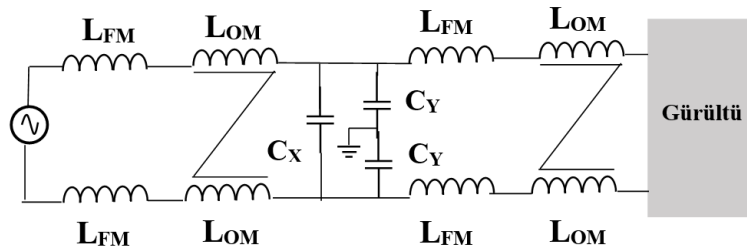
Bu çalışmada ise fiziksel bir EMG alıcısı kullanmak yerine, HFD tabanlı bir MATLAB algoritması oluşturulmuştur. Zaman alanı işaretlerini yakalamak için iki farklı deneysel ortamda gerçekleştirilen testlerde veri toplama kartı ve Keysight osiloskop kullanılmıştır. Bunun sayesinde, 9-150kHz frekans aralığını kapsayan yeni standart sınırların eklenmesine ve karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. Tavsiye edilen EN 55065-1 standardında işaretin toplanması için, frekans çözünürlüğü Tablo 2.2’de de verildiği üzere 9-150kHz frekans aralığı için 200Hz olarak alınmıştır (Alfalahi et al., 2021). EMG alıcısındaki mantıkla benzer olarak, işaret KZFD ile frekans alanına dönüştürülmüş işaretin logaritmik ifadesi alınarak önerilen standart sınırlarla kıyaslanmıştır.

2.7. EMG Süzgecinin Yapısı ve Elemanları

Yaygın kullanılan bir EMG süzgeci, Şekil 2.11’de görüldüğü gibi OM ve FM sarım ve sığaç bileşenlerinden oluşmaktadır. Devre şemasında yer alan C_x ve L_{OM} , ortak mod gürültüsünü zayıflatırken C_y , fark mod gürültüsünü zayıflatmaktadır. R dirençleri ise boşaltma dirençleri olarak kullanılmıştır. EMG süzgecinin devre şeması, 2.12’de gösterilmiştir. OM sarımı faz ve nötr arasına, FM sığaçları faz ve nötr arasına ve OM sığaçları faz ve toprak arasına ve ayrıca nötr ve toprak arasına bağlanır (Miloudi et al., 2017).

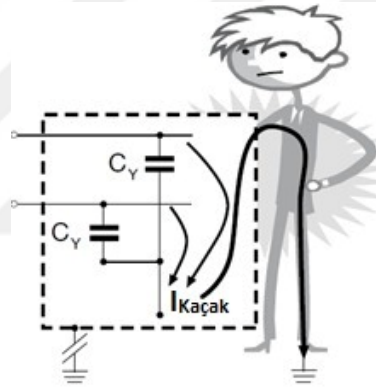


Şekil 2.11. EMG süzgeci iç yapısı



Şekil 2.12. EMG süzgeci iç yapısı

Ortak mod için OM sarımı ve Y sığacı, fark mod için FM sarımı ve X sığaçları kullanılmaktadır (Tarateeraseth, 2012). Süzgecin bazı elemanları sadece OM veya FM gürültüsünü, bazıları ise hem OM hem de FM gürültüsünü bastırabilmektedir. C_X kondansatörü sadece FM gürültüsünü zayıflatmaktadır. Fakat, ortak mod sarımı OM gürültüsünü zayıflatırken aynı zamanda sarımlar arasındaki kaçak endüktans FM gürültüsünü zayıflatmaktadır. Bu nedenle, çoğu uygulamada girişim değeri çok yüksek değilse fazladan FM sarımına ayrıca gereksinim duyulmaz. Uygulamada kaçak endüktansa karşılık gelen FM endüktansının değeri, ortak mod sarımının 0.5-2%'sidir (Shih et al., 1996). Ortak mod sığasını belirlemedeki en önemli etken ise, kaçak akım gereksiniminin karşılanmasıdır. Y sığaçları, normal çalışma koşullarında bir tehlike oluşturmazken olası kısa devre arızası durumunda cihazın metal gövdesinin toprak bağlantısı uygun yapılmadığında Şekil 2. 13'te verildiği üzere elektrik şoku oluşturabilir. Böyle bir durumda cihaza dokunan kişi zarar görebilir.



Şekil 2.13. Cihazda arıza durumunda oluşan kaçak akı yolu

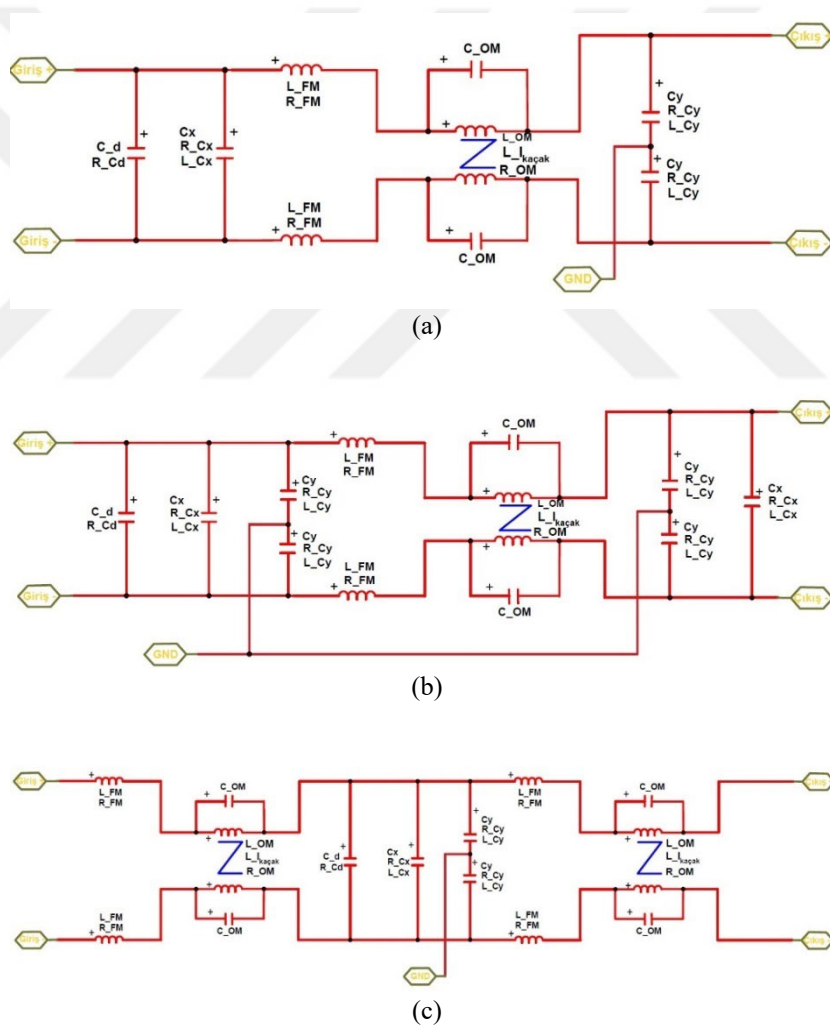
Bu amaçla gerekli güvenlik gereksinimlerini sağlayabilmek için standartlarla toprak kaçak akım değeri sınırlandırılır ve Y sığacı, “nF” seviyelerinde seçilir. IEC-60950 güvenlik organizasyonu, en büyük kaçak akım değerinin 50Hz için 3.5mA ile sınırlı olduğunu belirtir ve eşitlik (2.10) ile hesaplanır (Şükrü ve Arı, 2008).

$$C_{Ymax} = I_{sızıntı} / (1.1 * U * 2\pi f) \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'da f şebeke frekansını, C_{Ymax} en büyük kaçak akım değerini, $I_{sızıntı}$ kaçak akım değerini ve U şebeke gerilim dengesizliğinin %3 olduğu gerilim durumunu temsil etmektedir.

EMG süzgeç tasarımındaki her bir süzgeç elemanının 20 dB/dekad girişimi bastırma özelliği vardır. Fakat, gerçekte parazitik elemanlar nedeniyle girişimi

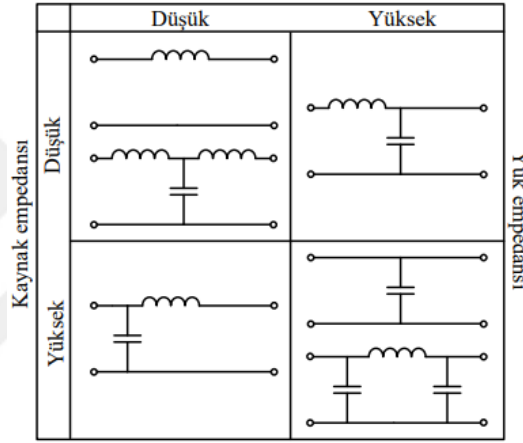
bastırma özelliği azalmakta ve beklenen değerin altında süzgeçleme yapmaktadır. Diğer bir ifadeyle, süzgeç tek başına tasarlandığında ölçümlerde beklenen sonucu verirken süzgeç devreye eklendiği durumda kendisinden beklenen zayıflatmayı karşılamadığı görülebilir. Bunun sebepleri, EMG süzgeç elemanları arasındaki mesafenin kuplaja etkisi ve kaynak ile yük arasındaki empedans uyumsuzluğudur. Normalde kaynak ile yük empedansının 50Ω için uyumlu olduğu kabul edilir. Fakat, gerçek uygulamalarda ise 50Ω değildir. Bu nedenle, empedans uyumsuzluğu göz önünde bulundurularak uygun süzgeç tasarımı yapılmalıdır. Empedans uyumsuzluğu göz önünde bulundurularak yapılan süzgeç türlerine göre T, Π ve L tipi süzgeçler bulunmaktadır. Şekil 2.14'te tek faz sistem için süzgeç tipleri verilmiştir.



Şekil 2.14. 1 seviye L (a), pi (b) ve T tip (c) tip ve EMG süzgeç yapıları

EMG süzgeç tasarımlarında, kaynak ve yük empedanslarının 50Ω uyumu şartı LISN kullanımı ile sağlanmaktadır. Gerçek uygulamalarda ise kaynak ve yük

empedansı gerçekte 50Ω olmadığı için İY testi için ilgili frekans aralığında da sabit kalma durumu belirsizdir. Bu sebeple, empedans uyumsuzluğu önemlidir. Girişimleri bastırmak için süzgeç yapısı belirlenirken Şekil 2.15'ten faydalanılmış ve giriş/çıkışındaki empedans durumlarına göre önerilen süzgeç yapıları gösterilmiştir. Örneğin LC süzgeci ele alındığında süzgeç girişindeki empedans düşükse empedans uyumsuzluğunu oluşturarak yayını kaynağa yansıtmak için süzgeçte yüksek empedanslı olan eleman endüktans seçilir. Benzer şekilde, yük tarafında ise yüksek empedans durumuna karşılık düşük empedanslı olan eleman sığaç seçilir. Bu sayede, yayını kaynağından gelen gürültülerin süzgeç üzerinden diğer cihazlara veya devrelere aktarımı engellenmektedir. (Montrose and Nakauchi, 2004).



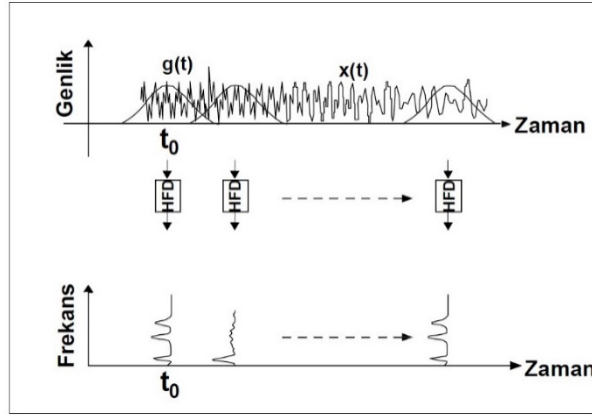
Şekil 2.15. EMG süzgeç yapısı seçimi

2.8. Kısa Zaman Fourier Dönüşümü

Bir elektrik şebekesinde bozukluklar yalnızca periyodik değil, aynı zamanda geçici olabilir. EMG işaretleri zaman içinde değişen genlikli ve harmoniklidirler. Bu nedenle, basitçe Fourier dönüşümü ile bu bozuklukların çözülmesi mümkün değildir. Bu nedenle zaman-frekans alanı çözümlemesi sağlayan KZFD bu amaçla kullanılmaktadır.

Fourier çözümlemesi işaretin her frekans bileşenine ait enerji/güç ayrışımını verir fakat zaman bilgisi olmadığı için frekans bileşeninin hangi zaman diliminde bulunduğu hakkında bilgi vermemektedir. KZFD'nin temel mantığı, Fourier dönüşümü tüm zaman dilimi boyunca uygulandığı için bu sorunu çözmek amacıyla belirli zaman diliminde hesaplanması gerektiğidir. KZFD'ün uygulama detayı Şekil

2.16'da verilmiştir. $x(t)$ işaretini örneklemek için, Nyquist frekansının örnekleme frekansının en az yarısı olması gerekmektedir.



Şekil 2.16. KZFD'nün uygulaması

KZFD, belirli bir $x(t)$ işaretini, belirli boyutlarda pencereler $w(t)$ ile bölerek her bir bölümde Fourier dönüşümü uygulama işlemidir. Bölünmüş işaretin sürekli zaman alanında matematiksel ifadesi eşitlik (2.12) ile verilmiştir.

$$x(t_c, t) = x(t) - \omega(t - t_c) \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.12)'te, t_c simetrik pencere işlevinin merkez değeridir. Bölünmüş işarete uygulanan Fourier dönüşümü eşitlik (2.13)'te verilmiştir.

$$x(t_c, \omega_c) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t_c, t) e^{-j\omega_c t} dt \quad (2.13)$$

Eşitlik (2.13)'te ω_c pencerenin merkez frekansıdır. Enerji yoğunluğu $|x(t_c, \omega_c)|^2$ olarak tanımlanır. Bu eşitlik, (t_c, ω_c) etrafındaki $x(t)$ 'nin enerjisi hesaplar (Bollen and Gu, 2006).

Bu gösterimde zaman-frekans çözümlemesinde bazı sınırlamalar vardır. Geniş bir pencere, daha iyi frekans çözünürlüğü sağlarken zaman çözünürlüğü zayıftır. Dar bir pencere, iyi bir zaman çözünürlüğü sağlarken frekans çözünürlüğü düşüktür. IEC 61000-4-7 standardı 200ms'lik bir zaman penceresi (5Hz frekans çözünürlüğü) önermektedir. Ancak, bu durum yüksek frekanslı işaretlerin çözülmesi için uygun değildir. Bu nedenle, EN 55065-1 standardı ve 150kHz'in altındaki frekans aralıklarını kapsayan standartların önerdiği 200Hz'lik aralıklarda işaretin toplanması için zaman penceresi uzunluğunun 5ms olarak alınması gerektiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada

da, zaman penceresi uzunluğu 5ms olarak alınmıştır (Compatibility, 2002). Aşağıda KZFD yöntemleri açıklanmıştır.

•**Sürekli Zaman Kısa Zaman Fourier Dönüşümü:** Sürekli zaman KZFD’de basitçe, dönüştürülecek işaret bir pencere işlevi ile çarpılır. Ortaya çıkan işaretin Fourier dönüşümü (tek boyutlu bir matris), pencere zaman eksenini boyunca kaydırılarak iki boyutlu bir işaret elde edilir ve eşitlik (2.14) ile ifade edilir.

$$\text{KZFD}\{x(t)\}(\tau, \omega) = X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)w(t - \tau) e^{-j\omega t} dt \quad (2.14)$$

Burada, $w(t)$ genellikle sıfır etrafında ortalanmış Hann veya Gauss penceresi işlevi ve $x(t)$ ise dönüştürülecek işarettir. $X(\tau, \omega)$, aslında işaretin zaman ve frekans boyunca fazını ve büyüklüğünü temsil eden karmaşık bir işlev olan $x(t)w(t - \tau)$ ’nin Fourier dönüşümüdür. Zaman indeksi τ normalde "yavaş" zaman olarak kabul edilir ve genellikle t zamanı kadar yüksek çözünürlükte ifade edilmez (Ensini et al., 2018a).

•**Ayrık Zaman Kısa Zaman Fourier Dönüşümü:** Ayrık zaman durumunda, dönüştürülecek veriler parçalara bölünebilir. Her yığın Fourier’e dönüştürülür ve karmaşık sonuç, zaman ve frekans alanındaki her nokta için büyüklüğü ve fazı temsil eden bir matrise eklenir. İşaretler yalnızca sınırlı bir süre boyunca kaydedilebilir ve örneklenmiş veriler kullanılarak işlenir ve eşitlik (2.15) ile ifade edilir.

$$\text{KZFD}\{x[n]\}(m, \omega) = X(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]w[n - m] e^{-j\omega n} \quad (2.15)$$

Eşitlik (2.15)’te işaret $x[n]$ ve pencere $w[n]$ ile ifade edilmektedir. Bu durumda, m ayrıktır ve ω sürekli (Ensini et al., 2018a).

2.9. EMG Zaman Alanı İşaretlerinin Çözümlemesi

Girişimlerin, standart sınırlarla kıyaslanabilmesi için zaman alanındaki işaretlerin öncelikle frekans alanına dönüştürülmesi gerekmektedir. Sonrasında, sınırlar açısından anlaşılır olması için eşitlik 2.16’da verilen logaritmik birim olan $\text{db}\mu\text{V}$ ile ifade edilmesi gerekmektedir.

$$\text{db}\mu\text{V} = 20 \log(V) \times 10^6 \quad (2.16)$$

2.10. İstatiksel Yaklaşımla İletilen Yayınımın Çözümlemesi

9-150kHz frekans aralığındaki İY'ları daha etkili bir şekilde ifade etmek için istatistiksel yaklaşımlar kullanılmıştır. Deneysel veriler normal dağılıma uymadığı için, öncelikle veriye uygun yaklaşım belirlenmiştir. Bu amaçla Kruskal Wallis ve Mann-Whitney testleri gibi doğrusal olmayan istatistiksel hesaplamalar kullanılmıştır. Kruskal-Wallis testi çoklu grup karşılaştırmaları için kullanılırken, Mann-Whitney testi ikili karşılaştırmaların ayrımlarında kullanılmıştır. Grafiksel çizim, istatistiksel sonuçların görsel olarak sunulması için önemli bir yöntemdir. Geniş çaplı bilgiyi kısa ve kolay anlaşılır bir şekilde aktarılmasına yardımcı olmaktadır. Gruplar (değişkenler) arasındaki farkları bulmak için görsel bir yöntem olan kutu grafiği (box plot) ve ana etki grafiği (main effects plot) grafikleri kullanılmıştır (Potter et al., 2006).

2.10.1. Kruskal-Wallis Testi

Kruskal Wallis-H değişken çözümleme testi, normal dağılımlı olmayan üç veya daha fazla gruplarda gruplar arasındaki farkın anlamlılığını test etmek için kullanılan doğrusal olmayan bir yöntemdir. Tek yönlü değişken çözümlemesinin doğrusal olmayan bir karşılığı olan Kruskal Wallis H değişken çözümlemesi, en az 3 grubu içeren çalışmalarda kullanılabilir. Kruskal Wallis H testi, doğrusal olmayan iki grup varsayım testinden Mann-Whitney U yönteminin genişletilmiş halidir (Arslan et al., 2018). Kruskal Wallis testi, yokluk varsayımı (karşıt varsayım) veya sıfır varsayımı olarak da adlandırılmaktadır. Bu varsayımın reddedilmesi durumunda grup ortanca değerlerinin (medyan) hepsi eşit olmamakla birlikte grup ortancalarının bazılarının eşit olması gerçekleşebilir. Başka deyişle, gruplardan en az birinin farklı olması bu varsayımın reddi için yeterlidir. Fakat bu durum hızlı ve kesin sonuç vermediği için ikili grupların kıyaslanabildiği çoklu değişken çözümlemesinin yapıldığı Mann-Whitney testine başvurulur. Bu yaklaşımda, test istatistiğinin ortaya çıkma olasılığı, araştırmacı tarafından belirlenen ve genellikle %1 veya %5 olan alfa (α) anlamlılık düzeyi ile karşılaştırılır. H, DF ve P-değerleri istatistiksel varsayım testlerinde kullanılan ölçütlerdir.

• **P:** Bir test istatistiği elde etme olasılığını temsil eder. Bu değer, genellikle alfa (α) olarak gösterilen önceden belirlenmiş bir anlamlılık düzeyiyle karşılaştırılarak varsayım hakkında karar verilmesini sağlar. P'nin küçük olması sıfır varsayımına karşı daha güçlü bir kanıt olduğunu gösterir. Bu çalışmada, α değeri "0,01" olarak alınmıştır.

• **H:** Test istatistiği değeridir. Sıfır varsayımının reddedilmesi, test istatistiği H'nin önceden belirlenmiş bir kritik değerle karşılaştırılmasıyla verilir. Kritik H değeri, $\alpha = 0.01$ anlamlılık düzeyi için Kruskal Wallis tablosundan belirlenmektedir. Hesaplanan test istatistiği bu değerden daha anlamlı ise sıfır kuramı reddedilir. Test edilen gruplar arasında 0.01 anlamlılık düzeyinde önemli bir fark olduğu sonucuna varılır. Hesaplanan test istatistiği, kritik değerden küçük veya eşitse sıfır varsayım reddedilememiş ve gruplar arasında önemli bir fark olmadığı sonucuna ulaşılır. H değeri, eşitlik (2.16) ile hesaplanmaktadır (Arslan et al., 2018; Kruskal, 1952).

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1) \quad (2.16)$$

Burada, N toplam değişken sayısını, n_i her bir gruptaki değişken sayısını, R_i her bir gruptaki değişkenlerin sıra numaraları toplamını ve k ise; kıyaslanacak grup sayısını ifade etmektedir.

• **DF:** Hesaplanması için gereken bağımsız gözlem sayısına göre belirlenen ve grup sayısı eksi bire eşit olan test istatistiği ile ilgili serbestlik derecesini temsil eder.

2.10.2. Mann Whitney Testi

Doğrusal dağılım özelliği olmayan bir dağılımda, Mann-Whitney ikili karşılaştırma testi hangi grupların ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için kullanılan küçük örnekleli bir yöntemdir. Mann Whitney testindeki test istatistiği değeri (2.17)'de verilen T değeridir. Burada; S 1.gruba düşen sıra numaraları toplamı, n gruplardaki toplam gözlem sayısıdır (Weaver, 2017).

$$T = S - \frac{n(n+1)}{2} \quad (2.17)$$

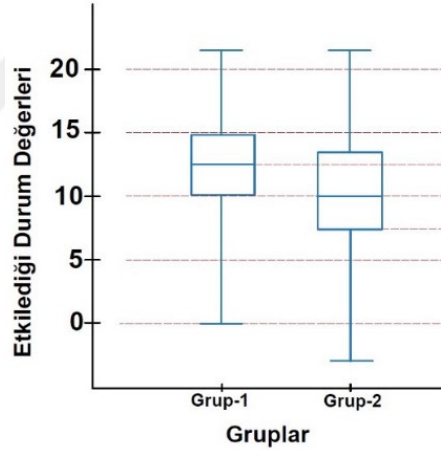
Ancak, bu çalışmada kullanılan örnek büyüklüğü çok fazla olduğundan (30001), test istatistiği büyük örnek yaklaşımı (>30) kullanılarak hesaplanması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle Mann Whitney testindeki bulunan her bir test istatistiği değerinin Z puanlarına dönüştürülmesi gerekmektedir. Doğrusal olmayan bu dağılım, Z dönüşümüyle normal dağılıma sahip olur. Bu durumda, Mann-Whitney U test istatistiği, artık Z puanları üzerinden değerlendirilir. Bu dönüşüm için kullanılan eşitlik (2.18)'de verilmiştir (Lin et al., 2021).

$$Z = \frac{T - \frac{n_1 n_2}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (2.18)$$

Standart normal dağılım tablosu kullanılarak 0.01 anlamlılık düzeyinde Z puanları için kritik değer bulunmaktadır. Kruskal Wallis testinde olduğu gibi Z puanları kritik değerden büyük olduğunda grupların ortalamalarının birbirinden farklı olduğu anlamına gelmektedir.

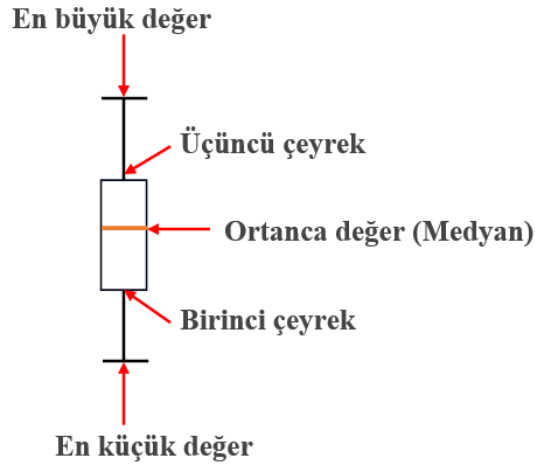
2.10.3. İstatiksel Grafik Yaklaşımı

Grafiksel çizim, istatistiklerin görsel olarak özetinin sunulması için yaygın bir yöntemdir. Bu çalışmada gruplar arasındaki farklılıkları bulmak için görsel yöntemlerden olan kutu grafiği ve ana etki grafikleri kullanılmıştır. Şekil 2.17’de verilen kutu grafiğinde üst ve alt çeyreklerin yerini göstermek için bir kutu kullanılırken, ortanca değer kutunun merkezi ile temsil edilir.



Şekil 2.17. Kutu grafiği yaklaşımı

Kutu grafiği, verilerin yayılımı veya dağılımı hakkında bilgi sağlayan aralığı ve çeyrekleri gösterir. Alt ve üst çeyrekler dağılımın %25 ve %75 dilimlerini temsil eder. X eksenini parametre değerlerini, y eksenini ise karşılık gelen ortanca değeri göstermektedir. Veri kümesinde var olan en küçük ve en büyük değerler, Şekil 2.18’de verildiği gibi kutunun her iki ucundan uzanan ve değer aralığını gösteren çizgilerle gösterilir. Bu çizgiler arasındaki boşluk aralık olarak adlandırılır. Veri değerlerinin ne kadar geniş bir aralıkta değiştiğini bulmaya yardımcı olur.

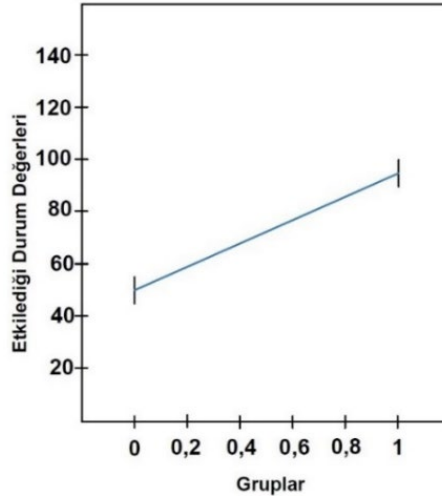


Şekil 2.18. Kutu grafiği bölümleri

Kutu grafiğinin bölümleri aşağıda açıklanmıştır.

- **En büyük değer:** Sağlanan veri kümesinde bulunan en yüksek değerdir.
- **En küçük değer:** Sağlanan veri kümesinde bulunan en küçük değerdir.
- **Birinci Çeyrek:** İlk çeyreği veya veri kümesinin %25'ini diğerlerinden ayıran değerdir.
- **Üçüncü Çeyrek:** İlk üç çeyreği veya veri kümesinin %75'ini diğerlerinden ayıran değerdir.
- **Ortanca değer:** Bir veri kümesini iki eşit parçaya bölen ortanca değer, ikinci çeyrek olarak da bilinen ortanca değeridir. Veri dağılımının orta noktası bu merkezi eğilim ölçüsü ile temsil edilir.

Ana etkiler grafiği, bağımsız değişkenlerin her bir seviyesindeki ortalama yanıt değerlerinin grafiğidir. Ana etkiler, bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkileridir. Şekil 2.19'da verilen bu grafik, çeşitli etkenlerin göreceli etkisini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Grafikte, y eksenine karşılık gelen ortalama değer, x ekseninde yer alan her bir değişkene bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Çizimdeki yatay çizgi, değişkenin çeşitli seviyelerinde ortalama yanıtı temsil eden bir referans noktası görevi görür. Bu çizgi, x eksenindeki değişkenlerin farklı değerleriyle ilişkili olarak karşılık gelen cevabın tipik veya ortalama davranışının anlaşılmasına yardımcı olur.



Şekil 2.19. Ana etki grafiği

Bir ana etkinin işareti etkinin yönünü, yani ortalama yanıt değişimini gösterirken, büyüklüğü ise etkinin gücünü göstermektedir (Antony, 2014). Ana etkinin işareti etkinin yönünü gösterir. Başka bir deyişle, ortalama yanıt değerinin arttığını mı yoksa azaldığını mı gösterir. Temel olarak, ana etki grafiği üç çeşittir.

- **Pozitif etki:** Bağımsız değişkenin seviyesini veya etkisi artırıldığında bağımlı değişkenin seviyesi de artırır.
- **Negatif etki:** Bağımsız değişkendeki artış bağımlı değişkeni azaltır.
- **Etkisiz:** Bağımsız değişkene bağlı olarak bağımlı değişkende artış veya azalış olmaz.

2.11. DA Sistemlerinde Kullanılan Güç Kalitesi Dizinleri

DA sistemleri AA sistemleri ile karşılaştırıldığında DA'da temel bileşen bulunmamaktadır. Bu sebeple iletilen yayınımaların güç kalitesi dizinleri bakımından değerlendirilmesi için bu çalışmada bozulma dizini, dalgalanma dizini, genlik olasılık dağılımı kullanılmıştır (Ensini et al., 2018 (a); Khilnani et al., 2020). Aşağıda güç kalitesi dizinleri açıklanmıştır.

- **Bozulma Dizini:** DA'ın temel bileşeninin frekansı sıfırdır. Harmonik ve iç harmonik bileşenlerin yerine düşük frekanslı sinüzoidal bozukluğun (DFSB) toplam etkin değeri kullanılmaktadır ve eşitlik (2.19) ile ifade edilmektedir.

$$D_{DFSB} = \left[\sum_{k>0}^{k_{\max}} (Q[k]/Q[0])^2 \right]^{1/2} \quad (2.19)$$

Eşitlik (2.19)'da verilen $Q[0]$ kararlı durum DA değeridir; $Q[k]$, belirli zaman boyunca(etkin) $q[n]$ miktarları için ölçülen frekans tayfıdır. Üst frekans en yüksek frekans “ $f_{\max}$ “, 9kHz'e (standartların harmonik bozulma ile ilgili frekans aralığını kapsamak için) veya EN 61000-4-16'nın 150 kHz son iki alt aralığını kapsayacak değere göre belirlenebilir. k , 0 ile $k_{\max}$ arasındaki frekanstır. $k_{\max}$ ise $f_{\max}/df$ olarak yazılabilir. df kabul edilen zaman penceresi uzunluğu ve zaman-frekans dönüşümü için frekans çözünürlüğüdür.

• **Dalgalanma Dizini:** DA-DA giriş geriliminin dalgalanma indeksi (2.20), (2.21) ve (2.22) eşitlikler yardımıyla hesaplanır. Burada X_{DA} ortalama DA bileşeni, X_i zaman alanı işareti, $X(e)$ ortalamadan sapma değişimini (dalgalanma dizini) ifade etmektedir.

$$X_{DA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (2.20)$$

$$X_E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{DA})^2} \quad (2.21)$$

$$X_E = \frac{X_E}{X_{DA}} \quad (2.22)$$

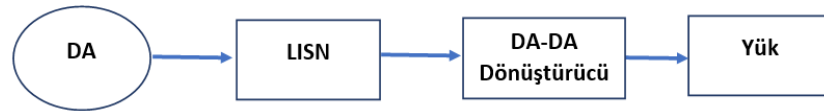
• **Genlik Olasılık Dağılımı:** Genlik olasılık dağılımı (GOD) girişimin belirli bir genlik değerine veya daha fazlasına sahip olma olasılığını ifade eder. LISN çıkış geriliminin GOD değeri eşitlik (2.23) ile verilmiştir. Burada GOD genlik olasılık dağılımını, $F_R(r)$ toplamsal dağılım işlevini ifade etmektedir.

$$GOD_R(r) = 1 - F_R(r) \quad (2.23)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

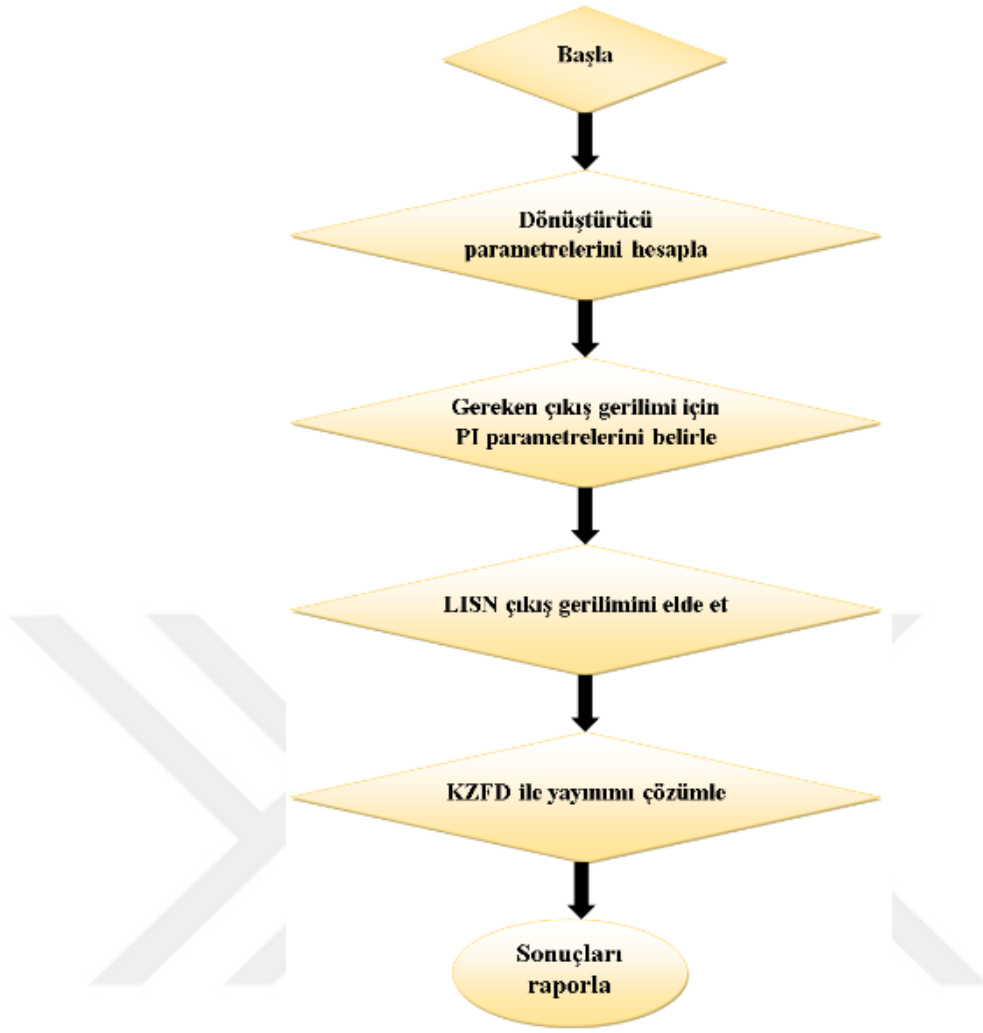
3.1. DA Sistemlerinde İletilen Yayınım

Modern bir arabadaki en yaygın kullanılan güç dönüştürücüsü DA-DA dönüştürücüdür. Bu dönüştürücüler öncelikle sistemdeki motor denetim ünitesi, bilgi-eğlence sistemi gibi tüm elektronik yüklere güç sağlamak için kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araçların piyasaya sürülmesi ile birlikte batarya malzemesi teknolojisi ile bataryaların anma gerilim değeri son yıllarda yükselme eğilimine girmiştir. Bu bölümde, kullanımı giderek yaygınlaşan DA-DA dönüştürücüsünün çeşitli değişken koşullar altında şebekeye iletilen yayınımların güç kalitesi bakımından incelenmesi yapılmış ve genelinde DA sistemlerindeki girişimlerin etkileri ele alınmıştır. Bu amaçla, ilk olarak benzetim ortamında DA sistemlerinde iletilen yayınımlar incelenmiş ve öbek çizelgesi Şekil 3.1’de verilen sistem oluşturulmuştur. DA güç sistemlerinde kullanılan 48V çıkış gerilimine sahip bir DA-DA azaltan tip dönüştürücünden iletilen yayınımları gözlemlemek için EMG testlerinden farklı olarak, zaman-frekans alanı dönüşümleri MATLAB ortamında yazılan KZFD tabanlı algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, benzetim ortamında iletilen yayınımları incelemek için zaman alanında elde edilen işaretin frekans alanı çözümlemesi için algoritma ile, pencere uzunlukları gibi farklı tekniklerin araştırılmasına olanak sağlayacaktır.



Şekil 3.1. Sistemin öbek çizelgesi

Benzetim ortamında DA-DA dönüştürücüsünden kaynaklı İY testi için, akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir. Akış şeması özetle, benzetim devresi için DA/DA dönüştürücüsünde kullanılan değişken değerlerin hesaplanmasını, 48V çıkış geriliminin elde edilmesi için denetimci kazanç katsayılarının belirlenmesini, LISN kullanılarak yayılım çıkışının elde edilmesini ve KZFD çözümlemesi ile sonuçların raporlanmasını içermektedir.



Şekil 3.2. Sistemin akış şeması

Şekil 3.3'te benzetimi verilen devre, bir DA kaynağı beslemesi, dönüştürücü girişinde kullanılan süzgeç ve dirençli yüke bağlı olan bir DA/DA azaltan tip dönüştürücüden oluşur. Dönüştürücü ve kaynak arasında kullanılan LISN, DA/DA dönüştürücü yayını ölçmek için konumlandırılmıştır. LISN'nin ölçüm çıkışı ile işaretler MATLAB program ortamına aktarılır. LISN'nin iç yapısından dolayı azaltan tip dönüştürücü girişinde süzgeç elemanları olan diyot, endüktans, sığaç ve direnç kullanılmıştır. Burada diyot, dalgalanmalarının kaynak tarafını etkilememesini sağlamaktadır. Kullanılan LISN'nin devre elemanlarının değerleri belirlenen yapıya göre belirlenmiştir.

Devreden 48V'luk çıkış gerilimi elde edilmesi için, IGBT anahtarın kapı gerilimi görev döngüsünü denetleyerek PI denetimle sağlanmıştır. Referans gerilim ile ölçülen gerilim kıyaslanarak karşılaştırılır ve PI kazançlarıyla birlikte yeni referans gerilimi elde edilir. Daha sonrasında elde edilen gerilim anahtarlama frekansı 20kHz seçilen üçgen dalga ile kıyaslanır. Dönüştürücünün kapı sinyaliyle anahtarın denetimi ise açma işareti (0) ve kapama işareti (1) ile denetlenmektedir.

Benzetim devresi parametreleri aşağıdaki gibidir.

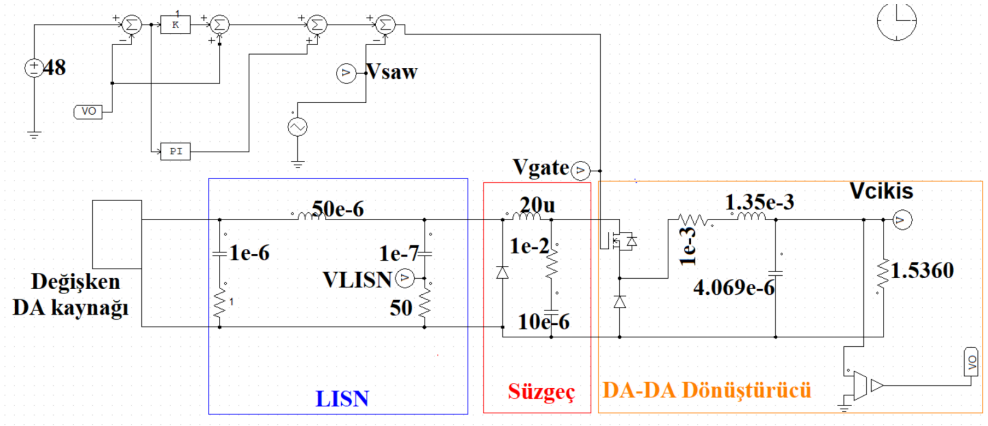
- Toplam benzetim süresi=0.5 sn
- Aralık Genişliği: EN 55065-1 standardı ile uyumlu olması açısından 200Hz aralıklar halinde işaretin toplanması için pencere genişliği= $1/200\text{Hz}=5\text{ms}$
- Pencere sayısı=Toplam süre (0.5sn)/aralık genişliği (0.005sn)=100
- Toplam örnek sayısı=250000
- Penceredeki örnek sayısı=Toplam örnek sayısı (25000)/pencere sayısı (100)=2500

Ayrıca, benzetim sonuçlarının güvenilirliği açısından hem PSIM hem de MATLAB ortamlarında DA-DA dönüştürücü devresi oluşturulmuştur. Bunun yanında denetiminin doğruluğunu tespit etmek için PSIM'deki zaman ayarlı değişken gerilim anahtarlanmasından faydalanılmıştır. PSIM ortamında kullanılan dönüştürücünün özellikleri MATLAB ortamındakine benzer olarak Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Dönüştürücü anma değerleri

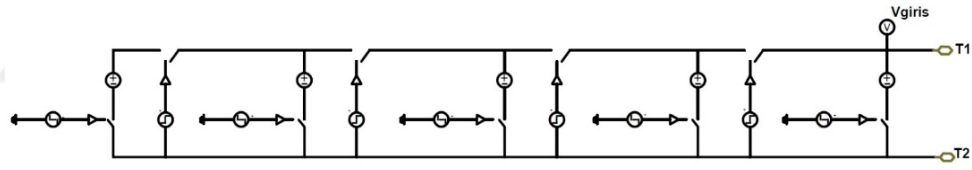
Değişken	Anma Değeri
Çıkış Gerilimi	410V
Giriş Gerilimi	48V
Güç	4.4kW

PSIM ortamında gerçekleştirilen benzetim devresi Şekil 3.4'te verilmiştir. Devre Matlab benzetimde olduğu gibi LISN, süzgeç ve DA-DA dönüştürücü ve değişken gerilim kaynağından oluşmaktadır.



Şekil 3.4. PSIM ortamında DA-DA dönüştürücü İY test devresi

Değişken gerilim kaynağı PI denetleyicinin başarımını doğrulamak için 0.1sn aralıklarla 400V ile 600V arasında kademeli değişen giriş kaynağından oluşmaktadır. Değişken gerilim kaynağının alt sistemi Şekil 3.5’te verildiği gibi anahtarlamalarla oluşturulmuştur (Lookuptable’dan da faydalanılabilir). Burada, 400V’tan 600V’a kadar DA gerilimleri sırayla 0.1sn zaman aralığıyla anahatarlanarak devreye alınmıştır.



Şekil 3.5. Değişken gerilim kaynağı alt sistemi

DA-DA dönüştürücünün tasarım adımları aşağıdaki eşitliklerde sıralanmıştır .

$$R_{yük} = \frac{V_{çıkış}}{P_{yük}} = \frac{48^2}{1500} = 1.536\Omega \quad (3.1)$$

$$\text{Görev döngüsü} = D = \frac{V_{çıkış}}{V_{giris}} = \frac{48}{410} = 0.117 \quad (3.2)$$

$$\text{Çıkış akımı} = I_L = \frac{P_{yük}}{V_{çıkış}} = \frac{1500}{48} = 31.25A \quad (3.3)$$

Burada, anma çıkış akımı I_L ve yükün gücü $P_{yük}$ ile ifade edilmiştir. Endüktif akım ve gerilim dalgalanması sırasıyla eşitlik (3.4) ve (3.5) ile hesaplanmaktadır. Burada gerilim dalgalanması $\Delta V_{çıkış}$ ile ifade edilmektedir.

$$\Delta I_L = 5\%I_L = 1.5625A \quad (3.4)$$

$$\Delta V_{\text{çıkış}} = 5\%V_{\text{çıkış}} = 2.4V \quad (3.5)$$

Anahtarlama frekansı değeri “ f_s “, 20 kHz olduğundan dönüştürücünün sırasıyla anahtarlama süresi “ T_s ”, endüktans “ L ” ve sığaç “ C ” değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunmaktadır.

$$T_s = 1/20kHz = 50\mu sn \quad (3.6)$$

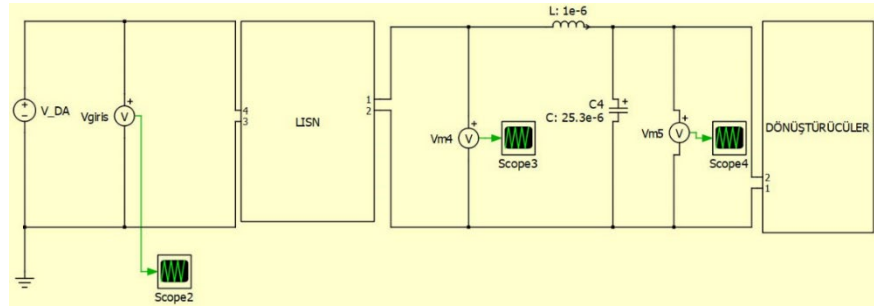
$$L = \frac{V_{\text{çıkış}} \times (1 - D)}{\Delta I_L \times f_s} = \frac{48 \times (1 - 0,117)}{1.5625 \times 20000} = 1.35mH \quad (3.7)$$

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 \times \Delta V_{\text{çıkış}} \times f_s} = \frac{1,5625}{8 \times 2.4 \times 20000} = 4.069\mu F \quad (3.8)$$

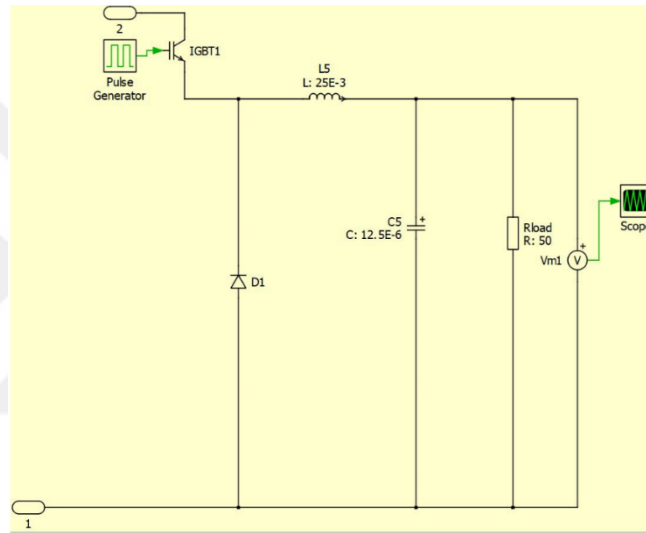
Benzetimde toplam örnekleme süresi 0.5sn ve örnekleme adım aralığı MATLAB ortamında gerçekleştirilen devreyle aynı olması açısından 2×10^{-6} sn olarak alınmıştır.

Yukarıda verilen tek dönüştürücülü benzetimlerin yanısıra DA sistemlerinde çoklu dönüştürücü olması durumunda yayınımların davranışı belirsizliğini korumaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısının artışı ve elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte arada kullanılan azaltan/arttıran tip dönüştürücülerin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bu dönüştürücülerin şebekedeki sayılarının giderek artmasıyla birlikte şebekeye bağlı şu an ölçüm sistemlerimizde var olmayan yüksek frekanslı girişimlerin olumsuz etkileri de artacaktır. Her bir dönüştürücü eklendiğinde yayınının artışının tespit edilmesi, dönüştürücü sayısına göre EMG tasarımcıları için en uygun süzgeç değişkenlerinin belirlenmesi konusunda yol gösterici olmaktadır. Özellikle, 50 veya daha fazla dönüştürücü sisteme bağlandığında çoklu dönüştürücü durumunda bilgisayar ortamında kolay çözümleme yapabilmek için PLECS programı bu aşama için tercih edilmiştir. DA sistemlerde yaygın olarak kullanılan DA-DA azaltan tip dönüştürücünün PLECS programında benzetimi yapılmıştır. Şekil 3.6(a)’da verilen devre kaynak, DA-DA azaltan tip dönüştürücü ve LISN’dan oluşmaktadır. Bilindiği üzere yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlar vb. sisteme aynı anda bağlanma durumunda yayınımların etkisi de artacaktır. Bu durumu anlayabilmek için yapılan benzetimde dönüştürücüler

sırayla devreye alınmış ve etkileri incelenmiştir. Şekil 3.6’da dönüştürücü iç yapısı gösterilmiştir.



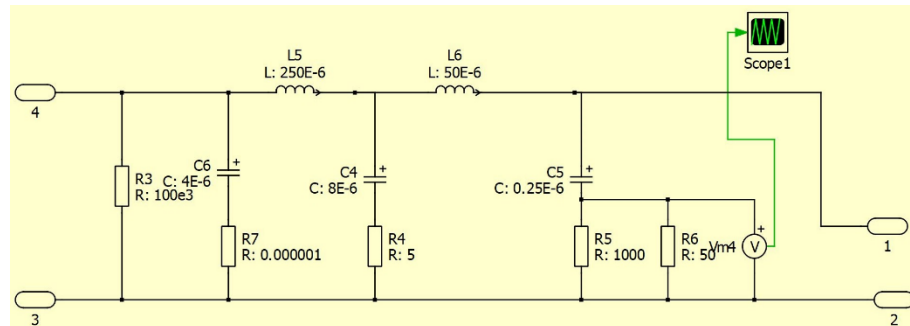
(a)



(b)

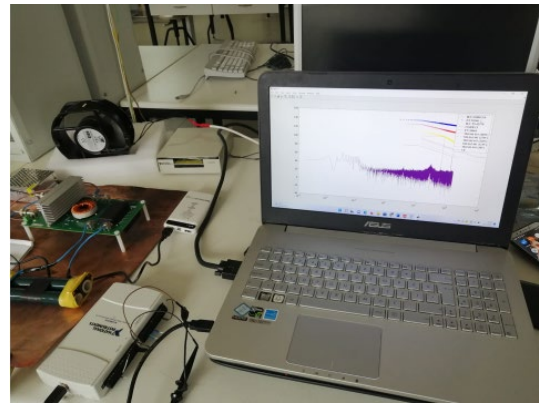
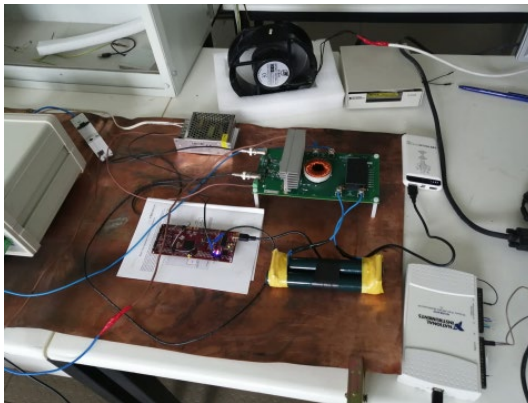
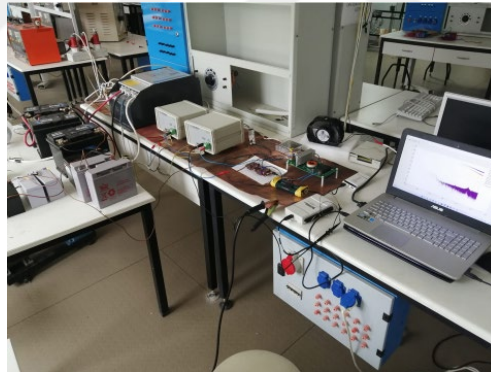
Şekil 3.6. Sistem yapısı (a) ve DA-DA dönüştürücü alt sistemi(b)

Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısının artışı ve sistemden iletilen yayınımları gözlemlemek için LISN çıkışından ölçüm alınmıştır. LISN alt sistemi Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. LISN alt sistemi

DA sistemlerde yaygın kullanılan DA-DA dönüştürücüsünün deneysel çalışmalarda davranışlarının kavranması için laboratuvar deney seti oluşturulmuştur. Benzetimde kullanılan çözümleme algoritmasının test edilerek doğrulanması ve farklı anahtarlama frekanslarının yayınıma etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca benzetim çalışmasında yayınımların standart sınırları aşma durumu, deneysel ortamda devrenin süzgeçli olduğu durumdaki tepkisi gözlemlenmek istenmiştir. İletilen yayınımları ölçmek için Şekil 3.8’de yer alan test düzeneği oluşturulmuştur. Sistem EMG ölçümü için LISN, toprak zemin, DA kaynağı, 2.5kW’lık DA-DA dönüştürücü ve çıkışına bağlı 50ohm direnç yükü ile anahtarlama darbe işareti üretmek için kullanılan Texas Instruments’ın TMS570004 mikroişlemci kartından oluşmaktadır. Mikroişlemciden farklı anahtarlama frekanslarında anahtarlama işaretleri uygulanarak öncelikle mikroişlemci ve veri toplama kartları ile test edilmiştir. Sistemde kullanılan LISN, hem DA hem AA sistemlerinde kullanıldığından tek faz AA sistemlerde de aynı cihaz kullanılmıştır. Elde edilen yayınımların anahtarlama frekansının görüldüğü anlık grafiği ise Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. DA sistemlerde EMI ölçümü için test düzeneği

3.2. Tek Faz Sistemlerde İletilen Yayınım

Elektrikli araçlar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevre dostu bir çözüm sunarlar. Araçtan şebekeye ve şebekeden araca teknolojisi, elektrikli araçların enerji depolama sistemleri aracılığıyla şebekeye enerji sağlamasını veya şebekeden enerji almasını mümkün kılar. Artan sayıda elektrikli aracın elektrik şebekesi üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak için, ortaya çıkan elektrik yükünü tahmin etmenin ve gerilim düşümü ve dengesizliği üzerindeki etkiyi çözümlemenin ötesine geçmek önemlidir. Şebekenin bir bütün olarak elektrikli araç oranındaki artışa nasıl tepki verdiğinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması gereklidir. Buna ek olarak, yenilenebilir enerjinin kullanımının giderek yaygınlaşması şebekenin bu geçişe verdiği tepkiyi kapsamlı bir şekilde anlamayı zorunlu hale getiriyor. Bu sebeple bu bölümde genel olarak elektrikli araçların ve yenilenebilir enerji kullanımı arttıkça daha da yaygınlaşacak olan İY'ın önemi vurgulanmıştır. Bu amaçla kullanılan çift yönlü AA/DA dönüştürücüler yüksek anahtarlama hızları elektromanyetik girişimlere neden olabilir. Bu girişimler, birçok cihazda yanlış çalışmalara, donanım hasarına ve hatta güvenlik risklerine neden olabilir. Bu nedenle, gerekli standartlar oluşturulmalı ve elektromanyetik uyumluluk sınırlandırılmalıdır. Bu bölümde elektrikli araçlar ve araçtan şebekeye teknolojisini de kapsayan çift yönlü AA/DA dönüştürücünün tek faz elektrik şebekesi ağına olan etkileri incelenmiştir.

Bu bölüm tek faz sistemlerde ölçüm tasarım tekniğini, yayınının ortak mod ve fark mod bileşenlerine ayrılmasını ve standart sınırları içermektedir. Bu amaçla 4,4kW, 18kHz anahtarlama frekanslı, tek fazlı/seviyeli şebeke bağlantılı çift yönlü bir dönüştürücü için elektromanyetik uyumluluk sorunu incelenmiştir. CISPR 16-1-2 ve MIL-STD-461F standartlarına göre tasarlanmış LISN'lı, çift yönlü bir dönüştürücü sistemi kurulmuş ve bir dizi doğrusal olan ve olmayan yüklere bağlı ölçümler alınmıştır. Tek faz AA sistemlerinde iletilen yayını incelemek için hem deneysel hem de benzetim ortamında devre modeli oluşturulmuş ve frekans alanı sonuçları Minitab yazılımında istatistiksel yaklaşımla desteklenmiştir. Daha sonra, istatistiksel yaklaşıma dayalı olarak, bu yüksek frekanslı harmoniklerin şebekeye iletilmesini önlemek için süzgeç tasarım parametrelerinin hesaplanmasına yönelik bir teknik açıklanmış ve benzetim sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Ayrıca, bataryanın dolma durumunun iletilen yayımlar üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Sistemde kullanılan dönüştürücü 3.2.1'de açıklanmıştır.

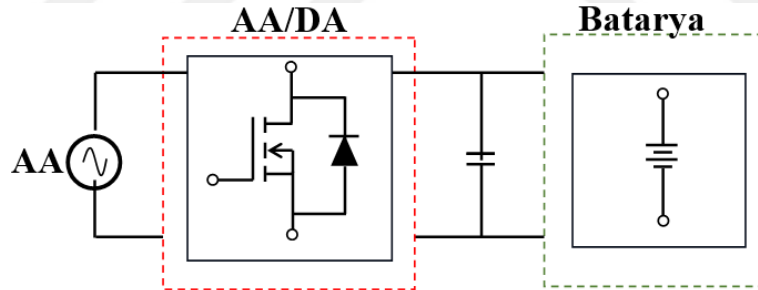
3.2.1. Çift Yönlü AA/DA Dönüştürücü

Çevre dostu elektrikli araçlar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu araçlar, batarya depolama sistemleri ve güç elektroniği dönüştürücülerinden oluşmaktadır. Farklı seviyelerde AA gerilimden DA gerilime, DA gerilimden DA gerilime dönüşüm sağlayan dönüştürücülerin kullanılmasına ihtiyaç vardır. Tam köprü dönüştürücü, çalışma moduna bağlı olarak doğrultucu veya evirici olarak çalışır. Çift yönlü AA/DA dönüştürücünün çalışma modları aşağıdaki gibidir:

- **Bağımsız mod:** Dönüştürücü, evirici modunda çalışır. DA/AA dönüşümü, enerjiyi depolama sisteminden (24V serisindeki bataryalar) AA şebekesine aktarmak için çalıştırılır.

- **Şebeke bağlantılı mod:** Bu modda dönüştürücü doğrultucu olarak çalışır. Bataryalar, AA/DA dönüşümü ile enerji depolar. Aynı zamanda, enerji AA şebekesinden yüklerle AA/AA dönüşümü ile aktarılır.

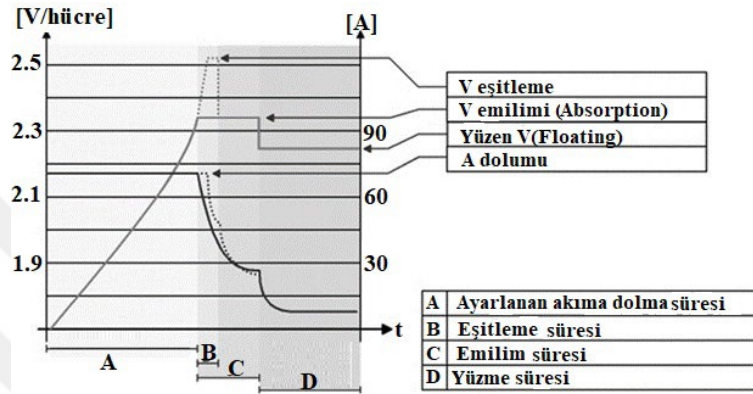
Bağımsız modda ana şebekeye bağlantı olmadığı için iletilen yayınımalar gözlemlenemez. Bu nedenle sadece AA/DA dönüşümü Şekil 3.9’da verildiği üzere ele alınmıştır.



Şekil 3.9. G2V dolum cihazının öbek çizelgesi

Laboratuvar test düzeneğinde HP-COMPACT HPC 2512 evirici/doğrultucu cihazı olan 4.4kW’lık bir dönüştürücü kullanılmıştır. Dahili batarya dolum cihazı, bataryayı hızlı ve tam dolacak şekilde tasarlanmıştır. Mikroişlemci denetimli, kademeli dolum işlemi, bataryanın en uygun şekilde dolmasını sağlamaktadır. İstenen dolma akımı, 0 ile 70/90/100/110A arasında sürekli olarak ayarlanabilir. Ayar durumu, batarya kapasitesine ve mevcut güce göre yapılmaktadır. Kullanılan dolum cihazı kurşun-asit ve kurşun-jel bataryalar için tasarlanmıştır. Kurşun asit batarya sabit akım sabit gerilim (CCCV) şarj yöntemini kullanır. Değişken dolma akımı (floating charge system-FCS) yönteminde, üst dolma gerilim sınırına ulaşılan kadar uç gerilimini

yükseltir ve bu noktada doygunluk nedeniyle akım düşer. CCCV yöntemi ile kurşun asit bataryalar, sabit akım dolumu, tepeleme dolumu ve değişken dolum olmak üzere üç aşamada doldurulur (Battery University, 2021). Değişken dolum akımı, sayesinde bataryalar sürekli bağlı kalabilir (Byrne et al., 2017). Tam otomatik HP-COMPACT batarya dolum cihazında üretim sırasında yapılan ayarlamalar sayesinde kurşun-asit bataryaların çoğu tam olarak doldurulabilir. Bataryanın işlevleri aşağıdaki şemada gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Batarya dolum cihazının işlevleri

Bu cihazda belirlenen en düşük gerilim değerine ulaştığında sistem kendini korumaya alır ve batarya dolma modu otomatik olarak açılır. Bunun dışındaki durumlarda, batarya dolum seviyesine ayarlanan gerilim seviyesine ve dolum akımına uygun olarak otomatik olarak doldurulur. Dolma aşaması sırasında da bağlı yüklere sürekli olarak güç sağlar.

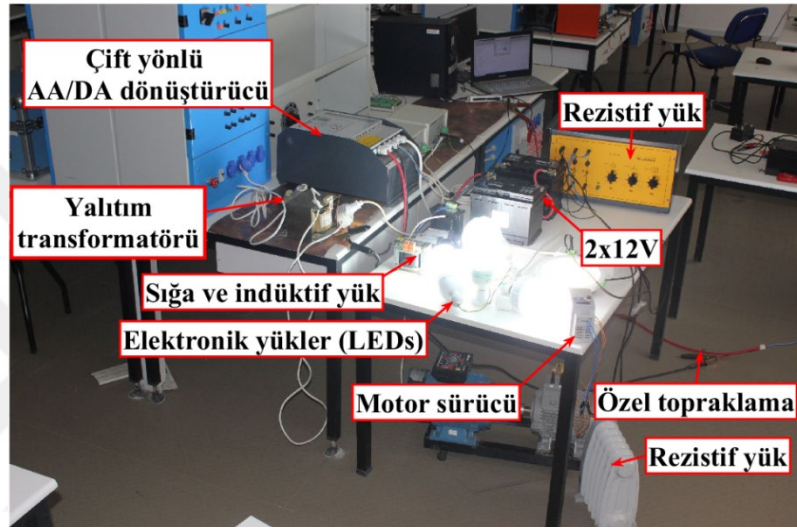
Dahili batarya dolum cihazı, bataryayı hızlı ve tam olarak dolduracak şekilde tasarlanmıştır. Bu anlamda, gerilim veya akım seviyeleri arasındaki hızlı geçiş, yüksek frekanslı bileşenlerin genliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yükselme ve düşme sürelerinin daha kısa olması (di/dt ve dv/dt), daha yüksek anahtarlama hızı anlamına gelir ve yüksek frekanslı bileşenlerinin genliklerinin daha yüksek olmasına neden olur (Oswald et al., 2013).

Tek faz sistemlerde yayınımların incelenmesi için deneysel ortamda yukarıda bahsedilen dönüştürücü kullanılmıştır. Bu amaçla her bir yük grubundaki yayınımlar seviyesini incelemek için Şekil 3.9'daki deney takımı kurulmuştur. Çünkü, yayınımları bastırmak için kullanılan süzgeçlerin araya girme kaybı başarımı, eşitlik

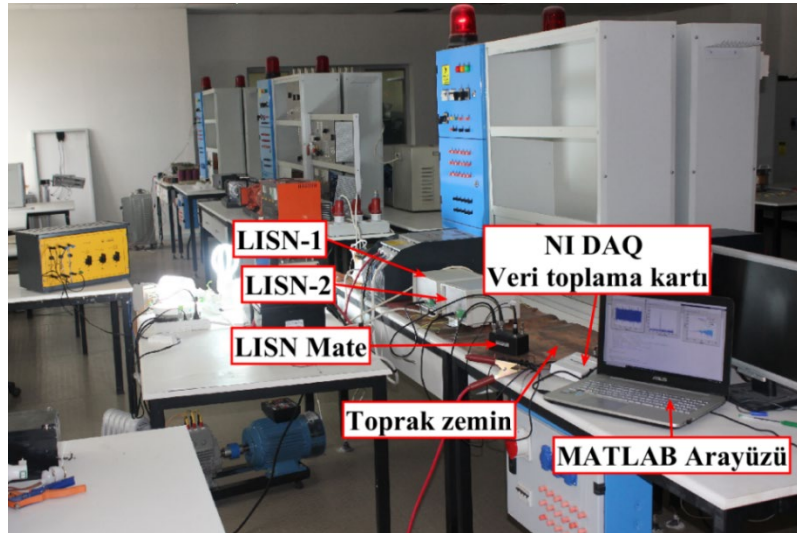
(3.9)'da verildiği gibi yük/kaynak empedansı gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir (Drinovsky et al., 2011; Hizarci et al., 2021).

$$L = 20 \log \left\{ \frac{Z_S + Z_L + Z_{L1} + Z_{L2}}{Z_S + Z_L} + \frac{Z_S Z_L + Z_S Z_{L2} + Z_S Z_{L1}}{Z_C (Z_S + Z_L)} + \frac{Z_S + Z_L + Z_{L1} Z_{L2}}{Z_C (Z_S + Z_L)} \right\} \quad (3.9)$$

Burada yük ve kaynak empedansları sırasıyla Z_L ve Z_S ile gösterilmiştir. Eşitlik (3.9)'a göre, iletilen yayınımların bastırılma özelliği yük ile ilişkilidir. Diğer bir deyişle yük grubuna bağlı olarak yayılım seviyeleri de değişmektedir.



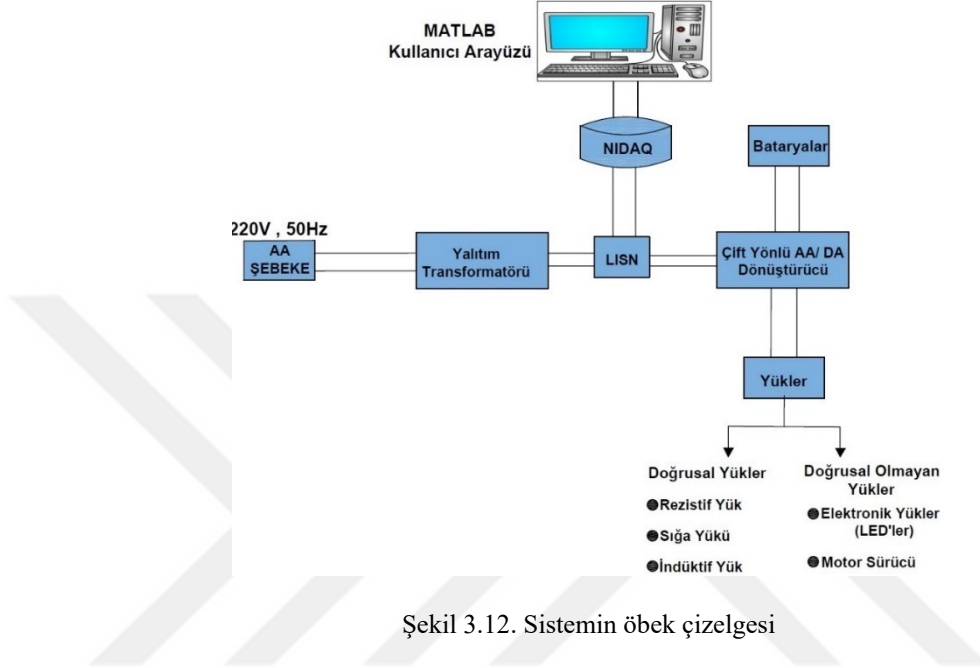
(a)



(b)

Şekil 3.11. Farklı yük koşulları altında toplam İY ölçümü (a), LISN Mate ile ortak ve fark gürültünün ayrılması (b) için deney seti kurulumu

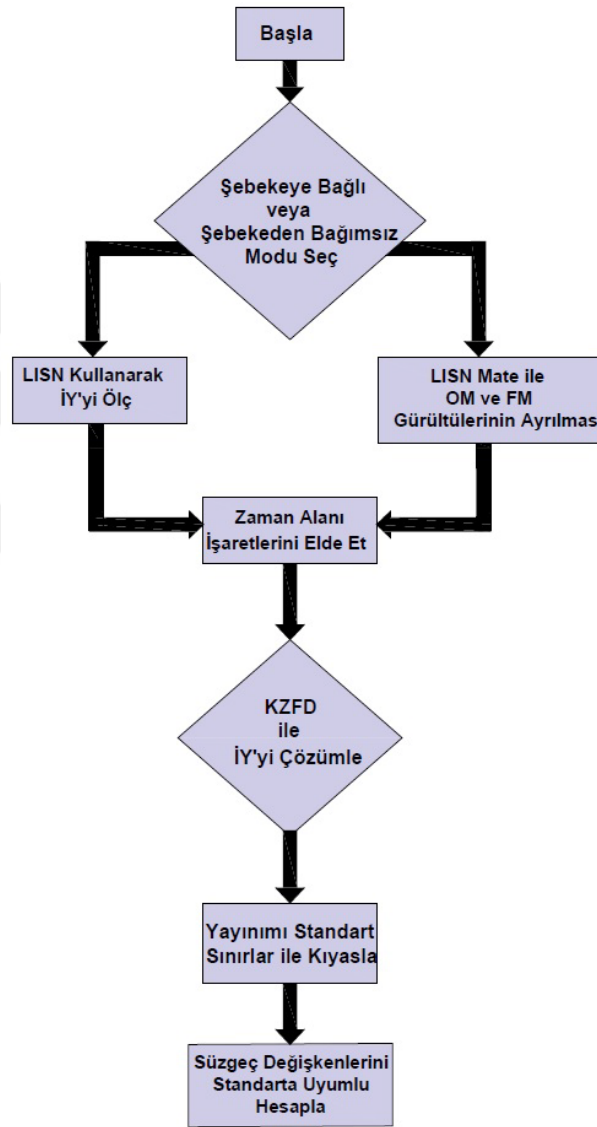
Deney seti, tek faz AA şebekesi ve yalıtım transformatörü, çift yönlü AA/DA dönüştürücü, seri bağlı 2x12 V bataryalar, doğrusal ve doğrusal olmayan yük grupları, LISN ve ölçümün okunması için veri toplama kartından oluşmaktadır. Ölçümler doğrusal ve doğrusal olmayan yük koşulları için tamamlanmıştır. Çift yönlü bu ölçüm sistemin öbek çizelgesi Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Sistemin öbek çizelgesi

Görüldüğü üzere doğrusal olmayan (Elektronik yükler (LED'ler, motor sürücüsü) ve doğrusal (direnç, indüktif ve sığa yükü) yükler dönüştürücü çıkışına bağlanmıştır. Sistemi yalıtım için özel topraklamalı bir zemin düzlemi yapılmıştır. LISN iç yapısındaki sıgacılar, akımda sıçramaya yol açan kör akıma (yüksek toprak kaçak akımları) ve enerjilenme sırasında tarafından sigortaların devreyi açmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle sistemi şebekeden yalıtım için yalıtım trafosu kullanılmaktadır. Tek fazlı/seviyeli şebeke bağlantılı çift yönlü dönüştürücü 2x12V'luk bataryaları beslerken, aynı zamanda da yük grubuna güç sağlamaktadır. Kullanılan evirici/doğrultucu mikroişlemci denetimli, kademeli dolma işlemi ile bataryaların en uygun şekilde şarj edilmesini sağlar. Kurşun asit akü sabit akım sabit gerilim (CCCV) dolma yöntemini kullanır. Toplam İY'yi ölçmek için, iki adet tek fazlı AA/DA kaynaklı LISN'lar kullanılmıştır. LISN'nin çıkışı, ortak ve fark mod gürültülerinin ayrılması için LISN Mate'ye bağlanır. Yüksek hızlı DAQ kullanılarak zaman alanındaki işaretler yakalanmıştır. Veri toplama kartının analog giriş pini, LISN çıkış portunun çıkışına bağlanmıştır. MATLAB™ 'de yazılan algoritma kullanılarak, İY zaman alanından frekans alanına KZFD ile dönüştürülmüştür. Bu bölümde önerilen

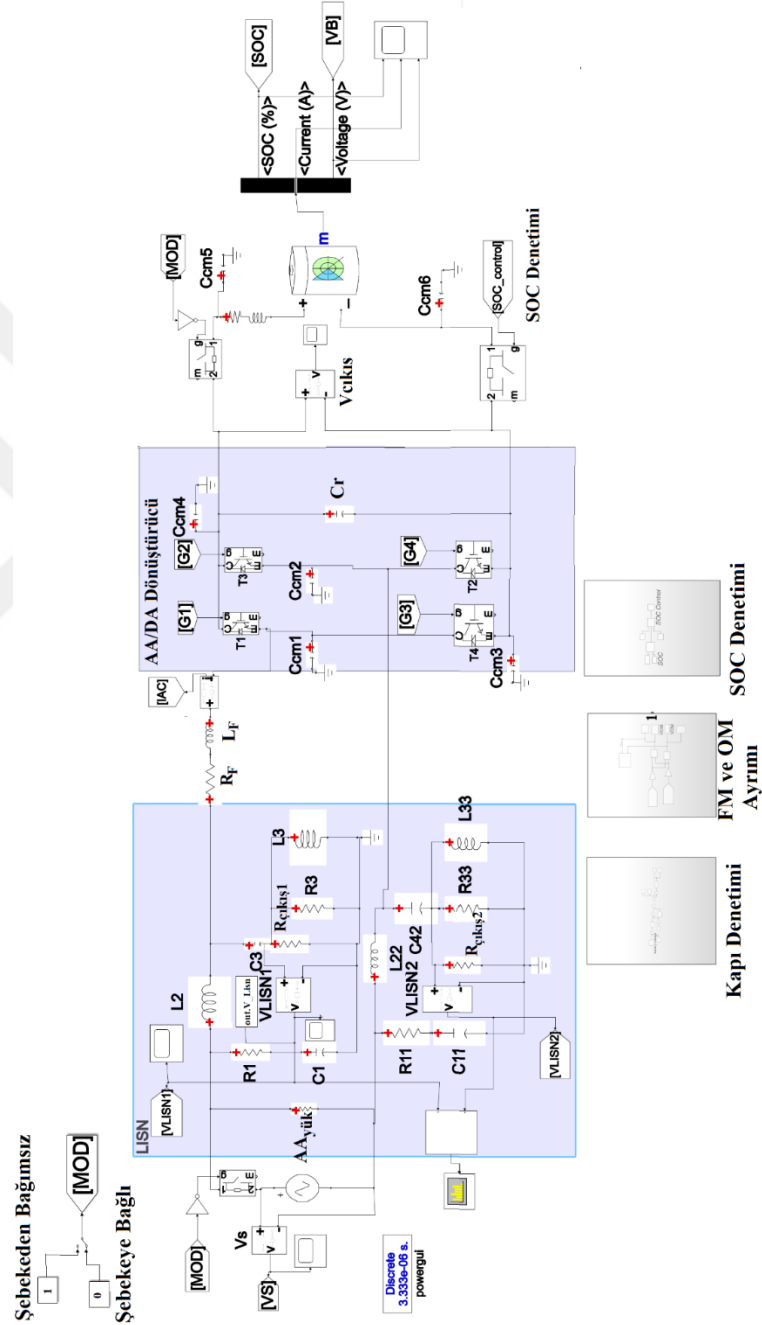
ölçümünün akış çizelgesi Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Akış çizelgesi özetle aşağıda açıklanmıştır. Dönüştürücü çift yönlü modda çalıştığından yayınımları ölçebilmek için şebekeye bağlı mod yani doğrultucu modu seçilmektedir. Toplam yayınımlar ve OM/FM gürültüleri olarak iki aşamalı ölçümler yapılmaktadır. Zaman alanında yakalanan veriler, yazılan algoritma ile frekans alanında standartlar ile kıyaslanmaktadır. Gereken zayıflatma belirlenerek uygun süzgeç değişkenleri ilgili frekans aralığı için seçilmektedir.



Şekil 3.13. Tek faz sistemlerde iletilen yayınımların ölçümü akış çizelgesi

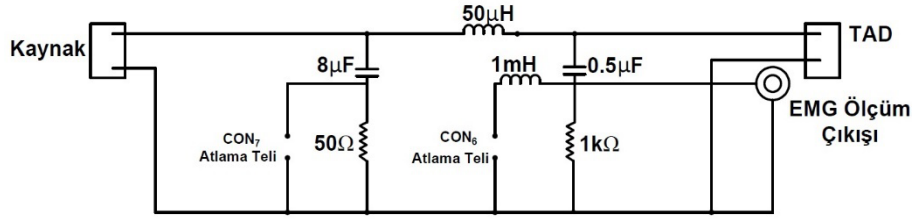
Yukarıda açıklanan yapının bilgisayar benzetimi Şekil 3.14'te gösterilmektedir. Benzetim çalışmasındaki amaç deneysel çalışmada ölçülemeyen anlık SOC değişimine bağlı yayınımların değişimini incelemek ve bu yayınımların giderilmesi

için benzetim devresinde pratik bir yaklaşım oluşturmaktır. Bu durum özellikle batarya dolarkenki durumun yayınımalar bakımından değerlendirilmesinde önemlidir. Dönüştürücünün şebekeye bağlantı durumu anahtar yardımıyla denetlenmektedir. Dönüştürücü, anahatar “0” konumundayken şebekeye bağlıyken, “1” konumunda şebekeden bağımsız çalışmaktadır.



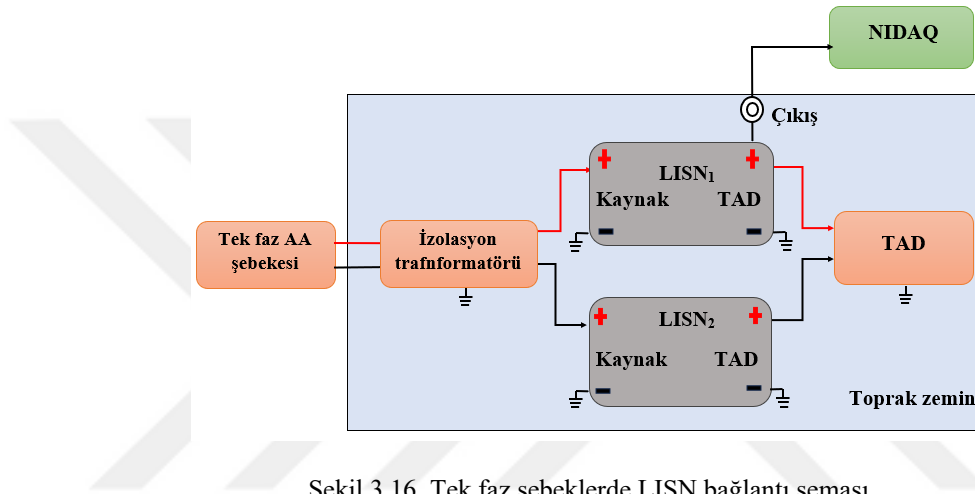
Şekil 3.14. LISN kullanımı ile birlikte dönüştürücünün bilgisayar benzetimi

Şekil 3.15’te verildiği üzere benzetim modelinde deneysel çalışmada kullanılan LISN’nın devre yapısı kullanılmıştır.



Şekil 3.15. LISN'nin temel devre şeması

Sistem modelinde iki adet LISN kullanılmasının sebebi Şekil 3.16'da verildiği üzere kullanılan deney seti test düzeneğine uygun olmasını sağlamaktır.



Şekil 3.16. Tek faz şebekelerde LISN bağlantı şeması

Anahtarların kapı denetimi ile, çıkış geriliminin sabit 24V olmasını sağlamaktadır. Ancak bu dönüştürme işlemi sırasında DA çıkış geriliminde bir dalgalanma meydana gelmektedir. Bu dalgalanma gerilimini en aza indirmek için LC süzgeci kullanılmış ve dalgalanma gerilimi DA çıkış geriliminin %1'i olacak şekilde ayarlanmıştır. Modelde kullanılan devre değişkenleri Tablo 3.2'de verilmiş ve aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır. Benzetim zaman adımı, Nyquist kuramı nedeniyle son frekans aralığı 150 kHz'i görmek için 3.33 µsn olarak seçilmiştir.

$$I = 5A \quad (3.10)$$

$$\Delta V = \%1V_{\text{ç}} = 2.4V \quad (3.11)$$

$$f = 50\text{Hz} \quad (3.12)$$

$$C_r = \frac{1}{2\pi f \Delta V} = 1.324\text{mF} \quad (3.13)$$

$$Z_{\text{giris}} = \frac{V_{\text{ş}}^2}{P_{\text{anma}}} = 11\Omega \quad (3.14)$$

$$Z_{Lf} = 5\% Z_{giris} = 0.55\Omega \quad (3.15)$$

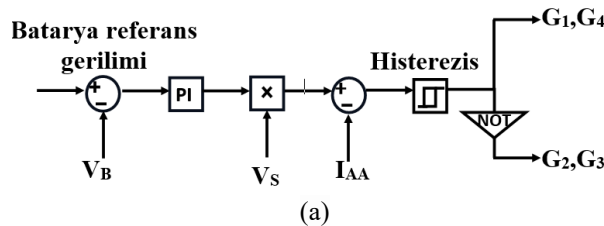
$$L_F = \frac{Z_{Lf}}{2\pi f} = 1.75mH \quad (3.16)$$

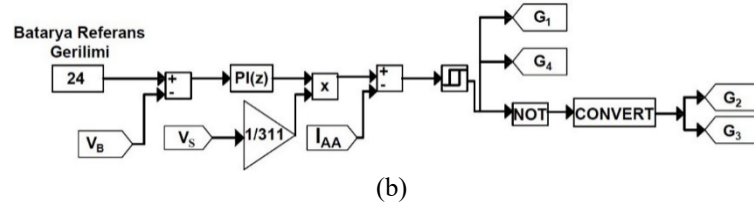
Burada; ΔV dalgalanma gerilimini, f şebeke frekansını, C_r doğrultucu sığaç değerini, Z_{giris} doğrultucu devresinin giriş empedansını, V_s şebeke geriliminin etkin değerini, P_{anma} anma gücünü, Z_{Lf} ve L_f doğrultucu devresinin giriş süzgecinin endüktansını ve direncini temsil etmektedir. Burada, anahtarlama frekansı deneysel çalışmayla aynı olması açısından 18kHz olarak seçilmiştir. Dönüştürücü doğrultma işlemi yaparken çıkıştan elde edilen gerilimdeki dalgalanmayı azaltmak için doğrultucu çıkış sığacı C_r 22.9mF seçilmiştir. Sistemin devre değişkenlerinin özeti Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Sistemin devre parametreleri

Değişkenler	Değişken Değerleri
AA şebeke gerilimi	220V
Çıkışta istenen doğru gerilim	24V
P_{anma}	4.4kW
R_f	0.75 Ω
L_f	1.75mH
R_f	1.324 Ω
$R_{yük}$	40 Ω
C_r	22.9mF
Anahtarlama frekansı	18kHz

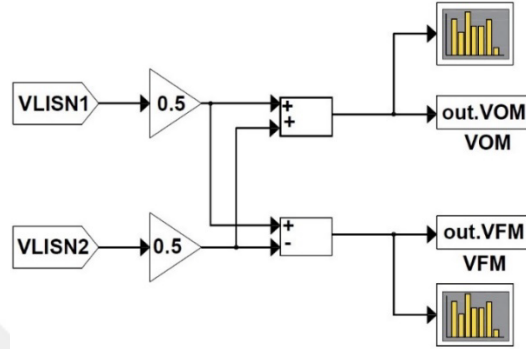
Dönüştürücünün parazitik ortak mod kapasitansları, ccm_1 , ccm_2 , ccm_3 , ccm_4 , ccm_5 ve ccm_6 olarak ifade edilmiştir. Bu dönüştürücü bir kara kutu olduğu için IGBT tipi net olarak bilinmemektedir. Bu sebeple IGBT ile toprak arasındaki parazitik sığaçlar ccm_1 , ccm_2 , yaygın olarak kullanılan bir değer olan 100nF olarak tanımlanmıştır. Giriş/çıkış hattı ile toprak arasındaki sığaçlar ccm_3 ve ccm_4 2.2nF ve DA bağlantı hattı ile toprak arasındaki kapasitanslar ccm_5 ve ccm_6 1 μ F olarak alınmıştır. Doğrultucu modunda anahtarlama darbe üreteçlerinin şeması ve Simulink alt sistemi Şekil 3.17'de verilmiştir. Doğru gerilim çıkışı (24V) kapalı döngü histerezis denetimi ile elde edilir. Burada, V_B ölçülen batarya gerilimini, I_{AA} şebeke akımını, V_s şebeke gerilimini ve $G_{1,2,3,4}$ anahtar kapı işaretlerini temsil etmektedir.





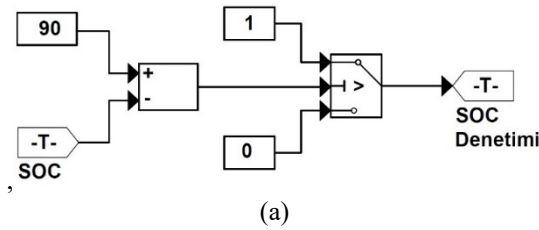
Şekil 3.17. Anahtarların kapı işaretlerinin elde edilme şeması (a) ve Simulink alt sistem modeli (b)

Fark ve ortak mod gürültülerinin ayrımı Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. İletilen yayının OM ve FM gürültülerine ayrılması

Bataryanın SOC’u, en yüksek sığasının yüzdesi olarak bir bataryadaki kullanılabilir sığayı ifade etmektedir. Batarya ömrünün uzatılması için, SOC'un %30 ile %90 arasında tutulması gerekmektedir. Bu nedenle, batarya ömrünü korumak için ilk batarya durumu %30 olarak alınır ve %90'a kadar doldurulur (Gundogdu et al., 2018). Bataryanın SOC denetimi Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Bataryanın SOC alt sistemi (a) ve denetimi şeması (b)

Benzetim devresi ayrıca süzgeçli ve süzgeçsiz olmak üzere iki yapıdan oluşmaktadır. Süzgeçler standart sınırları karşılayacak şekilde yüksek frekansları bastırmak için yerleştirilir ve tasarlanır. EMG'nin erken tasarım aşamasında dikkate alınması, tasarımcıların EMU gereksinimlerini uygulamaya geçmeden önce düşük maliyetle karşılamalarına yardımcı olabilir. EMG tahmini, tasarım süreci ve maliyetlerinden tasarruf etmek için doğru tasarımıyla yeterince ele alınmalıdır. Bu bölümde, daha önceden ele alınmamış 9-150kHz frekans aralığındaki yayınımları bastırmak ve önerilen standartları karşılamak için süzgeç tasarımını özetleyen pratik bir yaklaşım kullanılmıştır. Köşe frekansı hesaplanırken 150 kHz üstü frekanslarda kullanılan yöntemden biri bu bölümde, diğeri 3.3 bölümde ele alınmış ve 9-150 kHz frekans aralığına uyarlanarak yazılan algoritma ile hesaplanmıştır. Yaygın bir süzgeç devresi Bölüm 2.7'de açıklandığı üzere, FM ve OM sarımı ile sığaç bileşenlerinden oluşmaktadır. Çift yönlü AA/DA dönüştürücüden iletilen yayımların benzetim ortamında ve deneysel ortamda ölçümleri önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bölümde benzetime dayalı devre kullanılarak tasarım adımları aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1: OM ve FM gürültüleri için en alt sınır olan EN-50065 standardı için gerekli zayıflatmalar sırasıyla eşitlik (3.17) ve (3.18) yardımıyla elde edilmiştir.

$$V_{\text{gerek}}_{\text{OM}} (\text{dB}\mu\text{V}) = V_{\text{max}}_{\text{OM}} - V_{\text{sınır}}_{\text{EN50065}} + \text{GS} \quad (3.17)$$

$$V_{\text{gerek}}_{\text{FM}} (\text{dB}\mu\text{V}) = V_{\text{max}}_{\text{FM}} - V_{\text{sınır}}_{\text{EN50065}} + \text{GS} \quad (3.18)$$

Burada güvenlik sınırı (GS) genellikle OM ve FM için 6 dB μ V olarak verilir. $V_{\text{max}}_{\text{OM}}$ ve $V_{\text{max}}_{\text{FM}}$, OM ve FM gürültülerinin en büyük değerini ifade etmektedir.

Bölüm 2.3'te açıklanan EN-50065 standart sınır grafiğinin elde edilmesinden faydalanılarak OM ve FM gürültüleri için sınır değerler sırasıyla eşitlik (3.19) ve (3.20) yardımıyla elde edilmiştir.

$$V_{\text{sınır}}_{\text{EN50065}} = (163.4348 - 8.1752 * \log(f_{\text{OM}})) \mu\text{V} \quad (3.19)$$

$$V_{\text{sınır}}_{\text{EN50065}} = (163.4348 - 8.1752 * \log(f_{\text{FM}})) \mu\text{V} \quad (3.20)$$

Burada f_{OM} ve f_{FM} , OM ve FM'nin en büyük genlikli frekans değerini ifade etmektedir ve $f_{\text{OM}}=54.643\text{kHz}$ ve $f_{\text{FM}}=36.429\text{kHz}$ olarak belirlenmiştir. Böylece, $V_{\text{sınır}}_{\text{EN50065}}$ OM için 74.254dB μ V ve FM için 77.569dB μ V olarak bulunmuştur. Gereken zayıflatmalar ise $V_{\text{gerek}}_{\text{OM}}$ 26.201dB μ V ve $V_{\text{gerek}}_{\text{FM}}$ 36.480dB μ V olarak bulunmuştur.

Adım 2: OM ve FM gürültüleri için süzgecin kesim/köşe frekansları eşitlik (3.21) ve (3.22) yardımıyla elde edilmiştir.

$$V_{\text{gerekenOM}}(\text{dB}\mu\text{V}) = 40\log_{10}(f_{\text{OM}}/f_{\text{KOM}}) \quad (3.21)$$

$$V_{\text{gerekenFM}}(\text{dB}\mu\text{V}) = 40\log_{10}(f_{\text{FM}}/f_{\text{KFM}}) \quad (3.22)$$

Burada, f_{KOM} ve f_{KFM} OM ve FM gürültülerinin köşe frekanslarını temsil etmektedir ve sırasıyla 28.3kHz ve 14.6kHz olarak belirlenmiştir.

Adım 3: Süzgeç değişkenlerinin değerleri eşitlik (3.23) ve (3.24) ile hesaplanmaktadır. EN50160 standardına göre 50Hz şebeke frekansında müsaade edilen en büyük kaçak akım değeri 3.5mA'dır. Eşitlik (3.23)'de verildiği gibi kaçak akımı hesaplamak için şebeke gerilimi dengesizliğinin %3 olduğu varsayılır. Süzgeç tasarımında kullanılan sığaçların esneklik değeri anma değerinin %20'sidir.

Buradan hareketle en büyük C_Y değeri, 44.035nF olarak sınırlanmıştır. Bu nedenle C_Y (C_{OM}) ve C_X (C_{FM}) sığaçları 4.7nF olarak seçilmiştir. Bu nedenle L_{OM} , eşitlik (3.24) kullanılarak 3.3mH olarak bulunmuştur.

$$C_{Y\text{max}} = \frac{I_{\text{kaçak akım}}}{1.1 * U * 2\pi f} \quad (3.23)$$

$$L_{\text{OM}} = \left(\frac{1}{2\pi f_{\text{OM}}} \right)^2 \frac{1}{2C_Y} \quad (3.24)$$

Adım 3: Eşitlik (3.25) kullanılarak f_{FM} köşe frekansı gereksinimini sağlamak üzere L_{FM} 25.2mH olarak seçilmiştir.

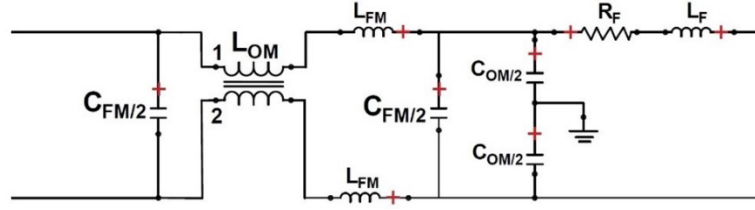
$$C_X = \left(\frac{1}{2\pi f_{\text{FM}}} \right)^2 \frac{1}{L_{\text{OM}}} \quad (3.25)$$

Süzgeç tasarım adımlarından elde edilen değişken değerleri Tablo 3.3'te özetlenmiştir.

Tablo 3.3. EMG süzgeci için hesaplanan değişkenler

Gürültü	EMG Süzgeç Değişkenleri	
	L(mH)	C(nF)
FM	25.2	4.7
OM	3.3	4.7

Şekil 3.20'de süzgeç yapısı ve MATLAB Simulink ortamında devreye bağlantısı verilmiştir.

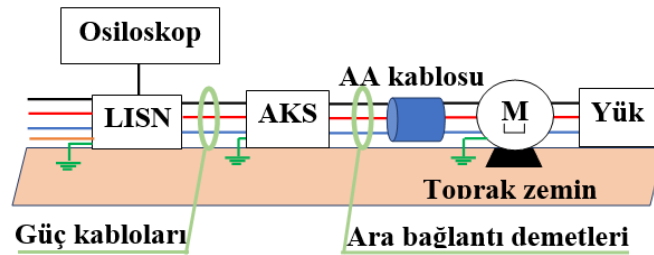


Şekil 3.20. MATLAB ortamında EMG süzgecinin yapısı

3.3. Üç Faz Sistemlerde İletilen Yayınlılar

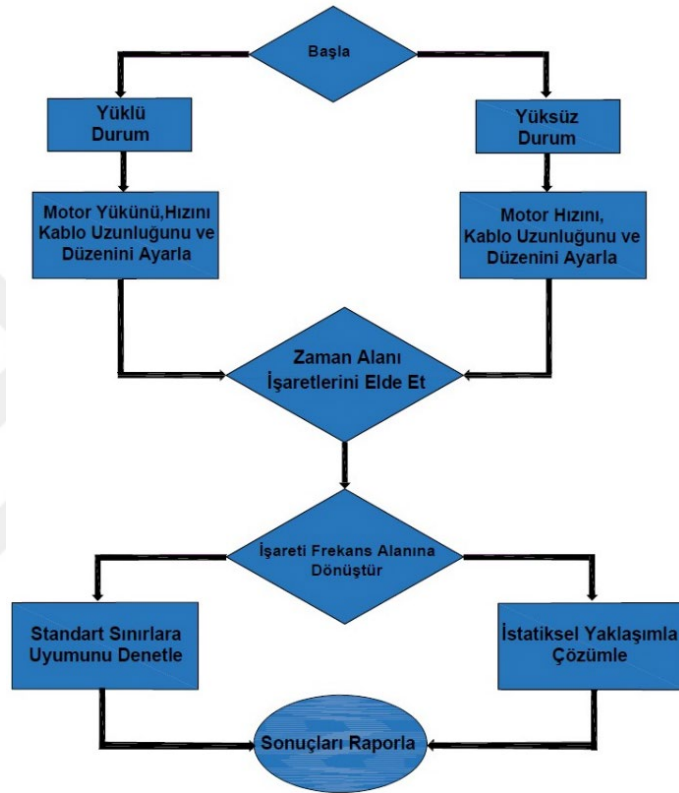
Değişken hızlı sürücü, güç kaynağından gelen sabit gerilimi istenen genlik ve frekansa değiştirerek elektrik motorunun hızını denetleyen bir cihazdır. Ayarlanabilir kaynak sürücüsüyle çalışan sistemlerinin ana bağlantı noktalarındaki elektromanyetik yayınının ana kaynağı, darbe genişlik bindirimi anahtarlamasıdır. Güç sistemlerinde darbe yükselme ve düşme süreleri 200ns'den daha kısadır ve bu durum AKS'leri önemli bir girişim kaynağı haline getirmektedir (Betta et al., 2004; Moreau et al., 2009; Revol et al., 2010)

Bu çalışmada, endüstriyel ortamda yaygın kullanılan ve sayıları giderek artan özelinde AKS sistemlerinin dahil olduğu üç faz sistemlerdeki iletilen yayınlılar 9-150kHz frekans aralığı için ele alınmıştır. Ölçümün yapıldığı ortam değişiklikleri EMU çerçevesinde ölçüm tekrarlanabilirliğini etkileyebilir. Masa konumlandırması, masa yüksekliği, ana kablonun kıvrım şekli, kablo uzunluğu vb. farklı koşullar iletilen yayınlı ölçümlerini etkileyebilir (Beeckman, 2001). Fakat, bu etkiler ile ilgili olarak test yöntemleri için serbestlik vardır ve bu da ek hata ve belirsizlik durumlarını ortaya çıkarmaktadır. Bir ürünün EMU yönetmeliklerini karşılayıp karşılamadığını belirlemede güvenilir olması için, yukarıda belirtilen unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu bilgi ya geçmiş kayıtlardan ya da gerçek ölçüm yoluyla elde edilebilir. Bu çalışmada, öbek çizelgesi Şekil 3.21'de verilen sistemdeki gibi üç fazlı/seviyeli şebeke bağlantılı sürücü eviricisinin elektromanyetik girişimi incelenmiştir.



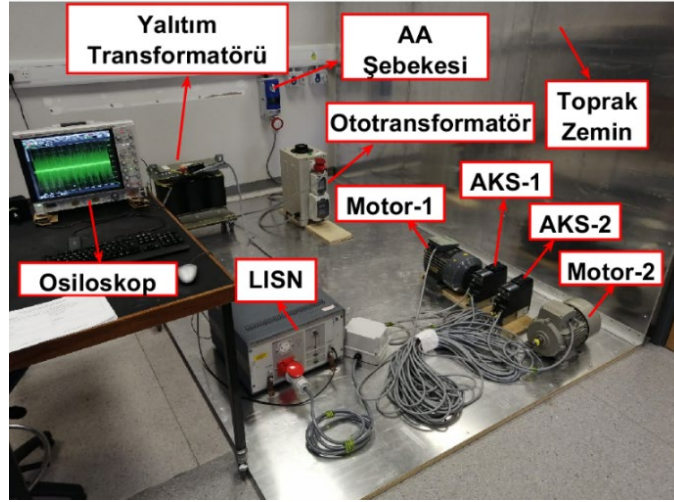
Şekil 3.21. Sistemin öbek çizelgesi

Test düzeneği CISPR16-1-2 standardına göre oluşturulmuş ve evriciden şebekeye aktarılan girişimler ölçülmüştür. AKS sistemlerinde, ana kabloların EMG süzgeç tasarım sorunlarını kapsayan motorun uzunluğu/şekli, motor hızı ve yük durumu yayınımın bakımından incelenilmiş ve istatistiksel yaklaşıma dayandırılmıştır. Deneysel ortamdaki test düzeneğinin bilgisayar ortamındaki benzetimi PSIM “EMG Tasarım Paketi”(EMI Design Suite) kullanılarak elde edilmiş ve bu yazılımda bulunan MIL-STD askeri standartlar da önerilen standartlara eklenmiştir.

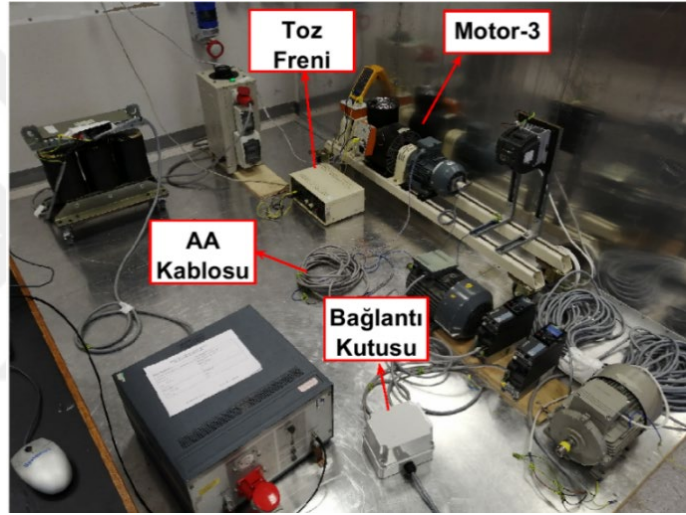


Şekil 3.22. Üç faz sistemlerde yayınının incelenmesi için akış şeması

Ayrıca, 3 faz süzgeç tasarımı PSIM ortamında modellenmiştir. Kısacası, bu çalışma üç fazlı yayınımların ölçülmesinde yer alan belirsizliklerin boşluklarını doldurmakta ve üç fazlı dönüştürücülerin tasarım aşamasında mühendislere yardımcı olmaktadır. Çünkü, EMG'yi ortadan kaldırmak için etkili bir işlevsel tasarım için öncelikle EMG'nin dönüştürücüde nasıl oluştuğunun anlaşılması gerekir. Bu sebeple dönüştürücü(lerin)nün kullanıldığı ortamdaki tüm etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu amaçla, iletilen yayınımların farklı kablo uzunluğu ve şekli, motorun hızı, yüklü ve yüksüz koşullar altında ölçümleri gerçekleştirmek için kurulan düzenek Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.23. Yüksüz(a) ve yüklü(b) durumda üç faz sistemlerde iletilen yayınımların ölçümü

Şekil 3.23'deki görselde kullanılan LISN (Three-phase ESH2-25 artificial main network) tek ve üç faz gürültüleri tek bir cihazla ölçebilme olanağı sağlamaktadır. Yine sigortaların atmaması için ototransformatör ile yalıtım trafosu kademeli olarak enerjilendirilmiştir. Burada kullanılan toprak zemin duvarda da kullanıldığından ölçümler açısından daha güvenilirdir. Asenkron makinalarda yaygın kullanılan sürücülerden sisteme aktarılan gürültünün ölçülmesi için iki tane 1.5kW'lık ve bir tane 0.5kW'lık motor kullanılmış ve anma değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

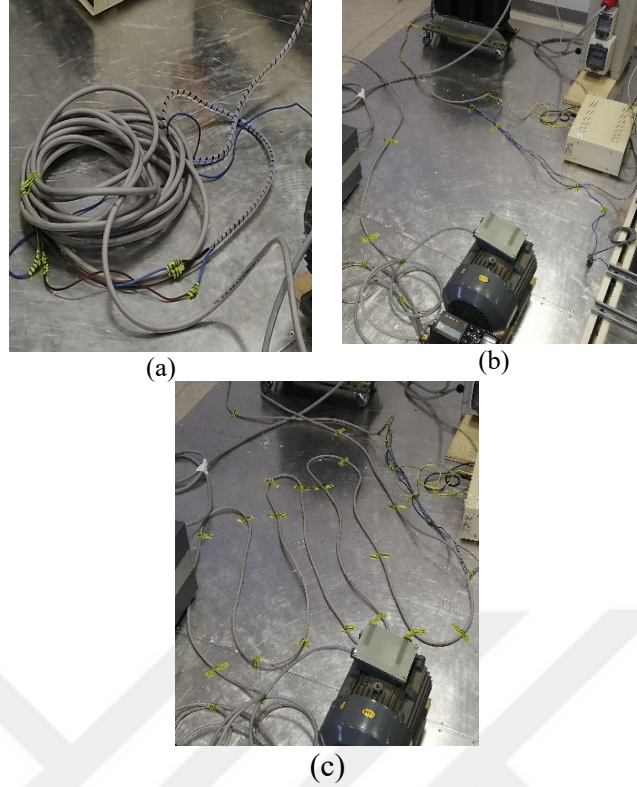
Tablo 3.4. Kullanılan motor yapıları

Değişkenler	Yüksüz Durum		Yüklü Durum
Motor Çeşitleri	M1	M2	M3
Anma Gücü (kW)	4	4	1.5
Frekans (f)	50	50	50
Anma Gerilimi (V)	400(Y)	230V(Δ)	230V(Δ)
Anma Akımı (A)	8.1	13.8	6.5
Anma Hızı (rpm)	1460	2980	1435

Tablo 3.4’te verildiği üzere, yükte çalışma deneyleri için kullanılan birleşik yapıda küçük güçlü (0.5 kW) motorun yük ayarı sisteme bağlı olan yük ayar setiyle yapılmaktadır. İletilen yayınımların anlık sonuçları osiloskoptan anlık olarak izlenmiş ve kaydedilmiştir. Süzgeç yapısı için en kötü durum şartını belirlemek için kablo uzunluğu, kablo düzeni, yük ve sürücünün hız etkisi incelenmiştir.

• **Kablo Uzunluğunun Etkisi:** Asenkron motor, parazitik sığaçlara ve dolayısıyla ortak mod akımına sebep olan bir AA kablo aracılığıyla dönüştürücüye bağlanır. Dönüştürücü ile motor arasındaki bağlantı kablolarının iletilen yayınımları nasıl etkilediğini anlamak için 1m, 10m, 50m ve 100m uzunluklarında farklı tip kablolar kullanılmıştır.

• **Kablo Düzeninin Etkisi:** Farklı tip kablo düzenine bağlı olarak iletilen yayınımlar değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.24’te görüldüğü üzere kablo düzeni₁, kablo düzeni₂ ve kablo düzeni₃ olmak üzere üç tip farklı kablo düzeni dikkate alınmıştır.



Şekil 3.24. Kablo düzeni 1 (a), 2 (b) ve 3 (c)

•**Sürücünün Süzgeç Etkisi:** Süzgeçlemenin etkisini anlamak için aynı tip sürücüler (Siemens) kullanılmıştır. Önerilen standartlara göre gürültü bastırma başarımlarını değerlendirmek için iki sürücünün gürültü seviyeleri karşılaştırılmıştır. Birincil amaç, en kötü şartı tespit etmek için en yüksek gürültülü donanımı tespit etmektir. Diğer amaç ise geleneksel yaklaşımlı süzgeç bulunduran bir sürücünün 9kHz ile 150kHz arasında değişen frekansları etkili bir şekilde bastırıp bastıramayacağını belirlemektir. Bu amaçla, AKS-1 ve AKS-2 sürücüleri bağımsız olarak 100m kablo uzunluğu ile aynı güçlü Motor-1 ve Motor-2'ye bağlanmıştır.

•**Birlikte Kullanılan Sürücülerin Etkisi:** Endüstriyel uygulamalarda farklı dönüştürücüler sisteme aynı anda bağlanabilir. Bu bölümde, farklı AKS dönüştürücüler sisteme bağlandığında yayınımın nasıl değiştiği sunulmaktadır. En kötü durum için en uzun kablo uzunlukları seçilmiş ve önce AKS-1 sürücüsü sisteme bağlanmış ve ardından iki sürücü (AKS-1 + AKS-2) paralel bağlanmıştır.

•**Motor Yüğü Etkisi:** İY üzerinde değişen yük koşullarını gözlemlemek için 0,5 kW'lık bir asenkron motor (Motor-3) ve bağlı toz fren yüklü birleşik bir yapı kullanılmıştır. Denetimli bir deney olması açısından Şekil 3.23(b)' de verilen birleşik yapı üzerindeki sürücü kullanılmamış olup tüm deneyler AKS-1 üzerinden

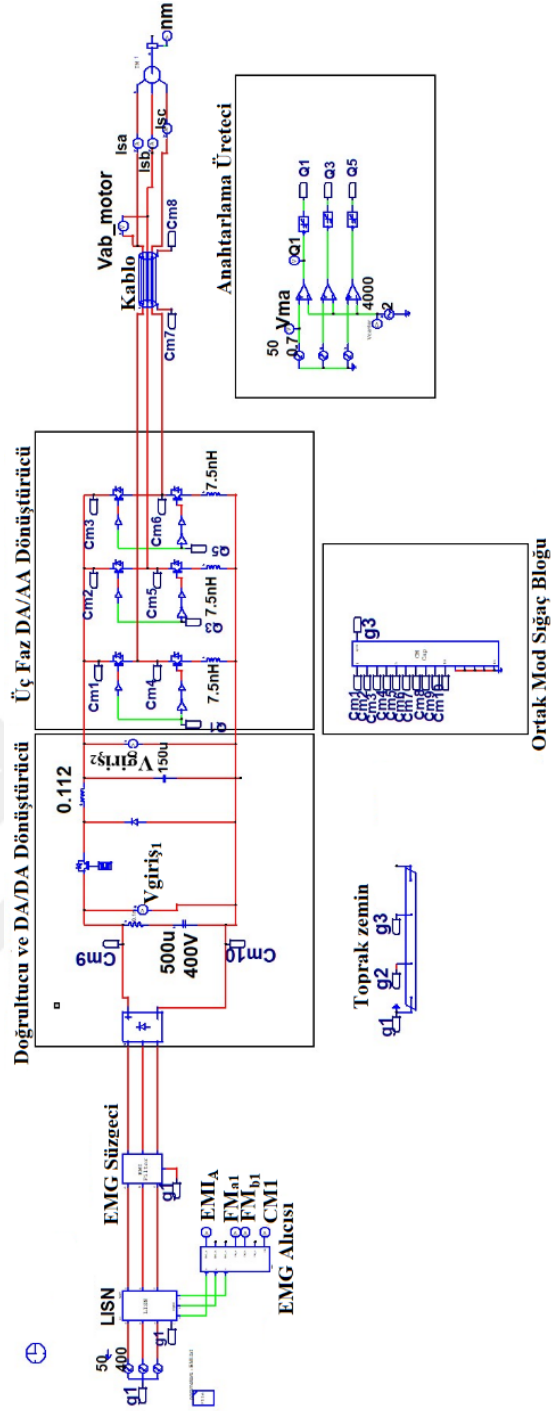
gerçekleştirilmiştir. Kullanılan motorun hız ve akımı değişen yük koşulunda Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Farklı yük durumunda motorun hızı

Yük (NM)	Hız(rpm)	Akım(A)
0.04	1500	3.61
1	1499	3.7
2	1498	3.9
3	1497	4.2
4	1495	4.7
5	1494	5.3
6	1493	5.9
7	1490	6.5
8	1488	7.3

• **Motor Hızı Etkisi:** Bu bölümde, yüklü ve yüksüz koşulunda sürücüye bağlı farklı motor hız durumlarının iletilen yayınlara etkisi araştırılmıştır. Sürücünün çıkış frekansına bağlı motor hızındaki değişimin İY bakımından değişimleri gözlemlenmiştir.

Bu bölümde ayrıca deneysel çalışmadan daha pratik bir yaklaşım olması amacıyla benzetim çalışması da oluşturulmuştur. Buradaki amaç, deneysel çalışmayla benzer sonuçları elde edecek devre ile deneysel ortamda ölçülemeyen diğer kablo uzunlukları, yük gibi değişkenlerin pratik olarak incelenmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca, süzgeç tasarımı için verilen yaklaşımın doğruluğunun kolaylıkla denetlenebilmesini de mümkün kılmaktadır. Deneysel çalışmadan elde edilen bulgular 4.3'te snulduğu üzere ölçüm belirsizliklerine bağlı olarak süzgeç tasarımı için en kötü şart uzun ve kıvrımlı kablo düzeni, motorun yüksüz ve düşük hızda sürüldüğü durum olarak belirlenmiştir. Bu bölümde, en kötü durum şartları baz alınarak deneysel çalışmanın benzetim devresi PSIM “EMI Dsign Suite” kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 3.25'te verilen benzetim devresi DA-DA azaltan tip dönüştürücü, üç fazlı DA-AA evirici, LISN, üç fazlı süzgeç ve sincap kafesli asenkron motordan oluşmaktadır. Sincap kafesli asenkron motor, LISN, ve EMG süzgeci ortak toprak zemin düzlemine yerleştirilmiştir. Dönüştürücünün parazitik ortak mod sığaçları C_{m1} - C_{m10} olarak yerleştirilmiştir. Benzetim zaman adımı, son frekans aralığı olan 150kHz'i görmek için 3.33µsn olarak seçilmiştir. EMG belirsizlikleri açısından deneysel sonuçların doğruluğunu tespit etmek için PSIM ortamında da bu belirsizlikler tekrar değerlendirilmiştir. Bu sebeple PSIM ortamında elde edilen sonuçlar MATLAB ortamına aktararak çözümlenmiştir.



Şekil 3.25. Üç faz sistemlerde EMG ölçümünün PSIM benzetim devresi

Bu kısımda benzetim ortamında süzgeç tasarımı için, gerekli adımlar aşağıda sıralanmıştır.

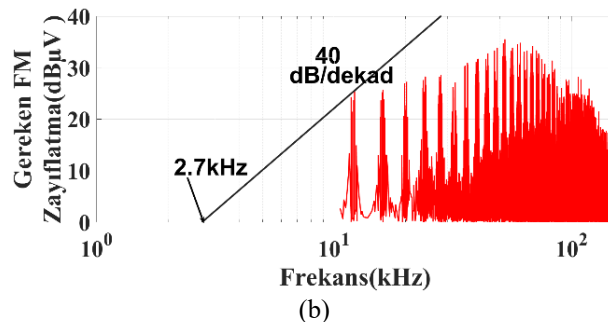
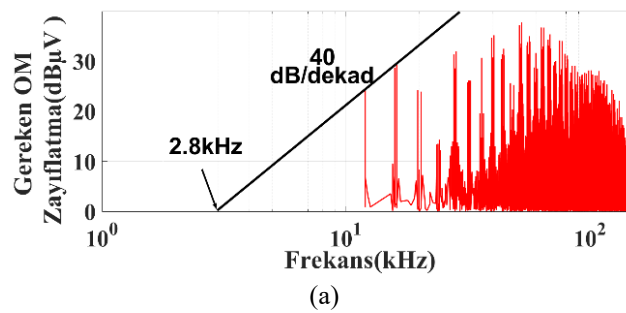
Adım 1: OM ve FM gürültüleri A fazından ölçülmüştür. Ortak mod için OM sarımı ve Y sığacı, fark mod için FM endüktansı ve X sığaçları, EMG süzgeç tasarımında burada da kullanılan bileşenlerdir. Süzgeç tasarımı empedans

uyumsuzluğu önemli bir konudur. Verilen devrede, EMG süzgeç girişi bir AA kaynağa bağlanmış ve bu bağlantı noktasından sonra AA-DA gerilim dalgalanmalarına karşı C değerli büyük bir sığaca sahiptir. Yani EMG süzgecinin çıkışı bu sığaçtan dolayı düşük empedanslıdır. EMG süzgecinin her iki uçta da düşük empedanslı olması bu durumda süzgeç yapısı olarak T süzgeci (LCL) seçilmesine sebep olmuştur.

Adım 2: OM ve FM zayıflatma gereksinimi (3.26) ve (3.27) kullanılarak belirlenmiştir. Tüm standartları sağlaması için standart sınır olarak EN-50065 sınır olarak seçilmiştir. Gürültü ayırıcı ile OM veya FM ölçümü gerçek değerden daha yüksek olduğundan, gürültü azaltma aşılardan gürültüden daha fazla olan güvenlik sınırı seçilmiştir. Köşe frekanslarının seçimi için Şekil 3.26'da gösterilen grafikten faydalanılmıştır. Köşe frekansı, gerekli gürültü azaltmasına teğet olan 40dB/dekad eğim çizgisi çizilerek elde edilir. Standart grafik yöntemine göre, çizginin yatay kesişimi köşe frekansını belirler. Bölüm 2'de sunulan köşe frekansının belirlenmesi için tekniğe ek olarak burada grafiksel teknik kullanılmıştır. Kesim frekansları sırasıyla OM gürültüsü için $f_{CM} = 2.8\text{kHz}$ ve FM gürültüsü için $f_{FM} = 2.7\text{kHz}$ olarak bulunmuştur. Şekil 3.26'dan elde edilen sonuç, köşe frekansının süzgeç elemanlarının boyutunu etkileyeceğini göstermektedir, ancak köşe frekansı zaten 50kHz'in altında olduğundan, benzetim sonuçları gerçek süzgeç tasarım adımları için de kullanılabilir.

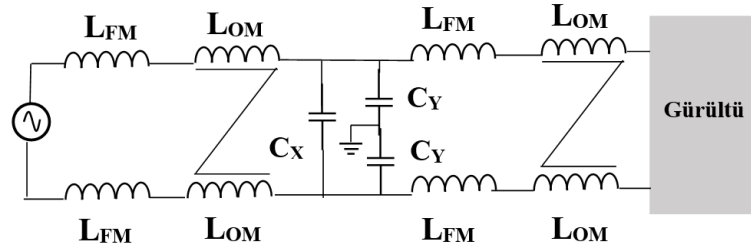
$$V_{\text{gerek}}_{\text{OM}}(\text{dB } \mu\text{V}) = V_{\text{OM}} - V_{\text{sınır}_{\text{EN50065}}} + 6 \quad (3.26)$$

$$V_{\text{gerek}}_{\text{FM}}(\text{dB } \mu\text{V}) = V_{\text{FM}} - V_{\text{sınır}_{\text{EN50065}}} + 6 \quad (3.27)$$



Şekil 3.26. OM ve FM gürültü azaltma gereksinimine göre gerekli köşe frekansının belirlenmesi

OM ve FM gürültüleri için için faz başına EMG süzgecinin eşdeğer devresi deneysel çalışma için pi tipi olarak Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.27. EMG süzgeç yapısı eşdeğer devresi

Adım 3: IEC-60950 güvenlik organizasyonunun kısıtı nedeyle Y sığaçları 4.7nF olarak seçilmiştir. Ayrıca, L_{OM} ve $2C_Y$ 'nin rezonans frekans şartını sağlamalıdır. Bu nedenle L_{OM} eşitlik (3.28)'den hesaplanır. Hesaplanan OM endüktansı L_{OM} 343.7mH olarak hesaplanmıştır.

$$L_{CM} = \left(\frac{1}{2\pi f_{OM}} \right)^2 \frac{1}{2C_Y} \quad (3.28)$$

Adım 4: OM sarımının kaçak endüktansı FM sarımı olarak da kullanılabileceğinden, ayrıca DM sarımları gerekli olmayabilir (yayınım bastırılmazsa ayrıca FM sarımı gerekir). Uygulamada, kaçak endüktans tipik olarak LC değerinin %0,5-2'si aralığındadır. Sonuç olarak, L_{FM} 5.2mH olarak seçilmiştir. Eşitlik (3.29)'da görüldüğü gibi C_X köşe frekansı f_{DM} gereksinimini karşılamalıdır ve 0.62μF olarak hesaplanmıştır.

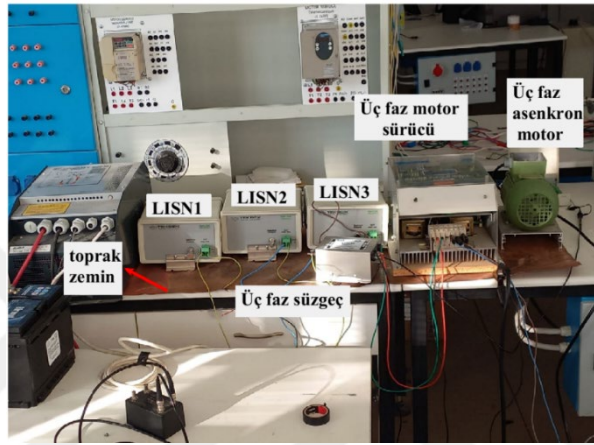
$$C_X = \left(\frac{1}{2\pi f_{FM}} \right)^2 \frac{1}{L_{FM}} \quad (3.29)$$

3.4. Üç Faz EMG Süzgeci

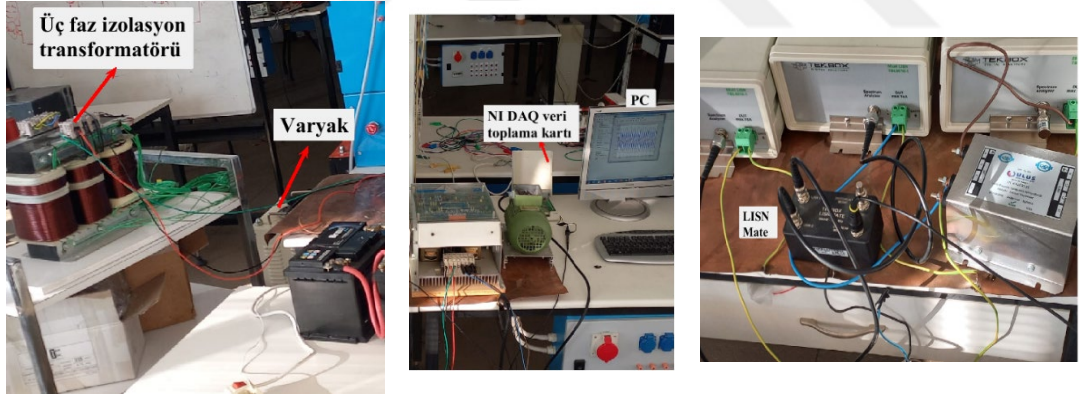
Bu bölümde, üç fazlı sistemlerde 9-150kHz frekans aralığındaki girişimleri önlemek için üretilen EMG süzgecinin deneysel ortamda testi yapılmıştır. Bu amaçla, Bölüm 3.3'teki tasarım adımları burada da uygulanmıştır. Gürültü ayırıcı (LISN Mate) ile OM ve FM ölçümleri gerçek değerden daha büyük olduğundan, zayıflatma değerleri mümkün olan en kötü laboratuvar koşulları baz alınarak elde edilmiştir.

En kötü duruma göre tasarlanan süzgecin deneysel ortamında test edilmesi için Şekil 3.34'te verilen deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği 3 faz yayını

ölçümü için 3 adet 9kHz -30MHz frekans özellikli LISN, OM ve FM gürültüleri ölçmek için LISN Mate, 3 faz yalıtım trafosu, varyak, zaman alanı işaretlerini yakalamak için veri toplama kartı, 3 faz motor sürücü ve 3 faz asenkron motoru içerir. Veri toplama kartının analog giriş pini, LISN çıkışına bağlanmıştır. Matlab arayüzü kullanılarak zaman alanında iletilen yayılım işaretleri elde edilmiştir. Elde edilen zaman alanı işaretleri arayüzde yazılan algoritma ile zaman alanından frekans alanına geçirilerek ilgili standart sınırlar ile kıyaslanmıştır.



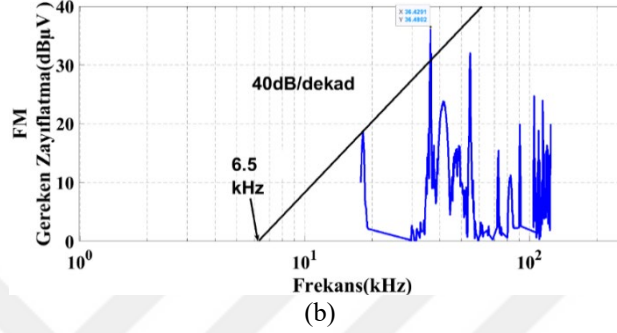
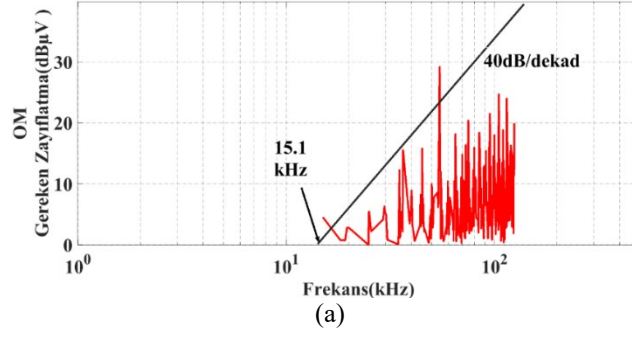
(a)



(b)

Şekil 3.28. Üç faz EMG ölçümü için test düzeneği(a) ve ayrıntısı(b)

Süzgeç tasarımı yapılırken en yüksek yayılım durumunda elde edilen yayınımlar Şekil 3.28’de verilmiştir. Burada, OM ve FM zayıflatmaya karşılık gelen köşe frekansları gösterilmektedir. Bu görsel yöntem kullanıldığında, ortaya çıkan kesme frekansları $f_{OM} = 15,1\text{kHz}$ ve $f_{FM} = 6.5\text{kHz}$ ’tir.



Şekil 3.29. Gerekli OM (a) ve FM (b) zayıflatma

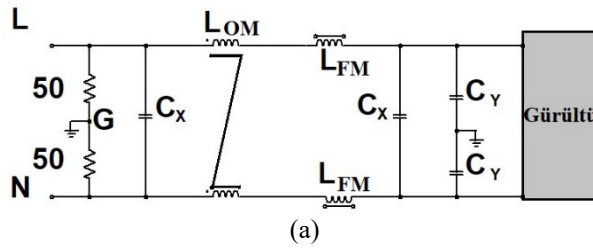
Güvenlik sınırından dolayı C_y sığacı 3.3nF olarak seçilmiştir. Bu durumda OM endüktansı 16.8mH olarak hesaplanmıştır ve pratik değer olan 7.448mH seçilmiştir.

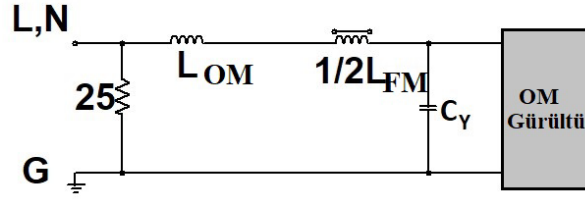
$$L_{OM} = \left(\frac{1}{2\pi f_{OM}} \right)^2 \frac{1}{2C_y} \quad (3.30)$$

Uygulamada FM sarımının kaçak endüktans değeri tipik olarak birleşik L_{OM} değerinin %0.5 ile %2'si aralığındadır. Sonuç olarak L_{DM} , L_{OM} 'nin %1.7'si yani 0.126mH olarak seçilmiştir. Bu durumda eşitlik (3.31)'den faydalanılarak OM sığacı 4.7μF olarak seçilmiştir.

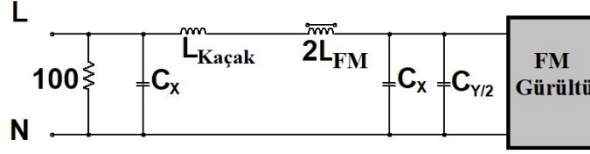
$$C_x = \left(\frac{1}{2\pi f_{FM}} \right)^2 \frac{1}{L_{FM}} \quad (3.31)$$

Kısaca elde edilen üç fazlı süzgecin eşdeğer devresi Şekil 3.29'da verilmiştir.

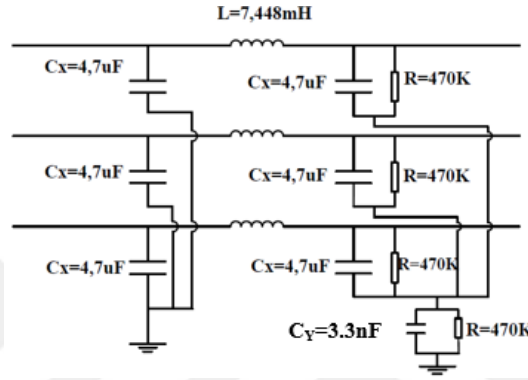




(b)



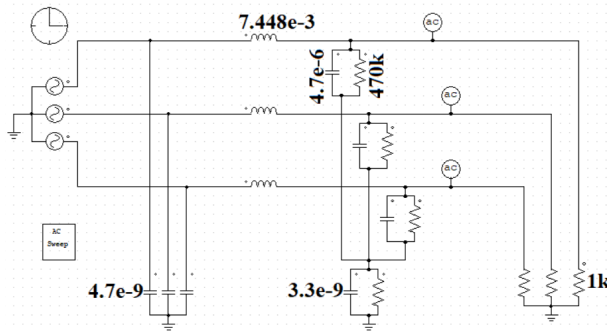
(c)



(d)

Şekil 3.30. EMG süzgeç yapısı (a), OM (b) ve FM (c) gürültüsü eşdeğer devresi ve iç yapısı (d)

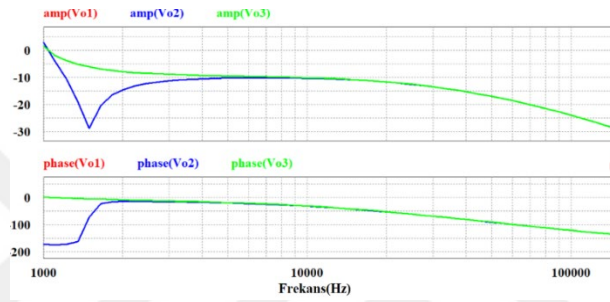
Tasarlanan süzgecin gürültü zayıflatma özelliğini test etmek için, süzgecin eşdeğer devresinin PSIM ortamında AA çözümlemesi Şekil 3.30'da verildiği üzere oluşturulmuştur. Devre şemasında yer alan C_X ve L , ortak mod gürültüsünü zayıflatırken, C_Y fark mod gürültüsünü zayıflatmaktadır. R dirençleri ise boşaltım dirençleri olarak kullanılmıştır. Kaçak endüktans olarak kabul edilen ve istenmeyen bir durum olarak düşünülse de FM gürültüsünün zayıflatılmasında üstünlük sağladığından bu devrede ayrıca FM sarımı kullanılmamıştır.



Şekil 3.31. EMG süzgecinin AA çözümlemesi için PSIM devresi

Şekil 3.31’de verildiği üzere devre, istenmeyen yüksek frekanslı gürültüyü engeller ve 150kHz altındaki frekansları zayıflatır. Fakat, sistemin 50Hz ile çalışmasını sağlamak için düşük frekansın geçmesine izin verir. Diğer bir deyişle, bu süzgeç alçak geçiren süzgeç özelliğine sahiptir. Süzgecin gürültü bastırması 150kHz frekans aralığının altında 30dB’dir. Bu durum, Şekil 3.32 sonuçlarına göre gerekli zayıflamayı sağladığı anlamına gelir.

Diğer bir deyişle, bu süzgeç alçak geçiren süzgeç özelliğine sahiptir. Süzgecin gürültü bastırması 150kHz frekans aralığının altında 30dB’dir. Bu durum, Şekil 3.32 sonuçlarına göre gerekli zayıflamayı sağladığı anlamına gelir.



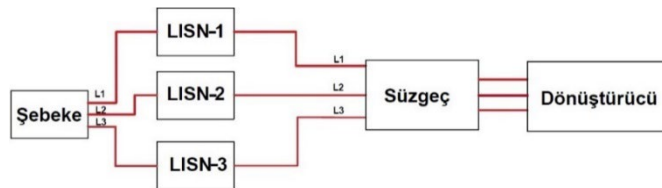
Şekil 3.32. Süzgecin AA çözümlemesi cevabı

Şekil 3.33’te gösterildiği gibi önerilen standartlara uygun olarak 380V/20A üç faz süzgeç oluşturulmuştur.



Şekil 3.33. Üç faz EMG süzgeç tasarımı

Tasarlanan süzgecin deney düzeneğine bağlantısı Şekil 3.34’te gösterilmiştir. Deneyden elde edilen bulgular 3.4. bölümde sunulmuştur.

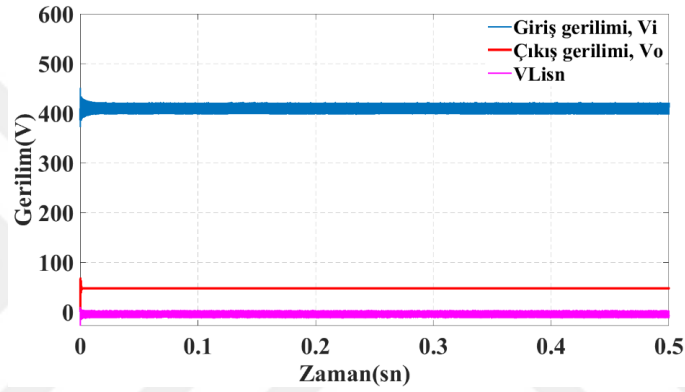


Şekil 3.34. Deney düzeneği bağlantı şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

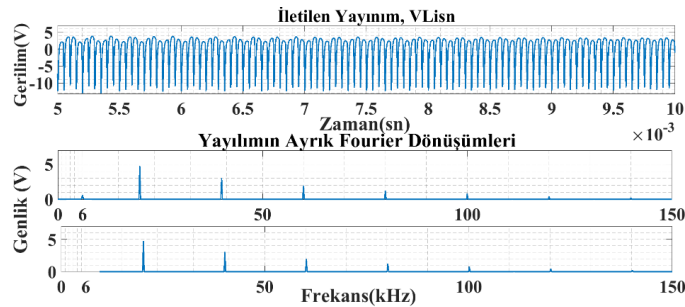
4.1. DA Sistemlerinde İletilen Yayınlardan Elde Edilen Bulgular

Bölüm 3.1.'de açıklanan DA-DA dönüştürücünün MATLAB ortamındaki benzetim devresi için elde edilen bulgular bu bölümde sunulmuştur. Giriş gerilimi 410V ve çıkış gerilimi 48V durumundayken, 1500W gücünde yük bağlandığında DA-DA dönüştürücüsünün giriş, çıkış gerilimleri ve şebeke tarafına iletilen LISN üzerinden ölçülen gerilim grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. İlk anda oluşan geçici durumdan dolayı 0.5 sn toplam benzetim süresinin ilk yarısından sonraki örnekler (0.25 sn sonrası) değerlendirilmiştir.



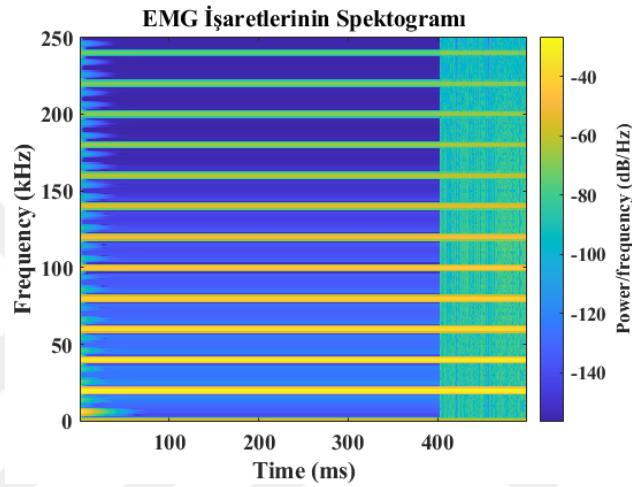
Şekil 4.1. Dönüştürücü giriş, çıkış ve LISN gerilimlerinin zamana bağlı değişimi

LISN çıkışından örneklenen işaretin 5msn'lik zaman pencereleri kullanılarak KZFD analizi yapılmıştır. 5-10 msn zaman aralığında incelenilen işaretin zamana bağlı grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Dönüştürücünün anahtarlama frekansına bağlı olarak, 20kHz ve katları Fourier dönüşümünden görülmektedir. 6kHz'den sonraki (geçici durum ihmal edildiğinde) örnekler alındığında ise anahtarlama frekansları sadece görülmüştür.



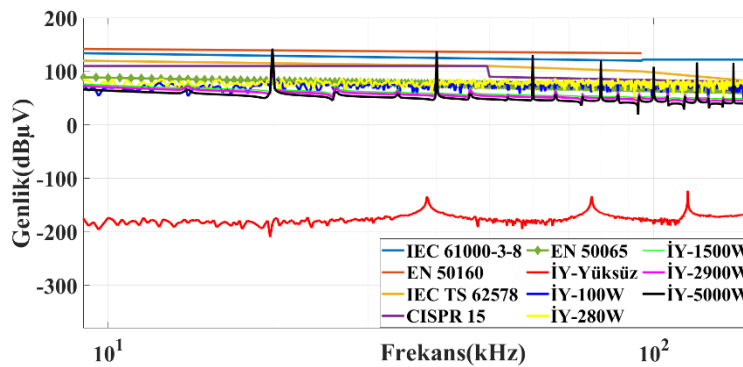
Şekil 4.2. LISN geriliminin zaman ve frekans ekseninde genlik değişimi

Bu frekanstaki girişimin geçici bir işaret olup olmadığını anlamak için spektrogramı alınmıştır. Spektrogram, zamanla frekans aralıklarındaki harmoniğin enerji bakımından değişimini veren özellik vektörünü oluşturur ve ana işaret enerjisinin nerede yoğunlaştığını daha iyi anlaşılmasını sağlar. KZFD tabanlı işaretin spektrogramı Şekil 4.3'te verilmiştir. 6kHz'lik işaretin sadece ilk enerjilenme anında olduğunu ve diğer örnekleme zamanlarında olmadığını görebiliriz. 20kHz ve katları harmonikler örnekleme zamanı boyunca anahtarlama frekansına bağlı olarak görülmektedir.

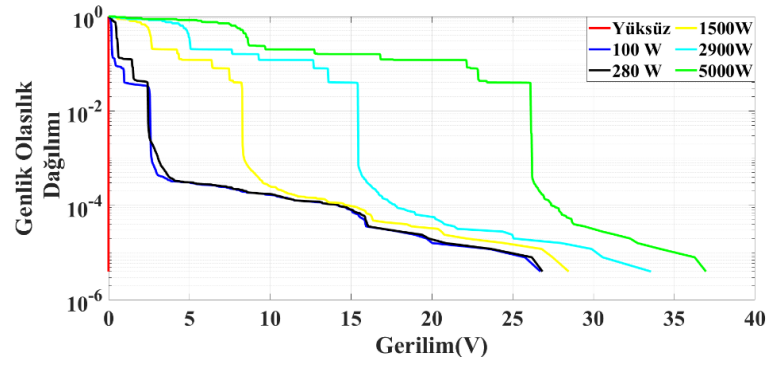


Şekil 4.3. EMG işaretinin spektrogramı

Giriş gerilimi sabitken, farklı yük durumlarında İY bakımından değerlendirilmesi Şekil 4.4'te ve GOD güç kalitesi incelemesi Şekil 4.5'te verilmiştir. Yük arttıkça GOD artarken, yayılım azalış göstermiştir.



Şekil 4.4. İY'ın yüke bağlı değişimi



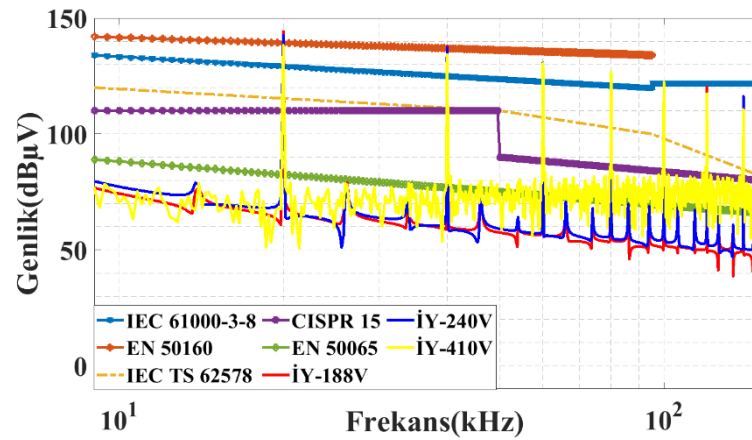
Şekil 4.5. GOD'un yüke bağlı değişimi

Yüke bağlı bozukluk ve dalgalanma indeksleri bakımından değerlendirme Tablo 4.1'de özetlenmiştir. Dalgalanma dizini yüke bağlı artarken, DFSB yine doğrusal bir artış/azalış sergilememiştir.

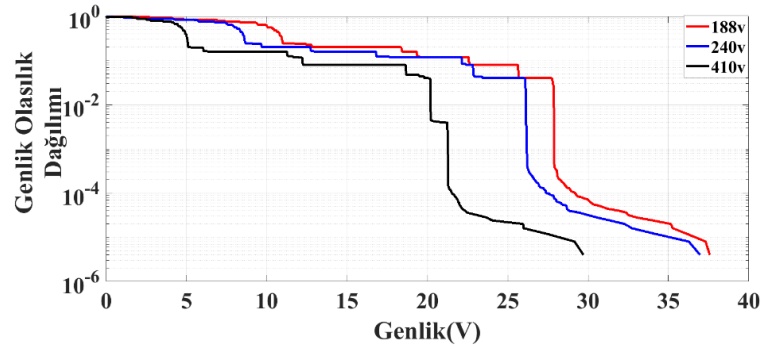
Tablo 4.1. Değişken yük koşullarının DFSB ve dalgalanma indeksleri bakımından değerlendirilmesi

DFSB ₉	DFSB ₁₅₀	Dalgalanma	Yük (W)
1.05E-14	1.13E-14	1.2413E-14	0
1.2187	1.2208	0.0024	100
0.3187	0.3208	0.0049	280
1.6461	1.6508	0.02416	1500
1.3446	1.3487	0.0466	2900
0.8695	0.8723	0.0802	5000

Sabit yük koşulunda (5000W) farklı giriş gerilimi için İY bakımından değerlendirilmesi Şekil 4.6'da ve GOD güç kalitesi incelemesi Şekil 4.7'de verilmiştir. Giriş gerilimi arttıkça iletilen yayının artarken, GOD'da düşüş görülmektedir.



Şekil 4.6. İY'nin giriş gerilimine bağlı değişimi



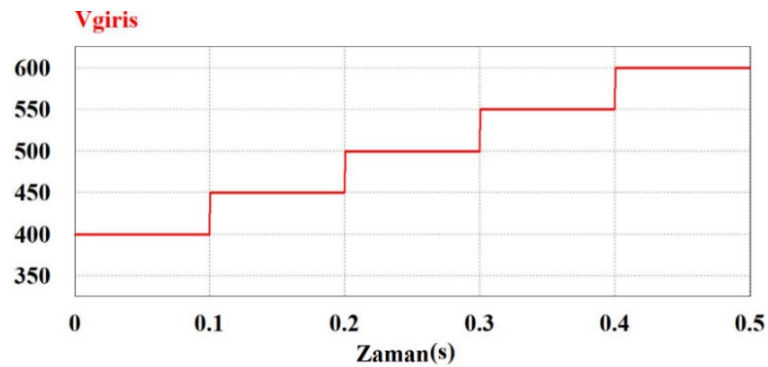
Şekil 4.7. GOD'un giriş gerilimine bağlı değişimi

Değişken giriş gerilimine bağlı sabit yük koşulunda(5000W)bozukluk ve dalgalanma indeksleri bakımından değerlendirme Tablo 4.2'de özetlenmiştir. DFSB dizini bakımından doğrusal bir artış/azalış olmamakla beraber dalgalanma gerilim arttıkça azalmaktadır.

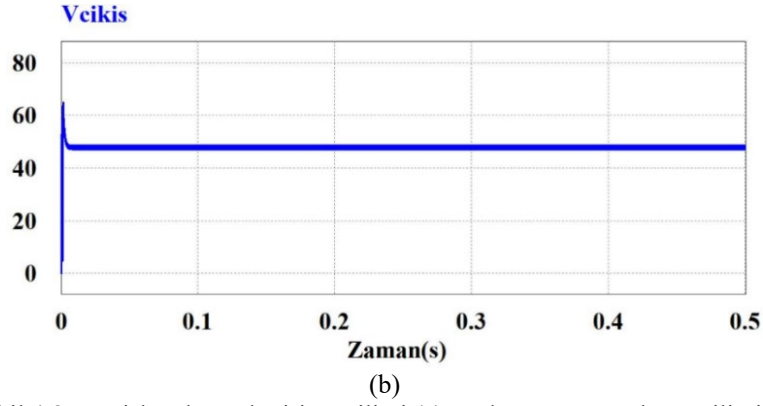
Tablo 4.2. Değişken giriş gerilimi koşullarının DFSB ve dalgalanma indeksleri bakımından değerlendirilmesi

DFSB ₉	DFSB ₁₅₀	Dalgalanma	Gerilim(V)
0.6974	0.6986	0.1231	188
0.8695	0.8723	0.0802	240
0.6977	0.6985	0.0301	410

PSIM ortamında gerçekleştirilen deneyden elde edilen sonuçlar ise aşağıda verilmiştir. İstenen çıkış gerilimini en az hatayla elde etmek için Bölüm 3.1'de verilen devrede PI denetleyici parametreleri $K_p=100$ ve $K_i=0.001$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.8'den elde edilen sonuçlara göre değişken kaynak geriliminde, 48V sabit çıkış gerilimi elde edildiğinden PI denetimcinin başarımı doğrulanmıştır.

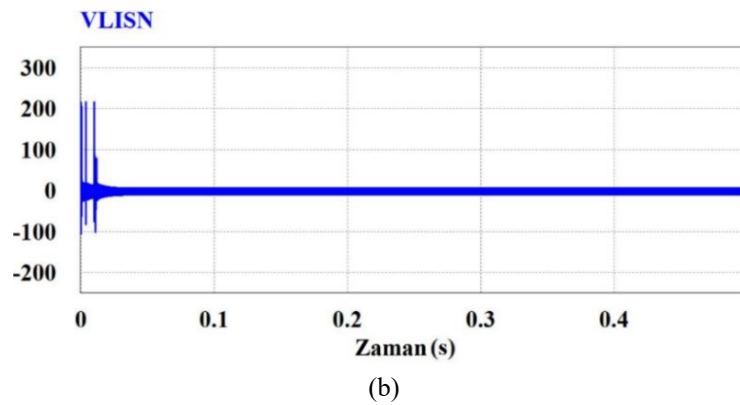
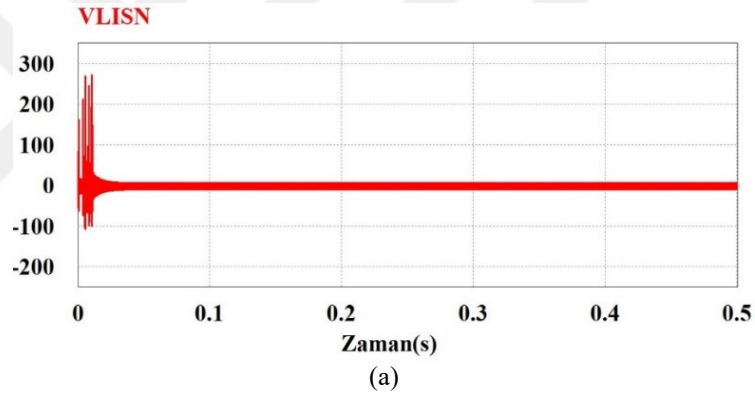


(a)

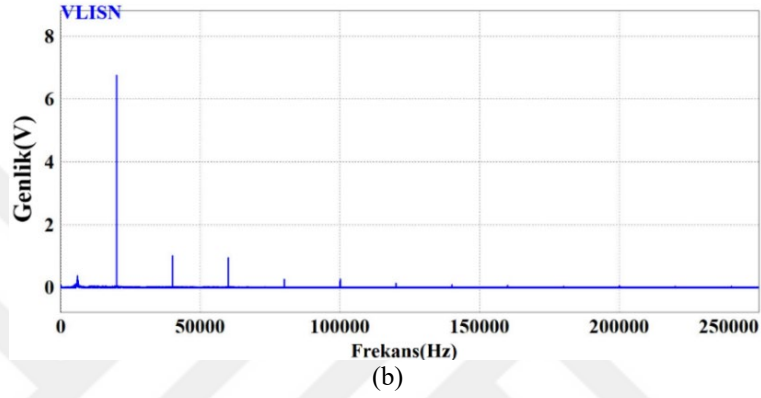
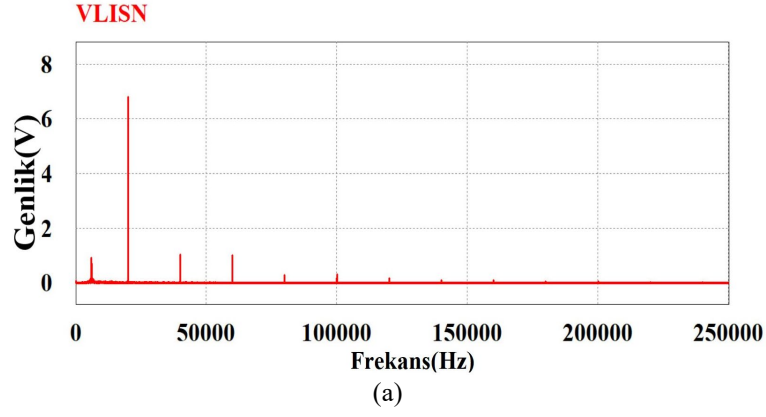


Şekil 4.8. Değişken kaynak giriş gerilimi (a) ve dönüştürücü çıkış gerilimi (b)

Kaynak giriş gerilimi sırayla sabit gerilim kullanılarak 410V ve 300V DA-DA dönüştürücüden 48V çıkış gerilimi elde edilmiştir. Bu durumda LISN çıkış gerilimleri ve PSIM'deki araç çubuklarından elde edilen HFD Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

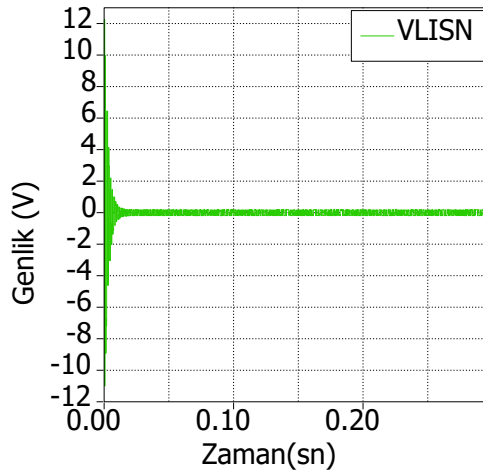


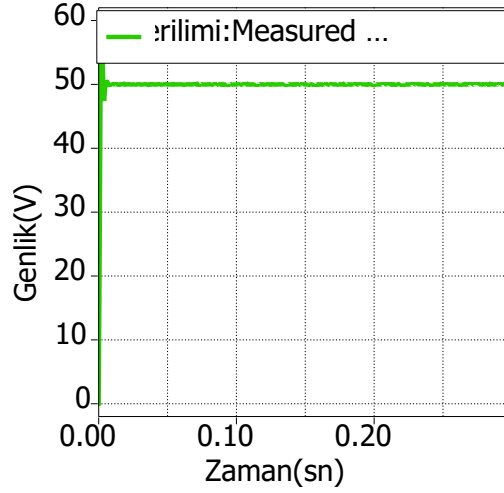
Şekil 4.9. 410V (a) ve 300V (b) kaynak gerilimi LISN zaman alanı gerilimi



Şekil 4.10. 410V (a) ve 300V (b) kaynak gerilimi LISN çıkışı HFD sonucu

Ayrıca, Bölüm 3.1’de açıklanan çoklu dönüştürücü durumunda, sadece bir dönüştürücü anahtarlanması durumunda, PLECS ortamında DA-DA dönüştürücünün LISN çıkış gerilimi ve dönüştürücüden elde edilen gerilim Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere istenen 48V’luk çıkış gerilimi sağlanırken, LISN’den şebekeye yayınımlar olmaktadır.

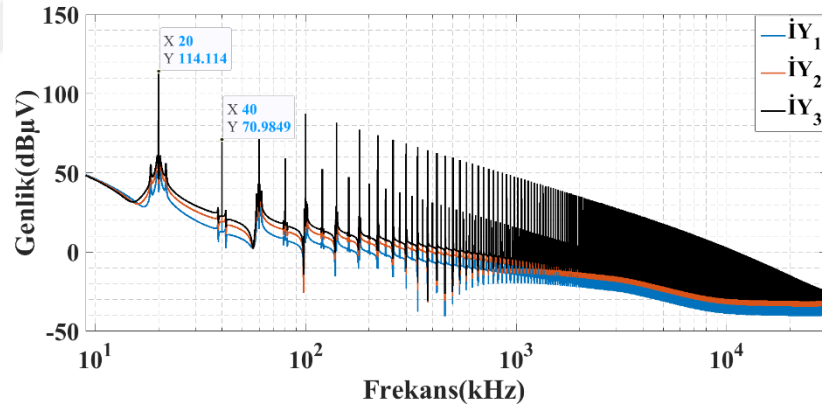




(b)

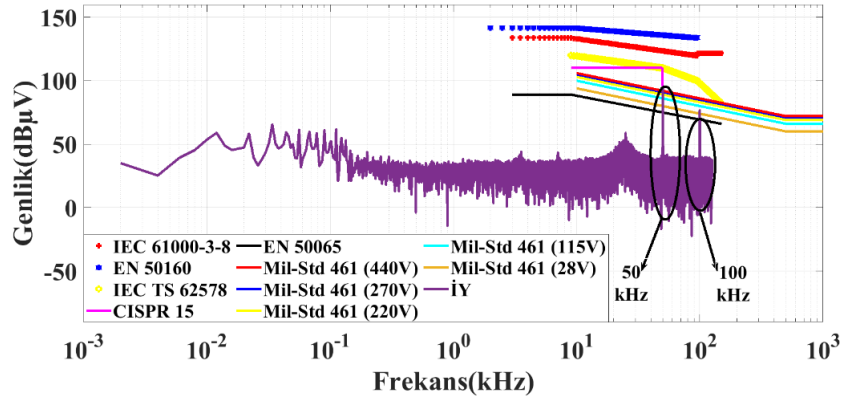
Şekil 4.11. LISN (a) ve DA –DA azaltan tip dönüştürücü (b) çıkış gerilimi

Şekil 4.12’de gösterildiği üzere dönüştürücüler sırayla devreye alındığında elde edilen sonuçlara göre yayılım dönüştürücü sayısı artarken artmış fakat doğrusal bir değişim göstermemiştir. Bu durum süzgeç tasarımı konusunda dikkat edilmesi gereken bir konu olduğunun göstergesidir.



Şekil 4.12. DA –DA azaltan tip çoklu dönüştürücüye bağlı İY değişimi

Yukarıda açıklanan benzetim çalışmalarının yanısıra, Bölüm 3.1’de açıklanan deneysel ortamdaki bulgulardan, DA-DA azaltan tip dönüştürücüden iletilen yayılım Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

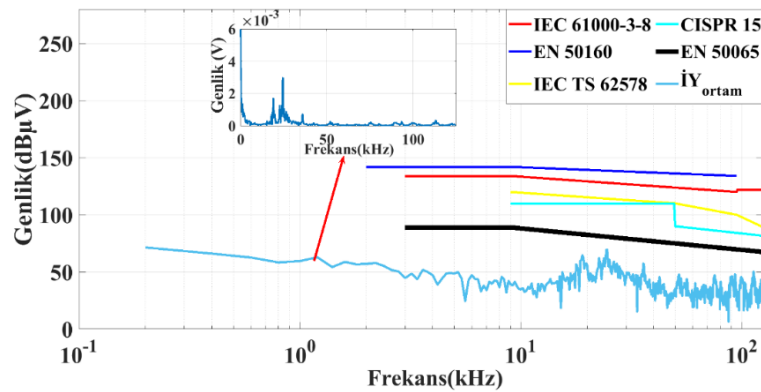


Şekil 4.13. Azaltan tip dönüştürücüden iletilen yayım

Şekil 4.13'ten anlaşılacağı üzere benzetim devresindeki sonuçlara ek olarak dönüştürücü iç yapısındaki süzgeç sayesinde yayınımlar sınırların altında kalmaktadır. Buradaki deneysel sonuçtan da anlaşıldığı üzere verilen anahtarlama frekanslarına sistemin cevabı net görülmektedir (Anahtarlama frekansı Texas kartından 50kHz'e ayarlandığından, anahtarlama frekansı ve katları da sonuçlardan görünmektedir).

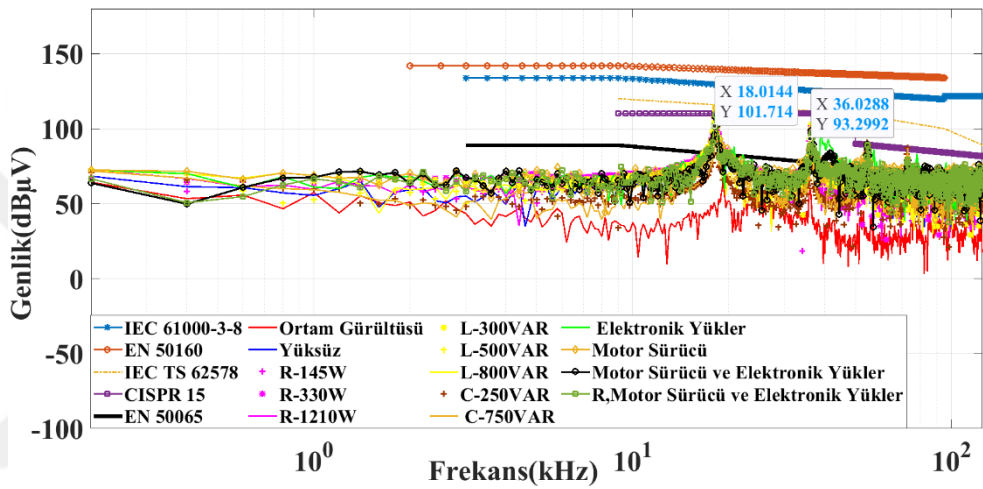
4.2. Tek Faz Sistemlerde İletilen Yayınımlardan Elde Edilen Bulgular

Bölüm 3.2'de açıklanan çift yönlü dönüştürücüden iletilen yayınımların incelendiği deneysel çalışmadan elde edilen bulgular bu bölümde sunulmuştur. İlk olarak, test ortamının gürültüsü, dönüştürücü şebekeye bağlı değilken ve ayrıca dönüştürücü şebekeye bağlıyken yüksüz durumdayken ölçülmüştür. Daha sonra doğrusal ve doğrusal olmayan yük durumunda şebeke tarafına yansıyan İY'lar ölçülmüştür. Ortam gürültüsünün ölçümlere etkisini gözlemlemek için öncelikle Şekil 4.14'te verildiği gibi ortam gürültüsü ölçülmüş ve önerilen standart sınırların altında olduğu için ölçümler güvenilirliği sağlanmıştır.



Şekil 4.14. Test ortamının gürültüsü

Sistemin güvenilir ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için diğer önemli unsur hem dönüştürücünün hem de yükün davranışı dahil olmak üzere bir sistemin başarımını etkileyebilecek tüm etkenler dikkatlice değerlendirilmelidir. Bu sebeple doğrusal (rezistif, indüktif ve sığa yükü) ve doğrusal olmayan (motor sürücüsü ve elektronik yükler) yüklerin etkisi ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilmiş ve Şekil 4.15'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü anahtarlama frekansı 18kHz'tir ve yayılım doğrusal olmayan yük gruplarında daha yüksektir. Bunun sebebi doğrusal olmayan yük durumlarında fazladan harmoniklerin toplam iletilen yayınımları arttırmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.15. Farklı yük koşullarında İY

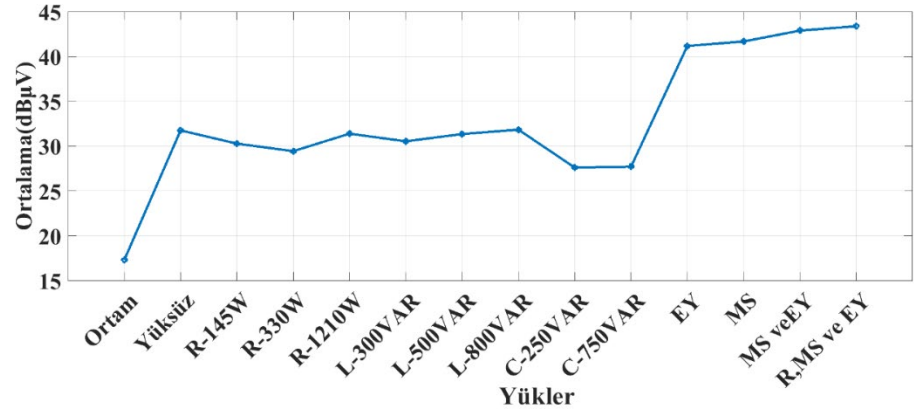
Fakat yüklerin yayınıma etkisiyle ilgili Şekil 4.15'e göre net bir ayırım yapılamadığından istatistiksel yaklaşıma başvurulmuştur. Deneyisel veriler normal dağılım göstermediği için "Minitab" yazılımı kullanılarak Kruskal Wallis ve Mann-Whitney testleri gibi doğrusal olmayan istatistiksel işlemler uygulanarak yüklerin yayılım etkileri daha anlaşılır olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada, (α) anlamlılık değeri 0.01 olarak alınmıştır. Kritik H değeri, $\alpha = 0.01$ anlamlılık düzeyi için Kruskal Wallis tablosundan 11.34 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan test istatistiği 11.34'ten daha anlamlı ise sıfır kuramı reddedilir. Test edilen gruplar arasında 0.01 anlamlılık düzeyinde önemli bir fark olduğu sonucuna varılır. Hesaplanan test istatistiğinin 11.34'ten küçük veya eşit olduğu durumda, sıfır kuramı reddedilememiş ve gruplar arasında önemli bir fark olduğu iddiasını destekleyecek yeterli kanıt olmadığı sonucuna varılmıştır. Kruskal-Wallis testi için hesaplanan H testi istatistiği Tablo 4.3'te verildiği gibi 326896.77'dir.

Tablo 4.3. Yük gruplarının Kruskal-Wallis test istatistiği

Gruplar	Ortanca Değer (Medyan)	Test İstatistiği
Ortam Gürültüsü	16.8596	
Ykz	31.2296	
R-145W	29.7764	
R-330W	28.7642	
R-1415W	30.5714	
L-300VAR	30.2266	
L-500VAR	30.5206	
L-800VAR	31.0981	
C-250VAR	27.0209	H=326896.77
C-750VAR	27.3297	DF=9
Elektronik Yükler (EY)	40.3196	P* =0.00
Motor Sürücü (MS)	41.4745	
Motor Sürücü ve Elektronik Yükler	42.8374	
R, Motor Sürücü ve Elektronik Yükler	42.4540	
P* <0.01 (α anlam düzeyi): Yokluk kuramı reddedilir.		

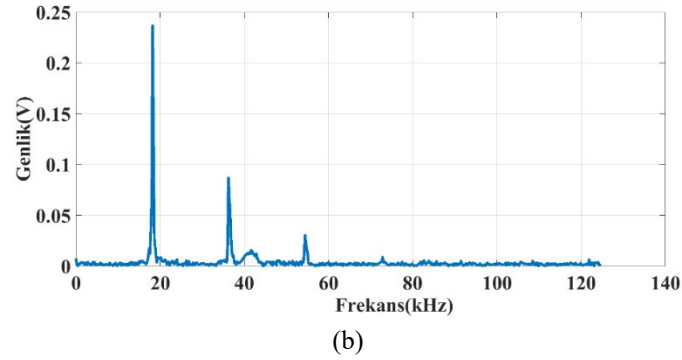
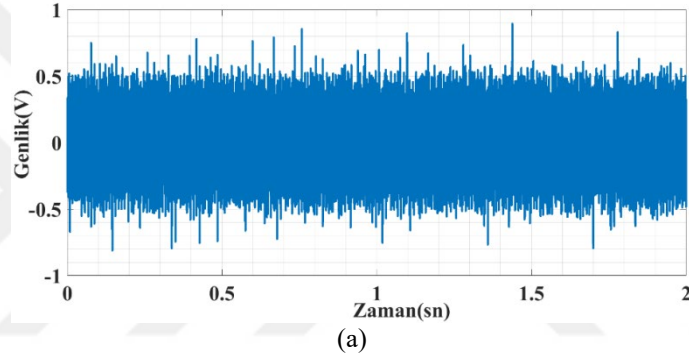
Test istatistiği değeri bu değerden çok daha büyük olduğu için sıfır kuramı reddedilmiştir. Ayrıca, P-değeri olarak değerlendirilen bu test istatistiğinin gerçekleşme olasılığı neredeyse sıfırdır. Daha düşük olasılıklar, yokluk kuramı açısından daha önemli kanıt sağlar. Sonuç olarak, Tablo 4.3'te verildiği gibi grupların medyanları arasında bir fark olduğu sonucuna varılır.

şekil 4.16'da gösterildiği gibi “Ana etkiler grafiği”, istatistiksel bir grafik yaklaşımı kullanılarak çoklu değişkenler arasındaki ilişki görselleştirilmiştir. Bu grafik yaklaşımı, her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki etkisini göstermektedir. Bu test istatistiğinden net olarak anlaşılacağı üzere doğrusal olmayan yük gruplarında yayılım en yüksek değerinde ulaşmıştır. Bu nedenle İY’ın fazla olduğu yük durumu için (MS ve EY) gürültüler incelenmiştir.

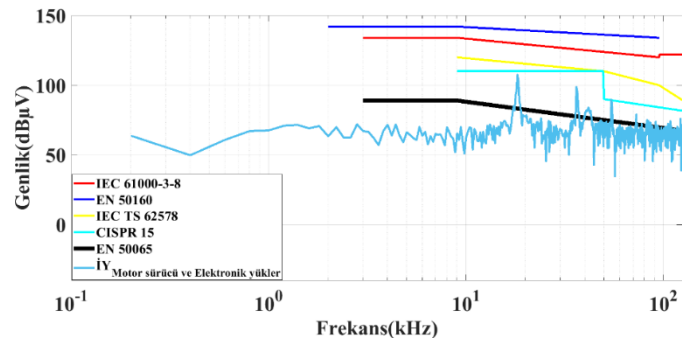


Şekil 4.16. Yük gruplarının ana etki grafiği

Toplam İY'in zaman ve frekans alanı cevapları Şekil 4.17'de ve önerilen standart sınırlarla karşılaştırması Şekil 4.18'de verilmiştir.

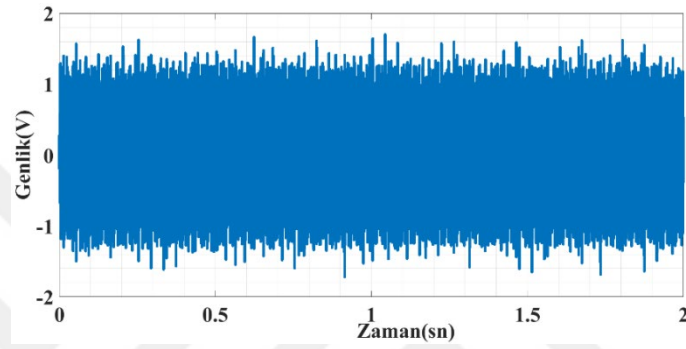


Şekil 4.17. Toplam yayınının zaman (a) ve frekans alanı (b) cevabı

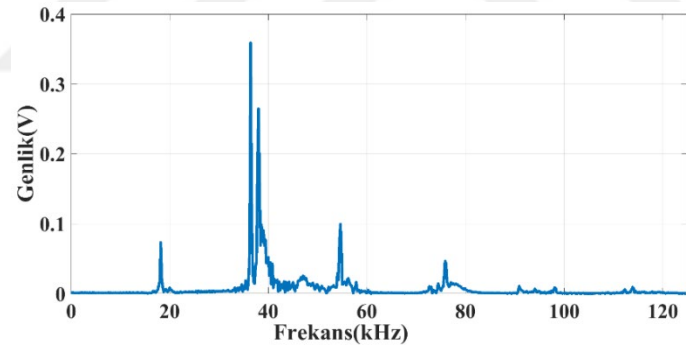


Şekil 4.18. Doğrusal olmayan yük koşullarında iletilen yayınının standart sınırlarla karşılaştırılması

Çift yönlü dönüştürücünün anahtarlama frekansı Şekil 4.17' ve Şekil 4.18'de gösterildiği gibi 18kHz'tir. Toplam İY, motor sürücüsü ve yük koşullarında önerilen standartlardan en düşük seviyeli olan EN50065 standardını aşmaktadır. Bu durumda, 9-150kHz frekans aralığındaki yayınının giderilmesi gereksinimi en kötü yük durumu ve en düşük sınır için gerekmektedir. EMG gürültüsünü bastırmak için en uygun süzgeç iyileştirmesi için bu yük koşulundaki ortak ve fark mod gürültüleri ayırmak gerekmektedir. Şekil 4.19'da FM ve Şekil 4.20'de OM gürültülerinin zaman ve frekans alanı değişimleri sunulmuştur.

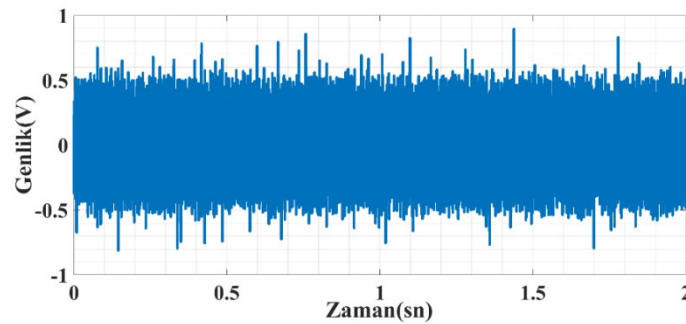


(a)

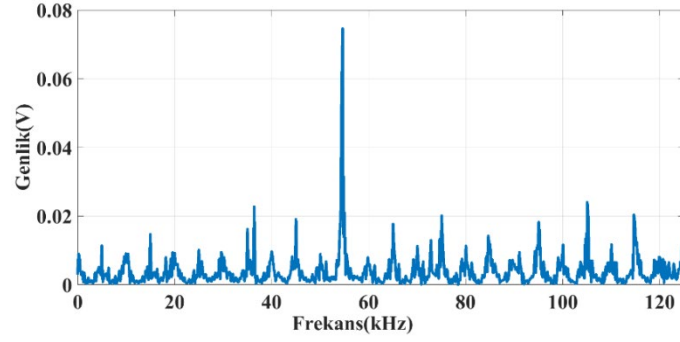


(b)

Şekil 4.19. FM gürültüsünün zaman (a) ve frekans alanında (b) ölçüm sonucu



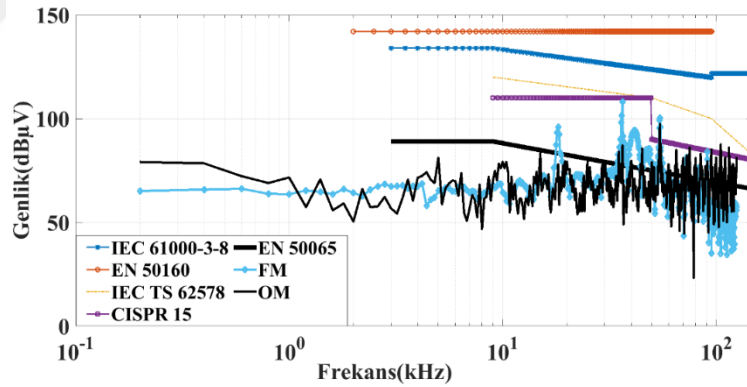
(a)



(b)

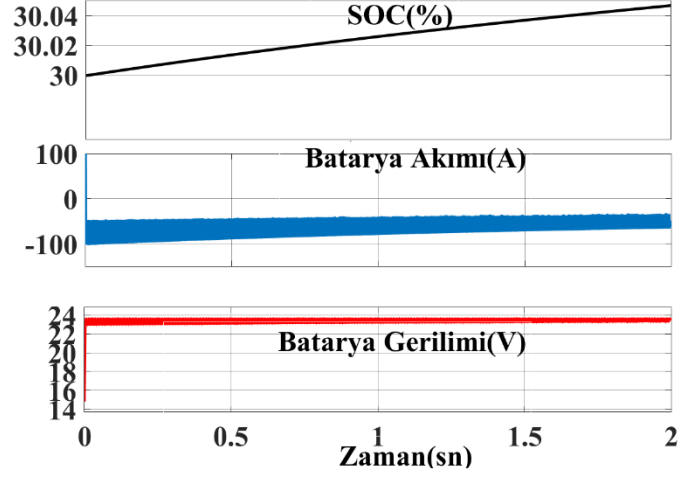
Şekil 4.20. OM gürültüsünün zaman (a) ve frekans alanında (b) ölçüm sonucu

Şekil 4.21’de FM ve OM mod gürültülerinin standart sınırlar ile kıyaslamasını göstermektedir. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi, FM ve OM gürültüleri EN-50065 sınırını aşmaktadır. Frekans arttıkça, FM kademeli olarak düşerken OM kademeli olarak artmış ve ölçüm aralığının sonunda tepe noktasına ulaşmıştır. Parazitik sığaç etkisi göz önüne alındığında, bu durum aslında frekans artışına bağlı olarak beklenmektedir. Çünkü frekans ne kadar büyük olursa, iletkenler, hat, nötr ve toprak arasındaki bağlantı o kadar güçlü olur.



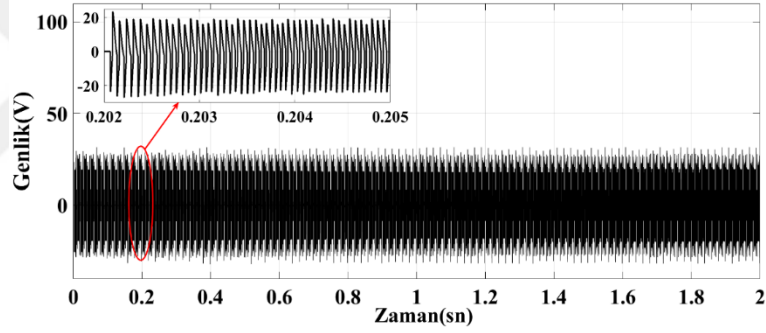
Şekil 4.21. Motor sürücüsü ve elektronik yükler koşulu altında FM ve OM gürültüsünün önerilen standartlarla karşılaştırılması

Yukarıda açıklanan deneysel çalışmaların yanısıra, Bölüm 3.2’de sunulan AA/DA dönüştürücüsü şebekeye bağlıyken elde edilen benzetim çalışmaları bulguları burada sunulmuştur. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi, çıkış gerilimi 24V’tur ve batarya dolmaktadır.



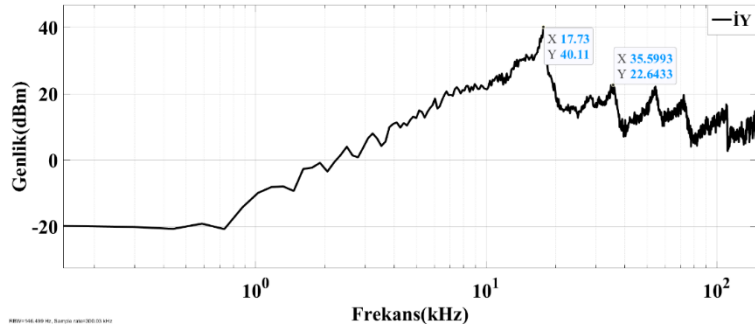
Şekil 4.22. Bataryanın SOC'ü, akımı ve gerilimi

Batarya dolarken dönüştürücünün anahtarlamasından kaynaklı zaman alanı İY cevabı Şekil 4.23'te gösterildiği gibidir.

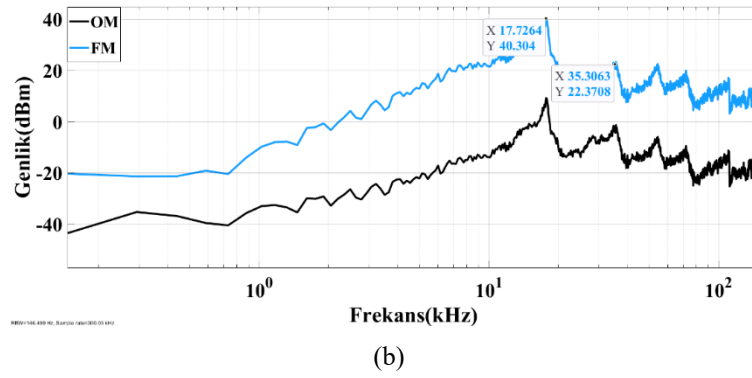


Şekil 4.23. Pozitif kaynak tarafı LISN'nın çıkışı

EMG alıcısından elde edilen işaretin frekans alanı zayıflatılması gereken toplam iletilen yayımın, OM ve FM gürültüleri Şekil 4.24'te verilmiştir.

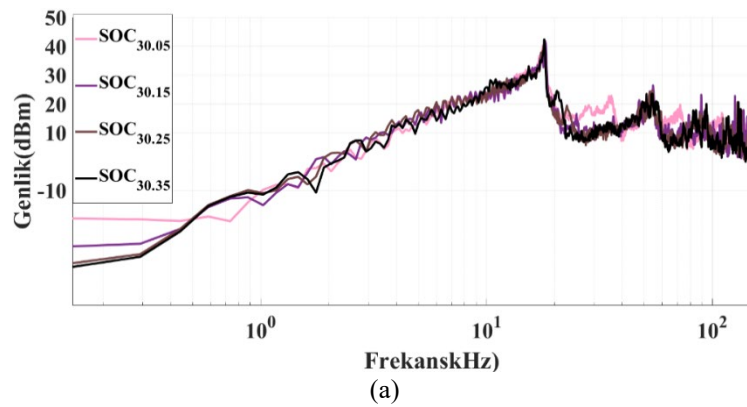


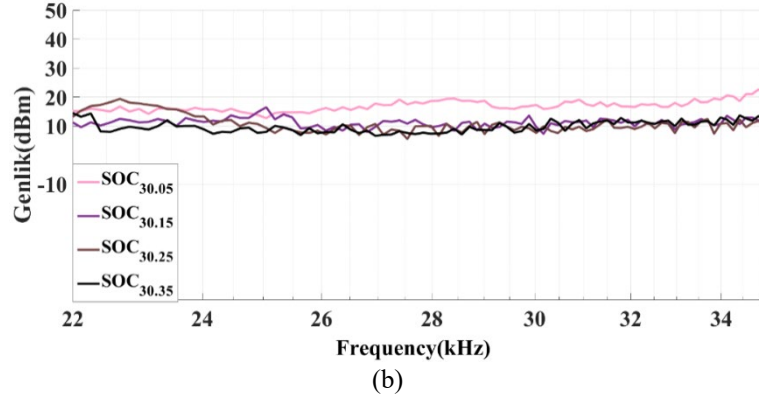
(a)



Şekil 4.24. EMG alıcısı çıkışı: Toplam İY (a) ile OM ve FM gürültüleri(b)

EMG alıcısından da okunduğu üzere anahtarlama frekansı Tablo 3.2’de verildiği gibi yaklaşık 18kHz’tir ve dönüştürücü istenilen anahtarlama frekansında doğrultma işlemini gerçekleştirmiştir. Tayf birimi, 150 kHz frekans aralığında dbmW cinsinden yayınım gücünü verir. Elektrikli bir araç hızlandığında veya yavaşladığında, lityum-iyon güç bataryası akım ve geriliminde (di/dt ve du/dt) hızlı değişiklikler yaşar. Elektrolitlerdeki iyon taşınımının difüzyon etkisini ve bataryanın polarizasyon etkisini etkilemesinin bir sonucu olarak, bir güç bataryasının empedansı parazitik değişkenlere uygun olarak değişebilir. Lityum-iyon batarya, elektromanyetik girişimle ilgili öngörülemeyen sorunlara yol açabileceğinden yüksek frekansta ideal bir bileşen olarak görülemez. Hücredeki dalgalanmalar, batarya paketi içinde diferansiyel akım akışlarına ve ısı oluşumuna neden olacağından, uygun şekilde yönetilmezse batarya ömrünü daha da kısaltacak ve aracın çalışmasını bozacaktır (Uddin et al. , 2016; Zhang and Lv, 2019). Deneysel çalışmada yapılamadığı için bu kısımda ayrıca batarya dolarken, Şekil 4.25’te SOC’un yayınımlar üzerindeki etkisi sunulmuştur.

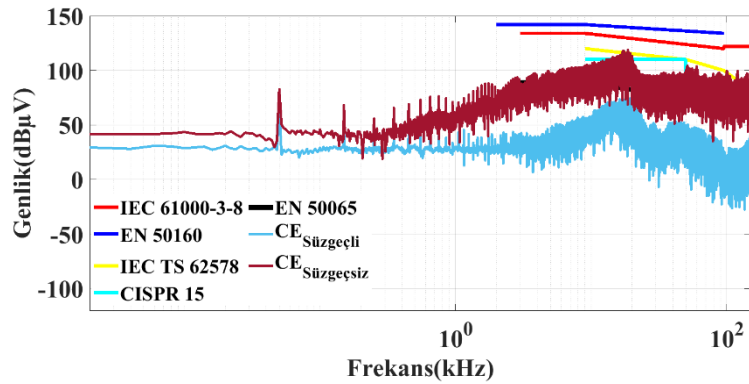




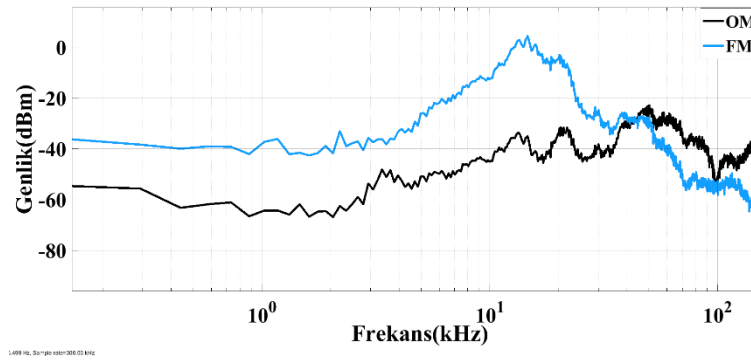
Şekil 4.25. SOC'un yayanımalar üzerindeki etkisi (a) ve ayrıntılı gösterimi (b)

İlgili frekans aralığında bataryanın empedansına uygun olarak SOC arttıkça yayınımlar azalır. Frekanstaki grafikler logaritmik ölçeğinde verilmiştir, aksi takdirde birçok ayrıntı gözden kaçabilir. İletilen yayınımlar bataryaların ömrünü de etkilemektedir. Bu durumun SOC'a bağlı değişimi incelendiğinde yayınımlar batarya dolarken azaldığını göstermektedir. İlk dolma anında yayınımlar daha fazladır. Bu durum bataryanın yaşlanma durumunu etkileyeceğinden, yapılan çözümleme EMG tasarımcılarına tasarım aşamasında bakış açısı kazandıracaktır.

Bölüm 3.3'te sunulan süzgeç devresi sisteme bağlandığında yayınımlar beklendiği üzere düşmüş ve köşe frekansı bulunurken veya süzgeç değişkenleri hesaplanırkenki adımlar doğrulanmış olmaktadır. Bu durumu net gözlemlemek için, Şekil 4.26'da ve Şekil 27'de süzgeçli ve süzgeçsiz durumda sırasıyla toplam yayınım, EMG alıcısından elde edilen FM ve OM gürültüleri kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre, yayınım güçlerinin bastırılması doğrulanmış ve EN-50065 standardının altında kalmıştır.

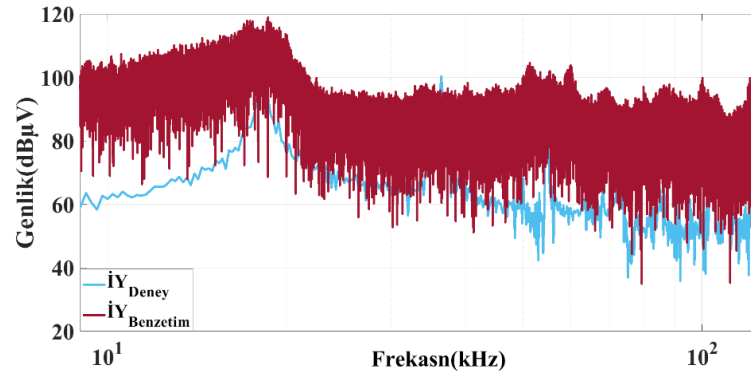


Şekil 4.26. Toplam iletilen yayının bastırılması



Şekil 4.27. Süzgeçlenmiş OM ve FM gürültülerinin EMG alıcısı görüntüsü

Ayrıca, 1210W dirençli yük için benzetim ve deneysel sonuçlar süzgeçsiz durum için gösterilmiştir. Dönüştürücü ticari bir üründür ve yapısında 9-150 kHz frekans aralığı için uygun olmayan fakat etkisi olan bir EMG süzgeci bulunmaktadır. Anahtarlama devresi parazitik sığaca sahiptir (Nielsen et al. , 2012) ve dönüştürücü bir kara kutu olduğu için değeri bilinmemektedir. Bu nedenle, deneysel sonuçlar benzetim sonuçlarından biraz daha düşüktür. Ayrıca bu ticari ürünün iç yapısındaki süzgeç değeri tam olarak bilinmediğinden ortak mod kapasitelerin seçimiyle iki sonuç örtüştürmeye çalışılmıştır. Bu durumda elde edilen süzgeç adımları ve değişkenleri başarılı sonuç verdiği için 9-150kHz frekans aralığı için deneysel çalışmada da kullanılabilir.

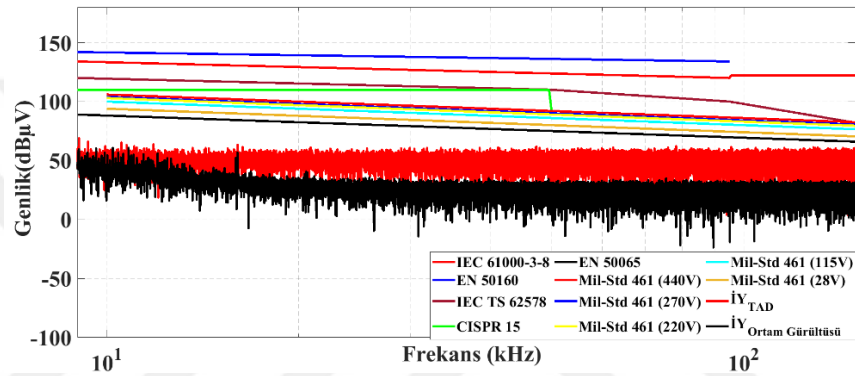


Şekil 4.28. Yayınının deneysel ve benzetim sonuçlarının karşılaştırması

4.3. Üç Faz Sistemlerde İletilen Yayınımlardan Elde Edilen Bulgular

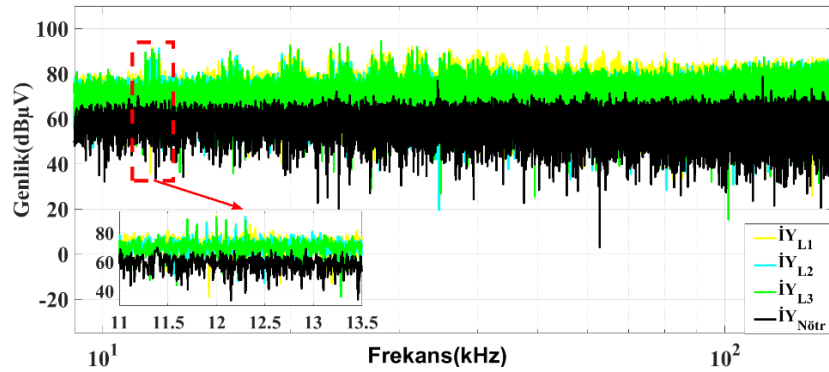
Bölüm 3.3'te üç faz sistemlerde yayınımların incelenmesi için açıklanan devreden ölçüm belirsizliklerine bağlı olarak elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

• **Kablo Uzunluğunun Etkisi:** Ölçümün yüksek doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini sağlamak için sistemde hiç enerji yokken ortam gürültüsü ve sürücü enerjiliyken fakat çalışmıyorken iletilen yayınımalar ölçülmüştür. Buradaki amaç testin güvenliği açısından yayınının ortam kaynaklı mı yoksa dönüştürücü kaynaklı mı olduğunu tespit etmek ve standart sınır koşulunu sağlam durumunu belirlemektir. Şekil 4.29’da görüldüğü gibi, üç fazlı sistemde L1 fazından ölçülen ortam gürültüsünün önerilen standartlara göre kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu gösterir. Fakat dönüştürücü çalışmadığı halde enerjilendiği durumda bile sisteme yayınım yaptığı gözlemlenmektedir.



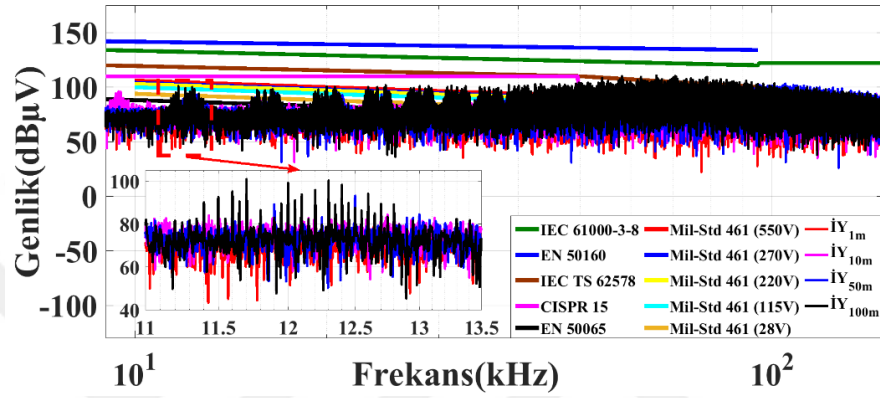
Şekil 4.29. Test ortamının gürültü seviyeleri ölçümü

Süzgeç tasarımı için gürültünün en yüksek değerli olduğu fazı belirlemek gerektiğinden, iletilen yayınımalar yüksüz koşullarda her faz için ölçülmüştür. Şekil 4.30’da verilen sonuç, her faz için İY bakımından önemli bir fark olmadığını gösterir. Sonuç olarak, fazlar arasında çok net fark olmamakla birlikte L1 fazındaki gürültü biraz daha fazla olduğundan tüm ölçümler bu fazdan yapılmıştır.



Şekil 4.30. Her fazda ölçülen iletilen yayınımalar

Bölüm 3.3'te verilen uzunluktaki kabloların yayınıma etkisi incelendiğinde Şekil 4.31'de verilen sonuçlar gözlemlenmiştir. Kablonun sığa etkisinden dolayı ortak mod gürültü artmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere kablo uzunluğu arttıkça sığa etkisinin artışına bağlı olarak yayınımlar artmaktadır. Şekil 4.31'de gösterildiği üzere farklı kablo uzunluklarının hepsinde EMG gürültüsü IEC61000-3-8 ve EN 50160 standartları dışında önerilen standartları aşmaktadır ve kablo uzunluğu arttıkça yayınımlar da artmaktadır.



Şekil 4.31. Kablo uzunluğunun İY'a etkisi

Bu frekans aralığı için deneysel olarak elde edilen yayınımları daha etkili bir şekilde yorumlamak için bu bölümde de istatistiksel hesaplamalar kullanılmıştır. Kruskal Wallis ve Mann-Whitney doğrusal olmayan istatistiksel testler uygulanmıştır. Kablo uzunluğuna bağlı Kruskal Wallis test cevabı Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Kablo uzunluğunun Kruskal Wallis cevabı

Gruplar	1m	10m	50m	100m
Ortanca Değer (Medyan)	70.3873	75.6239	76.5972	76.6743
Test İstatistiği	DF=3, H=19059.21, P*=0.000			
P* <0.01 (α anlam düzeyi): Yokluk kuramı reddedilir.				

Bu yaklaşımda, Kritik H değeri, $\alpha = 0.01$ anlamlılık düzeyi için Kruskal Wallis tablosundan 11.34 olarak belirlenmiştir. Kruskal-Wallis testi için hesaplanan H testi istatistiği Tablo 4.4'te verildiği gibi 19059.21'dir. Hesaplanan test istatistiği 11.34'ten çok daha büyük ve P değeri olarak değerlendirilen bu test istatistiğinin gerçekleşme olasılığı neredeyse sıfır olduğundan yokluk kuramı reddedilmiş ve gruplar arasında önemli bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Bu test gruplardan en az biri farklı ise

kuram reddedildiğinden, Mann-Whitney ikili karşılaştırma testi hangi ikili gruplar arasında fark olduğunu belirlemek için kullanılmıştır. Ancak, örneklem çok büyük ($30001 > 30$) olduğundan, test istatistiği büyük örnek yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu durumda, Mann-Whitney U test istatistiği normal bir dağılım izler ve Z değerlerine dönüştürülür. Elde edilen sonuç Tablo 4.5'te verilmiştir.

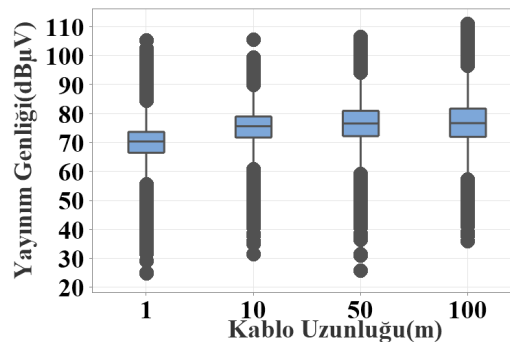
Tablo 4.5. Kablo uzunluğunun Mann-Whitney cevabı

Gruplar	U İstatistiği	Z Değeri	P* Değeri
1m-10m	679686000	108.2545	0
1m-50m	655841000	97.0145	0
1m-100m	659485000	98.7322	0
10m-50m	848016000	187.6014	0
10m-100m	843021000	185.2469	0
50m-100m	893059000	208.8336	0

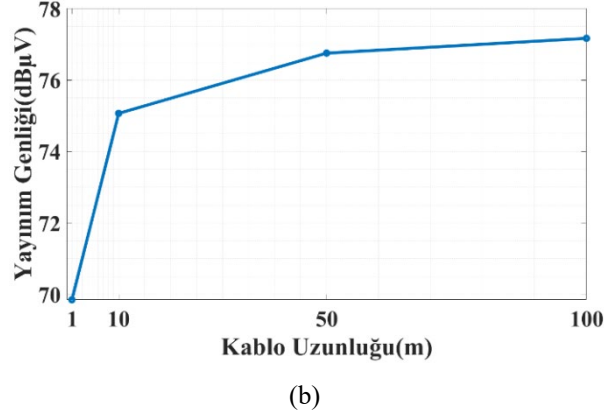
P* < 0.01 (α anlam düzeyi): Yokluk kuramı reddedilir.

Genel normal dağılım tablosu kullanılarak 0.01 anlamlılık düzeyinde Z değerleri için kritik değer 2.33 olarak bulunmuştur. Tablo 4.5'deki sonuçlara göre Z değeri kritik değerden önemli ölçüde büyüktür, bu da tüm grupların ortalamalarının birbirinden farklı olduğu anlamına gelmektedir.

Daha sonra, büyük miktardaki bilgiyi özlü ve anlaşılır bir şekilde aktarmak ve gruplar arasındaki farklılıkları bulmak için görsel bir yöntem olan Kutu grafiği ile ana etki grafiği Şekil 4.32'de verildiği üzere kullanılmıştır.



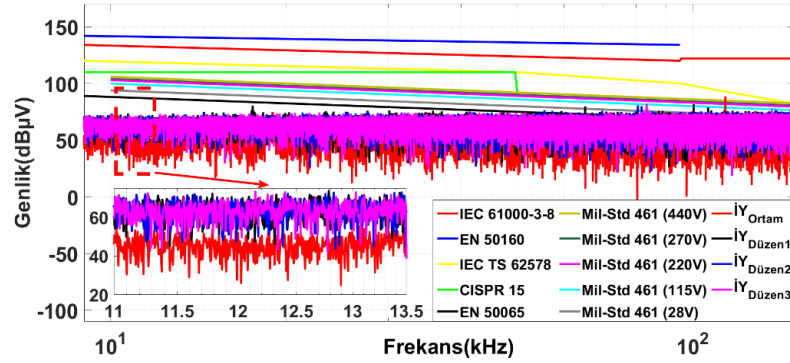
(a)



Şekil 4.32. Farklı kablo uzunluğu için ‘kutu grafiği’ (a) ve ‘ana etki grafiği’ (b) kablo uzunluğunun etkisi

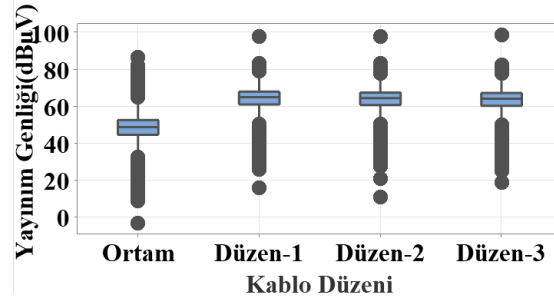
Bu sonuçlara göre, uzunluklar arasında istatistiksel bir fark olup kablo uzunluğu arttıkça yayınımlarda önemli bir artış olduğu sığaca bağlı olarak belirlenmiştir (Souza et al. , 2018). Bu testlerin elde edilmiş örneği bu bölümde ayrıntılı açıklandığından diğer bölümlerde tekrar detaylandırılmayacaktır.

• **Kablo Düzeninin Etkisi:** Bölüm 3.3’te verilen kablo düzenlerinden elde edilen sonuçlara göre İY, Şekil 4.33’te görüldüğü üzere EN 50065, MIL STD (28V) ve MIL STD (115) standart sınırları aşmaktadır.

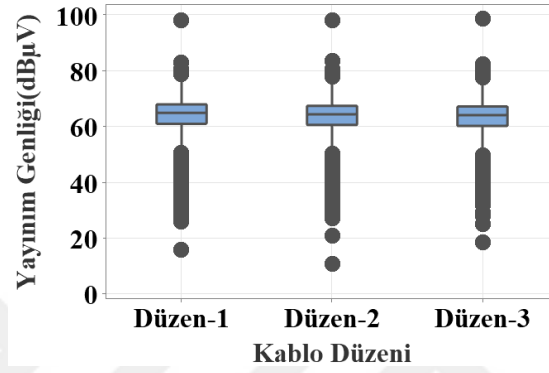


Şekil 4.33. Kablo düzeninin İY’a etkisi

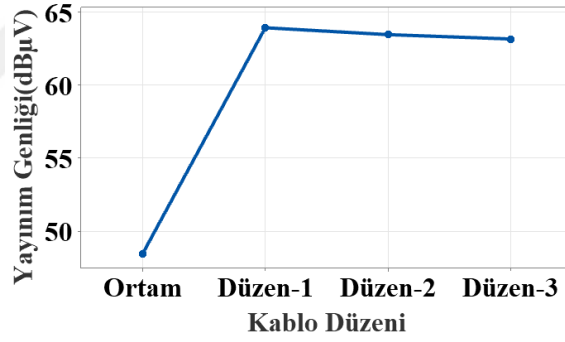
Şekil 4.34’deki sonuçlara göre kablo şeklinin yayınımlar üzerinde etkisi olduğu görsel yaklaşımlarla doğrulanmıştır.



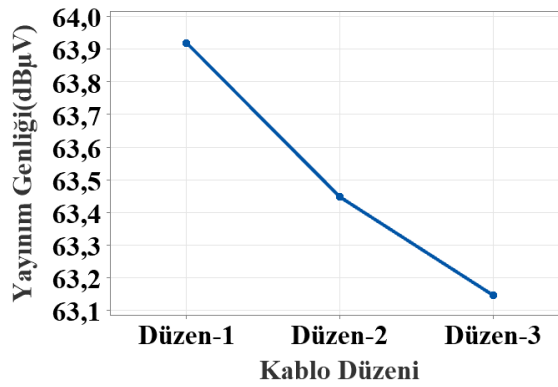
(a)



(b)



(c)

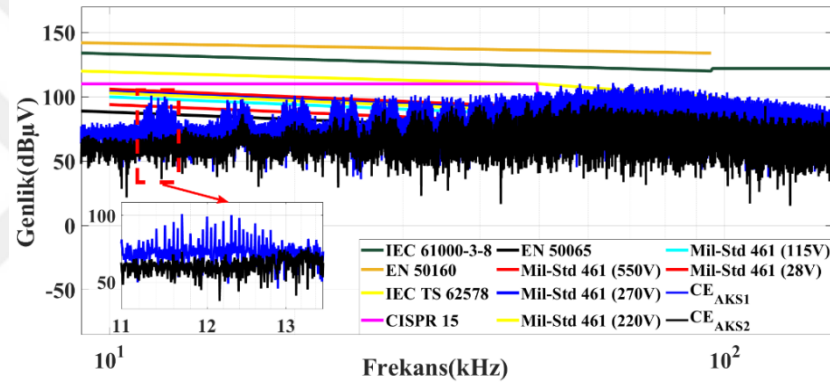


(d)

Şekil 4.34. Kablo düzeninin İY'a etkisinin kutu grafikleri (a), (b) ve ana etki grafikleri (c), (d)

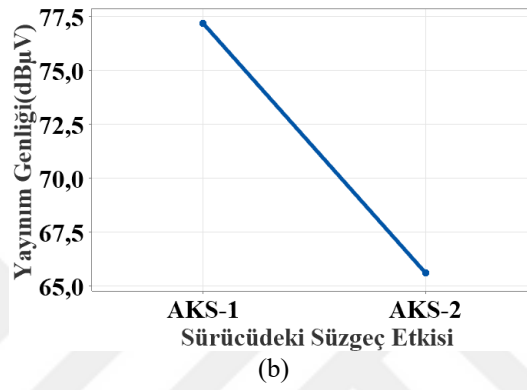
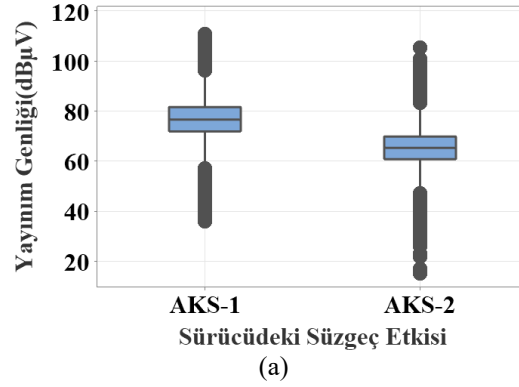
Kablo kıvrımı arttıkça kablonun ortak kuplaj endüktif etkisinden kaynaklı yayınımlar artmaktadır. Sonuçlara göre, kablonun kıvrım şekli de yayınının etkisini arttırmaktadır. Buna göre, kablo düzeni Şekil 3.24 (a) 'daki gibi sarıldığında ortak kuplaj etkisi artacağından yayınımlar en yüksek değerde olmaktadır (Kong et al., 2015). Bu sebeple yayınının en az olması için kablo düzeni Şekil 3.24 (c)'de olduğu gibi önerilmektedir.

•**Sürücünün Süzgeç Etkisi:** Bölüm 3.3'te verilen sürücüler ayrı ayrı test edildiklerinde, Şekil 4.35'te görüldüğü gibi, AKS-1'in EMG süzgeci olmadığı ortaya çıkmıştır. AKS-1'den iletilen yayınımlar CISPR 15, EN 50065 ve MIL-STD standartlarını aşarken, AKS-2'den iletilen yayınımlar MIL STD ve EN 50065 standartlarını aşmaktadır.



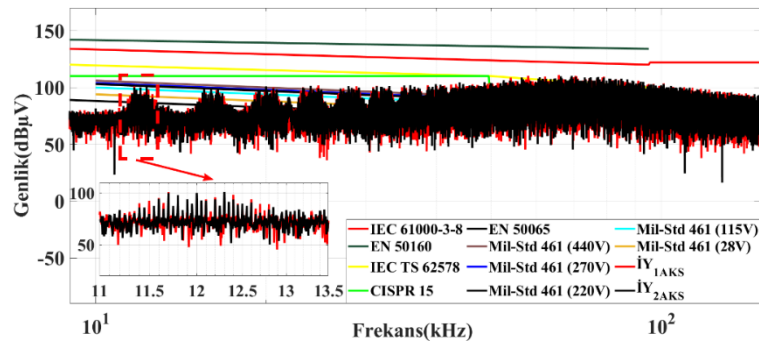
Şekil 4.35. Sürücüdeki süzgecin yayınıma etkisi

AKS 2'nin bir EMG süzgeci olmasına rağmen (1. sürücü, 2.sürücünden daha düşük gürültü seviyeleri sergiliyorsa, sürücünün bir süzgeci olması muhtemeldir). Bulgular, bir sürücü geleneksel süzgeç yapıları olmasına rağmen 9kHz ile 150kHz aralığındaki frekansları yeterince bastırmak için önerilen standart sınırları karşılamak için süzgecin yeniden tasarlanması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, en fazla girişim yayan AKS-1 tüm ölçüm belirsizliği değerlendirmeleri için seçilmiştir. Bu sonuç Şekil 4.36'da gösterilen istatistiksel sonuçlarla da desteklenmektedir.



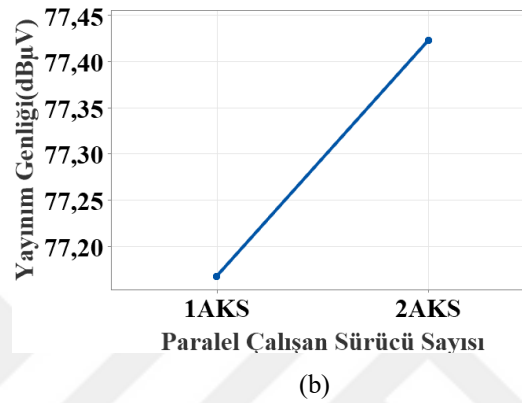
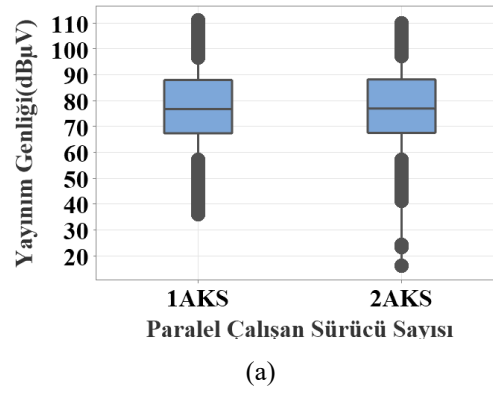
Şekil 4.36. Sürücüdeki süzgecin yayınıma etkisinin kutu (a) ve ana etki (b) grafiği

• **Birlikte Kullanılan Sürücülerin Etkisi:** Bölüm 3.3’te verilen sürücülerden önce AKS-1 bir sürücüsü devreye alınmış ve ardından iki sürücü (AKS-1 + AKS-2) paralel bağlanmıştır. Her iki koşulda da İY Şekil 4.37’de görüldüğü üzere, IEC-61000-3-8, EN-50160 ve IEC-TS 62578 dışındaki standartları aşmaktadır.



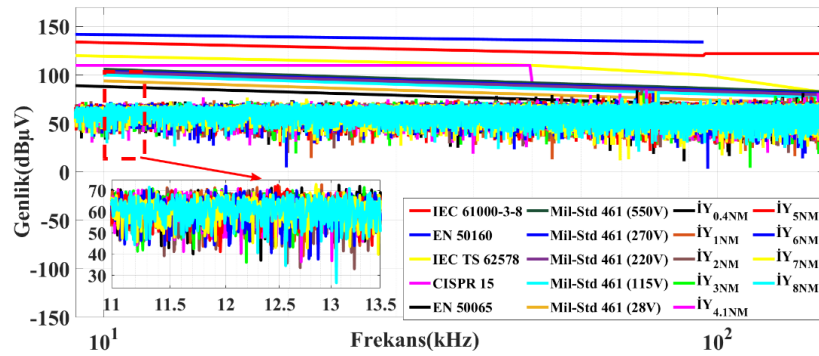
Şekil 4.37. Paralel bağlı dönüştürücünün yayınıma etkisi

Şekil 4.38, paralel bağlı durumda dönüştürücü sayısı artmasına rağmen toplam artış ayrı ayrı bağladığı durumdaki toplam artışlar kadar olmamakla beraber doğrusal olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.38. Paralel bağlı dönüştürücünün yayınıma etkisinin kutu (a) ve ana etki (b) grafiği

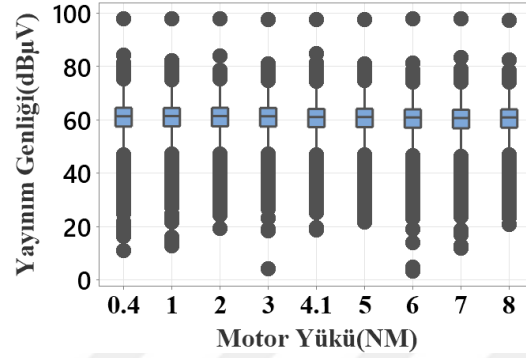
• **Motor Yüğü Etkisi:** Bölüm 3.3’te verilen tüm yük koşullarında Şekil 4.39’da görüldüğü üzere İY, EN-50065, MIL STD-(28V) ve MIL STD- (115) standart sınırları aşmaktadır.



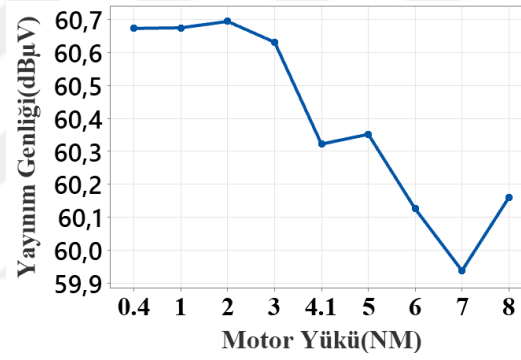
Şekil 4.39. Farklı yük durumlarına bağlı İY değişimi

Sonuçlara göre tüm yük tiplerinde bir EMG süzgecine ihtiyaç vardır. Ancak yüklere göre süzgeç tasarımı yapılmalıdır. Şekil 4.40’tan görülebileceği gibi, girişimler düşük yük veya yüksüz koşullar için en yüksektir. Bunun nedeni, düşük yük veya yüksüz koşullar altında yük az olduğundan motor daha rahat dönmektedir.

Motorun iç yapısında bulunun endüktansın reaktansı süzgeç görevi görürken yüksüz durumda kaymaya bağlı azalış göstermektedir. Bu durumda iletilen yüksek frekansı bastırmak zorlaşmaktadır. Düşük bir yük olduğunda, devre bu bozulmaları etkili bir şekilde azaltamayabilir ve bu da daha yüksek seviyelerde EMG'e yol açabilir.



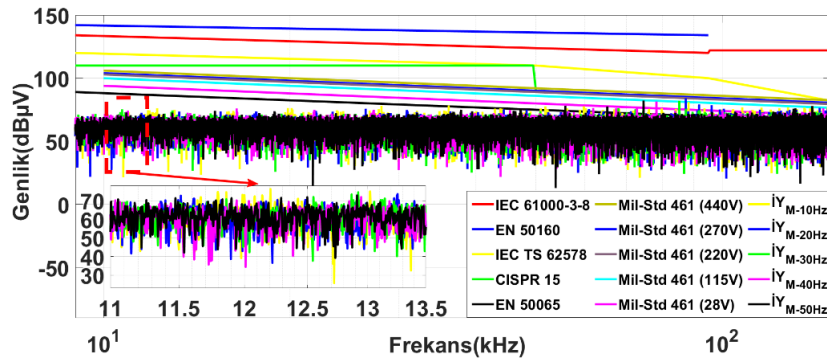
(a)



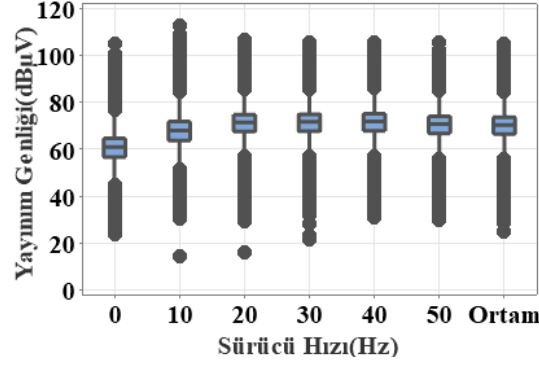
(b)

Şekil 4.40. Farklı motor yükü durumlarında İY'ın kutu (a) ve ana etki (b) grafiği

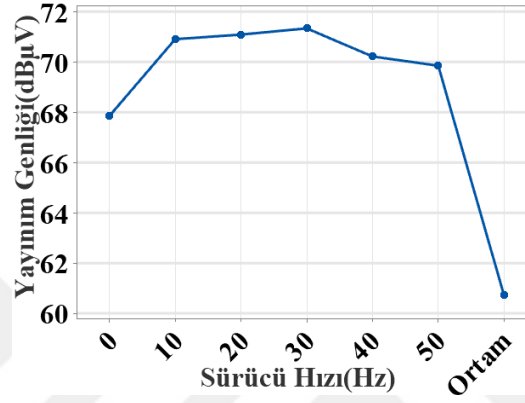
• **Motor Hızı Etkisi:** Bölüm 3.3'te verilen tüm hız koşullarında İY, Şekil 41 ve Şekil 4.42'den görüldüğü gibi EN-50065, MIL-STD (28V) ve MIL-STD (115) standart sınırlarını aşmaktadır.



Şekil 4.41. Motor yüksüz durumdayken farklı frekans/hız koşullarında İY



(a)

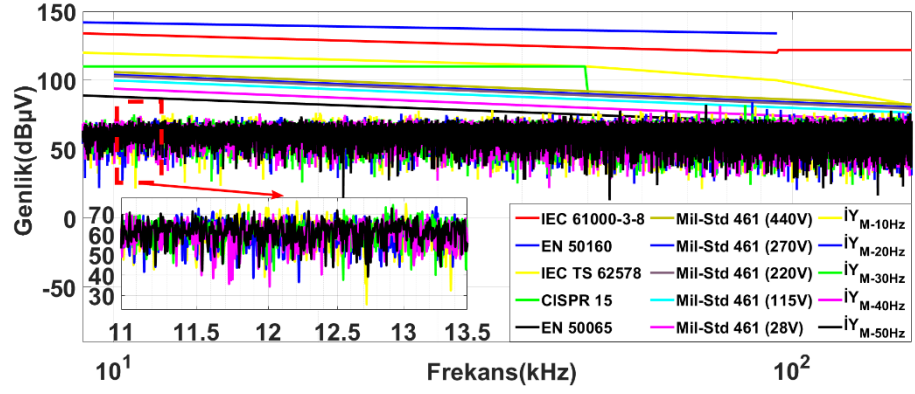


(b)

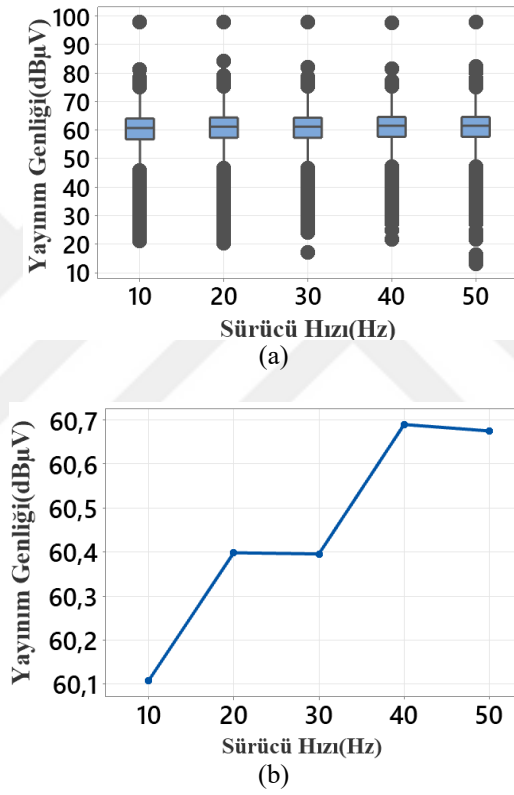
Şekil 4.42. Farklı motor hızında yüksüz durumda İY'in kutu (a) ve ana etki (b) grafiği

Bu sonuçlara göre, sürücü tarafından şebekeden çekilen akımdaki yüksek frekanslı harmonik bileşenlerin değeri, motor düşük frekansla çalıştırırken, temel ve 50. harmoniklerin altındaki harmoniklerin oranı olarak daha kaydedeğer olduğunu göstermektedir. Motor hızı arttıkça sürücü gerekli gücü daha düşük bir yüksek frekans akımı oranıyla sağlayabilir ve bu durum da iletilen yayılım miktarını azaltır. Bunun nedeni, motorun endüktansının yüksek frekanslı bileşenlerinin yayılımın frekansı arttıkça artması ve gürültüyü süzgeçlemesi ile genel olarak daha düşük bir gürültü seviyesi elde edilmesidir. Bu nedenle, asenkron motor hızı arttıkça, yüksek frekanslı akım oranındaki azalma nedeniyle sürücü tarafından iletilen EMG azalır.

Ayrıca, daha iyi bir süzgeç tasarımı için en kötü durumu belirlemek amacıyla 8Nm yük koşulu altında sürücü etkisinin hızı da araştırılmıştır. Yüklü durumda yüksüz durumda farklı olarak, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te gösterildiği gibi, motorun frekansı arttığında iletilen yayılım artmıştır. Bu durum, yükün yayılım seviyelerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

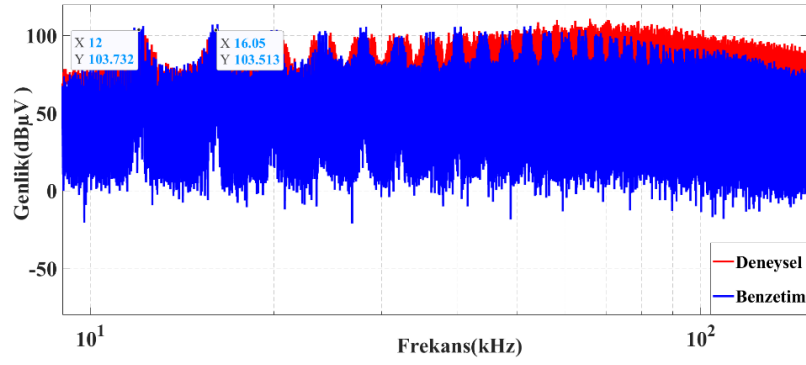


Şekil 4.43. Motor yüklü durumdayken farklı frekans/hız koşullarında İY



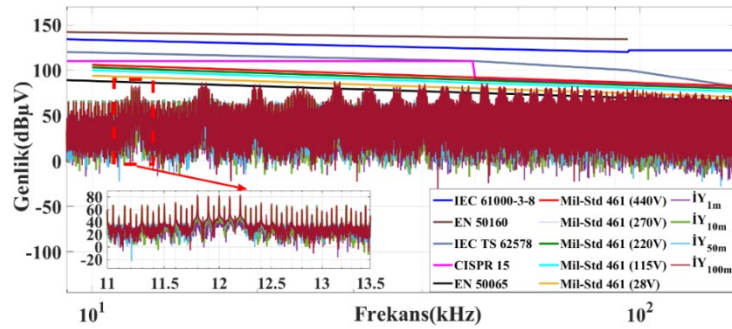
Şekil 4.44. Farklı motor hızlarında yüklü durumda İY'nin kutu (a) ve ana etki (b) grafiği

Yukarıda açıklanan deneysel bulguların yanısıra 3.3'te sunulan PSIM benzetim sonuçları bu bölümde sunulmuştur. En kötü durum şartlarına göre EMG süzgeç tasarım adımları uygulamış ve deneysel çalışma için de uygun olması açısından pratik bir yaklaşım uygulanmıştır. Bu amaçla, deneysel çalışmadan ve Bölüm 3.3'te sunulan benzetimden elde edilen sonuçlar Şekil 4.45'te verildiği üzere kıyaslanmıştır.



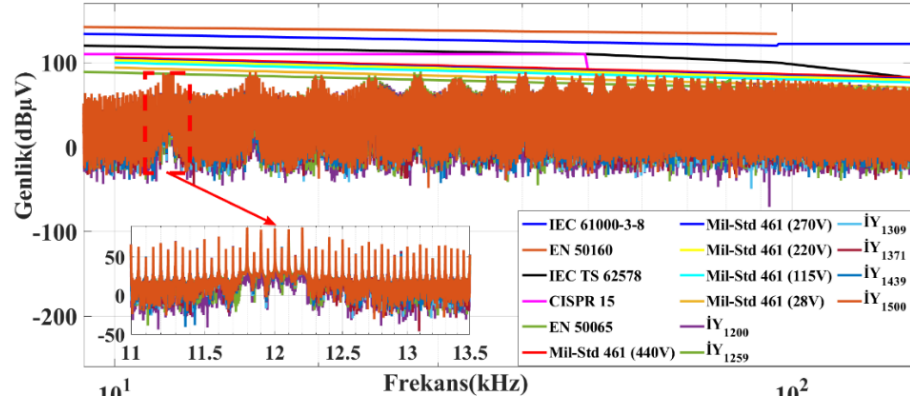
Şekil 4.45. Benzetim ve deneysel çalışmanın kıyaslanması

Sonuçlardan görüldüğü üzere deneysel çalışma ile benzetim sonuçları büyük ölçüde paralel sonuçlar elde edilmiştir ve 4kHz'lik anahtarlama frekansı da sağlanmaktadır. 50kHz'in üstündeki yayınımlar arasındaki küçük fark ortak mod sığaç değerinin net bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Fakat en uygun değerler deneyerek benzetim devresi gerçek sonuçlara en yakın sonucu verecek devre olarak belirlenmiştir. Bu durumda elde edilecek süzgeç, benzetime dayalı tasarım açısından gerçek sonuçlara yakın sonuçlar vereceğinden tasarımcılar için pratik bir yaklaşım olacaktır. Aynı zamanda ölçüm belirsizliklerinin devre yolu ile denetimi açısından da önemlidir. Bu nedenle, kablo uzunluğu etkisi benzetim ortamında da deneysel çalışmanın doğruluğu açısından araştırılmıştır.



Şekil 4.46. PSIM ortamında farklı kablo uzunluğunun İY'a etkisi

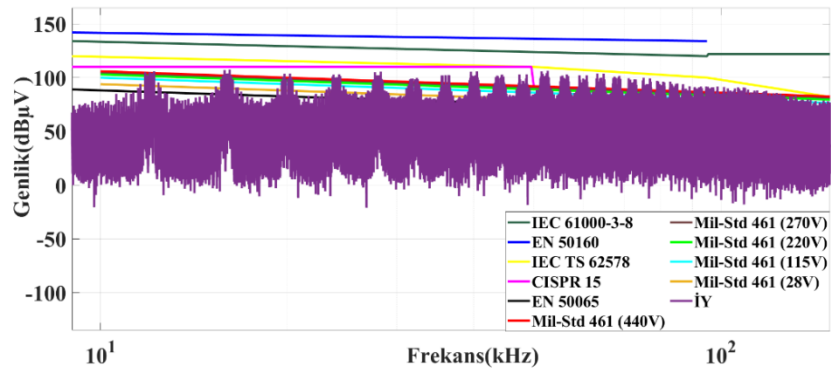
Kablo uzunluğunun etkisi Şekil 4.46'da verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere deneysel çalışmayla paralel olarak kablo uzunluğu arttıkça yayınımlar da artmıştır. Yayınının yük koşullarındaki davranışını değerlendirmek için farklı yük koşulları da benzetim ortamında değerlendirilmiştir. Yüklene durumuyla ters orantılı olan motorun hız değerleri Şekil 4.47'de sunulmuştur ve motor yüklendikçe İY değişkenlik göstermektedir.



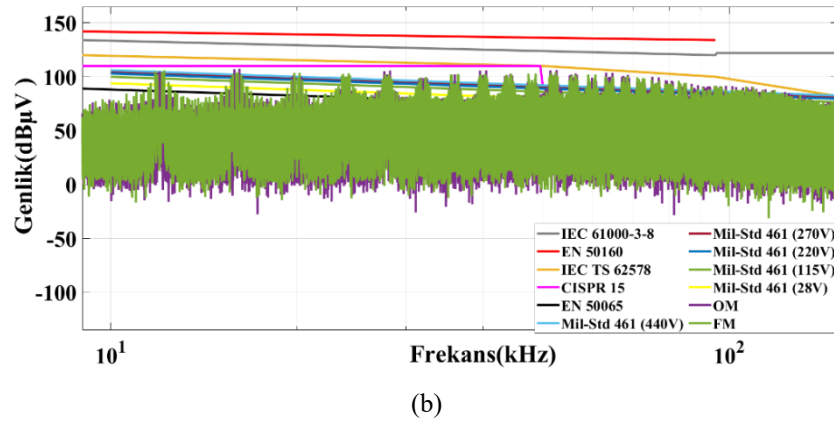
Şekil 4.47. PSIM ortamında farklı yük koşullarının İY'a etkisi

Şekil 4.47'de gösterildiği gibi, yük arttıkça İY deneysel koşulla paralel olarak azalmaktadır. Sonuçlardan görüldüğü üzere, benzetim ve deneysel sonuçlar ölçüm belirsizlikleri bakımından tutarlıdır. Bu durum, benzetim ortamında motor sürücüsünden EMG'nin farklı durum koşullar altındaki davranışını tahmin etmek için değerli bir araç sağladığını göstermektedir. Başka bir deyişle deneysel ortamda denenmeyen diğer ölçüm belirsizliklerinin uygulanmasına kolaylık sağlamaktadır (100m'den uzun kablo tipleri, farklı yük ve hızlar vb.). Ayrıca sistemin süzgeçli durumda davranışının incelenmesine de olanak vermektedir. Bu aşamada, PSIM ortamında süzgeç tasarımı en kötü durum olan yüksek motor hızı, yüksüz durum ve uzun kablo kullanılarak yapılmıştır.

Şekil 4.48'de verildiği üzere modellenen sistemden ölçülen yayılım 9-150kHz frekans aralığını kapsayan standart sınırlarla karşılaştırılmıştır. Benzetimden elde edilen sonuçlara göre OM ve FM gürültülerinin en alt standardı (EN 50065) aştığı görülmektedir. Buna göre süzgeç tasarımı için sınır EN50065 olarak belirlenmiştir.

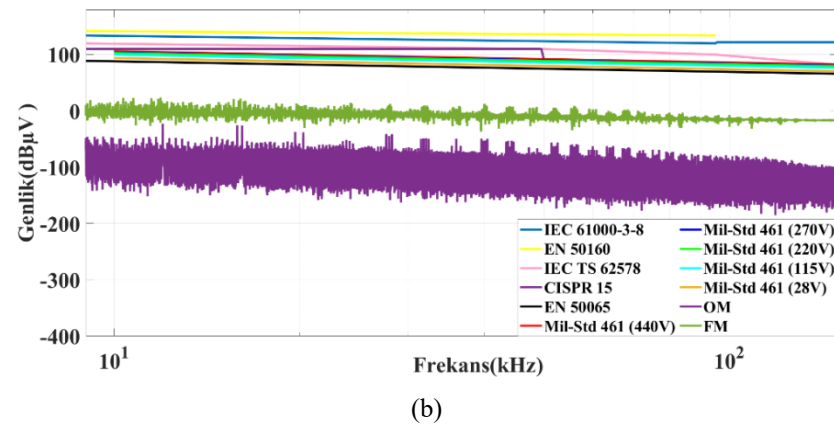
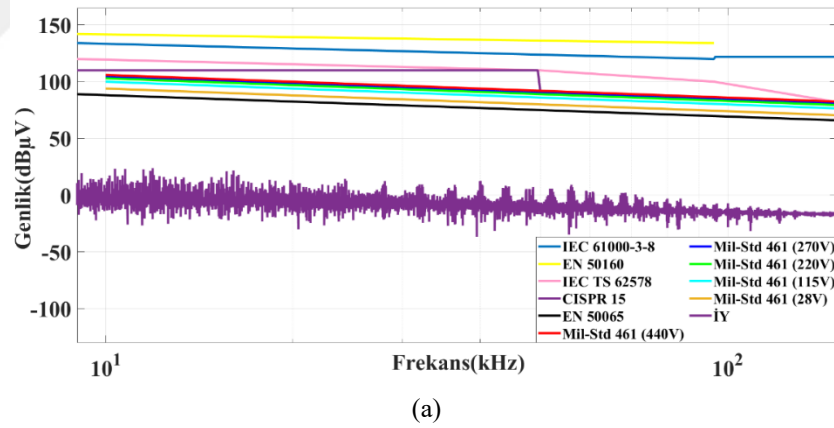


(a)



Şekil 4.48. Süzgeçsiz durumda toplam İY (a) ve OM ile FM gürültüleri (b)

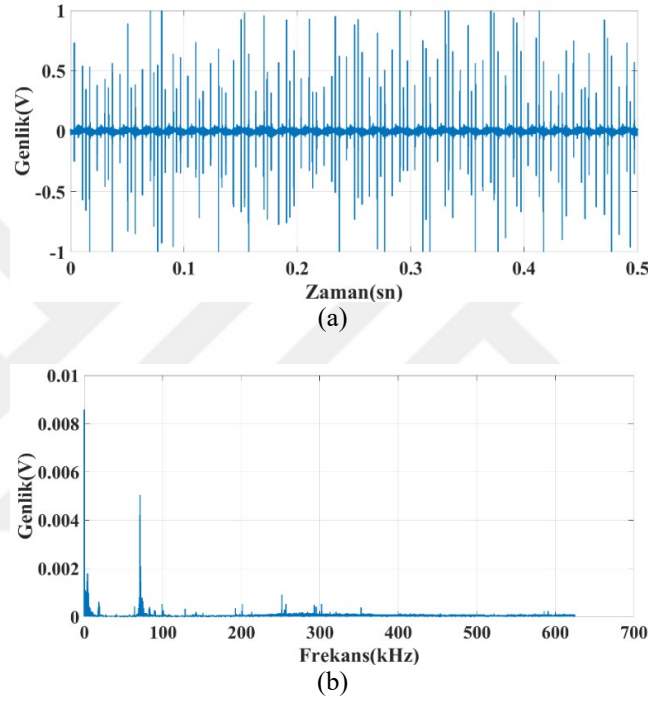
Bölüm 3.3'te hesaplanan süzgeç değişken değerlerini doğrulamak için süzgecin eleman değerleri benzetim ortamında test edilmiştir. Şekil 4.49'daki süzgeçlemeden önceki duruma göre süzgeçlemeden sonra toplam İY, OM ve FM gürültüleri azalmıştır. Şekil 4.49'daki benzetim sonuçlarına göre süzgeç gerekli zayıflamayı karşılamaktadır. Bu nedenle gerçek süzgeç tasarımında aynı sürecin uygulanması sorun olmayacaktır.



Şekil 4.49. Toplam gürültünün (a) ve OM-FM (b) gürültülerin süzgeç ile bastırılması

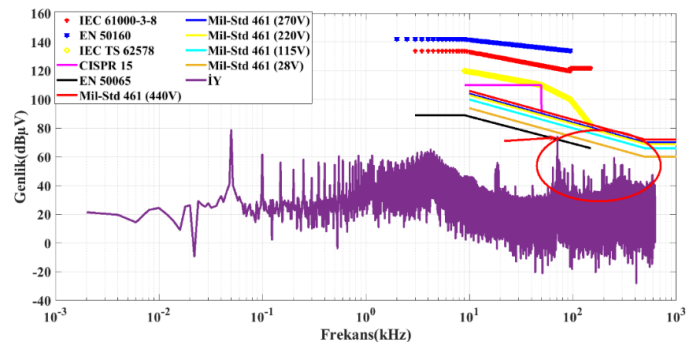
4.4. Üç Faz EMG Süzgecinden Elde Edilen Bulgular

Bölüm 3.4’te deneysel ortamda oluşturulan süzgeci test etmek için öncelikle, süzgeçsiz durumda düzenek oluşturulmuştur. Şekil 4.50 (a)’da bu yayınımların zaman ve frekans alanı cevapları görülmektedir. Sürücünden kaynaklı anahtarlamalar zaman alanı sonuçlarından net şekilde görülmektedir fakat bu girişimlerin ilgili frekans genliği Şekil 4.50(b)’de verilmiştir. Buna göre, sürücü anahtarlamasına bağlı olarak 2kHz üstü harmonikler görülmektedir.



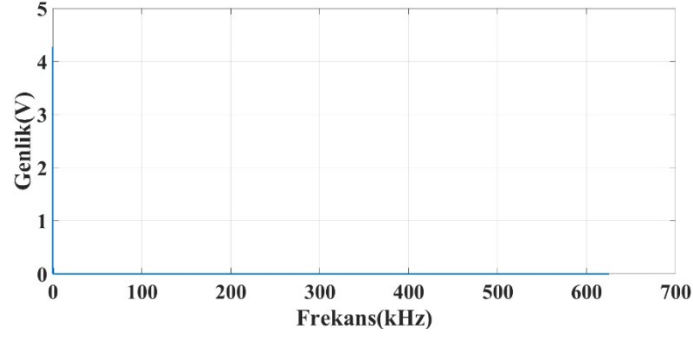
Şekil 4.50. Süzgeçsiz durumda iletilen yayınımların zaman(a) ve frekans alanı cevabı

Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de verildiği üzere süzgeçsiz ve süzgeçli durumda iletilen yayınımların bastırılma durumu gözlemlenip karşılaştırmalı bir değerlendirme ile sunulmuştur. Süzgeçsiz durumda yayılım EN-50065 standartını aşmaktadır.

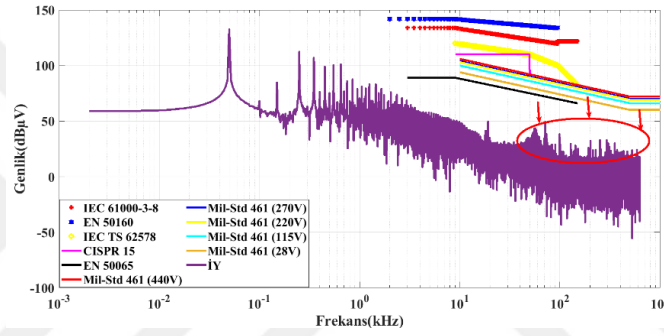


Şekil 4.51. Süzgeçsiz durumda İY

Sisteme üç faz süzgeç bağlandığında, toplam İY Şekil 4.51(a)'a göre net şekilde azalmakta ve ilgili standart sınır aşılmamaktadır. Şekil 4.51(b)'de verildiği üzere 2kHz'in üzerindeki yayınımların genliği sıfıra yakın değere düşürülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 4.52. Süzgeçli durumda yayınım işaretinin frekans alanı cevabı (a) ve ilgili standartlarla kıyaslanması(b)

5. SONUÇ

Bu çalışmada yaygın kullanılan DA, tek faz AA ve üç faz AA dönüştürücülerinden şebekeye iletilen yayınımalar ele alınmıştır. Bu yayınımaların ölçüm yöntemleri, ölçüm yöntemlerindeki belirsizliklerin genel değerlendirilmesi ve en kötü ölçüm durumunu ele alan süzgeç tasarım adımları deneysel ve benzetim ortamlarında ele alınmıştır.

DA sistemlerinde iletilen yayınımalar ele alındığında anahtarlama frekansı dışındaki harmoniklerin geçici durumu spektogram kullanılarak tespit edilmiştir. PSIM ve MATLAB ortamında oluşturulan benzetimlerde yayınımalar açısından benzer sonuçlar elde edilmiştir. DA sistemlerinde güç kalitesi bakımından eksiklik olduğundan bu frekans aralığında kullanılan diğer sistemlerin güç kalitesi dizinleri kullanılmıştır. Değişken yük durumunda yük artışına bağlı yayınımalar azalırken, GOD ve dalgalanma dizini artmaktadır. Giriş gerilimi artarken yayılım artarken, GOD ve dalgalanma dizini düşmektedir. Ayrıca DFSB bakımından doğrusal bir değişim görülmemiştir. Yani, giriş geriliminin düşük olması ve yüklü durum yayınımalar bakımından fayda sağlasa da, önerilen güç kalitesi dizinleri bakımından eksi durumdur. Ayrıca sisteme birden fazla dönüştürücü bağlandığında yayılımın doğrusal bir artışla değişmediği görülmüştür. Bu durum yüksek sayıda yenilenebilir enerji/elektrikli aracın sisteme bağlanması durumunda önemli olacaktır.

Elektrikli araçlar ve yenilenebilir sistemler için AA şebekelerinde bulunan AA/DA dönüştürücülerin etkisini nicelleştirmek için zaman-frekans alanında iletilen yayınımaların ölçümleri ve tasarımı hem deneysel ortamda hem benzetim ortamında sunulmuştur. Bu çalışmanın odak noktası 150 kHz altı frekans aralığındaki iletilen yayınımalar olmuştur. Burada yayınımları çözümlmek için hazır bir ölçüm cihazı olan EMG alıcısı kullanılmamış, daha hassas ölçüm için işaretlerin harmonik tayfları KZFD tekniği kullanılarak bulunmuştur. Bu, daha hassas süzgeç tasarımlarının oluşturulmasına ve ilgili aralık için önerilen sınırların eklenmesine yardımcı olmuştur. Uluslararası standartların bir sonucu olarak dönüştürücüler için EMG gereksinimleri doğrusal ve doğrusal olmayan yük durumları altında tartışılmıştır. Yükün İY üzerindeki etkisi istatistiksel yaklaşıma dayalı olarak incelenmiştir. İletilen yayınımaların doğrusal olmayan yük durumunda daha yüksek olduğu kanıtlanmıştır. Şebekeye bağlı çift yönlü dönüştürücü sisteminin FM gürültüsü başlangıç frekansında daha yüksek değerlikliken, OM gürültüsü parazit etkiden dolayı artar. Sonuç olarak,

İY'ı en aza indirmek ve bu çift yönlü sistemi korumak için İY zayıflatma hesaplama yaklaşımı açıklanmıştır. Ayrıca, tasarımı en kötü durum şartının istatistiksel yaklaşımla belirlendiği süzgecin başarımını doğrulamak için bir benzetim ortamında devre oluşturulmuş ve doğrulanma sağlanmıştır. Batarya dolarken SOC arttıkça İY'ın azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışma, ortaya çıkan elektrik yükünün tahmin edilmesinin ötesinde artan sayıda bağlı elektrikli araç ve yenilebilir enerji sistemleri açısından EMG tepkisinin anlaşılmasına ve frekans sızıntısını azaltmak için başka tekniklerin denenmesine yönelik çalışmaların geleceğine izin verecektir. Bu çalışmada matematik tabanlı elde edile sonuçlar tek faz sistemlerde EMG'nin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca, elektrikli araçlar için AA/DA dönüştürücülerdeki iletilen yayılımlar hakkındaki bilgiler, gelecekteki araştırmalar için bu alanların ele alınmasıyla daha da geliştirilebilir ve bu da daha iyi güç kalitesi, daha az elektromanyetik girişim ve daha güvenilir ve verimli şarj altyapısı demektir.

Üç fazlı iletilen yayının ölçümlerindeki belirsizlikler 9-150 kHz frekans aralığı için AKS sürücüler temelinde araştırılmıştır. Her bir ölçüm belirsizliği için, yayınımları daha iyi çözümlemek için istatistiksel yaklaşım kullanılmıştır. EMG'yi ortadan kaldırmak için etkili bir işlevsel tasarım için öncelikle EMG'nin dönüştürücüde nasıl üretildiğini anlaması gerekir. Bu çalışmada, kablo uzunluğu, kıvrılma şekli, motorun hızı ve yük dahil olmak üzere iletilen yayınımlarla ilgili belirsizliklere ilişkin büyük bir resim sunmaktadır.

Üç faz sistemlerde deneysel sonuçlardan elde edilen bilgilere dayanarak, iletilen yayınımlar için en kötü çalışma durumu sistemin uzun bir kabloya, yüksek sürücü hızına ve dairesel kıvrımlı bir yapıya ve yüksüz bir duruma sahip olduğu zamandır. Bu etkenler, iletilen yayının seviyelerinin artmasına yol açabilirler ve tasarımcıların güç dönüştürücülerini tasarlarken bunları göz önünde bulundurması gerekir. Bu nedenle, en uzun kablo uzunluğuna sahip yüksüz bir durum, kabloların ortada paketlenmesi ve sıkılması, yüksek hızlı sürücülerin varlığı ile birlikte bu etkilerin derecesini artırır. Bu sorunların tasarım sürecinin erken aşamalarında ele alınmasıyla, iletilen yayınımların sistemin genel başarımı üzerindeki etkisini önlemek veya en aza indirmek mümkün olabilir. Tasarımın belirtilen standartlara uygun olmasını sağlamak için süzgeç tasarımında ölçüm belirsizliklerini dikkate almak çok önemlidir. Ölçüm belirsizliklerinin göz ardı edilmesi, tasarımın gerçek dünya koşullarında beklendiği başarımı gösterememesine neden olabilir.

Bu belirsizlikler göz önünde bulundurulduğunda en kötü duruma göre hesaplanan süzgeç yapılarının başarımları deneysel ve benzetim ortamında test edilmiştir. Devre süzgeçsizken yayınımın 9-150 kHz frekans aralığı için önerilen standart sınırları aştığı görülürken, EMG süzgeçli durumundayken yayınımın bastırıldığı doğrulanmıştır. Bu frekans aralığı, birçok elektronik cihaz tarafından üretilen ve iletilen elektromanyetik gürültünün yaygın olduğu yerdir ve bu nedenle süzgecin bu aralıkta iyi bir başarımlar göstermesi birçok uygulama için büyük öneme sahiptir.

5.1. Gelecek Çalışma ve Öneriler

Bu alanda gelecekte yapılacak araştırmalar aşağıdaki hususlara odaklanabilir:

- Zaman alanındaki iletilen yayının işaretlerinin en az sızıntıyla frekans alanına aktarılması için, dalgacık paket çözümlemesi veya dalgacık paket analizinde harmoniklerin genlik cevabında kullanılan ‘Vaidyanathan süzgeci’ ile çözümleme teknikleri geliştirilebilir.
- SOC'a dayalı İY azalmasıyla ilgili ve bunun batarya ısısı açısından etkisi üzerine deneysel incelemeler yapılabilir.
- Gelişmiş denetim tekniklerinin İY üzerindeki etkisi de değerlendirilebilir.
- Ayrıca, ileride yapılacak araştırmalar, farklı tipteki batarya dolum cihazlarının elektrik şebekesi içindeki İY üzerindeki etkilerini keşfetmeye odaklanabilir. Dolum cihazı türlerindeki bu farklılıkların araştırılması, harmonik bozulmalar üzerindeki özel etkileri daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.
- Gelecekteki araştırmalar için bir başka yol da batarya dolum cihazları için yapay sinir ağı tekniklerinin geliştirilmesine dayalı EMG süzgeçlemesidir. Daha akıllı EMG süzgeçleme yöntemlerinin geliştirilmesi, olası gürültü sorunlarının azaltılması ve elektrikli araçların şebekeye sorunsuz bağlanması açısından çok önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ales, A., Belkacem, F. T., and Moussaoui, D. (2011). Laboratory line impedance stabilisation network: Experimental studies. 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, 1-4.
- Alfalahi, S. T., Alkahtani, A. A., Al-Shetwi, A. Q., Al-Ogaili, A. S., Abbood, A. A., Mansor, M. B., and Fazea, Y. (2021). Supraharmonics in power grid: Identification, standards, and measurement techniques. *IEEE Access*, 9, 103677-103690.
- Antony, J. (2014). A systematic methodology for design of experiments. *Design of experiments for engineers and scientists*, 2, 33-50.
- Arslan, A. K., Yaşar, Ş., Çolak, C. ve Yoloğlu, S. (2018). R Shiny paketi ile Kruskal Wallis H testi için interaktif bir web uygulaması. *Annals of Health Sciences Research*, 7(2), 49-55.
- Baillieul, J., Caramanis, M. C., and Ilic, M. D. (2016). Control challenges in microgrids and the role of energy-efficient buildings. *Proceedings of the IEEE*, 104(4), 692-696.
- Ballukja, E., Aitbar, I., Niewiadomski, K., Thomas, D. W., Sumner, M., and Smolenski, R. (2023). Stochastic approach to modelling emissions of multiple power electronic converters. *2023 IEEE 7th Global Electromagnetic Compatibility Conference (GEMCCON)*, 28-28
- Bartak, G. F., and Abart, A. (2013). EMI of emissions in the frequency range 2 kHz–150 kHz. *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013)*, 1-4.
- Beeckman, P. A. (2001, August). The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements *2001 IEEE EMC International Symposium. Symposium Record. International Symposium on Electromagnetic Compatibility (Cat. No. 01CH37161)*, pp. 280-285.
- Benazza, B., Bendaoud, A., and Schanen, J. L. (2020). Influence of cable lengths on emi emissions of a dc/dc converter influence of cable lengths on EMI emissions of a dc/dc converter. *Modelling, Measurement and Control A*, 93(1-4), 26-30.
- Betta, G., Capriglione, D., and Tomasso, G. (2004). Evaluation of the measurement uncertainties in the conducted emissions from adjustable speed electrical power drive systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 53(4), 963-968.
- Blahnik, V., Kosan, T., & Talla, J. (2018, December). Electromagnetic interference of single-phase AC-DC traction converter. *2018 18th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME)*, IEEE, 1-5.
- Bojarski, J., Smolenski, R., Kempinski, A., and Lezynski, P. (2013). Pearson's random walk approach to evaluating interference generated by a group of converters. *Applied Mathematics and Computation*, 219(12), 6437-6444.
- Bollen, M., Olofsson, M., Larsson, A., Rönnberg, S., and Lundmark, M. (2014). Standards for supraharmonics (2 to 150 kHz). *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 3(1), 114-119.

- Bollen, M. H., and Gu, I. Y. (2006). *Signal processing of power quality disturbances*: John Wiley and Sons.
- Braun, S., Donauer, T., and Russer, P. (2008). A real-time time-domain EMI measurement system for full-compliance measurements according to CISPR 16-1-1. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 50(2), 259-267.
- Battery University, (2021), BU-403: Charging lead acid. Erişim: 7 Eylül 2023, <https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-lead-acid>.
- Byrne, R. H., Nguyen, T. A., Copp, D. A., Chalamala, B. R., and Gyuk, I. (2017). Energy management and optimization methods for grid energy storage
- CENELEC (2010). *Study report on electromagnetic interference between electrical equipment/systems in the frequency range below 150 kHz*. Erişim: 7 Eylül 2023, https://infostore.saiglobal.com/preview/98704574178.pdf?sku=879471_saig_nsai_nsai_2089711.
- CENELEC (2017). *Investigation results on electromagnetic interference in the frequency range below 150 kHz*. Erişim: 7 Eylül 2023, <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/f2fe2993-4360-4bee-9cce-1cf000ebb2da/clc-tr-50627-2015>
- Chen, F., Zhong, Q., Zhang, H., Zhu, M., Müller, S., Meyer, J. et al., . (2021). Survey of harmonic and supraharmmonic emission of fast charging stations for electric vehicles in china and germany, *CIREN 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, 1061-1065.
- Compatibility, E. (2002). General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation. *IEC Standard*, 61000-4.
- De Breucker, S. (2012). *Impact of DC-DC converters on li-ion batteries*. Ph.D. thesis, KU Leuven: Leuven, Belgium
- Souza, W. L., de Paula, H., De Conti, A., and Mesquita, R. C. (2018). Cable parameter calculation for typical industrial installation methods and high-frequency studies. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(4), 3919-3927.
- Deutschmann, B., Winkler, G., Ostermann, T., and Lamedschwandner, K. (2004). Electromagnetic emissions: IC-level versus system-level. *2004 International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (IEEE Cat. No. 04CH37559), 169-173.
- Dos Santos, V., Roux, N., Revol, B., Sareni, B., Cougo, B., and Carayon, J.-P. (2017). Unshielded cable modeling for conducted emissions issues in electrical power drive systems. *2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE*, 1-6.
- Drinovsky, J., Kejik, Z., Ruzek, V., Zachar, J., and Svacina, J. (2011). Insertion loss estimation of EMI filters in unmatched input/output impedance system. *Radioengineering*, 20(1), 295-298.
- Ensini, L. (2018a). *Measurement and simulation of conducted disturbances on DC power grids of a HVDC system with an active DC/DC converter*. Master thesis, Alma Mater Studiorum - Università Di Bologna.

- Ensini, L., Sandrolini, L., Thomas, D., Sumner, M., and Rose, C. (2018b). Conducted emissions on DC power grids. *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*, 214-219.
- Espín-Delgado, A., Rönnberg, S., Busatto, T., Ravindran, V., & Bollen, M. (2020). Summation law for supraharmmonic currents (2–150 kHz) in low-voltage installations. *Electric Power Systems Research*, 184, 106325.
- CORDIS, European Training network Of PhD researchers on Innovative EMI analysis and power Applications: ETOPIA (2020) ,Erişim tarihi: 8 Eylül 2023, <https://cordis.europa.eu/project/id/812753>.
- Ferraz, P. K. P., Schmidt, R., Kober, D., and Kowal, J. (2018). A high frequency model for predicting the behavior of lithium-ion batteries connected to fast switching power electronics. *Journal of Energy Storage*, 18, 40-49.
- Gallarreta, A., Fernández, I., Ritzmann, D., Lodetti, S., Khokhlov, V., de la Vega, D. et al., . (2023). Statistical relationship between RMS and QP spectra of voltage measurements in the 9–150 kHz range. *Electric Power Systems Research*, 218, 109213.
- Gallo, D., Landi, C., Pasquino, N., and Ruotolo, V. (2005). About measurement uncertainty of conducted emissions generated by a variable speed drive. *IMEKO WORLD Congress*.
- García, P., Navarro-Rodríguez, Á., Saeed, S., and García, J. (2018). Soc estimation in li-ion batteries exploiting high-frequency model properties. *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 1103-1110.
- Gundogdu, B. M., Nejad, S., Gladwin, D. T., Foster, M. P., and Stone, D. A. (2018). A battery energy management strategy for UK enhanced frequency response and triad avoidance. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(12), 9509-9517.
- Heirman, D. (2020). EMC standards activity. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 9(1), 78-81.
- Heldwein, M. L., Biela, J., Ertl, H., Nussbaumer, T., and Kolar, J. W. (2009). Novel three-phase CM/DM conducted emission separator. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(9), 3693-3703.
- Hızarcı, H. (2022). *Endüstriyel uygulamalarda kullanılan güç dönüştürücü devrelerde emi gürültünün modellenmesi ve filtre tasarımı*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya.
- Hizarci, H., and Arifoglu, U. (2019). Comments on “Reduction of conducted electromagnetic interference by using filters”. *Computers & Electrical Engineering*, 80, 106471.
- Hizarci, H., Pekperlak, U., and Arifoglu, U. (2021). Conducted emission suppression using an EMI filter for grid-tied three-phase/level T-type solar inverter. *IEEE Access*, 9, 67417-67431.
- IEEE. (2023). IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Call for Papers Special Issue - “Advances of computational electromagnetics for EMC”. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 65(1).

- Jeschke, S., Maarleveld, M., Baerenfaenger, J., Hirsch, H., Tsiapenko, S., Waldera, C. et al., (2017). Development of a passive impedance network for modeling electric vehicle traction batteries for EMI measurements. *2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE*, 1-6.
- Jettanasen, C., and Ngaopitakkul, A. (2019). Characteristics and effects of conducted emission from grid-connected and stand-alone micro-inverters in a nano-grid road lighting system. *Sustainability*, 11(20), 5690.
- Karaca, T., Deutschmann, B., and Winkler, G. (2015). EMI-receiver simulation model with quasi-peak detector. *2015 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC)*, 891-896.
- Kennedy, S., Yuce, M. R., and Redouté, J.-M. (2015). An evaluation and comparison of conducted emission test methods for integrated circuits. *2015 IEEE Global Electromagnetic Compatibility Conference (GEMCCON)*, 1-5.
- Khilnani, A., Niewiadomski, K., Rose, C., Sumner, M., Thomas, D., Ballukja, E. et al., . (2020). Power quality analysis (0-2kHz) in DC/DC converters under steady state and transient conditions. *2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE*, 1-5.
- Khilnani, A., Peña Quintal, A. E., Ballukja, Erjo, Sumner, M., Thomas, D., Sandrolini, L., and Mariscotti, A. (2022). Influence of impedance interaction and comparability on spectral aggregation (2–150 kHz) in DC grids. *2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC Europe*, 1-5.
- Knenicky, M., Prochazka, R., Hlavacek, J., and Sefl, O. (2020). Impact of high-frequency voltage distortion emitted by large photovoltaic power plant on medium voltage cable systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(3), 1882-1891.
- Kong, S., Bae, B., Jung, D. H., Kim, J. J., Kim, S., Song, C. et al., . (2015). An investigation of electromagnetic radiated emission and interference from multi-coil wireless power transfer systems using resonant magnetic field coupling. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 63(3), 833-846.
- Kruskal, W. H. (1952). A nonparametric test for the several sample problem. *The Annals of Mathematical Statistics*, 525-540.
- Larsson, E., and Bollen, M. (2009). Emission and immunity of equipment in the frequency range 2 to 150 kHz. *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, 1-5.
- Larsson, E. A., Bollen, M. H., Wahlberg, M. G., Lundmark, C. M., and Rönnberg, S. K. (2010). Measurements of high-frequency (2–150 kHz) distortion in low-voltage networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(3), 1749-1757.
- Leferink, F. (2015). Conducted interference, challenges and interference cases. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 4(1), 78-85.
- Lennerhag, O., Dornfalk, A., and Nygren, P. (2020). Supraharmonics in the presence of static frequency converters feeding a 16 ⅔ Hz railway system. *2020 19th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 1-6.
- Leroi, C. (2021). *Conducted disturbances in the frequency range 2–150 kHz: Sources and propagation*. P.h.D. thesis, Luleå University of Technology,

- Li, H., Zhang, W., Sun, B., Jiang, J., Yin, Z., Wu, J. et al., . (2022). Lithium-ion battery modeling under high-frequency ripple current for co-simulation of high-power DC-DC converters. *Journal of Energy Storage*, 54, 105284.
- Lodetti, S., Gallarreta, A., Ritzmann, D., Khokhlov, V., Wright, P., Meyer, J. et al., . (2023). On the suitability of the CISPR 16 method for measuring conducted emissions in the 2–150kHz range in low voltage grids. *Electric Power Systems Research*, 216, 109011.
- Luszcz, J. (2011). Motor cable effect on the converter fed AC motor common mode current. *2011 7th International Conference-Workshop Compatibility and Power Electronics (CPE)*, 445-450.
- Mahesh, G., Subbarao, B., and Karunakaran, S. (2008). Effect of power frequency harmonics in conducted emission measurement. *2008 10th International Conference on Electromagnetic Interference & Compatibility*, 273-277.
- Lin, T., Chen, T., Liu, J., and Tu, X. M. (2021). Extending the Mann-Whitney-Wilcoxon rank sum test to survey data for comparing mean ranks. *Statistics in Medicine*, 40(7), 1705-1717.
- Mariscotti, A. (2022). Harmonic and supraharmic emissions of plug-in electric vehicle chargers. *Smart Cities*, 5(2), 496-521.
- Miloudi, M., Bendaoud, A., and Miloudi, H. (2017). Common and differential modes of conducted electromagnetic interference in switching power converters. *Revue Roumaine Science Technique-Électrotechnique. et Énergétique*, 62(3), 246-251.
- Montrose, M. I., and Nakauchi, E. M. (2004). *Testing for EMC compliance: approaches and techniques*: John Wiley and Sons.
- Moreau, M., Idir, N., and Le Moigne, P. (2009). Modeling of conducted EMI in adjustable speed drives. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 51(3), 665-672.
- Mutoh, N., Nakanishi, M., Kanesaki, M., and Nakashima, J. (2005). Control methods for EMI noises appearing in electric vehicle drive systems. *Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005. APEC 2005*, 1022-1028.
- Nielsen, D., Thomsen, O. C., and Andersen, M. A. (2012). Separation of common and differential mode conducted emission: Power combiner/splitters. *International Conference on Renewable Energies and power Quality, ICREPQ*.
- Niewiadomski, K., Pena-Quintal, A., Thomas, D. W., and Sumsurooah, S. (2021). Sensitivity analysis of parasitics in power electronic circuit through Sobol' indices. *2021 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 1-4.
- Oswald, N., Anthony, P., McNeill, N., and Stark, B. H. (2013). An experimental investigation of the tradeoff between switching losses and EMI generation with hard-switched all-Si, Si-SiC, and all-SiC device combinations. *IEEE transactions on power electronics*, 29(5), 2393-2407.
- Ott, Henry W., *Electromagnetic Compatibility Engineering*. John Wiley & Sons, 2009.

- Pahl, J. (2020). *Conducted Emissions of Low Power Variable Speed Drives*. thesis Metropolia University of Applied Sciences.
- Pignari, S. A. (2006). Statistics and EMC. *URSI Radio Science Bulletin*, 2006(316), 13-26.
- Pignari, S. A., and Orlandi, A. (2003). Long-cable effects on conducted emissions levels. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 45(1), 43-54.
- Potter, K., Hagen, H., Kerren, A., and Dannenmann, P. (2006). Methods for presenting statistical information: The box plot. *VLUDS*, 97-106.
- Revol, B., Roudet, J., Schanen, J.-L., and Loizelet, P. (2010). EMI study of three-phase inverter-fed motor drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47(1), 223-231.
- Richard, M. (2007). Cable Bundling. *The EMC Journal*, 71.
- Ritzmann, D., Lodetti, S., de la Vega, D., Khokhlov, V., Gallarreta, A., Wright, P. et al., . (2020a). Comparison of measurement methods for 2–150-kHz conducted emissions in power networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-10.
- Ritzmann, D., Wright, P., Meyer, J., Khokhlov, V., De la Vega, D., and Fernandez, I. (2020b). Measurement of 2–150 kHz conducted emissions in power networks. *2020 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)*, 1-2.
- Rönnerberg, S., Larsson, A., Bollen, M., and Schanen, J.-L. (2011). A simple model for interaction between equipment at a frequency of some tens of kHz. *International Conference on Electricity Distribution: 06/06/2011-09/06/2011*.
- Rönnerberg, S. K., Bollen, M. H., Amaris, H., Chang, G. W., Gu, I. Y., Kocewiak, Ł. H. et al., . (2017). On waveform distortion in the frequency range of 2 kHz–150 kHz—Review and research challenges. *Electric Power Systems Research*, 150, 1-10.
- Russer, P. (2011). EMC measurements in the time-domain. *2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*, 1-35.
- Safayet, A., and Islam, M. (2021). Modeling of conducted emission for a three-phase motor control inverter. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(2), 1202-1211.
- Sandrolini, L., Thomas, D. W., Sumner, M., and Rose, C. (2018). Measurement and evaluation of the conducted emissions of a DC/DC power converter in the frequency range 2–150 kHz. *2018 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity (EMC, SI & PI)*, 345-350.
- Shih, F.-Y., Chen, D. Y., Wu, Y.-P., and Chen, Y.-T. (1996). A procedure for designing EMI filters for AC line applications. *IEEE Transactions On Power Electronics*, 11(1), 170-181.
- Spadacini, G., Grassi, F., and Pignari, S. A. (2017). Conducted emissions in the powertrain of electric vehicles. *2017 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI)*, 1-28.
- Subhani, S., Cuk, V., and Coben, J. (2017). A literature survey on power quality disturbances in the frequency range of 2–150 kHz. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14)*, 4-6.

- Şükrü, Ö., ve Arı, N. (2008). *Elektromanyetik uyumluluk*. Ankara: Palme Yayınevi.
- Tarateeraseth, V. (2012). EMI filter design: Part III: Selection of filter topology for optimal performance. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 1(2), 60-73.
- Uddin, K., Moore, A. D., Barai, A., and Marco, J. (2016). The effects of high frequency current ripple on electric vehicle battery performance. *Applied Energy*, 178, 142-154.
- Van Wershoven, L. (1999). The effect of cable geometry on the reproducibility of EMC measurements. *1999 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatability. Symposium Record (Cat. No. 99CH36261)*, 780-785.
- Wan, L., Khilnani, A., Hamid, A., Grassi, F., Spadacini, G., Pignari, S., and Thomas, D. (2021). Limitations in applying the existing LISN topologies for low frequency conducted emission measurements and possible solution. *2021 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 1-4.
- Wang, Y., Luo, D., and Xiao, X. (2019). Evaluation of supraharmonic emission levels of multiple grid-connected VSCs. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 13(24), 5597-5604.
- Weaver, K. F., Morales, V., Dunn, S. L., Godde, K., & Weaver, P. F. (2017). Mann-Whitney U and Wilcoxon signed-rank. *An Introduction to Statistical Analysis in Research: With Applications in the Biological and Life Sciences*, 297-352.
- Yalcin, S., Ozen, S., and Helhel, S. (2018). EMI filter design based on the separated electromagnetic interference in switched mode power supplies. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 26(6), 3033-3043.
- Yao, J., Wang, S., Zhao, H., Zhang, Y., Wang, Q., Lu, Y., Fu, D. (2018). Measurement techniques of CM currents, impedance and voltages for radiated EMI in isolated power converters. *2018 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity (EMC, SI & PI)*, 438-443. IEEE.
- Yousaf, J., Amin, M., Iqbal, S., Durrani, H., and Amin, M. (2013). Conducted emission analysis of DC-DC converters and proper selection of pre-filtering stage. *10th International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCAST)*, 360-363.
- Zhang, J., and Lv, Y. (2019). *High Frequency Impedance and Electromagnetic Interference Suppression of Lithium-Ion Power Battery Pack (No. 2019-01-1060)*. SAE Technical Paper.

ÖZ GEÇMİŞ

Seçil GENÇ, Elâzığ Mehmet Koloğlu Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 03.07.2014 tarihinde mezun oldu. 2018 yılında OMÜ LEE Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programını bitirdi. Şubat 2016 tarihinden bu yana Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Seçil GENÇ iyi/orta seviyede İngilizce/77.5 bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-3754-0209

Yayınlar:

1. Genc, S., Muneeswaran, V., Thomas, D., Greedy, S., Gundogdu, B., Sarma, N., and Ozgonenel, O. (2023). The effect of conducted emissions of grid-tied three-phase adjustable drives. *Engineering Science and Technology*, 46, 101505. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101505>
2. Ozgonenel, O., Genc, S., and Gezegin, C. (2022). Enhancement of power quality in power distribution systems using FC-TCR based compensation systems. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.36909/jer.15811>
3. Seçil, G. E. N. Ç., Ozgonenel, O., Yildiz, O. O., and Kilic, İ. H. (2022). Power quality analysis for power led drives. *European Journal of Technique (EJT)*, 12(2), 161-170. <https://doi.org/10.36222/ejt.1216165>
4. Genc, S., Gundogdu, B. M., and Ozgonenel, O. (2022). Conducted emissions analysis of DC-DC buck converter. *2022 4th Global Power, Energy And Communication Conference (GPECOM)*, 135-138. <https://doi.org/10.1109/GPECOM55404.2022.9815712>
5. Genc, S., Sarma, N., Gundogdu, B. M., Ozgonenel, O., Gezegin, C. and Terzi, U.K. (2023). Suppression of conducted emissions in three-phase adjustable drive systems, *14th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2023)*

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. **BAP:** 24/05/2021- 24/05/2022 tarihleri arasında “DC Güç Şebekelerinde İletilen Yayılımların Güç Kalitesi “Analizi yükseköğrenim kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi tamamlanmıştır.