

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU SİSTEMLERİNDE GÜVENLİ ULAŞIM VE
SİNYALİZASYON SİSTEM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa DEMİREL

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk COŞKUN

Haziran 2023

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DEMİRYOLU SİSTEMLERİNDE GÜVENLİ ULAŞIM VE
SİNYALİZASYON SİSTEM TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa DEMİREL

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk COŞKUN	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. İhsan PEHLİVAN	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Mustafa DEMİREL

22/06/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmalarım boyunca teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk COŞKUN'na, çalışmalarımın her zaman yanımda olan aileme ve yakın arkadaşlarıma, tez çalışması boyunca hem teknik hemde manevi desteklerini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarıma ve verdikleri önemli katkılar için Yapı Merkezi İdis Mühendislik San. ve Tic. A.Ő'ye teşekkür etmekten mutluluk duyarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
1.2. Demiryolu anlaşıman ve hemzemin geçit sistemleri.....	3
1.2.1. Sinyalizasyon sistemleri.....	4
1.2.2. Demiryolu sistemlerindeki saha ekipmanları.....	5
1.2.2.1. Sinyal lambaları	5
1.2.2.2. Bariyer grupları	6
1.2.2.3. Çan ve yol sinyali.....	7
1.2.3. Demiryolu standartları ve emniyetli güvenlik seviyesi.....	8
1.3. Tezin Amacı	10
1.4. Hipotez	11

BÖLÜM 2.

GÜVENLİ SİNYAL KONTROL SİSTEM TASARIMI.....	12
2.1. Sistem Tasarım Test Kriterleri	12
2.1.1. Hata analizi ve hata modları.....	13
2.2. Sistem Elektromanyetik Test Kriterleri.....	15
2.2.1. Emisyon testi.....	16
2.2.2. Bağışıklık testi.....	17
2.3. Saha Ekipmanları Elektriksel Özellikleri	18
2.3.1. Demiryolu yol boyu sinyalleri	19

2.3.2. Hemzemin geçit makinist uyarı sinyali ve yol sinyali	20
2.3.3. Akustik an ve bariyer grupları.....	21
2.4. Sistem Mimarisi	22
2.4.1. Elektriksel koruma sistemi.....	23
2.4.2. Elektronik kontrol sistemi mimarisi.....	23

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Güç Kontrol Sistemi Devre Tasarımı	31
3.1.1. Koruma sistemi	32
3.1.2. Güç ünitesi	37
3.1.3. Yedekleme modülü	38
3.1.4. Güç kontrol sistemi PCB izimi.....	41
3.2. Sürme Kontrol Sistemi Devre Tasarımı	45
3.2.1. Saha ekipmanlarının anahtarlanması	46
3.2.2. Akım izleyici.....	47
3.2.3. Gerilim izleyici	48
3.2.4. Sürme kontrol sistemi PCB izimi.....	49
3.3. Doğrulama Kontrol Sistemi Devre Tasarımı	51
3.3.1. Sensör verilerinin filtrelenmesi ve yükseltilmesi.....	53
3.3.2. Okunan verilerin karşılaştırılması ve indikasyon oluşturulması.....	55
3.3.3. Doğrulama kontrol sistemi PCB izimi	57
3.4. Arayüz Bağlantı Sistemi Devre Tasarımı.....	58
3.5. Giriş ve ıkış Filtreleme Sistemi Devre Tasarımı	59

BÖLÜM 4.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
-------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	64
------------------------	-----------

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Current
CM	: Common Mode
DCR	: Backpropagation
DC	: Direct Current
DM	: Differential Mode
EMC	: Electromagnetic Compatibility
FMEA	: Failure Modes and Effects Analysis
EMI	: Electromagnetic Interference
EM	: Elektro Magnetic
EFFBD	: Enhanced Function Flow Block Diagram
ESR	: Equivalent Series Resistance
FTA	: Fault Tree Analysis
GDT	: Gas Discharge Tube
GND	: Ground
ILO	: Input Logic Output
LED	: Light Emitting Diode
MTBF	: Mean Time Between Failure
FIT	: Failure in Time
MOV	: Metal Oksit Varistor
PLC	: Programmable Logic Controller
PCB	: Printed Circuit Board
SMPS	: Switch Mode Power Supply
SIL	: Signal Integrity Level
TVS	: Transient Voltage Suppression Diode
1oo2D	: One out of Two with Diagnostics
1oo3D	: One out of Three with Diagnostics

SİMGELER

db	: Desibel
d/d	: Devir / dakika
f(c)	: Frekans değeri
HP	: Horizontal Pitch
Hz	: Hertz
KHz	: Kilohertz
kV	: Kilovolt
Mhz	: Megahertz
ms	: Milisaniye
mV	: Milivolt
mA	: Miliamper
nF	: Nanofarad
pF	: Pikofarad
V	: Volt
W	: Watt

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. 1: SIL seviyesi tablosu.....	10
Tablo 2. 1 Örnek komponent hata modları	15
Tablo 2. 2 AC/DC güç portları.....	17
Tablo 2. 3: Bağışıklık testleri standartları ve limitleri	18
Tablo 2. 4: Sinyal lamba özellikleri örneği 1.....	20
Tablo 2. 5: Sinyal lamba özellikleri örneği 2.....	20
Tablo 2. 6: Makinist uyarı sinyali özellikleri.....	21
Tablo 2. 7: Yol sinyali özellikleri.....	21
Tablo 3. 1: Hat filtresi elektriksel özellikleri 1	33
Tablo 3. 2: Saha lambaları elektriksel özellikleri ve limitleri.....	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1: Sinyal lambaları.	6
Şekil 1. 2: Demiryolu bariyer grubu.	7
Şekil 1. 3: Çan ve yol sinyali.	8
Şekil 2. 1: Demiryolu sistem standartları.	12
Şekil 2. 2: Yaşam döngüsü modeli.	13
Şekil 2. 3 : FTA analiz örneği.	14
Şekil 2. 4: EMC test şeması.	15
Şekil 2. 5 EFFBD metot örneği.	22
Şekil 2. 6: Sistem akış diyagramı.	24
Şekil 2. 7: Sinyal lambası arayüz kontrol sistemi için arıza EFFBD'si.	25
Şekil 2. 8: Sinyal lambası F1 güç kontrol sistemi için arıza EFFBD'si.	26
Şekil 2. 9: Sinyal lambası F0 kontrol sistemi arıza EFFBD'si.	26
Şekil 2. 10: Sinyal lambası F1 sinyal lambalarının sürülmesi arıza EFFBD'si.	28
Şekil 2. 11: Sinyal lambası F2 sinyal lambalarının doğrulanması arıza EFFBD'si. ..	29
Şekil 2. 12: Sinyal lambası F2.1 sinyal lambalarının doğrulanması arıza EFFBD'si. 29	
Şekil 2. 13: Sinyal lambası için giriş ve çıkış filtreleme sistemi arıza EFFBD'si.	30
Şekil 3. 1: Güç kontrol sistemi akış diyagramı.	32
Şekil 3. 2: Koruma sistemi şematik gösterimi.	33
Şekil 3. 3: Hat filtresi gösterimi.	34
Şekil 3. 4: AC hat filtresi gürültü bastırma grafiği.	34
Şekil 3. 5: Hat filtresi dB cinsinden gürültü bastırma grafiği.	35
Şekil 3. 6: Hat filtresi empedans cinsinden gürültü bastırma grafiği.	35
Şekil 3. 7: CM ve DM filtreleme örneği.	36
Şekil 3. 8: Sistem içerisinde kullanılan filtreleme şematığı.	37
Şekil 3. 9: Güç kontrol ünitesi akış diyagramı.	37
Şekil 3. 10: Sistem içerisinde kullanılan güç modülü.	38
Şekil 3. 11: Yedekleme modülü örneği.	39
Şekil 3. 12: Güç kontrol sistemi güç ve yedekleme modülü şematik tasarımı.	40
Şekil 3. 13: Koruma sistemi PCB konumlandırılması.	42
Şekil 3. 14: Koruma sistemi PCB yollandırılması.	42
Şekil 3. 15: Güç ve yedekleme modülü konumlandırılması.	43
Şekil 3. 16: Güç ve yedekleme modülü PCB yollandırılması.	44
Şekil 3. 17: Sürme kontrol sistemi akış diyagramı.	46
Şekil 3. 18 Akım izleyici akış diyagramı.	47
Şekil 3. 19: Akım izleyici devresi.	48
Şekil 3. 20: Gerilim izleyici şematığı.	49
Şekil 3. 21: Gerilim izleyici konumlandırma ve yollandırma.	50
Şekil 3. 22: Akım izleyici yollandırma.	51
Şekil 3. 23: Doğrulama kontrol sistemi akış diyagramı.	53
Şekil 3. 24: Akım sensörü çıkış filtresi.	53

Şekil 3. 25: Yükselteç şematiği.....	54
Şekil 3. 26: Karşılaştırma şematiği.	56
Şekil 3. 27 Arayüz bağlantı sistemi ön görünüş.....	59
Şekil 3. 28 Arayüz bağlantı sistemi arka görünüş.....	59
Şekil 3. 29: Giriş ve çıkış filtreleme sistemi akış diyagramı.	60
Şekil 3. 30: Giriş ve çıkış filtreleme sistemi şematiği.....	60



DEMİRYOLU SİSTEMLERİNDE GÜVENLİ ULAŞIM VE SİNYALİZASYON SİSTEM TASARIMI

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber yük ve yolcu taşımacılığında demiryolları kullanımı hızla artmaktadır. Demiryollarının kullanımının yaygınlaşması, demiryolları kontrol sistemlerinin daha karmaşık sistemlerle kontrol edilmesi gereksinimi doğurmuş ve beraberinde alınması gereken tedbirler daha da önemli bir hal almıştır. Demiryollarının yaygın kullanılması meydana gelebilecek arıza çeşit sayısını ve arıza sayısını arttırmasına sebep olmaktadır. Bu arızaların zamanında tespiti ve sistemin merkezi bir noktadan kontrol edilmesi, mal ve can kaybı tehlikesinin azaltılması hususunda hayati önem taşımaktadır. Gün geçtikçe yoğunlaşan demiryolu trafiğinin emniyet ve güvenilirlik seviyesini arttırmak için kullanılan elektronik kontrol sistemlerinde sürekli bir gelişim ihtiyacı vardır. Mevcut sistemde kullanılan gelişmiş elektronik sistemlerin kullanımında maliyet, tedarik sıkıntısı ve uzun termin süreleri gibi problemler bulunmaktadır. Tezin ana amacı, demiryollarına özel, sistemde oluşan problemleri eş zamanlı ana kontrol noktasına iletebilecek, hızlı algılama ve ikaz özelliği ile mal ve can kaybını minimuma indirecek, ithal sistemlere alternatif, demir yolları kontrol sistemleri standartlarına uygun elektronik bir donanım tasarlamaktır. Demiryolu sinyalizasyon sistemleri, demiryolu trafiğini düzenleyen, trenlerin güvenli güzergâh düzenlemesini ve manevralarını sağlayan, hayati öneme sahip ekstra güvenlik önlemleri alınmış özel ürünlerden oluşmaktadır. Demiryolları kontrol sistemleri için en yüksek güvenlik seviyesi olan SIL 4 seviyesinde sinyal lambaları, çan/zil grupları ve bariyer grupları gibi demiryolu saha ekipmanları günümüzde birçok üretici tarafından üretilmektedir. Demiryolu saha ekipmanlarının, anlaşımlardan gelen komutlarla kontrol edilmesini gerekmektedir. Bu sistemler, RAMS perspektifinde raylı sistemlerin güvenli bir şekilde işletilmesi için beklenmeyen bir durum oluştuğunda arızaya karşı emniyetli davranmalı ve anlaşımlarına hata bildirimini verecek özellikte olmalıdır. Geçmişte, röle tabanlı sistemlerde lambayı sürmek ve test etmek tipik olarak sinyal röleleri aracılığıyla yapılmasına karşın, günümüzde daha güvenilir bir yöntem olan lambaların akım ve gerilim değerleri sistem üzerinden okunarak alt ve üst eşik değerleri karşılaştırılarak yapılmaktadır. Bu çalışma sonucunda, anlaşımların sisteminden komut alan analog demiryolu sinyal nesnesi denetleyicisi analog geri bildirimler ile izleyen ispat kartları mevcut üst ve alt eşikleri değerlendirecek şekilde tasarlanmıştır. Değerlendirilen değerler, 1oo2D mimarisine uygun olarak oluşturulan mantık kapıları aracılığıyla işlenir. Bu mantık, lambanın voltaj seviyesini değerlendirir ve gereksiz kısma risklerini azaltır. Tasarımda kullanılan yöntemler ve standartlar sayesinde, demiryolu saha ekipmanlarında oluşabilecek arızalar hızlı ve güvenilir bir şekilde ana kontrol noktasına iletilerek olası ciddi mal ve can kaybı ile sonuçlanabilecek kazaların önüne geçilecektir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu, Devre Tasarımı, Analog, Dijital, Donanım, Emniyetli, RAMS, SIL

SAFETY TRANSPORTATION AND SIGNALLING SYSTEM DESIGN IN RAILWAY SYSTEMS

ABSTRACT

Nowadays, with the developing technology, the use of railways in freight and passenger transportation is increasing rapidly. The widespread use of railways has led to the need to control railway control systems with more complex systems, and the precautions to be taken have become even more important. The widespread use of railways causes an increase in the number of malfunctions and the number of malfunctions that may occur. Timely detection of these malfunctions and controlling the system from a central point are of vital importance in reducing the risk of loss of life and property. There is a need for continuous improvement in electronic control systems used to increase the level of safety and reliability of rail traffic, which is getting more intense day by day. There are problems such as cost, supply shortage, and long delivery times in the use of advanced electronic systems used in the current system. The primary aim of the thesis is to design special electronic equipment by railway standards, which can transmit the problems occurring in the system to the main control point simultaneously, and which can minimize the loss of property and life with its fast detection and warning feature. Railway signaling systems consist of vital products that regulate railway traffic, provide safe route arrangement and maneuvers of trains. SIL 4 signal lamps are produced by many manufacturers today. There is a need for systems that enable these signal lamps to be controlled by commands from the interlocking. These systems should act as fail-safe and give error indication to the interlocking system when an unexpected situation occurs for the safe operation of railway systems in RAMS perspective. In the past, driving and proving the lamp in relay-based systems was typically done via signaling relays. Nowadays, the proving of lamps is done by comparing the current values read over the return circuit, the lower and upper threshold values.

In conclusion of this study, analog railway signal object controller, which takes command from Interlocking system, processed in driver cards. Driver cards arrange the voltage level according to desired visibility by means of semi-conductors. Additionally, prover cards evaluate the current upper and lower thresholds. Evaluated values are processed via logic gates which composed as 1oo2D by means of analog electronic technologies. This logic evaluates the voltage level of the lamp and mitigates the risks of undue dimming. By means of to the methods and standards used in the design, malfunctions that may occur in the railway field equipment will be transmitted to the main control point quickly and reliably, and accidents that may result in possible serious loss of property and life will be prevented.

Keywords: Railway, Circuit Design, Analog, Digital, Hardware, Safety, RAMS, SIL

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemiz 2.336 km uzunluğunda kısmi elektrikli olmak üzere 10.984 kilometre uzunluğunda demiryolu ağına sahiptir. Bu ağlar arasında gerek şehirlerarası gerekse ilçeler arası ulaşım kolaylığı ve esnekliği sağlamaktadır. Demiryolları, başlangıç maliyetleri nispeten yüksek olsa bile daha ekonomik ve çevresel çözümler sunar. Örneğin uçakla seyahat için ortalama ölme olasılığı demiryolu sistemlerinde daha düşüktür. Bu nedenle demiryolu sistemlerinin daha güvenli olduğu söylenebilir. Demiryolu sistemleri içerisinde hat üzerindeki tren, tramvay ve makinisit bilgilendirmeleri ve güvenli bir sürüş olabilmesi ve ulaşım kolaylığı için pek çok hemzemin geçitler, aydınlatma ve uyarı sinyalleri, makas motor bölgeleri yapılmış olup yapılmayada devam etmektedir. Bu sistemler içerisinde ise hiç beklenmedik durumlar oluşabilmektedir. Tünelere ve demiryolu hattına yayaların girmesi, beklenmedik bir anda araç durması, demiryolları sistemlerinde ise hemzemin geçit uyarı sistemlerinde arıza meydana gelmesi, bu arızaların zamanında tespit edilememesi veya sistemin arıza bilgi vermemesi gibi benzeri senaryolar yaşanmaktadır. Bu gibi tehlikeli durumlar hem mal hemde can kaybıyla sonuçlanacağı için mevcut elektronik sistemleri devreye alarak olumsuz durumlar öngörülebilir hale getirilebilir. Demiryolu sistemlerinde hat boyu antlaşman bölgesi kapsamında trenin geçtiği güzergâh üzerinde sürücüyeye bilgi verecek sinyal ikaz lambaları, akıllı hemzemin geçiş sistemleri ve makas motorlarını kontrol eden sistemler bulunmaktadır. Çalışmanın amacı can ve mal kayıplarını önleyen, trafik ve teknoloji entegrasyonu yaparak olumsuz durumları engellemek ve yazılım ve donanım tasarımları ile kontrol merkezine acil durum bilgisi vererek olayları algılama ve hızlı bir şekilde müdahale etme olanağı sağlamaktadır. Donanımsal ve yazılımsal tasarımlar yapılırken ilgili demiryolu standartları dikkate alınarak tasarımlar yapılmalı şartnameler baz alınmalıdır.

Binlerce vatandaşın ölümüne ve yaralanmasına neden olan önemli bir halk sağlığı sorunu olan karayolu demiryolu güvenliği birçok kurum ve kuruluş ve sektörün ortak

faaliyet alanı haline gelmiştir. Bu sebeple ortak bütün paydaşların sorumluluk bilincine sahip olması ve bu yönde adımlar atması gerekmektedir. Bu durumlardan dolayı toplumun bütün kesimini ilgilendiren güvenli trafik ve güvenli sistem yaklaşımının öneminin vurgulanması gerekmektedir. Dünyada trafik ve demiryolu kazaları her yıl ortalama 2 milyon kişinin hayatını kaybetmesine neden olmaktadır. Bu kazalar ise ülke ekonomilerine ciddi maddi ve manevi kayıplar oluşturmaktadır. Demiryollarında son zamanlarda ülkemizde birçok can ve mal kaybına sebep olan tren kazaları gerçekleşmiştir. Bu kazaları ve kayıpları engellemek demiryolu araç sürücülerinin uyarı ve ikaz sistemleri ile hemzemin geçitlerde birçok meydana gelen olası kazaları önlemek amacıyla hayata geçirilmeye başlanmıştır. Demiryollarında ise bu sistemleri oluşturmak için belirli uyulması gereken hususlar vardır. Sistemlerin belirli gerekliliklere göre oluşturulması ve sistem mimarilerinin belirlenmesi gerekmektedir

1.1. Literatür Özeti

Demiryolu sistemleri hakkında literatürdeki benzeri çalışmalar ise şu şekildedir:

Gündoğdu ve Söyler (2008) yaptığı demiryolu sistemlerinin uygulanması tanımında tasarlanacak olan sistemlerin emniyet seviyelerinin yüksek olması gerektiğini, ana amacın demiryolu hatlarında meydana gelebilecek kazaların önlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Sistemlerin SIL yeterliliğine sahip olması gerektiği, kapalı devre sisteminin uygulanarak risk durumlarının azaltılması gerektiğini ifade etmiştir. Sistemin bir bölümünde hata oluştuğunda ilgili bölgenin acil bir şekilde uyarı vermesi gerektiğini belirtmiştir.[1]

Gülener (2009) çalışmasında demiryolu sistemlerinde kullanılan saha ekipmanlarını programlanabilir kontrolcü sistemleriyle bir sinyalizasyon sistem tasarımı gerçekleştirmiş. Ayrıca sistemin izlenebilmesi için bir SCADA sistemi oluşturarak oluşturulan sistemin sınanmasını sağlamıştır.[2]

Mecitoğlu (2013) ise saha ekipmanların kontrol eden programlanabilir kontrolcü sistemleriyle bir çalışma gerçekleştirerek bu sistemleri UML diyagramlar ve Petri ağları ile tasarlamış ayrıca bir haberleşme protokolü üzerinden mevcut sistemlerin birbirleriyle olan haberleşmesini sağlamıştır. Mevcut sistem bir arayüz programı ile test etmiştir. [3]

Türker, Arslan ve Çakır (2017) çalışmasında da programlanabilir kontrolü kullanılmıştır. Saha ekipmanı olarak kullanılan ray devresi saha çıkışlarının duruma göre sinyal ve ilgili makasları kontrol eden bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Sistem ray devresi prensibine göre tasarlanmıştır. [4]

Geliştirilmiş olan sistemler kullanışlı olsada, gelişen teknoloji ve demiryolu sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber sistemlerin daha karmaşık hale gelmiş ve hata yapma oranları yükselmiştir. Bu nedenle geliştirilecek olan mevcut sistemlerin elektronik donanımlarla güncellenmesi ve kullanılan olan elektronik sistemlerin standartlara uygun bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Daha önce kullanılan programlanabilir kontrolcüler SIL seviyelerine uygun olmadığı için ve tercih edilen komponentlerin hata düşme oranları MTBF (Mean Time Between Failure) değerleri düşük olduğu için emniyet seviyesi yüksek değildir. Ayrıca tercih edilen sistemler yurtdışı tedarikinden dolayı yüksek maliyetler içermektedir. Bu neden yerli ve daha fiyat avantajı olan ve emniyet kritik gerekliliklere uygun bir tasarım yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca tasarımlarda demiryolu güvenlik standartları olan EN 50126, EN 50129 baz alınmalı ve sistem tasarımı bu isterleri etrafında geliştirilmelidir. Elektronik sistemlerin EN 50121 RAMS gereklilikleri gereği sistemin hataya düşme durumları ve hata oranları belirlenmeli , EN50121-4 elektromanyetik uyumluluk esaslarını sağlamalıdır.

1.2. Demiryolu anlaşıman ve hemzemin geçit sistemleri

Anlaşıman sistemi demiryolu hattı boyunca saha ekipmanları süren,doğrulan ve sonuç olarak kontrol eden bir üst sistemdir.Tüm alt sistemlerin kontrol fonksiyonlarını yerine getiren bileşenlere sahiptir. Alt sistemin tüm göstergesi izole edilerek bilgi olarak anlaşıman sistemine alınır ve sistem ve güvenlik gereksinimlerine göre değerlendirilir.Ardından alt sistemi kontrol etmek için komut üretir.Böylelikle demiryolu hattı boyunca güvenli bir ulaşım sağlanmış olur. Anlaşıman sistemi içerisinde sahada makinist ve tren bölgesini bilgilendirme amacıyla bulunan saha ikaz lambaları, trenlerin rota ve yönünü değiştirmek için kullanılan makas motorları ve trafik karayolu ile paralel olarak çalışan hemzemin geçit sistemleri içerisindeki çan,yol sinyalleri ve bariyer kontrol üniteleri bulunmaktadır. Bu sistemler geçmişten günümüze farklı teknolojiler geliştirilmektedir. Daha çok röle tabanlı sistemler ile kullanılsada

günümüzde gelişen teknoloji ile beraber elektronik tasarımlar ile sürme, doğrulama ve kontrol işlemleri yapılmaktadır. Burada en kritik olan durum olumsuz bir durumda sahada kontrol edilen ünitelerden hızlı bir şekilde geri bildirim alarak sahadaki demiryolu araçlarını ve tren bölgesini uyararak bunun önüne geçmektedir.

Hemzemin geçit, demiryolu hattı ile karayolu hattının kesiştiği noktada koruma sağlamak üzere bariyerler, yol işaretleri, sesli uyarılar ve engel dedektöründen oluşur. Hemzemin geçit alt sisteminin yapı ve fonksiyonları, istasyon tipi hemzemin geçit ve bağımsız hemzemin geçit sistemlerinde aynıdır. Anlaşman sistemi kapsamındaki hemzemin geçit sisteminin türü, istasyon tipi hemzemin geçit sistemidir. İstasyon tipi hemzemin geçit sistemi hemzemin geçit mantığı ile anlaşman ünitesi ve hemzemin geçit alt sistem bileşenleri tarafından sağlanan işletmeden oluşmaktadır. Bağımsız hemzemin geçit sisteminin temel farkı, anlaşman sisteminden bağımsız çalışmasını sağlayan kendi güvenlik PLC'sine sahip olmasıdır. Hemzemin geçit alt sistemi, yol zili, yol sinyali, hemzemin geçit bariyeri, engel dedektörü gibi hemzemin geçit bileşenlerinin kontrol ve teminini sağlar. Tam bariyer hemzemin geçit ve yarım bariyer hemzemin geçit olmak üzere iki tür hemzemin geçit mimarisi vardır.

1.2.1. Sinyalizasyon sistemleri

Anlaşman sistemi komutlarıyla çalışan ve anlaşman sistemine bilgi veren , gelen komutlar ile sahadaki bütün ekipmanların kontrol edilmesine olana sağlayan sistemler ise sinyalizasyon sistemleridir. Bu sistemler demiryolu sinyal kontrolünden sorumludur. Sinyal lambası alt sistemi, sinyal tipine göre sinyali kontrol eder. Güvenlik PLC'sinin komutlarına göre gündüz veya gece modunda sinyal özelliklerini açıp kapatmak bu alt sistemin ana amacıdır. Ayrıca alt sistem, güvenlik açısından kritik uygulamalarda sinyal lambası göstergesi hakkında bilgi sağlar. Sinyal lambası alt sistemi yıldırıma karşı koruma sağlar ve aşırı gerilim, aşırı akım gibi elektrik arızalarını önler. Sinyal lambası alt sistemi, kullanılan arayüze göre iki tip sinyal lambası için iki konfigürasyona sahiptir. Bu lambaların temel farkı, dijital sinyal lambasının görüntülenen sinyal bilgilerini kendisi sağlarken, konvansiyonel sinyal lambasının görüntülenen sinyal bilgilerini güvenlik PLC'sine göndermek için sinyal lambası alt sistemine ihtiyaç duymasıdır. Kullanılacak demiryolu sinyal lambası bileşenleri ilgili ürün standartlarına ve/veya direktiflerine uygundur. Sinyal lambaları, meydana gelen bir arıza birbirini

etkilemeyecek şekilde diğer arayüz ekipmanlarından elektriksel olarak izole edilmesi gerekmektedir.

Bir demiryolu sinyali, sürücünün ilerleme yetkisine ilişkin talimatları ileten veya talimatlar hakkında önceden uyarı sağlayan görsel bir görüntüleme cihazıdır. Sürücü, sinyalin göstergesini yorumlar ve buna göre hareket eder. Tipik olarak, bir sinyal sürücüye trenin güvenli bir şekilde ilerleyebileceği hız hakkında bilgi verebilir veya sürücüye durması talimatını verebilir. Sinyaller, hem görünüşleri gösterme tarzlarında hem de yola göre monte edilme tarzlarında farklılık gösterir. Sinyaller, hem görünüşleri gösterme tarzlarında hem de yola göre monte edilme tarzlarında farklılık gösterebilir. Sistemin uygulanacağı coğrafi bölgeye ve şartnameye göre kullanılan lamba tipleri farklılık gösterebilir. Bu lambaların temel farkı, dijital sinyal lambasının görüntülenen sinyal bilgilerini kendisi sağlarken, konvansiyonel sinyal lambasının görüntülenen sinyal bilgilerini güvenlik PLC'sine göndermek için sinyal lambası alt sistemine ihtiyaç duymasındır. Kullanılacak demiryolu sinyal lambası bileşenleri ilgili ürün standartlarına ve/veya direktiflerine uygundur. Sinyal lambaları, meydana gelen bir arıza birbirini etkilemeyecek şekilde diğer arayüz ekipmanlarından elektriksel olarak izole edilmesi gerekmektedir.

1.2.2. Demiryolu sistemlerindeki saha ekipmanları

Demiryolu sistemlerinde farklı özelliklere ve markalara göre farklı lamba grupları, çan ve bariyer grupları mevcuttur. Bu saha ekipmanları işletme şartnamesi ve kullanılacak olan coğrafi bölge ve işlevine göre farklılık gösterebilir. Kullanılacak olan bölgeye göre elektriksel giriş besleme gerilimleri, şartnamelere göre belirlenen parlaklık seviyeleri, maksimum akım değer ve total güç değerleri değişiklik gösterebilir. Anlaşma sistemi içerisinde kullanılan sinyal lambaları 230VAC, 110VAC, 24VDC vb. farklı giriş besleme voltaj seviyelerinde olabilir. Ayrıca bu sinyal lambalarının demiryolu standartları uyarınca emniyetli ve güvenli olabilmesi için SIL – 4 sertifikasyonuna sahip olması gerekmektedir.

1.2.2.1. Sinyal lambaları

Demiryolu sistemlerinde kullanılan sinyaller, teknik cihazlar ve insanlar arasında bir arayüz sağlayan temel ekipmanlardır. Sinyaller, sistemden tren makinistine veya yol

bölgesi boyunca bilgi iletmek için kullanılmaktadır. Hareket izni, rota yönü hakkında bilgi, izin verilen hız limiti, vb. anlamlandırılmalı bulunmaktadır. Örneğin ana sinyal çalışan bir hat boyunca tren hareketini kontrol eden bir sinyaldir. Trenin durması gerekip gerekmediğini veya bir sonraki sinyale kadar devam etmesine izin verilip verilmediğini göstermektedir. Ayrıca kullanılan bölgeye göre sinyal lambaları 4lü, 3lü veya 2li şekilde konumlandırılabilir. Bu sinyal lambaları renk kombinasyonlarına göre makiniste ve hat boyundaki görevlilere farklı anlamlar iletmektedir. 4lü bir sinyal lambasında sırasıyla üst sarı, yeşil, kırmızı ve alt sarı lambaları bulunmaktadır. Bu lambalar içerisinde yeşil lamba geçişin uygun olduğu anlamını taşıırken, kırmızı lamba dur anlamına gelmektedir. Üst sarı lambası geçişin uygun olduğunu fakat bir sonraki lambanın kırmızı olduğuna işaret eder. Üst ve alt sarının aynı anda yanma durumları ise makinistin dikkatli bir şekilde yola devam edeceğini anlatır. Yeşil ve alt sarı kombinasyonu sıradaki 2 lambanın bloklu olduğunu ve son olarak kırmızı ve alt sarı lamba kombinasyonu ise sürücüye manevra hareketi için izin verildiğini ve ilgili makas moturunun uygun konumda olduğunu anlatır.



Şekil 1. 1: Sinyal lambaları.

1.2.2.2. Bariyer grupları

Bariyer grupları hemzemin geçit bölgesine trafik yolu ile demiryolu hattının kesiştiği bölgelerde 2 yolu birbirinden izole etmek için kullanılmaktadır. Hemzemin geçitler bir

demiryolu kavşağıdır ve demiryolu sinyalizasyon güvenliğini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Amacı trenler ve karayolu trafiği arasındaki çarpışmaları engellemektedir. Kullanım yerine göre üzerinde yol sinyalleri ve çan/zil bulunabilir. Ayrıca yarım bariyer grup ve tam bariyer grubu şeklinde farklı kullanım şekilleri bulunmaktadır. Prensibi tren geçmeden önce tüm karayolu trafiğini durdurup tren geçişi sağlandıktan sonra trafiği güvenli bir şekilde devamını sağlamaktadır.



Şekil 1. 2: Demiryolu bariyer grubu.

1.2.2.3. Çan ve yol sinyali

Çan ve yol sinyali grubu bariyer gruplarının üzerinde kullanılan, hemzemin geçit sistemlerinde tren geçit bölgesine yaklaştığında bariyerlerin kapanacağını ve tren geldiğini trafik bölgesine ve etrafına bilgilendirmesi yapan saha ekipmanıdır.



Şekil 1. 3: Çan ve yol sinyali.

1.2.3. Demiryolu standartları ve emniyetli güvenlik seviyesi

Demiryolu sistemleri güvenlik açısından kritik sistemlerdir. İşletme devam ederken hat boyunca oluşabilecek olumsuz bir durum anında tren hattı bölgesini, makinistleri ve yolcuları hızlı bir şekilde bilgilendirmek ve can ve mal kaybının önüne geçmesi gerekmektedir. Bu nedenle geliştirilecek sistemlerin ve sahada kullanılacak olan ekipmanların ilgili standartlara uygun ve belirli sertifikasyonlara sahip olması zorunluluğu mevcuttur. Bu sebeple bütün sistemin arıza yapmaması beklenir. Teoride mümkün olsada fiziksel olarak sistemin arıza yapmacağı garanti edilemeyeceği için bu oranın minimum düzeyde tutulması beklenmektedir. Her cihazın emniyet kriterlerinin ve arıza yapma olasılıklarının analizi yapılması zorundalığı mevcuttur.[5]

Demiryolu sistemlerinde kontrol birimi ve sahada kullanılan olan bütün komponentlerin demiryolu standartlarına uygun olması gerekmektedir. CENELEC standardı EN 50126, demiryolu uygulamalarına özgü RAMS faktörlerinin kontrolünü sağlayacak, sistem yaşam döngüsüne dayalı bir yönetim süreci tanımlar. Süreç şunları destekler:

- RAMS gereksinimlerinin tanımı;
- RAMS'ye yönelik tehditlerin değerlendirilmesi ve kontrolü;
- RAMS görevlerinin planlanması ve uygulanması;

- RAMS gerekliliklerine uygunluğun sağlanması;
- Yaşam döngüsü boyunca uyumluluğun sürekli olarak izlenmesi.

RAM yaşam döngüsü, CENELEC standardı EN 50126-1 ve EN 50126-2'de tanımlanmıştır. Raylı sistemlerde RAMS faaliyetlerine tutarlı bir yaklaşımın uygulanmasını sağlamak için RAMS'yi yönetmek için sistem yaşam döngüsü ve görevleri hakkında bir süreç belirtir. Sistem yaşam döngüsü, her biri görevleri içeren ve bir sistemin ilk kavramdan hizmetten çıkarma ve imhaya kadar olan toplam ömrünü kapsayan bir dizi aşamadır. Yaşam döngüsü, kararlaştırılan zaman ölçekleri içinde doğru ürünü doğru fiyata teslim etmek için sistem aşamalardan geçerken, RAMS dahil olmak üzere bir sistemin tüm yönlerini planlamak, yönetmek, kontrol etmek ve izlemek için bir yapı sağlar. RAMS; sınırlı kaynakları demiryolu sistemlerine en iyi şekilde sistem ürünlerine tahsis eder. Bu sebeple RAMS yönetimi ve sistemlerine dikkat edilmelidir. RAMS sistemin güvenilirliğini ve güvenliğini değerlendirme için havacılık endüstrisi tarafından oluşturulmuştur. Özellikle emniyet açısından kritik endüstrilerde uygulanmıştır ve uygulamaya devam etmektedir. RAMS isterleri ise şunlardır: Reliability (güvenilebilirlik), Availability (elde edebilirlik), Maintainability (bakım yapılabilirlik), Safety (emniyet).[6]

Demiryolu standartlarının uyması gereken bazı emniyet seviyeleri mevcuttur. Bu bağlamda SIL diye bilenen ve sistemin bütün giriş ve çıkışlarının gerekli emniyet fonksiyonlarını belirli bir zaman diliminde yürütme durumudur.[7]. Demiryolu sistemlerinin SIL – 3 seviyesinde olması beklenmektedir.[8] SIL sistemin performans kriteridir. Dört farklı seviyesi mevcuttur. Bunlar 1, 2, 3 ve 4'tür. Emniyet seviyesinin yüksek oluşu o sistemin hata yapma ihtimalinin düşük olduğu anlamına gelir. SIL emniyet seviyesi arttığında sistemin karmaşıklığı yükselir ve bakım, onarım, maliyet masrafları yükselir. Bu sebeple demiryolunda uygulanacak olan sistemlerin RAMS isterlerine uygun olması ve SIL-4 sertifikasına sahip olması gerekmektedir. Elektronik donanım ve yazılım içeren uygulamalar oluşturulurken bu kriterler göz önüne bulundurulmalı ve tasarım bu parametreler üzerinden yapılmalıdır SIL sistemin tamamının emniyet güvenilirlik seviyesini belirtir. Sistemin alt bileşenlerinin SIL değeri bulunmaz. Alt sistemlerin SIL seviyesi olması genel sisteminde SIL seviyesi olacağı anlamına gelmez. SIL seviyesi için sistemin tamamını bütün olarak baz almak ve buna

göre değerlendirip test edilmesi gerekmektedir. Tablo 1.1’de SIL seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 1. 1: SIL seviyesi tablosu.

SIL Seviyesi	Güvenilirlik	Talep Durumunda Arıza Yapma İhtimali	Risk Azaltma Faktörü
SIL 4	> %99.99	%0.01 ve %0.001 arası	10000 ve 100000 kat arasında
SIL 3	%99.9 ve %99.99 arası	%0.1 ve %0.01 arası	1000 ve 10000 kat arasında
SIL 2	%99 ve %99.9 arası	%1 ve %0.1 arası	100 ve 1000 kat arasında
SIL 1	90% ve %99 arası	%10 ve %1 arası	10 ve 100 kat arasında

1.3. Tezin Amacı

Demiryolu sistemlerinde kullanılmakta oluşabilecek olumsuz ve can ve mal kaybına neden olabilecek durumları engellemek, saha ekipmanlarının sürülmesi, kontrol edilmesi, doğrulanması ile ilgilidir. Geliştirilen sistem ile beraber komuta merkezinden gelen sürme komutlarıyla saha ekipmanları emniyetli bir şekilde çalıştırılarak aynı zamanda sistem için belirlenen parametreler içerisinde olup olmadığını değerlendirecektir. Güvenli ve hata bilgisi ileterek demiryolu hattı boyunca oluşabilecek durumlara karşı komuta merkezini bilgilendirecektir. Bu sistemde makinistin daha emniyetli bir şekilde yönlendirilmesi ve kaza olma olasılığını en aza indirilmesi ana hedefler arasındadır. Burada demiryolu hattı ile makinist arasındaki görsel iletişimi sinyal lambaları sağlamaktadır. Ayrıca sinyal lambalarını sürmeye yarayan bu sistemin SIL4 güvenlik seviyesinde hata yapma olasılıklarının minimum $10^{-9}/\text{saat}$ ‘te bir olması gerekmektedir. Tasarlanan elektronik donanım sistemler EN50126 standart yaklaşımı dikkate alınarak tanım,hata analizleri, tasarım ve mimariler oluşturulacak olup EN 50129’a göre güvenlik FMEA analizleri yapılacaktır.Geliştirilen analog donanım tasarımı 1oo2D sistem mimarisi ile tasarlanmış olup aynı zamanda EMC (Elektromanyetik Uyumluluk) kuralları ışığında değerlendirilecektir. Bütün sistem SIL – 4 güvenlik emniyet bütünlük seviyesi kapsamında, bu hedefe uygun ve demiryolu standartları gereğinde geliştirilecektir.

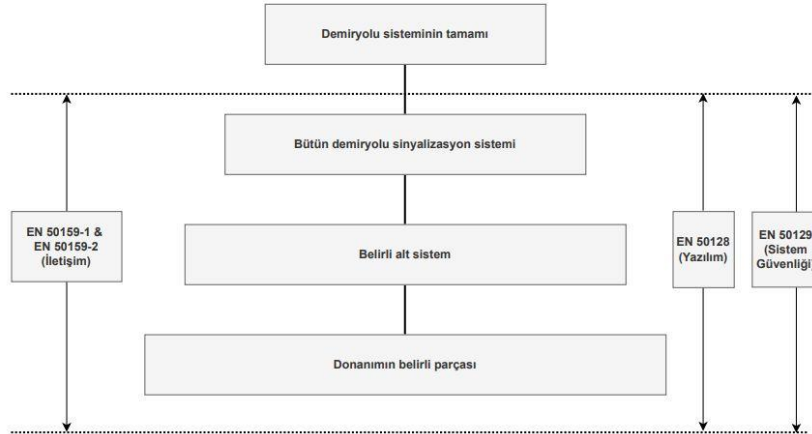
1.4. Hipotez

Ülkemizde demiryolu sistemlerinde kullanılan saha ekipmanlarının kontrol edilmesi için mevcut durumda röle tabanlı elektromekanik sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin çalışma ve bekleme süreli oldukça yüksek olmakla birlikte takip edilebilirlik, bakım yapılabilir durumları ve güvenilirlik seviyeleri oldukça düşüktür. Bu sistemlerin daha akıllı güvenli ve komuta merkezi ile beraber paralel ve yüksek hızlarda çalışması gerekmektedir. Ayrıca mevcut sistemler modüler bir yapıda olmadığı için hem mekanik hemde elektronik olarak birçok problem oluşturmaktadır. Bunların başında sistemde herhangi bir hata oluştuğu zaman komuta sisteminin zamanında bilgilendirilemesi, hatanın hızlı bir şekilde çözümüne olanak sağlanmaması ve tamir edilebilirlik durumunun hızlı olmasına olanak sağlamamasıdır. Ayrıca yüksek emniyetli bu sistemlerin yurtdışından temin edilmesinden doğan ihracaat ve maliyet problemleri vardır. Geliştirilen bu elektronik sistemle belirtilen hususlar önüne geçilmesi planlanmakta ve yerli olarak düşük maliyetli bir sistem tasarlanması amaçlanmıştır. Çalışma boyunca EN 50126 demiryolu uygulamaları RAMS şartnamesi ve standartları baz alınmıştır.

BÖLÜM 2. GÜVENLİ SİNYAL KONTROL SİSTEM TASARIMI

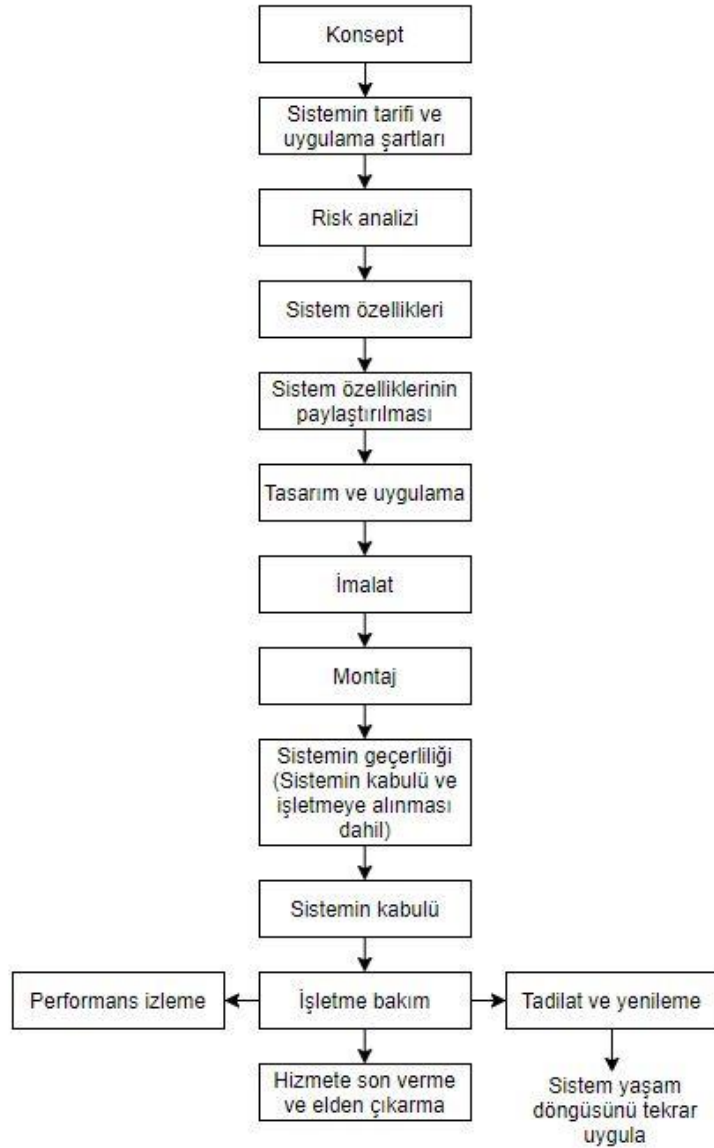
2.1. Sistem Tasarım Test Kriterleri

Demiryolu saha ekipmanlarının kontrolü için öncelikli olarak saha ekipmanları tanımalı özellikleri belirlenmeli ve uygulamanın yapılacağı hat için ilgili şartnamalar detaylıca incelenmelidir. Demiryolu için hazırlanmış olan CENELEC standartları baz alınarak mevcut mimari oluşturulmalıdır. RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Güvenilirlik, Kullanılabilirlik, Bakım Yapılabilirlik, Emniyet) analizleri için EN 50126, geliştirilecek olan donanım sistemlerinin doğruluğu için ise EN 50129 standartları önem taşımaktadır. Tasarım kapsamında risk analizleri, gereksinimler FMEA (Hata Modları ve Etkileri Analizi) ve FTA (Hata Ağacı Analizi) dikkate alınarak sistem tasarlanacaktır.



Şekil 2. 1: Demiryolu sistem standartları. [9]

Ayrıca tasarlanacak olan sistemin başından sonuna kadar uygulanması gereken V-cycle modeli dikkate alınacaktır. Bu modele göre mevcut karmaşıklığın basitleştirilmiş bir şekilde ortaya konulması ve bir yaşam döngüsü oluşturularak sistem tasarımı esnasından yönetim araçları kullanılarak kolay hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu tasarımda EN 50126 V-cycle yaşam döngüsü modeli dikkate alınmıştır.

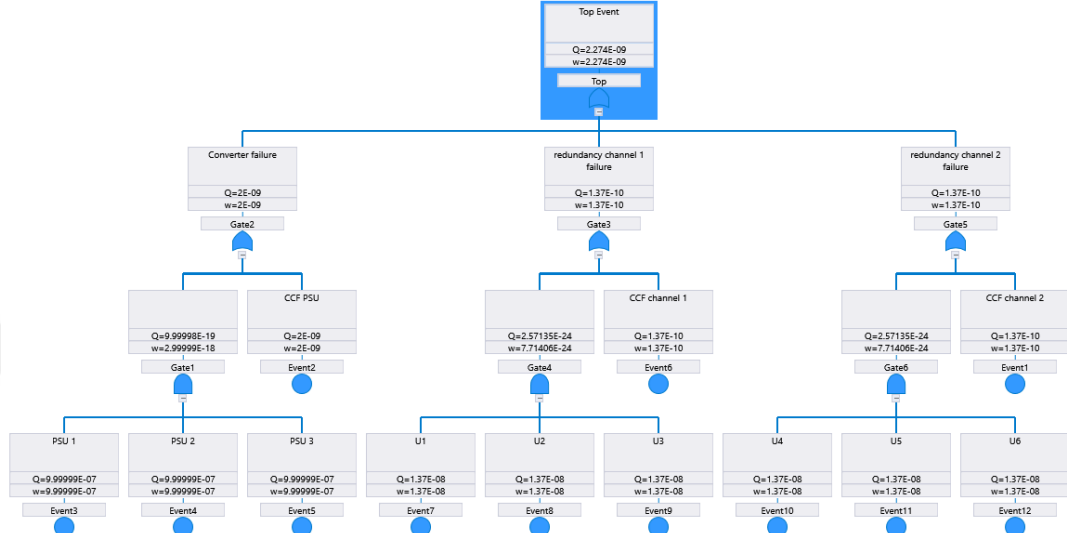


Şekil 2. 2: Yaşam döngüsü modeli.[9]

2.1.1. Hata analizi ve hata modları

Tasarımda tercih edilecek her bir komponentin MBTF değerleri belirlenmeli yok ise en kötü senaryo baz alınarak MIL-HNBK-217F el kitabına uygun bir şekilde hesaplanmalıdır. Komponentlerin MTBF/FIT değerleri belirlendikten sonra sistemin FTA analizi yapılarak genel bir hata oranı oluşturulmalıdır. FIT bir ürünün yaşam döngüsü boyunca başarısızlık durumunu tanımlar. FIT değeri bir ürünün güvenilirliği için önemli bir rakamdır. Zamandaki arızaları tanımlar. MTBF ise arızalar arasındaki geçen ortalama süredir. FIT'in ters bir fonksiyonu olarak tanımlanır. MTBF veya FIT

kullanım süreleri boyunca çalışan ürünlerin rastgele arızalarının bir ölçüsüdür. FTA analizi sistemdeki bütün komponentlerin MTBF değerleri belirlendikten sonra sistem çalışma fonksiyonları değerlendirilerek ilgili fonksiyonun ve bağlı sistemin hata yapma durumları ve toplam hata yapma süresini hesaplamaktadır.



Şekil 2. 3 : FTA analiz örneği.

Sistem içerisinde kullanılan elektronik komponentlerinde hata durumları belirlenmeli ve önem alınmalıdır. Bu önlemler ve hata durumları EN 50129 standardında belirtilmiştir. Direnç, kapasite, bobin, trafo, röle vb. komponentlerin hata durumları ve modları belirlenmiştir. Tasarlanacak olan sistemin bu durumları sağlanması önem arz etmektedir. Bu hata modları sistem içerisinde kullanılan her bir komponent için ayrı ayrı yapılmalıdır. Kullanılan komponentler çevresel etkiler, mekanik strese bağlı değişimler ve sistem içerisinde meydana gelebilecek olumsuz durumlardan dolayı hataya düşebilir.

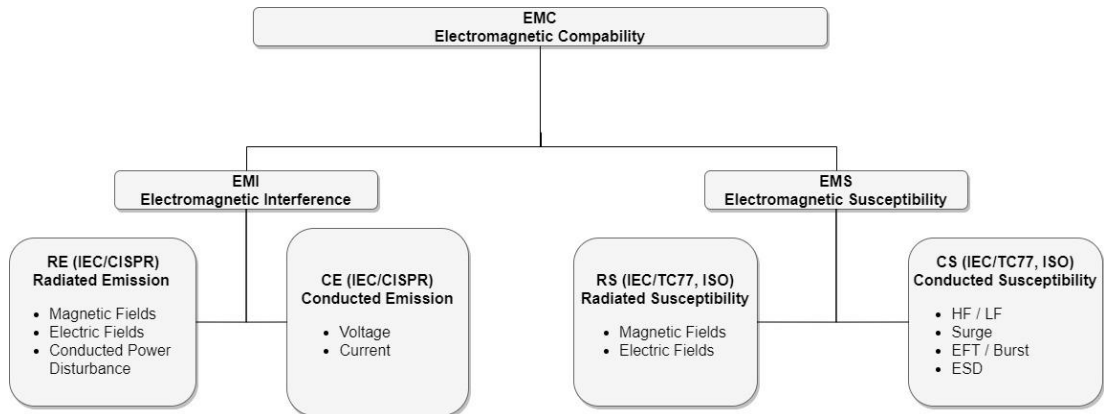
Şekil 2.3'te görüldüğü üzere kullanılan dirençlerin bazı hata modları bulunmaktadır. Bu hata modlarının donanıma olan etkisi, sisteme olan etkileri özelden genele doğru olacak bir şekilde analiz edilmeli, belirlenmeli ve dökümanlaştırılmalıdır. Bu analiz tasarlanan elektronik kartlar için kullanılan bütün komponentler için yapılmalı ve analiz edilmelidir.

Tablo 2. 1 Örnek komponent hata modları. [9]

Komponent Tipi	Hata Modları - 1	Hata Modları - 2
Direnç	Kısa Devre Şase ile Kısa Devre Kesinti Oluşması	Direnç Değeri Artması Direnç Değeri Azalması
Kapasitör	Kısa Devre Şase ile Kısa Devre Kesinti Oluşması	Kapasite Değeri Artması Kapasite Değeri Azalması

2.2. Sistem Elektromanyetik Test Kriterleri

Sistem tasarımı aşamasında diğer belirlenmesi gereken durumlar ise sistemin gireceği testler ve sahada kullanılacak olan ekipmanların özellikleridir. Geliştirilecek ve tasarlanacak olan donanım mimarileri EMI test planlara göre belirlenmesi ve kurgulanmalıdır. Ayrıca sistemin kontrol edeceği saha ekipman özelliklerinin net olarak anlaşılması tasarlanacak olan sistemdeki komponentlerin seçimi hususunda yardımcı olacaktır.



Şekil 2. 4: EMC test şeması.

Tüm elektrikli ve elektronik cihazlar veya kurulumlar, birbirine bağlandığında veya yakın bir yere yerleştirildiğinde birbirini etkiler. EMC gereklilikleri, bu yan etkileri makul kontrol altında tutmak için tasarlanmıştır. Benzer şekilde, demiryolunda birçok unsur elektronik olarak yönetilir ve herhangi bir müdahale bunların arızalanmasına neden olabilir. Bu nedenle, bu sistemlerin kalite ve işlevsel güvenlik açısından EMC düzenlemeleri yardımıyla değerlendirilmesi önemlidir. Ekipmanın emisyonu ve bağışıklığı olan EMC deneyleri, uygun standartlarda test edilerek doğrulanmalıdır. Uygunluklarını teyit etmek için test raporları ve sertifikalar üretilmelidir. Doğrulama, yaşam döngüsünün her aşaması için veya her aşamadaki faaliyetlerin çeşitli aşamaları için çıktılarının her bakımdan o aşama veya aşama için belirlenen hedefleri ve gereksinimleri karşıladığını gösterme etkinliğidir. Doğrulama, gösterim, analiz (benzerlik dahil), tasarımın gözden geçirilmesi ve muayene dahil olmak üzere test olan doğrulama yöntemlerinden biri veya daha fazlası ile gerçekleştirilecektir. Tüm güvenlik açısından kritik fonksiyonlar, test ile doğrulanmalıdır. Yazılımın doğrulanması, hedef donanım ortamında test edilmesini içerecektir. Sadece analiz veya tasarımın gözden geçirilmesi ile doğrulanan her gereklilik için, bu gerekliliğin görev üzerindeki etkisinin düzeyini belirlemek için bir risk değerlendirmesi yapılacaktır. Gereksinimin etkisi büyükse, iki bağımsız analize dayalı bir çapraz kontrol içeren bir risk azaltma planı tanımlanmalıdır.

2.2.1. Emisyon testi

Bir ekipman veya sistemden kaynaklanan girişim, yayılan emisyon, iletilen emisyon, harmonik ve titreşim şeklinde olabilir. Yayılan ve iletilen emisyonların kaynakları, devrede veya ekipmana bağlı kablolarda bulunan diferansiyel mod ve ortak mod akımlarıdır. Bileşenlerin, ekipmanların, alt sistemlerin ve tüm sistemlerin izin verilen emisyon limitlerinin üzerinde emisyon yapıp yapmadığının test edilmesi talep edilmektedir. AC/DC güç hatları, giriş-çıkış hatları ve toprak hatları gibi iletken ortamlarda yayılan gürültü akımları için iletilen emisyonun 30 MHz'i aşmayacağı test edilmelidir. Yayılan emisyon, açık alan test alanları ve yankısız oda gibi özel test alanlarında 30 MHz'in üzerindeki frekanslarda ölçülmelidir. Devre tasarımında, topraklamada, bağlamada, filtrelemede ve ekranlamada en iyi uygulamaların uygulanması kabul edilebilir sınırlar içinde emisyonla sonuçlanmalıdır.

Harmonik ve kırpışma emisyon limitleri, kamusal güç kaynağı sistemine bağı ekipmanlardan kaynaklanan harmonik akımları ve voltaj değışikliklerini kontrol etmek içindir. Emisyon deneyleri için EN 50121-1 ve EN 50121-4 uygun standartlarda çok özel test kurulumları, test spesifikasyonları ve uygulandıkları portlara göre sınır değerler bulunmaktadır. [10,11] Emisyon deneyleri EN 55016-2'ye göre yapılacaktır.

Tablo 2. 2 AC/DC güç portları.[12]

Port	Test Spesifikasyonu	Limitler	Standart ve Deney Düzeneği
AC yada DC güç hatları	150kHz - 500kHz	79 dB μ V anlık	EN 55016-2-1
		66 dB μ V ort	
	500kHz – 30MHz	73 dB μ V anlık	
		60 dB μ V ort	

2.2.2. Bağışıklık testi

Bağışıklık, bir cihazın, ekipmanın veya sistemin elektromanyetik girişim varlığında bozulmadan çalışabilme yeteneği olarak tanımlanır. Bir demiryolu ortamına kurulan sistemlerin, çeşitli parazit kaynaklarına karşı yeterli düzeyde bağışıklığa sahip olması çok önemlidir. Herhangi bir hassas elektronik ekipman, önemli miktarda yayılan girişimin mevcut olduğu bir ortamda çalışabilmelidir. Tüm sistem iletilen ve yayılan parazitlere karşı yeterli bağışıklığa sahip olmalıdır. Yapılması gereken bağışıklık testleri aşağıda gösterilmiştir.

Gerilim Düşüşleri ve Kesintiler: Büyük yüklerin ani değişimleri ile bir güç şebekesindeki arızalar nedeniyle oluşan olayları simüle etmeyi amaçlar.

Radyo Frekansı Yayılan Girişim: Test edilen ekipmanın istem dışı ürettiği emisyonların elektromanyetik alanının ölçülmesidir. İlgilenilen tüm frekans aralığını kapsamak için birkaç farklı anten gerekebilir.

Radyo – Frekans İletimli Parazit: Bir dönüştürücü kullanarak diğer kablolarla ortak mod paraziti enjekte ederek bitişik kabloları simüle etmeyi amaçlar. Ayrıca, harici güç ve sinyal kablolarının normal voltaj ve akım ortamını simüle etmek için kullanılır.

Elektriksel Hızlı Geçişler / Patlamalar: Akım yolundaki endüktif enerji depolamanın neden olduğu geri tepme gerilimleri nedeniyle, sıradan AC ana şalterlerin veya röle kontaklarının kontaklarında bir sağanak arkın yarattığı bozulmaları simüle etmeyi amaçlar.

Gerilim Dalgalanması: Yıldırımın AC güç kaynakları ve herhangi bir uzun kablo üzerindeki etkilerini simüle etmeyi amaçlar.

Elektrostatik Deşarj: Önemli EMC testlerinden biridir. Bir kişinin parmaklarından doğrudan veya elinde anahtarlar veya diğer metal nesnelere deşarjların etkilerini simüle etmeyi amaçlar; kişi, genellikle parmakları arasındaki sürtünme temaslarından dolayı tribo-elektrik şarjı ile yüksek voltaja şarj edilir. Ayakkabılar veya giysiler ve döşeme, depolama vb. için kullanılan benzer olmayan malzemeler.

Manyetik Alan: Manyetik alanın etkilerini simüle etmeyi ve bir cihazın düzgün çalışmaya devam etmesini sağlamayı amaçlar. Bu tür bağışıklık testi gerektiren tipik cihazlar arasında CRT monitörler, elektrodinamik mikrofonlar ve daha fazlası bulunur.

Tablo 2. 3: Bağışıklık testleri standartları ve limitleri. [13]

Standart	Test İsimleri	Test Limitleri
EN 61000-4-2	Elektrostatik Deşarj Testi	6 kV direkt boşalma, 8 kV havadan boşalma
EN 61000-4-3	EM Alan	80...1000 MHz: 10 V/m
EN 61000-4-4	Elektriksel Hızlı Geçişler	Besleme Test Gerilimi: 2 kV I/O Hatları: 2 kV
EN 61000-4-5	Yıldırım Darbe Testleri	Besleme Test Gerilimi: 2 kV CM
EN 61000-4-6	Radyo Frekans Testi	Besleme Test Gerilimi: 10 V I/O hatları: 10 V

2.3. Saha Ekipmanları Elektriksel Özellikleri

Sistemin mimarisi belirlenmeden önce sahada kontrol edilmesi planlanan ekipmanların elektriksel özellikleri iyi kavranmalı ve anlaşılmalıdır. Çalışma voltajları, akım değerleri, total güç vb. parametrelere göre tasarımlar yapılmalı ve akış diyagramı


belirlenmelidir. Demiryolu sistemlerinde kullanılan makinist ve tren bölgesindeki insanları uyarmak ve demiryolu hattı boyunca bilgi veren demiryolu sinyalleri günümüzde birçok firma tarafından geliştirilmektedir. Bu sebeple kullanılan olan sinyalin SIL – 4 ve ilgili demiryolu ve trafik standartlarına uygun olmalıdır. Lambaların parlaklık düzeyleri, gece ve gündüz mod durumları sistemin tasarlanmasının en önemli kriterlerinin başında gelmektedir.

2.3.1. Demiryolu yol boyu sinyalleri


Bir demiryolu sinyali, sürücünün ilerleme yetkisine ilişkin talimatları ileten veya talimatlar hakkında önceden uyarı sağlayan görsel bir görüntüleme cihazıdır. Sürücü, sinyalin göstergesini yorumlar ve buna göre hareket eder. Tipik olarak, bir sinyal sürücüye trenin güvenli bir şekilde ilerleyebileceği hız hakkında bilgi verebilir veya sürücüye durması talimatını verebilir. Sinyaller, hem görünüşleri gösterme tarzlarında hem de yola göre monte edilme tarzlarında farklılık gösterir. Sinyaller, hem görünüşleri gösterme tarzlarında hem de yola göre monte edilme tarzlarında farklılık gösterir.

Kablolar, demiryolu sinyal lambasına enerji vermek ve kontrol etmek için kullanılan EN 50254-2-2'ye uygundur. Sinyal lambasının klemensleri, bakır iletkenler için klemensler olan Avrupa standardı EN 60947-7-1'e uygundur. Her lamba özelliğinin kendi transformatörü vardır. Her bir LED sinyal yönü, kontrol modülüne tel kablolarla bağlanır. LED sinyal görünüş renkleri, DIN 6163-4 standardına uygundur. Transformatör primer tarafında 230 V AC, normal mod için transformatör sekonder tarafında 12 V AC, trafo primer tarafında AC gerilime karşılık gelir, dim modu için trafo sekonder tarafında 8 V AC. Demiryolu sinyal lambaları, sinyal lambasının her yönü için bir tane olmak üzere, sinyal direğine monte edilmiş arıza emniyetli trafo ile sağlanır.

Tablo 2. 4: Sinyal lamba özellikleri örneği 1.

Sinyal Lambası 1	Teknik Özellikler	Normal Mod	Gece Modu
	Giriş Voltajı	12VAC	8VAC
	Güç Tüketimi	20W	9W
	Parlaklık Şiddeti	4000 cd	600cd


Tablo 2. 5: Sinyal lamba özellikleri örneği 2.

Sinyal Lambası 1	Teknik Özellikler	Normal Mod	Gece Modu
	Giriş Voltajı	10VAC	8VAC
	Güç Tüketimi	18W	9W
	Parlaklık Şiddeti	1800 cd	600cd

2.3.2. Hemzemin geçit makinist uyarı sinyali ve yol sinyali

Demiryolu hattı boyunca hemzemin geçit bölgelerinde ray bölgesinin müsait olup olmadığını tren sürücüsüne bilgi veren led ışıklı uyarı sinyalidir. Kırmızı ve yeşil olmak üzere 2 farklı rengi mevcut olmak birlikten gündüz ve gece modlarında bulunmaktadır. Yol sinyalleri ise hemzemin geçit bölgelerinde bariyer gruplarının üstünde konumlandırılan ve trafik yolunu bilgilendirmek için kullanılan lamba gruplarıdır. Kırmızı ve normal modları vardır ve sırasıyla 500 ms sinyal yak/sön şeklinde çalışmaktadır. Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te ilgili makinist uyarı sinyali ve yol sinyalinin normal ve gece modundaki teknik bilgileri verilmiştir.

Tablo 2. 6: Makinist uyarı sinyali özellikleri.

Sinyal Lambası 1	Teknik Özellikler	Normal Mod	Gece Modu
	Giriş Voltajı	24VDC	-
	Güç Tüketimi	15W	-
	Parlaklık Şiddeti	625nm	-

Tablo 2. 7: Yol sinyali özellikleri.

Sinyal Lambası 1	Teknik Özellikler	Normal Mod	Gece Modu
	Giriş Voltajı	24VDC	-
	Güç Tüketimi	5W	-
	Parlaklık Şiddeti	625nm	-

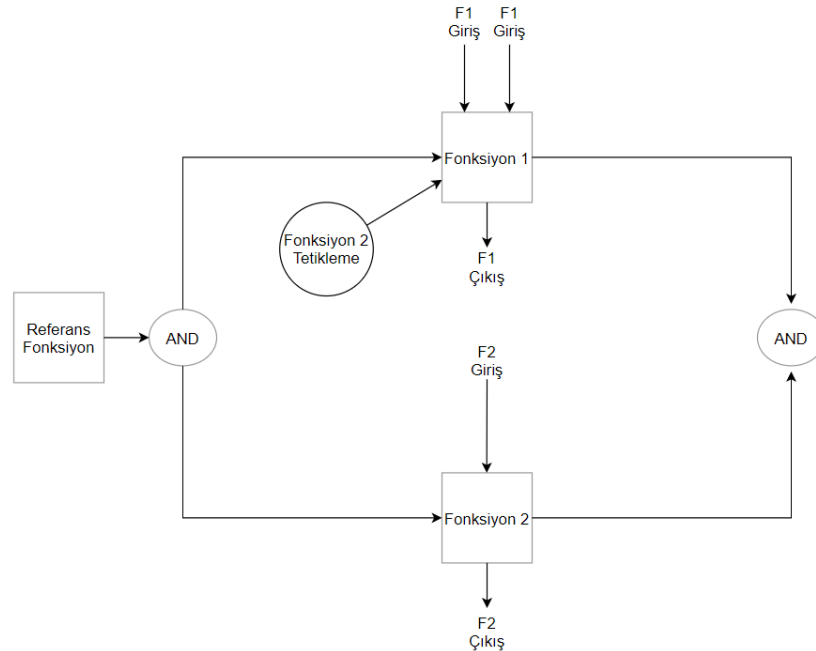
2.3.3. Akustik çan ve bariyer grupları

Bariyer grupları ve akustik çan tren ilgili hemzemin bölgesine yaklaştığında paralel çalışmaktadır. Bariyer grupları kullanılan bölgenin yoğunluğuna göre yarım veya tam olabilir. Çanlar bariyer gruplarının üzerlerine konumlandırmak suretiyle kullanılırlar. Akustik çan ve bariyer grupları 24DC ile çalışmaktadır. Akustik çan 90 desibel ses ikazına sahiptir. Bariyer sürücüsü redüktörlü bir elektrik motoru tarafından yönetilmektedir. 250W gücünde ve 1500 d/d çalışmaktadır. Akustik çanlar, meydana gelen bir arıza birbirini etkilemeyecek şekilde diğer arayüz ekipmanlarından elektriksel olarak izole edilecektir.

2.4. Sistem Mimarisi

İlk olarak hangi alt sistemin hangi fonksiyon gruplarına hangi fonksiyonlarla sahip olacağını tanımlanması için Top-Down yapısı verilmiştir. İkinci olarak, o alt sistemin hangi bileşenlerle hangi işlevleri yerine getireceğini tanımlamak için fiziksel mimari verilir. Son olarak ILO (Input Logic Output) tanımlamak için EFFBD (Enhanced Function Flow Block Diagram) yöntemleri kullanılmıştır. EFFBD'de sıralı olan fonksiyonlar seri olarak, eş zamanlı olan fonksiyonlar OR veya AND bağlantılarıyla paralel olarak gösterilir. Fonksiyonların girişleri fonksiyon bloğunun yukarısında ve fonksiyonların çıkışları fonksiyon bloğunun altında gösterilir. Fonksiyon bloğunun tetikleyicisi, fonksiyon bloğunun sol alt köşesinde cater-köşe olarak gösterilmiştir.

Burada ana amaç sistem alt fonksiyonları net bir şekilde ifade ederek sistem gruplarını tanımlamaktır. Ayrıca aynı anda işlem yapan birbirinden bağımsız 2 farklı kanal bulunmaktadır. Fonksiyonun arıza oluşturmaması için birbirinden bağımsız bu 2 farklı kanalın sonuçlarının aynı olması gerekmektedir. Fonksiyon 1 veya fonksiyon 2 de hata olması durumunda arıza fonksiyonları devreye girmektedir. Böylelikle 1oo2D mimarisinde bir sistem oluşturulmuş ve kurgulanmış olmaktadır.



Şekil 2. 5 EFFBD metot örneği.

2.4.1. Elektriksel koruma sistemi

Güvenlik PLC'si ile elektronik kontrol sistemi arasındaki alt sistemde kullanılan koruyucu ekipman ve/veya yol kenarı ekipmanlarının korunmasını sağlamaktadır. Her giriş ve çıkış için aşırı akım ve aşırı voltaj koruması sağlar. Donanım yapılandırma ögesi yalnızca tip 1 sinyal lambası için geçerlidir. Güç korumaları ise her bir elektronik kontrol sistemi için aşırı akım koruması ve aşırı akım kaçak akım koruması sağlamaktadır. Her yön için aşırı akım ve voltaj koruması yapmaktadır.

2.4.2. Elektronik kontrol sistemi mimarisi

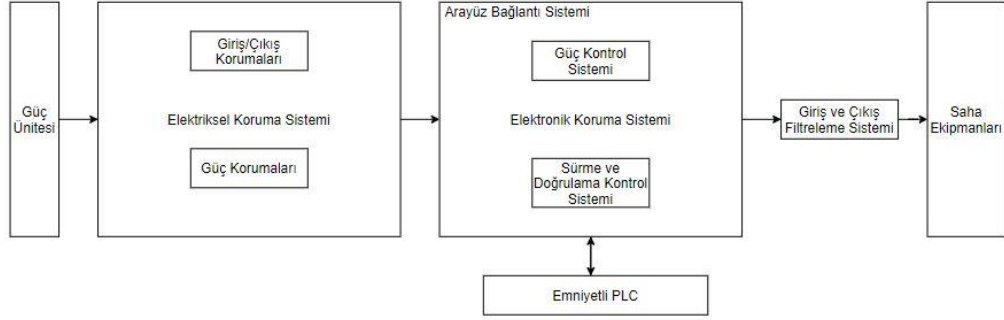
Sinyal lambası alt sistemi, demiryolu sinyal kontrolünden sorumludur. Sinyal lambası alt sistemi, sinyal tipine göre sinyali kontrol eder. Güvenlik PLC'sinin komutlarına göre gündüz veya gece modunda sinyal özelliklerini açıp kapatmak bu alt sistemin ana amacıdır. Ayrıca alt sistem, güvenlik açısından kritik uygulamalarda sinyal lambası gösterge lambasının yanması hakkında bilgi verir. Sinyal lambası alt sistemi, yıldırıma karşı koruma sağlar ve aşırı gerilim, aşırı akım gibi elektrik arızalarını önler. Sinyal lambası alt sistemi, kabinler tarafından 230 VAC ve 24 VDC ile beslenir. Lamba alt sistemi, reaktif arızaya karşı güvenli bir yapıdır, SIL-4 gereklilikleri için EN50129 tablo E.4'te tanımlanan şiddetle tavsiye edilen parametrelere göre tasarlanmıştır. Ayrıca, herhangi bir bileşende arıza olabileceği zaman, alt sistem dijital girişleri teşhis ve bakım sistemine iletir.

Sinyal lambası alt sistemi, kullanılan arayüze göre iki tip sinyal lambası için iki konfigürasyona sahiptir; Sinyal lambalı geleneksel arayüz (Tip 1) ve sinyal lambalı dijital arayüz (Tip 2).

Sistem tanımında açıklanan sinyal lambası alt sisteminin ana işlevleri aşağıda şunlardır:

- Geleneksel arayüz ile sinyali açma/kapatma
- Geleneksel arayüz ile sinyali gece modunda sürme
- Görüntülenen sinyali geleneksel arabirimle kanıtlama/doğrulama
- Dijital arayüz ile sinyali gece modunda sürme
- Dijital arayüz ile sinyali açma/kapatma

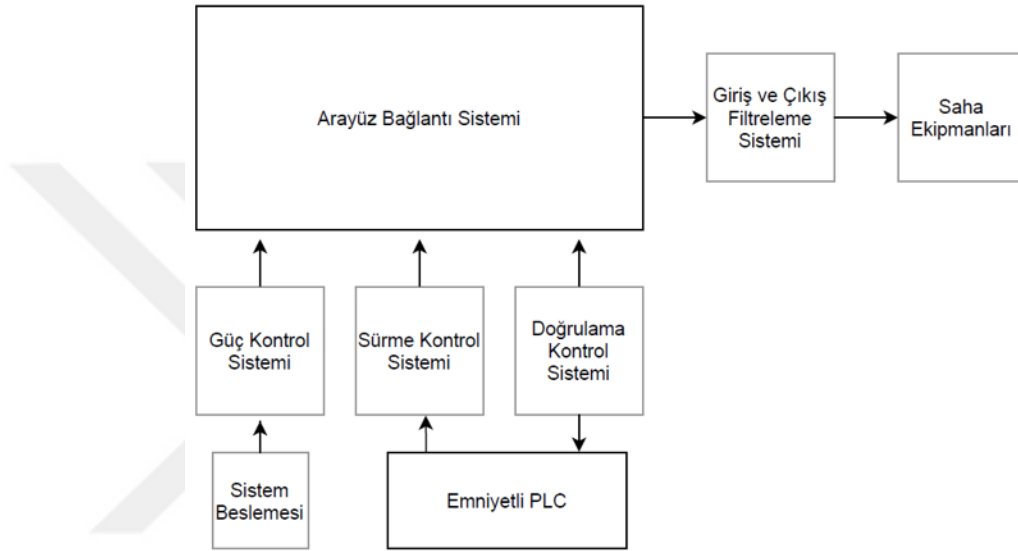
Sistem gereklilikleri göz önüne alındığında sistem içerisinde oluşacak alt sistemler tanımlanmıştır. Kontrol sistemi pano içerisinde yer alacağı için gerçekleştirilecek elektronik kontrol sisteminde elektriksel açıdan güç ve giriş çıkış noktalarının korunması gerekmektedir.



Şekil 2. 6: Sistem akış diyagramı.

Elektronik kontrol sistemi; güç kontrol sistemi, sürme ve doğrulama kontrol sistemi, bu sistemi birbirlerine bağlanmasını sağlayan arayüz bağlantı sistemi ve giriş/çıkış filtreleme sisteminden oluşmaktadır. Elektronik kontrol sistemi, arıza güvenliği gereksinimlerini karşılayarak sinyal lambası alt sistemini çalıştırmak üzere tasarlanmıştır. Bu kontrol sistemi, çıkış yük voltajını ayarlayarak demiryolu sinyal lambasını gündüz ve gece modunda açma/kapatma yeteneği sağlar. Sistem sağlanan kontrol edilecek yol kenarı ekipmanın yük akımı, elektronik devreyi çalıştırarak istenen değerdedir ve çıkışları güvenlik PLC'sine ileterek ve aynı zamanda modüllerin tanısını izleyerek güvenlik açısından kritik kanıtlama sinyalini sürdürür. Ayrıca, sürme doğrulama ve giriş çıkış filtreleme modülleriyle kurulacak yol kenarı ekipmanlarına (birkaç demiryolu sinyali, yol sinyali vb.) ilişkin konfigürasyon araçlarıyla (anahtarlar, başlıklar vb.) PCB kartı üzerinde manuel değişiklikler yoluyla yapılandırılabilir. Elektronik kontrol sistemi modüler devre gruplarına sahiptir. Bu modüler devreler, kolay kullanım ve bakım kolaylığı için 3U-220mm derinlik özelliğine sahip alt raflara yerleştirilmiştir. Alt raf yapısı, sinyal lambaları alt sistemi ile diğer alt sistemler arasındaki elektromanyetik girişimin azaltılmasını sağlar. Raf HP'sinin yükseklik değeri değiştirilebilir. Sub-rack maksimum 7 sürme ve doğrulama kontrol modülü, 1 adet güç kontrol modülü, 1 adet arayüz bağlantı modülü içerebilir. Sistem montajı, modüller alt raflara yerleştirilerek kolayca yapılabilir, binalarda bulunan kabinetlerin içine kurulur.

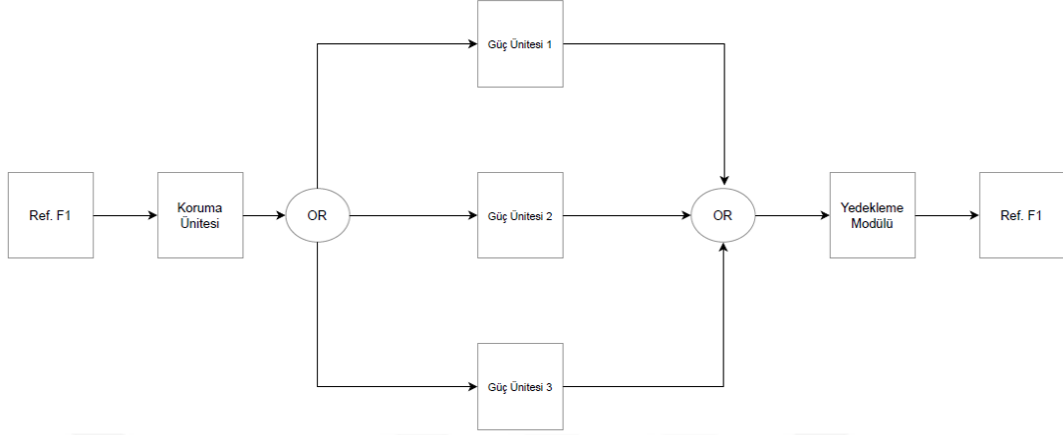
Şekil 2.9’de gösterilen arayüz bağlantı sistemi EFFBD’si ise sistemin saha panolarında kullanılmasından dolayı daha modüler ve bağlantılarının yapılması için tasarlanmış olan bir elemandır. Sistem içerisinde saha elemanlarının sinyal lambaları, çan, bariyer ve motor sürücülerinin besleme grupları ve sahada sürülecek olan motor ve bariyer sistemlerinin indikasyon bilgi grupları için giriş klemensleri bulunmaktadır. Sistem içerisindeki güç kontrol sistemi, sürme kontrol sistemi, doğrulama kontrol sistemlerinin bağlantısını sağlamaktadır.



Şekil 2. 7: Sinyal lambası arayüz kontrol sistemi için arıza EFFBD’si.

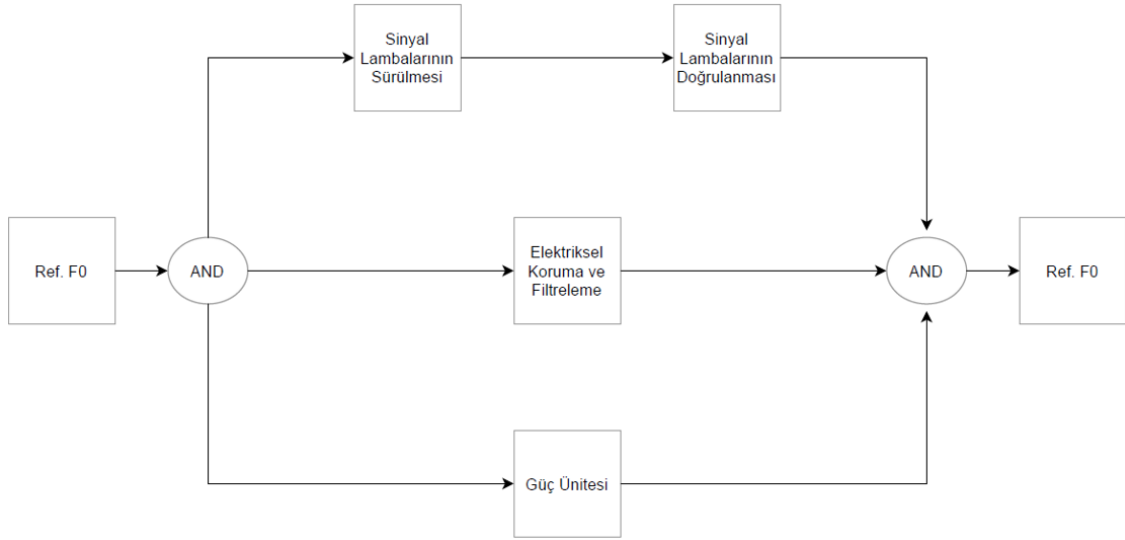
Şekil 2.10’da gösterilen güç kontrol sistemi EFFBD’si ise sistem içerisinde kullanılan bütün kontrol sistemlerini ve saha ekipmanlarını besleyen sistem ünitesidir. İçerisinde sistemin girişinde oluşabilecek aşırı akım ve aşırı voltaj korumalarına karşı bir koruma ünitesi bulunmaktadır. Demiryolu sistemleri yurtiçi ve yurtdışında farklı coğrafi ve yeryüzü şekillerinde çalışması gerektiğinden dolayı farklı frekans bandlarında sistemin yüksek emniyetli çalışabilmesi için gürültü engelleyici sistemleride içermektedir. Sürme ve doğrulama kontrol sistemlerini beslediği 3 adet güç ünitesi bulunmaktadır. Bu güç üniteleri 1003D mimarisi baz alınarak oluşturulmuştur. Ek olarak bu güç üniteleri içerisinde yedekleme modülleri bulunmaktadır. 3 adet güç ünitesi içerisinde herhangi birinin bozulması/kısa süreli durması veya uzun süreli kullanıma bağlı kapasitenin yeterli gelmemesi vb. durumlar için önlem alınmıştır. Böylelikle elektronik kontrol

sistem mimarisinin çalışması devamlılığı sağlanması amaçlanmıştır. Sistem 3 güç ünitesinden herhangi birinin çalışmaması durumunda duracaktır.



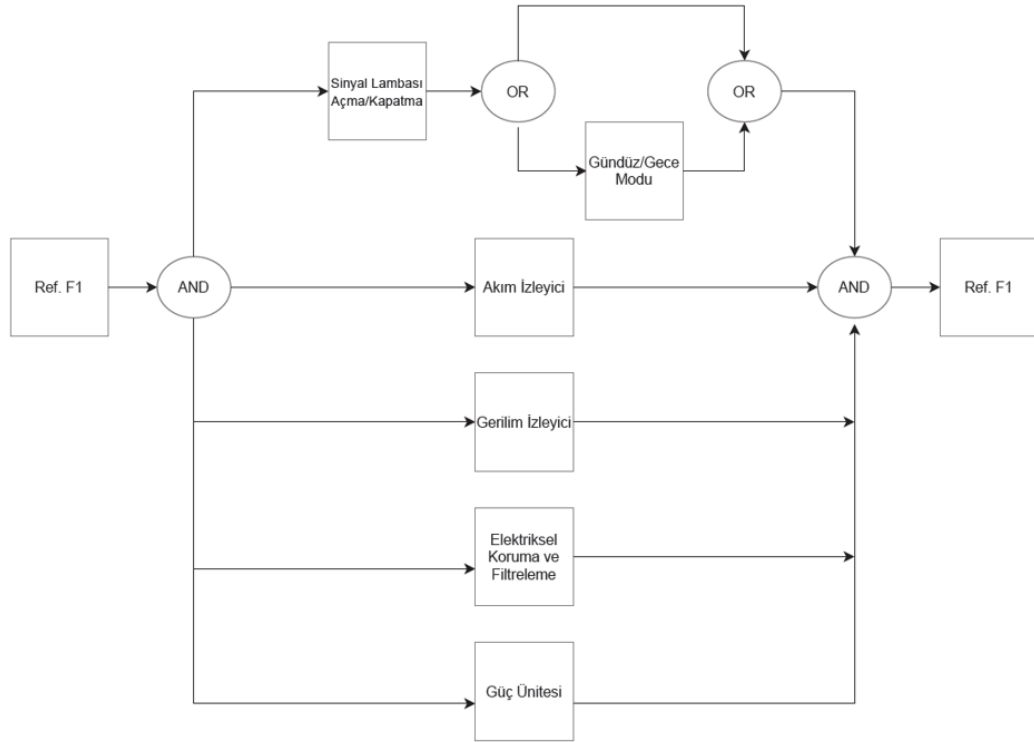
Şekil 2. 8: Sinyal lambası F1 güç kontrol sistemi için arıza EFFBD'si.

Şekil 2.11'de sürme ve doğrulama sistemlerini oluşturalan kontrol sistemi EFFBD'si gösterilmiştir. Kontrol sistemi emniyetli plc üzerinden gönderdiği komutları elektronik kontrol sisteminin sürme, doğrulama sistemlerinden geçirerek ve aynı zamanda bu sistemleri besleyen ve paralel çalışan elektrikselsel koruma/filtreleme, güç ünitesi tarafından desteklenmektedir.



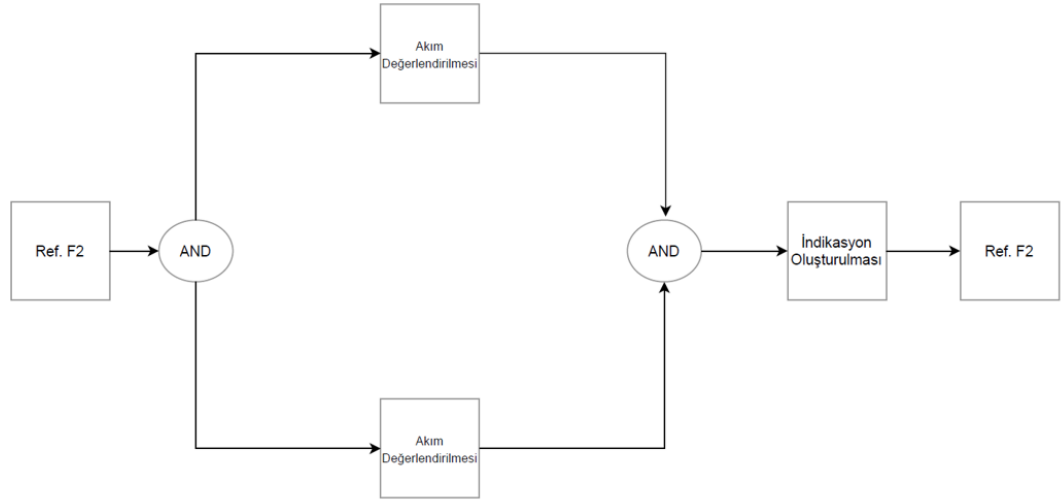
Şekil 2. 9: Sinyal lambası F0 kontrol sistemi arıza EFFBD'si.

Şekil 2.12’de gösterilen kontrol sisteminin parçası olan sinyal lambalarının sürülmesi için oluşturulan sistem mimarisidir. Emniyetli PLC’den gelen saha ekipmanı sürme tetiğinden sonra ilgili saha ekipmanının çalıştırılması sağlanmaktadır. Sistem içerisinde gelen tetiğe göre gece ve gündüz modları bulunmaktadır. Saha ekipmanlarının emniyetli sürülmesi için saha ekipmanlarının voltaj ve akım değerleride paralel olarak ölçülmektedir. Belirlenen limitler içerisinde sistemin emniyetli olarak çalışması sağlanmaktadır. Aynı zamanda sistem içerisinde güç ünitesi ve koruma ve filtre ünitesi sistemleride bulunmaktadır. Sistem içerisinde saha ekipmanları süren röle grupları birbirlerini yedekli olacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylece birbirlerini doğrulayan ve hata durumunda sisteme bilgi verecek bir mimari tasarlanmıştır. Ayrıca ilgili röle gruplarının boştaki bacaklarından indikasyon verileri döndürek componentlerin çalışmalarında herhangi hata durumu olup olmadığı eş zamanlı olarak takip edilmektedir. Saha ekipmanlarının emniyetli bir biçimde sürüldü bilgi verilebilmesi için akım bilgisi, voltaj bilgisi, röle durum bilgisi ve sinyal doğrulama kartındanki mantıksal kıyaslama bilgilerinin belirlenen limitlerde çıkış sağlayarak hepsinin uygun olması gerekmektedir. Herhangi bir alt ünitenin uygunsuz olduğu durumda sistem ana kontrol merkezine bir hata indikasyonu üreterek mevcut sistemi güvenli çalışmaya geçirerek sahadaki can ve mal kayıplarının önüne geçmesi amaçlanmıştır.



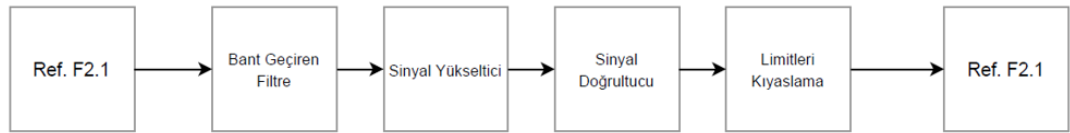
Şekil 2. 10: Sinyal lambası F1 sinyal lambalarının sürülmesi arıza EFFBD'si.

Şekil 2.13'de sinyal doğrulama doğrulama kontrol sisteminin EFFBD'si gösterilmiştir. Saha ekipmanlarının ölçülen akım, voltaj ve sürme sisteminden alınan komponent indikasyon bilgileri sistem içerisinde mantıksal kıyaslamalara dahil olmaktadır. Her bir saha ekipmanı için kendi içerisinde birincil ve ikincil olmak üzere 2 farklı kanal bulunmaktadır. Bu kanallar elektriksel olarak birbirlerinden galvanik olarak izolasyonludur. Böylelikle yapılan ölçümler birbirinden bağımsız olarak yapılmaktadır. Her iki kanaldan birinde hata oluştuğu durumda sistem hata fonksiyonu üretmektedir. Sistemin güvenli uygun indikasyonu ürebilmesi için sistemin her iki kanalından güvenli indikasyonu oluşması gerekmektedir.



Şekil 2. 11: Sinyal lambası F2 sinyallerinin doğrulanması arıza EFFBD'si.

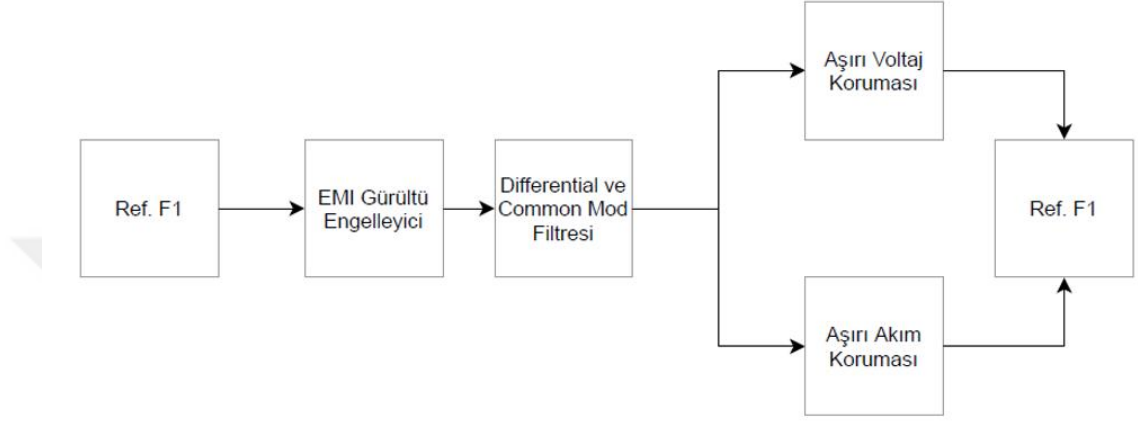
Şekil 2.14'de sinyal lambası doğrulanma sisteminin Ref.F2.1 EFFBD'si açıklanmaktadır. Sistem içerisindeki kırılımlar belirlenmiştir. Sahadan alınan sinyaller demiryolları farklı coğrafi koşullarından çalışmak durumunda olduğu için farklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır. Bu sebeple bir band geçiren filtre yapısı oluşturulmuştur. Ayrıca kullanılan akım sensör verisinin çıkış voltaj seviyeleri milivolt seviyelerinde olduğundan dolayı algılanması gerek voltaj seviyelerinin minimum ve maximum değerlerinin mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir. Yükseltilen sinyal bilgisi belirlenen limitler ile kıyaslanarak hata ve emniyetli indikasyonu üretecektir.



Şekil 2. 12: Sinyal lambası F2.1 sinyallerinin doğrulanması arıza EFFBD'si.

Şekil 2.15'de ise saha çıkış elemanları için bir giriş ve çıkış filtreleme sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem pano içerisindeki ekipmanlar beslemelerinde oluşabilecek aşırı akım ve aşırı voltaj durumlarında saha ekipmanları koruyabileceği gibi aynı zamanda

saha ekipmanlarında aşırı akım ve aşırı voltaj durumunda pano içerisinde koruması için oluşturulmuştur. İçerisinde bulunan parafudr yapısı ile akım ve voltaj koruması sağlarken, sahada oluşabilecek yüksek frekans gürültülerini bastırması için bir EMI gürültü engelleme yapısı eklenmiştir. Böylelikle sistemin içerisinde veya dışında oluşabilecek bütün olumsuzluklara karşı bir koruma mekanizması oluşturulmuştur.



Şekil 2. 13: Sinyal lambası için giriş ve çıkış filtreleme sistemi arıza EFFBD'si.

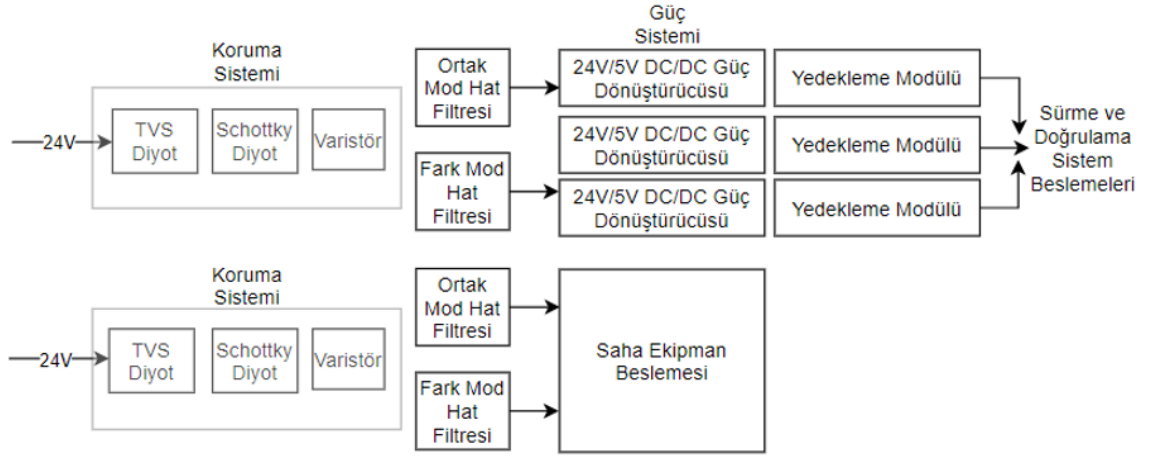
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güç Kontrol Sistemi Devre Tasarımı

Güç kontrol sistemi devre tasarımı tasarlanmadan önce sistem tasarımında yapılmış olan sistem akış diyagramları dikkate alınmalıdır. Akış diyagramı içerisinde yer alan modüller tasarlanmalıdır. Bu modüller;

- Koruma Sistemi
- Güç Ünitesi
- Yedekleme Modülü

Modüllerin gerekli parametreleri sistem tasarımı bölümünde belirlenen standartlara uygun olacak şekilde belirlenecek ve sistem için gerekli olan giriş ve çıkış voltaj değerleri, aşırı akım ve volraj değerleri, sistem çalışma gerilim ve akım değerleri gibi parametre gözetilerek tasarım yapılacaktır. Ardından elektronik devre tasarımı için şematik tasarımı gerçekleştirerek ilgili modüller tamamlandıktan sonra pcb tasarımı yapılacaktır. Sistemin çalışmasını sağlayan ve diğer sistem bileşenlerini birbirine bağlayan arayüzdür. Aynı zamanda sistemin çalışması için gereken güç sistemlerini sağlar ve sistemin dış gürültüden en az etkilenmesi için filtreleme işlemlerini uygular. Güç kontrol sistemi garanti eden bir güvenlik mimarisine sahiptir



Şekil 3. 1: Güç kontrol sistemi akış diyagramı.

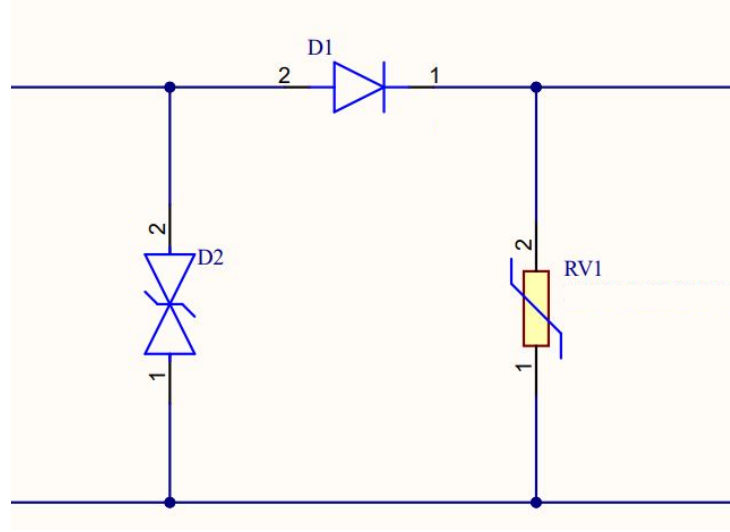
3.1.1. Koruma sistemi

Koruma sistemi içerisinde anlık voltaj yükselmelerini engellemek, sistemin girişinde oluşabilecek kısa devre ve geri dönüş akımlarını engellemek için çeşitli komponentler kullanılmıştır. [12] Bu komponentler sırasıyla TVS diode, schottky diode ve varistördür.

TVS diyot sistem içerisinde çalışma gerilimi üzerinde bir voltaj değeri uygunlandığında kısa devre ederek gerekli voltajı kendi üzerine düşürür. Ani voltaj yükselmeleri engeller. Böylelikle sistemi ani dalgalanmalara karşı korur. Demiryolu ve otomotiv sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına göre farklı paket ve kılıflarda olabilmekle birlikte sistemin tabii olacağı standartlar ve çalışacağı voltaj değerlerine göre eşik voltaj değerleri değişiklik gösterebilmektedir.

Schottky diyot çok düşük voltaj düşüşüne sahip ve aynı zamanda çok hızlı anahtarlama kabiliyeti olan bir yarı iletkenidir. Ters düzelmeye ve karakteristiklikleri diğer diyotlara göre oldukça düşüktür.

Varistör ise içerisindeki kullanılan kimyasala bağlı olarak belirlenen voltaj değerine ve üstündeki değerlerde aktif duruma geçer. Voltaj arttıkça ve çalışma voltajını geçtiğinde iç direnci düşürerek akım çekmeye başlar. Böylelikle sistem içerisinde bir koruma sağlamış olur.

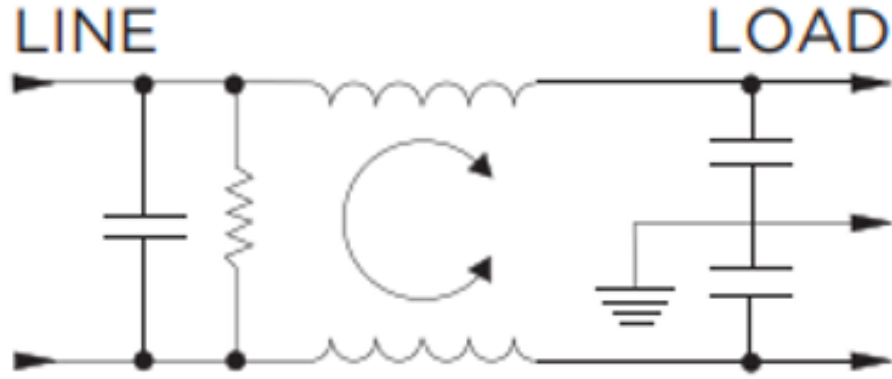


Şekil 3. 2: Koruma sistemi şematik gösterimi.

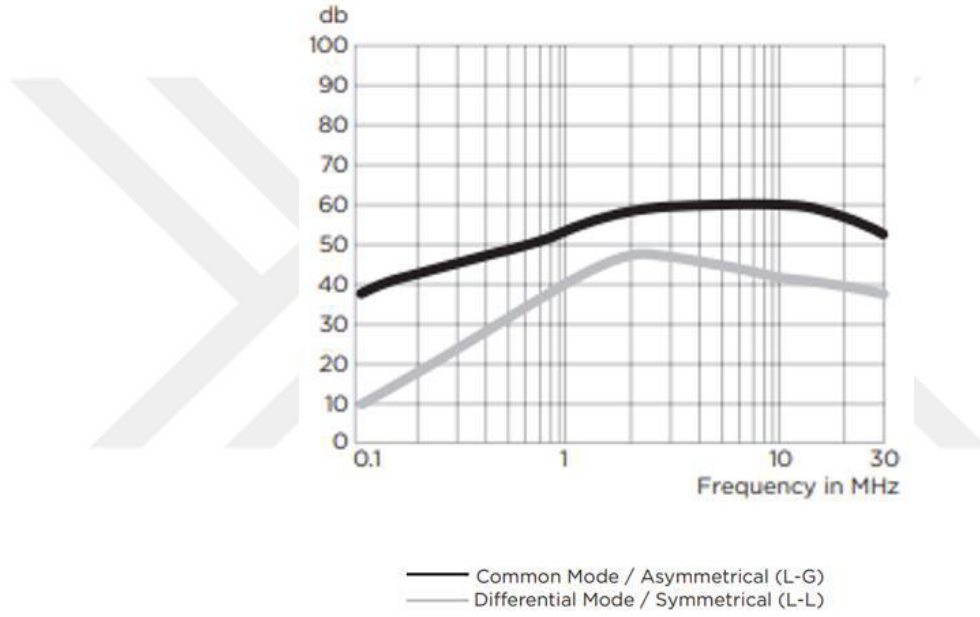
Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi sistem girişini koruma için TVS diyot, Schottky diyot ve varistör kullanılarak girişte meydana gelebilecek ani voltaj dalgalanmalarına karşı önlem alınmış ve böylelikle sistem içerisinde kullanılan komponentlerin güvenliği sağlanmıştır. Ayrıca sistem dışında gelebilecek ortak ve diferansiyel gürültüler için EMI filtreler kullanılmıştır. Bir hat filtresi, hat ile ekipman arasında iletilen radyo frekanslarını- elektromanyetik girişim (EMI) olarak da bilinen) azaltmak için elektronik ekipman ile onun dışındaki bir hat arasına yerleştirilen elektronik filtre türüdür. Özellikle, AC güç hattı ile ekipman (SMPS veya Elektronik Devre) arasında bir AC hat filtresi kullanılır.

Tablo 3. 1: Hat filtresi elektriksel özellikleri 1 [15]

Teknik Özellikleri	Limitleri	
Hat ve toprak arası maksimum sızıntı akımı	120VAC 60Hz 0.22mA	250VAC 50Hz 0.38mA
Hipot derecesi	Hattan Toprağa 2250VDC	Hattan Hattı 1450VDC
Maksimum çalışma voltajı	250VAC	
Çalışma frekansı	50/60Hz	
Çalışma akımı	1A...10A	

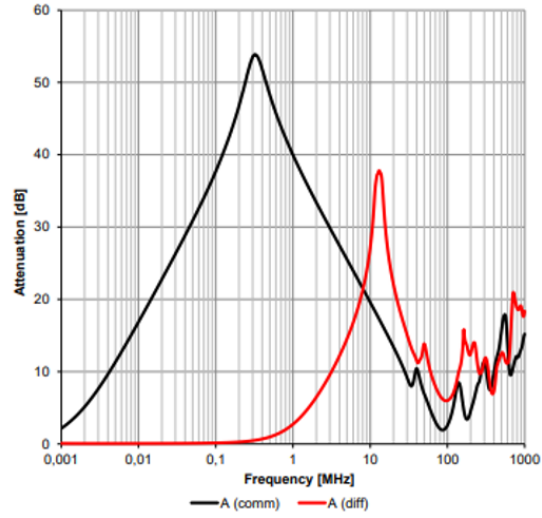


Şekil 3. 3: Hat filtresi gösterimi.



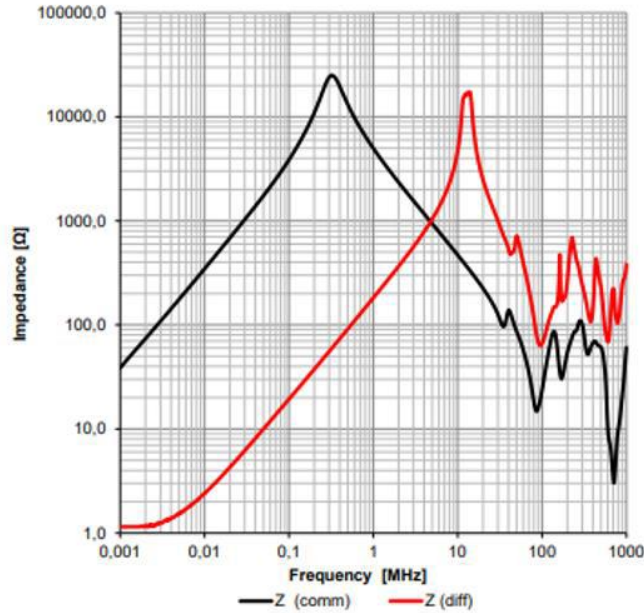
Şekil 3. 4: AC hat filtresi gürültü bastırma grafiği.[15]

Ortak mod (CM) bobini, iki bobin tek bir çekirdeğe sarılır, güç kaynağı hatlarından kaynaklanan elektromanyetik girişimi (EMI) ve radyo frekansı girişimini (RFI) bastırmak ve güç elektroniği cihazının arızalanmasını önlemek için kullanışlıdır. Ortak mod akımlarını bloke ederken diferansiyel akımları geçirir. Çekirdekteki diferansiyel mod (DM) akımları tarafından üretilen manyetik akı, sargılar negatif bağlı olduğundan birbirini iptal etme eğilimindedir. Böylece jikle, DM akımlarına çok az endüktans veya empedans sunar.



Şekil 3. 5: Hat filtresi dB cinsinden gürültü bastırma grafiği.[16]

Yukarıdaki şekilde sistem içerisinde kullanılan düşük frekans için CMC hat filtrelerinin ortak mod ve fark modları bastırdığı gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Kullanılan component 10 Khz ve 10 Mhz bandında efektif olarak çalışmıştır. 1 Mhz mertebesinde gelen gürültüleri yaklaşık olarak 55 dB değerinde bastırılmasını sağlamaktadır.

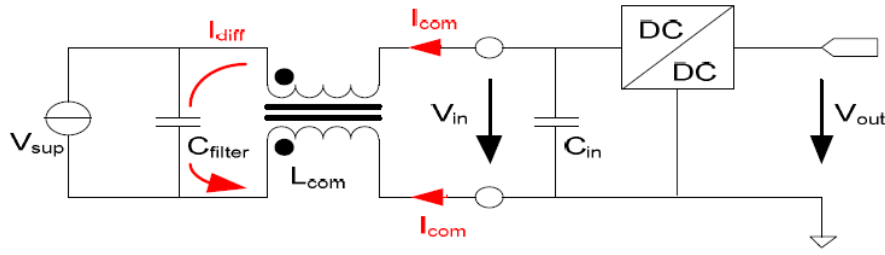


Şekil 3. 6: Hat filtresi empedans cinsinden gürültü bastırma grafiği.[16]

Sistem içerisinde kullanılmak üzere AC ve DC beslemeleri filtrelemek ve farklı frekans mertebelerinde gürültüler bastırmak için birden fazla CMC ve Hat filtreleri kullanılmıştır. Bu kullanılan ürünlerin bastırdığı gürültü değerleri ve frekanslardaki

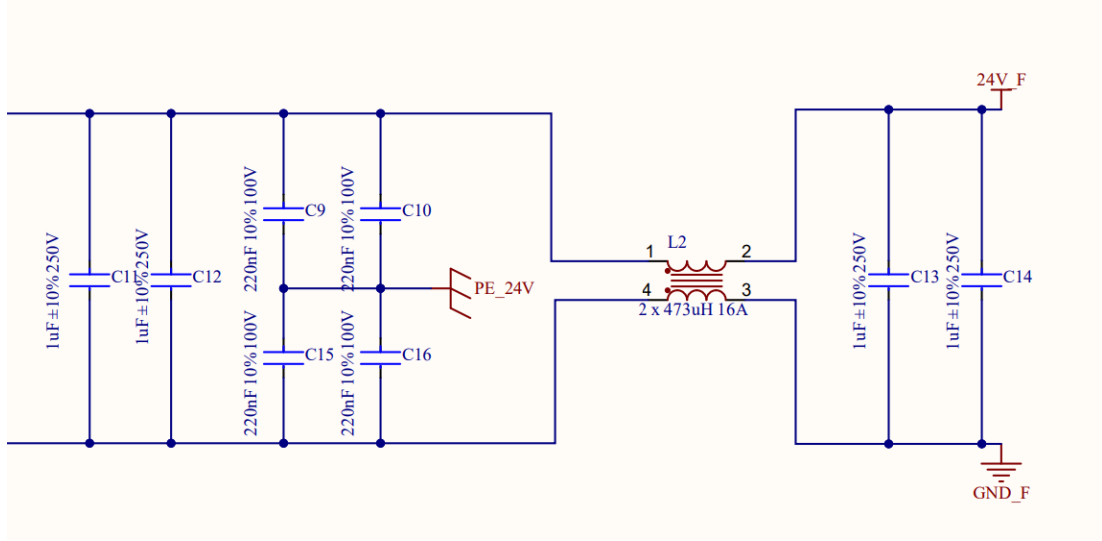
empedans değerleri frekansa bağlı olarak değişmektedir. Böylelikle sistem içerisinde EMC testlerinden başarıyla geçmek için düşük ve yüksek frekans mertebelerinde gürültü bastırması yapılmıştır. Yüksek frekanstan sistem içerisine gelebilecek gürültüler için ise demiryollarında yapılan testler 80 MHz'e kadar uygulanmaktadır. Bu sebeple 1 Mhz ve 80 MHz aralığı filtrelenmesi amaçlanmıştır.

Giriş filtresi, giriş hattındaki akım dalgalanmasını azaltır. Giriş hattındaki diferansiyel mod gürültüsünü azaltır ve giriş izleri yoluyla yayılan emisyonu azaltır. Aşırı yük düşüncelerinden kaçınmak için daha yüksek anma akımına sahip bir bobin ve verimlilik kayıplarını önlemek için düşük DCR'li bir bobin seçilmelidir. Düşük frekans filtreleme için L_{in} (DC/DC dönüştürücü anahtarlama frekansı) Yüksek frekans filtreleme için ferrit kullanılması önerilmektedir. Cfilter kısa devre AC gürültüsünü GND'ye aktarır. ($220pF < C_{filter} < 1nF$, düşük ESR).



Şekil 3. 7: CM ve DM filtreleme örneği.

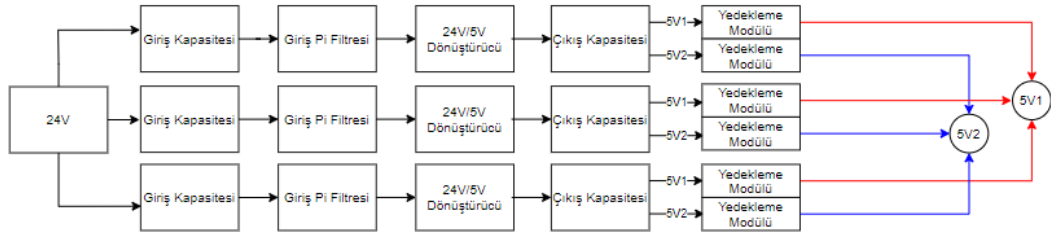
Ortak mod için ortak mod bobinlerini kullanılmalı ve uzun mesafeli besleme için ortak mod bobinleri kullanılmalıdır. Ek kapasitörler diferansiyel mod gürültülerini azaltır. Seramik kondansatör kullanımı için düşük değerler önerilir. Kondansatör ve ortak mod bobini diferansiyel mod gürültüsü için LC filtre görevi görmektedir. Giriş ve çıkış hatlarında bu şekilde düzenlemeler yapılabilir.



Şekil 3. 8: Sistem içerisinde kullanılan filtreleme şematığı.

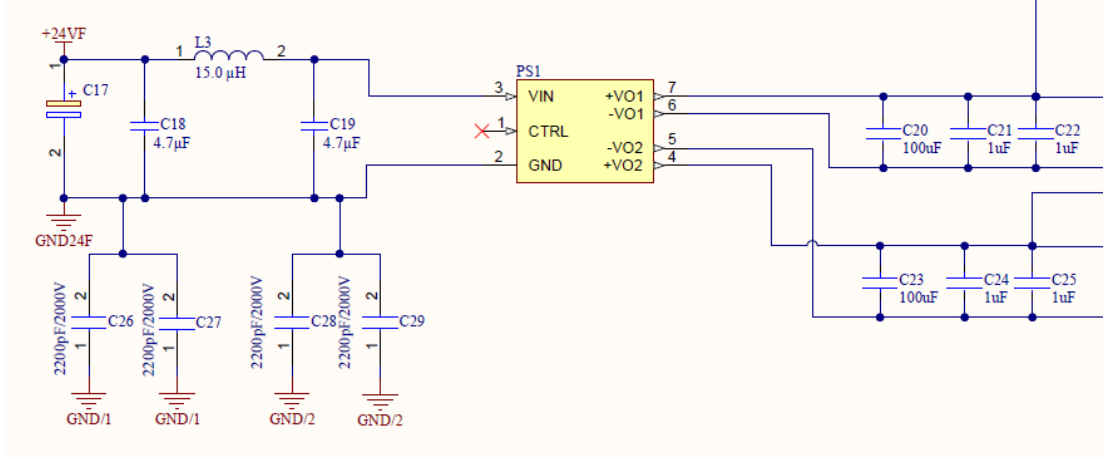
3.1.2. Güç ünitesi

Sistem içerisinde saha ekipmanlarını beslemek için 24V ve sürme ve doğrulama sistemlerini beslemek için birbirinden izole olarak 2 farklı 5V bulunmaktadır. Sistem girişinde bulunan 2 adet 24V besleme birbirlerinden bağımsız güç kaynaklarından gelmektedir. Böylelikle sistemin düzgün çalışması için gerekli olan bütün koşullar sağlanmış olup birbirlerinden bağımsız bir şekilde işlem yapmaktadırlar.



Şekil 3. 9: Güç kontrol ünitesi akış diyagramı.

Sistem diyagramı çizildikten sonra komponent değerleri belirlenmeli ve bu hususlar dikkate alınarak seçim yapılmalıdır. Akabinde şematik çizimi yapıldıktan sonra sistemin pcb çizimi EMC kuralları gözetilerek yapılacaktır.

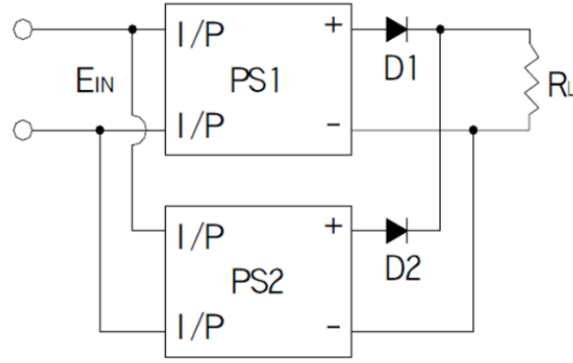


Şekil 3. 10: Sistem içerisinde kullanılan güç modülü.

DC/DC Dönüştürücü sistemi EMC kuralları ve standartlar gereği kurgulanmıştır. C17 giriş elektrolitik aliminyum kapasitesi bulunmaktadır. C17 sistem girişinde meydana gelebilecek gürültüleri sönmüleyecek, C18, L3, C19 pi filtre yapısı ise düşük frekans bantlarının filtrelenmesinde aktif rol oynayacaktır. Ayrıca 1500 kV seviyesinde galvanic izoleli 2 farklı topraklama grubu olduğu için toprak referans gürültülerini engellemek için sistem toprağı ile sistem çıkışında topraklama referansları arasında yüksek voltaj kapasiteleri kondansatörler eklenmiştir.

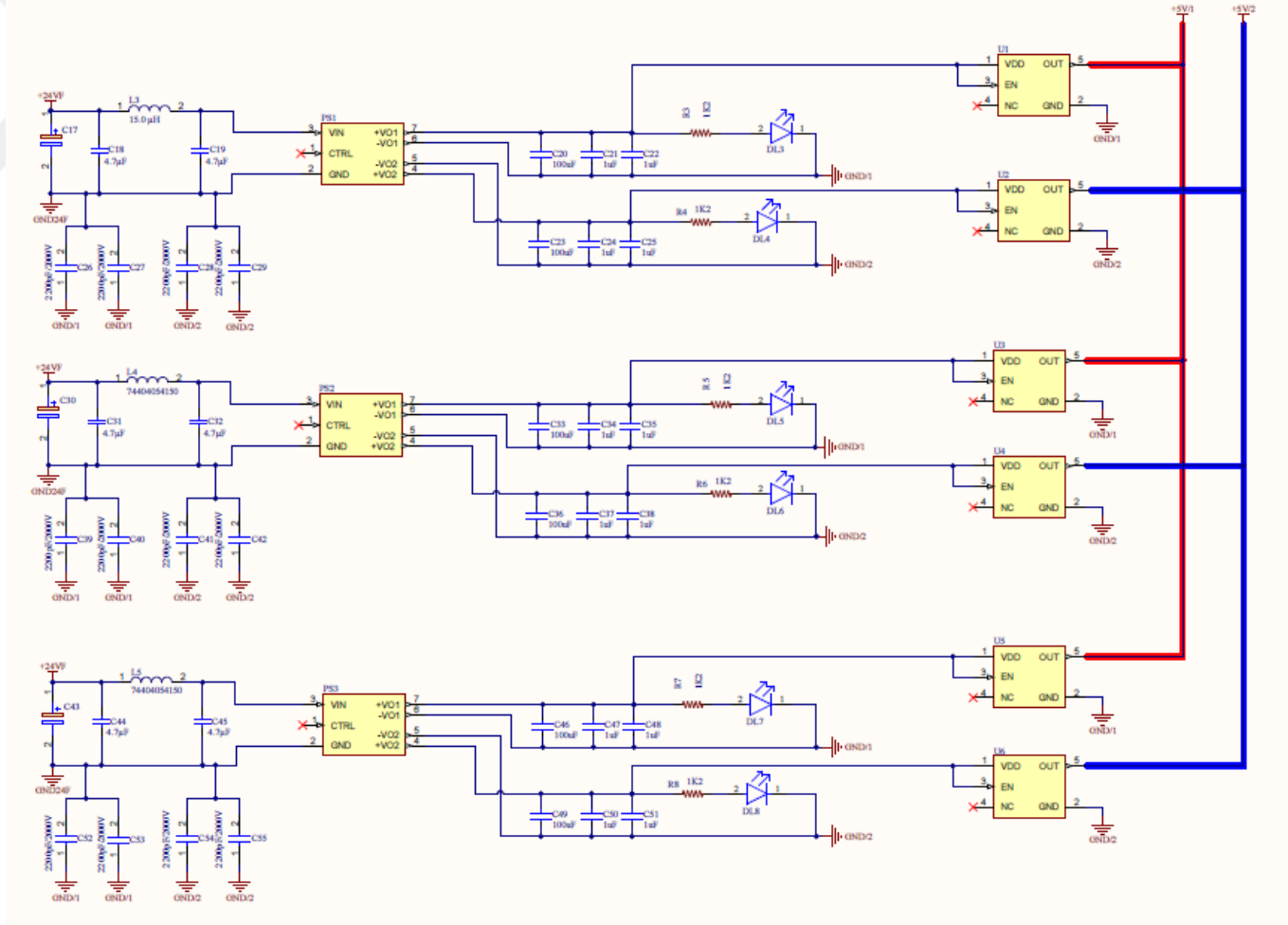
3.1.3. Yedekleme modülü

Sistem içerisindeki devamlılığı sağlamak, komponentlerden birinde hata veya kısa devre durumları oluştuğunda sistemin normal çalışmasını engellemeden çalışmasını sağlamak için yedekleme modülleri kullanılmaktadır. 1oo3D mimarisi olarak çalışan güö kaynağı ünitesinde toplamda 3 adet DC/DC güç dönüştürücüsü bulunmaktadır. Komponentin 2 farklı izoleli bulunan 5V çıkışlarının her birine yedekleme modülü eklenerek olası bir güç kaynağı arızasında veya kısa devre durumunda kartın beslediği güç hattının kısa devre olmasını engellemek ve çalışmaya devam etmesini sağlaması amaçlanmıştır.



Şekil 3. 11: Yedekleme modülü örneği.

Kullanılan yedekleme modülü içerisindeki ideal diyot bir mosfet yapısına sahiptir. Sistem voltajı mosfetler ile kontrol edilmektedir. DC/DC dönüştürücüsü ters kutuplanmaya maruz kalırsa mosfet kendisini kapatır. Böylelikle emniyet sağlanmış olur. Ayrıca mosfet üzerinde yaklaşık 18 mV – 30 mV mertebesinde bir voltaj düşüşü olduğu için 2 adet izoleli olan 5V kaynaklarında herhangi bir dalgalanma olmaz. Doğrulama modülünde 5V referansı üzerinden sinyal yükselteci yapısı kurulduğu için buradaki voltaj kaybının mümkün olduğu kadar az olması gerekmektedir. Yedekleme modülü üzerinde termal olarak düşük ve aşırı yüksek seviyelerde modül kendisini kapatır ve sistemi güvenli hale geçirir. Termal koruma eşiği bulunmaktadır. İdeal diyot yedekleme modülünün normal diyotlar yerine kullanım amacı ise yerleşik güç kapatma özelliği ve düşük voltaj düşüşüne olanak sağlamasıdır.



Şekil 3. 12: Güç kontrol sistemi güç ve yedekleme modülü şematik tasarımı.

3.1.4. Güç kontrol sistemi PCB çizimi

Tasarlanan devre şematiğinin PCB tasarımı yapılmadan önce kullanılan devre çizim programı içerisinde çizilen her bir komponentin üretimi parça numaraları ve kılıfları belirlenmelidir. Akabinde kullanılan program üzerinden bu ayarlamalar yapıldıktan sonra pcb tasarıma geçilmelidir. PCB tasarımına geçildikten sonra sistemin dahil olacağı mekanik tasarım kriterleri göz önüne alınarak bir kart boyutu ve şekli belirlenmelidir. Kart boyutu belirlendikten sonra sistem içerisindeki komponentler PCB tasarım kurallarına ve kullanılan komponentlerin teknik dökümanlarındaki uyarılar göz önüne alınarak konumlandırılmalı, sonrasına çizim yapılmalıdır.

Tasarlanacak olan kart içerisinde bir giriş koruma sistemi, DC/DC dönüştürücüsü ve yedekleme modülleri bulunmaktadır. Sistem içerisinde AC ve DC sistem beslemeleri olduğu için ilgili komponentler arasındaki mesafeler iyi belirlenmelidir. Çizilen her bir yol ve konumlandırılan her bir komponent sistem içerisine ve sistem dışına elektromanyetik dalga gönderdiği için sistem tasarımında anlatılan emisyon ve bağışıklık test senaryolarına göre tasarım yapılmalıdır. Sistem içerisinde konumlandırılan ortak mod (CMC) filterisi için:

- Güç yollarının komponentlere direk bağlantı yapıldığından emin olunmalı ve mümkün olduğu kadar via kullanımından kaçınılmalıdır. Giriş bölgesi ile ilgili komponent arasındaki mesafeler kısa tutulmalıdır.

DC/DC dönüştürücü girişine konumlandırılan pi filter yapısı için şu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

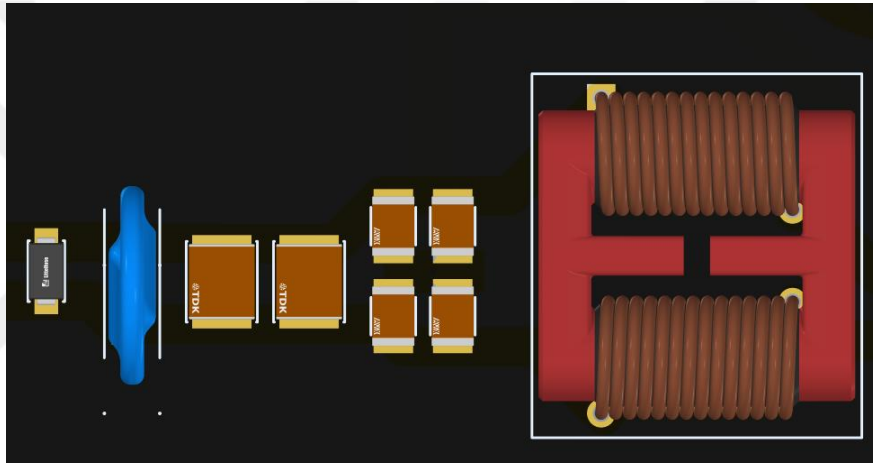
- PCB yolları mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Dolaylı izleme yönlendirmesinden ve kapasitif/indüktif kuplajlardan kaçınılmalıdır. AC akımının kondansatör boyunca akmalıdır. Giriş ve çıkış kapasitelerin doğrudan toprağa akması için kısa yol olarak via kullanılmalıdır.

DC/DC dönüştürücü için tasarım yapılırken:

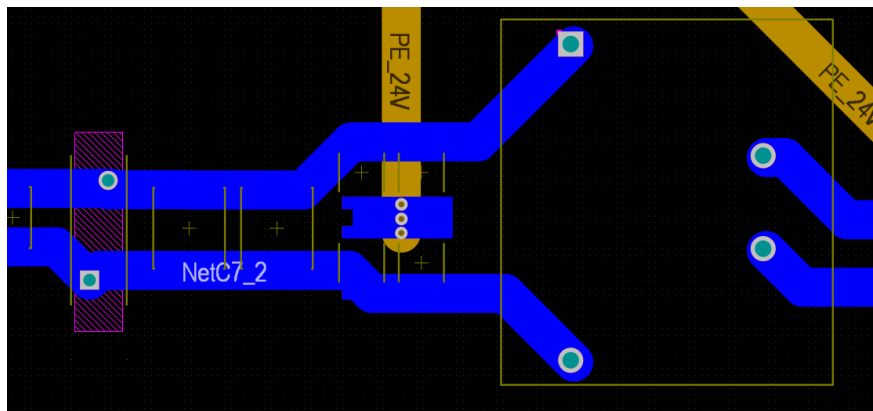
- Giriş kapasitesileri ve çıkış kapasiteleri ilgili pinlerine yakın konumlandırılmalı, kapasiteleri bypass olma durumları dikkate alınmalıdır.

- Giriş filtresinde kullanılan indüktör altındaki GND(topraklama) düzlemi ve sinyal düzlemi varsa kaldırılmalıdır.İndüktör korumalı kılıf seçilmeli önerilir. Yapılan testler sonucunda korumalı ve korumalı olmayan bobin kullanımında gürültü seviyelerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir.

PCB tasarlanırken bir diğer dikkat edilmesi gereken husus ise EMC iyileştirmesi olarak PCB katman sayısıdır. PCB yollandırmasını daha rahat yapabilmek, elektromanyetik dalga yönetimi vb. hususlarla 1,2,4,8 vb. gibi ilgili tasarıma göre farklılık gösterebilecek farklı bakır düzlemlerden oluşan tasarımlar tercih edilebilir. Tasarlamış olduğumuz güç kontrol sisteminde 4 katlı bir PCB tasarımı yapılmıştır.

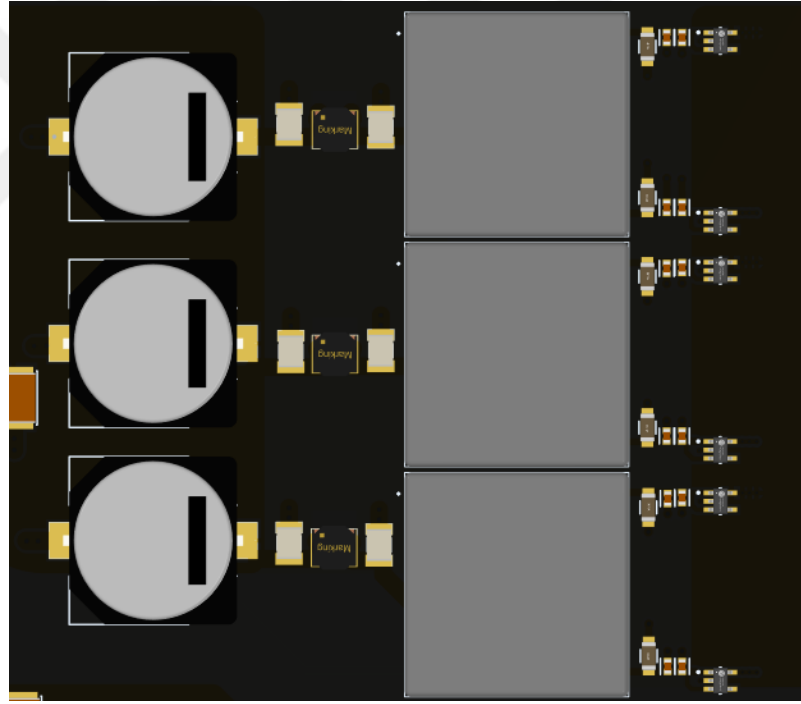


Şekil 3. 13: Koruma sistemi PCB konumlandırılması.

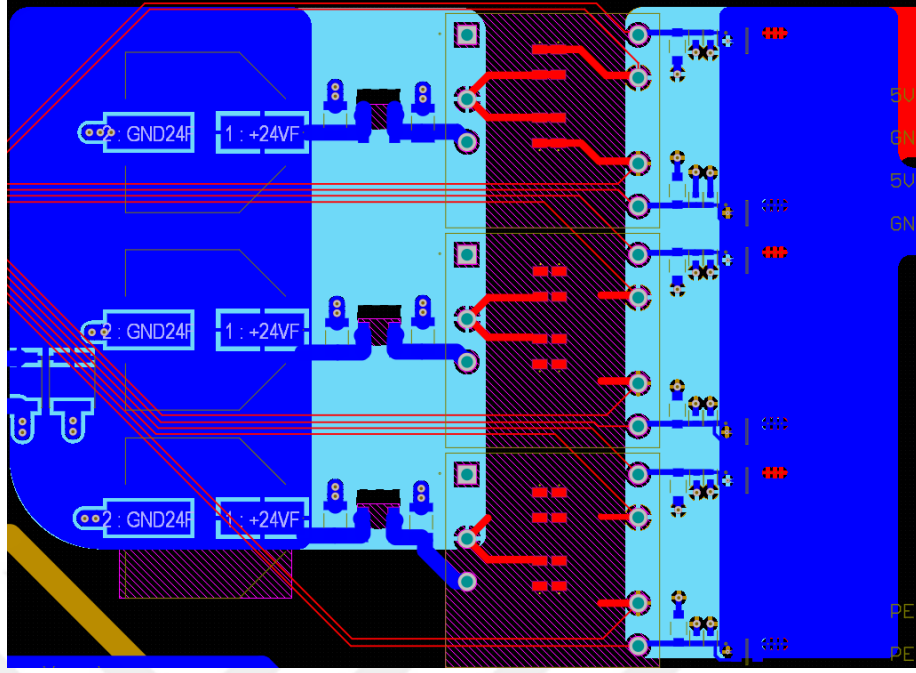


Şekil 3. 14: Koruma sistemi PCB yollandırılması.

Konulandırma ve yönlendirme yapılırken aynı bakır katmanı üzerinden sistem yönlendirilmesi yapılarak indüktif ve kapasitif etkilerin önüne geçilmiştir. Yapılan şematik tasarımı baz alınarak konumlandırmalar yapılmıştır. Sistem girişindeki ani voltaj dalgalanmalarını engellemek için TVS diyot ve varistör, elektromanyetik testler olan emisyon ve bağışık testlerinde iyileşme sağlamak için ve sistemin gürültü bastırma seviyesini yükseltmek için giriş kapasiteleri ve ortak mod ve fark mod kapasiteleri ve son olarak CMC bobini kullanılmıştır. Böylelikle hem saha ekipmanlarını besleyen hat hemde sistem içerisini besleyen hat elektriksel açıdan güçlendirilmiştir. Güç sistemi kartı pano içerisindeki rack diye tanımlanan mekanik raflarda konumlandırıldığı için coğrafi lokasyona göre farklı adetlerde saha ekipmanı kontrol edebilmelidir. Bu sebeple maksimum kontrol edebileceği saha ekipman adeti ve toplam akım limitine uygun yol kalınlığına sahip olmalıdır.



Şekil 3. 15: Güç ve yedekleme modülü konumlandırılması.



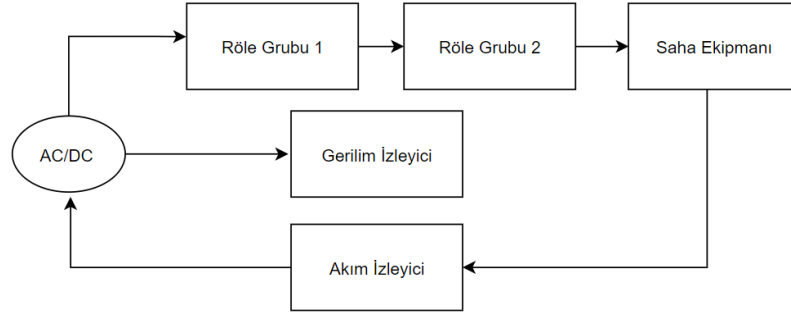
Şekil 3. 16: Güç ve yedekleme modülü PCB yollandırılması.

Yukarıda şekildende görüleceği üzere giriş kapasitelerinde geniş bir güç bakır düzlemi kullanılmıştır. Bunun sebebi mümkün olduğu kadar paraziti engellemek ve termal olarak iyileştirme sağlanması istenmesidir. Girişten uygulanan voltaj yapılan yollandırma gereği ilgili kapasite üzerinden geçerek pi filtre yapısına ulaşmaktadır. Pi filtre yapısı ise harici olarak yollandırma yapılarak düşük frekans bantlarında geçirgenlik sağlamaktadır. Ayrıca kullanılan bobin korumalı seçilmiş ve alt düzlemindeki bakır yollar kaldırılarak elektromanyetik iyileştirme amaçlanmıştır. DC/DC dönüştürücü çıkış pinlerine çıkış kapasiteleri ardı sıra konumlandırılarak yollar kısa tutulmuştur. Sonrasında kullanılan SOT23-5 kılıflı yedekleme modülü olan ideal diyota giriş sağlanmış ideal diyotlar üzerinden vialar konumlandırılarak 5V1 ve 5V2 bakır alanlara bağlanmıştır. PCB tasarımındaki katman sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Geri dönüş akımlarını minimize etmek ve elektriksel devre topoloji gereği ilgili referans GND (toprak) pozitif uca döneceği alan kısa tutulmuştur. 5V1/GND1/GND2/5V2 katman sırası dikkate alınmıştır. Böylelikle kart performansında 2 katmanlı bir PCB'ye göre iyileştirme olacağı öngörülmüştür.

3.2. Sürme Kontrol Sistemi Devre Tasarımı

Sürme kontrol devresi sistemin saha ekipmanlarını kontrol eden/anahtarlayan ve aynı zamanda çalışma devam ederken aktif olarak arka planda akım ve voltaj ölçümlerini yapan sistemlerdir. Kullanılan komponentlerin MTBF (İki ardışık hata içerisinde geçen süre) değerleri demiryolu standartları gereği SIL-4 gerekliliğinde olmasını sağlamak için yüksek olarak belirlenmiştir. Ayrıca sistemde kullanılan bütün komponentler yedekli bir biçimde konumlandırılarak hata durumunda hızlı bir şekilde arıza bildirimini ve sistemin güvenilirlik seviyesini artırılması amaçlanmıştır. Saha ekipmanlarını anahtarlama için röle grupları kullanılmıştır. Bu röle gruplarının forced-guided röle olarak seçilmelidir. Emniyet rölesi diyede tanımlanır. 1oo2D yapısıyla sistem güvenliği artırılıp aynı zamanda röle kontaklarından indikasyon alınarak rölenin konumları hakkında bilgi edinilebilir. Kullanılacak olan saha ekipmanının tipine göre röle grupları AC veya DC gerilime sahip saha ekipmanlarını anahtarlayabilmektedir. Bu sebeple kontak açıklıklarının sistemi tabii olacağı standartlara uygun olması gerekmektedir.

Sahadaki ekipmanlara müdahale etmeyecek ve ana kontrol ünitesi tarafından talep edilmedikçe yanıp sönen sinyalleri temsil etmeyecek şekilde tasarlanmıştır. İki ölçüm kanalı A ve B bağımsız olacak ve yaygın arıza nedenlerini en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Öte yandan sürme kontrol sistemi ile sinyal lambası bağlantı kutusu arasındaki aşırı gerilim ve aşırı akım koruması, komut verileden farklı bir durumu temsil etmeyecek şekilde kendinden güvenli olarak tasarlanmıştır. Güç kaynağı ile sürme kontrol sistemi arasındaki aşırı gerilim ve aşırı akım koruması, bloğun çıkışındaki anma limitlerinin dışındaki gerilim değerleri kullanılabilirlik sınırlarına neden olabilir ancak güvenli olmayan davranışlara neden olabilir.



Şekil 3. 17: Sürme kontrol sistemi akış diyagramı.

3.2.1. Saha ekipmanlarının anahtarlanması

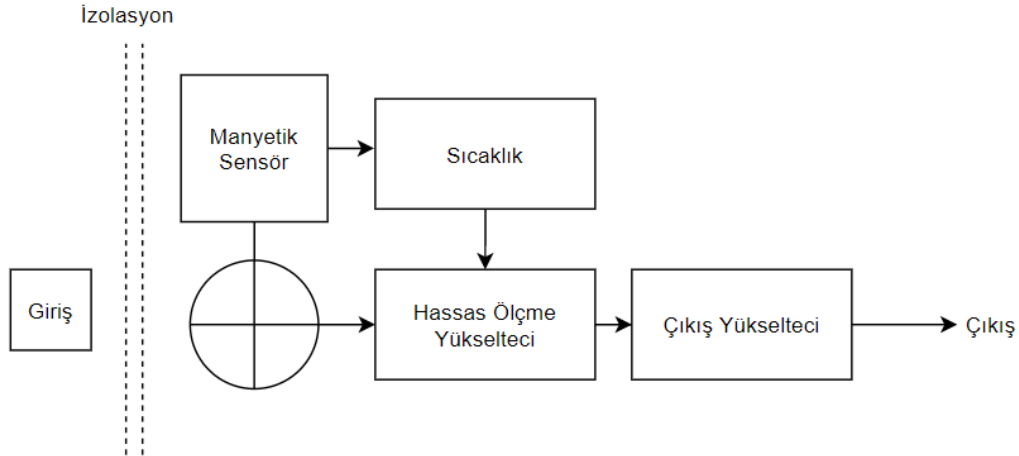
Demiryolu sistemlerindeki saha ekipmanlarının farklı gerilim tipleri bulunmaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinde aktif olarak kullanılan sinyal lambaları AC gerilim ile beslenirken, bağımsız hemzemin geçit ekipmanları DC gerilim çalışmaktadır. Bu sebeple kullanılacak olan rölelerin bu özelliklere uygun olması ve modüler bir şekilde farklı varyantları sağlayabiliyor olması gerekmektedir. Seçilen röle yüksek mekanik anahtarlama ömrü, düşük nominal güç tüketimi ve termik akım özelliklerine sahiptir. Sistem içerisinde 2 farklı anahtarlama tipi mevcuttur. Bunlar açma/kapama ve gündüz/gece modudur.

Kullanılan emniyetli röle ile güvenlik kontrolcüsüne göre sinyal lambasının güç hattını değiştirir. Ayrıca her iki arayüz konfigürasyonu için yol kenarı ekipmanı ile güvenlik kontrolcü ile arasında galvanik izolasyon sağlar. Ayrıca ana hat kontrolünü kontrol emniyetli rölenin hata durumlarını algılamak ve sistem güvenilirliğini arttırmak için yedek bir röle daha kullanılmaktadır. Yapılan hata analizleri sonucunda sistem emniyet oranı yükseltilmiştir.

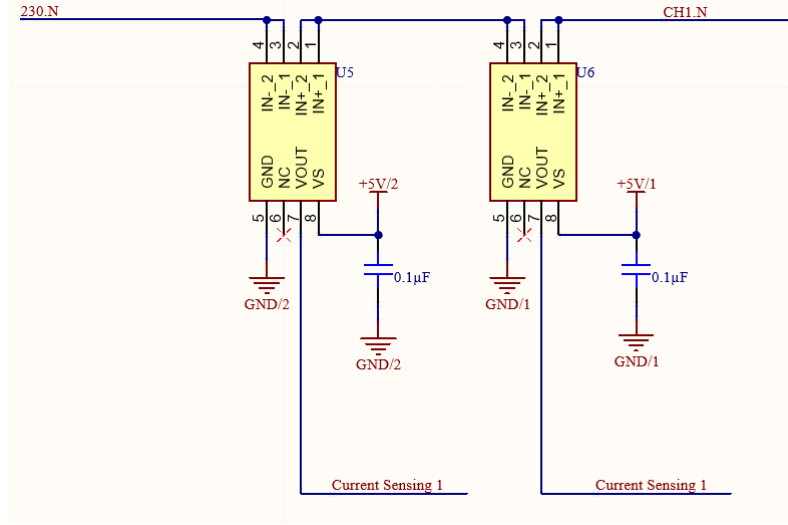
Emniyetli kontrolcüde gelen ilgili lambayı yakma komutlu ile röleler kontak değiştirir ve sahadaki ilgili ekipmanı anahtalayarak çalıştırır. Kullanılan röle kontrakları 2 normal açık ve 2 normal kapalı kontağa sahiptir. Diğer kontaklardan sistem indikasyon bilgisi anahtarlanarak doğrulama kontrol sistemine iletilir. Böylelikle komponentlerde veya sistemde bir arıza olduğunda bilgi alışverişi sağlanmış olur.

3.2.2. Akım izleyici

Anahtarlanan saha ekipmanlarının dönüş nötr hatlarından akım izlemesi yapılmaktadır. Saha kontrol edilen sinyal lambalarının gece ve gündüz modlarında farklı parlaklık değerleri mevcuttur. Tren sürücüsünün gün içerisinde gözünü etkilememesi ve yeterli gün ışığında belirgin olabilmesi için belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Kullanılan akım sensör galvanik olarak izoleli ve AC/DC akım ölçümü yapabilen bir hall effect akım sensörüdür. Hattan geçen akım hall etkisi ile sensör tarafından bir manyetik akım oluşturur ve dahili $1.8\text{-m}\Omega$ empedanslı bir iletkenin üzerinden geçer. 3000 V izolasyon gerilimine sahiptir. Düşük sıcaklık koruma olan bu sensörün çalışma voltaj seviyesi 3V ila 5.5V arasındadır. Tek yönlü veya çift yönlü olarak algılama yapabilir. Çözünürlüğü $400\text{mV} / \text{A}$ mertebesindedir.



Şekil 3. 18 Akım izleyici akış diyagramı.

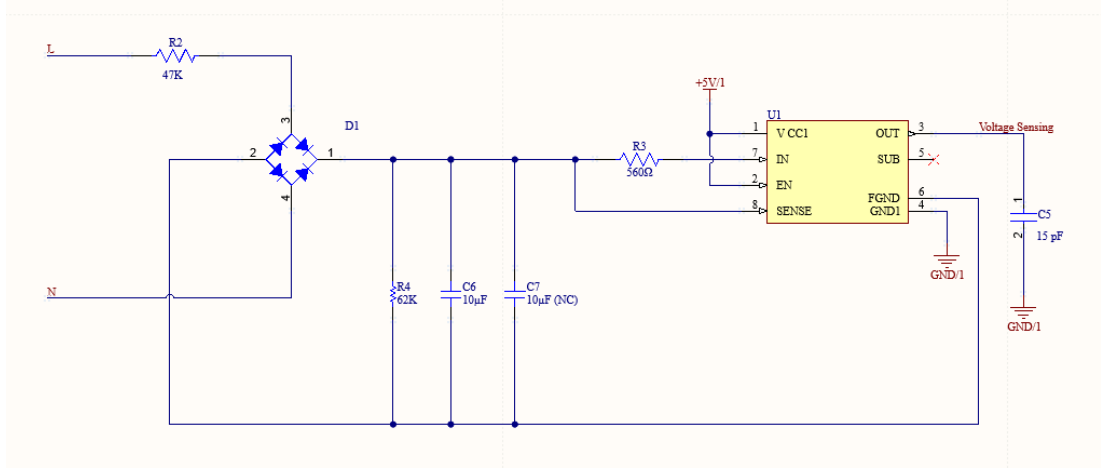


Şekil 3. 19: Akım izleyici devresi.

U5 ve U6 ile adlandırılan 2 adet akım sensörü kullanılmıştır. Bu sensörler seri bir şekilde birbirlerinin yedekleri olacak şekilde kurgulanmıştır. Ayrıca besleme gerilimleri olarak 5V1 ve 5V2 olmak üzere birbirlerinden galvanik olarak izoleli bulunan güç hatlarını kullanmaktadır. Böylelikle güç hatlarından birinde gürültü meydana geldiğine diğer hat bu durumdan etkilenmeyerek mevcut çalışmasına devam eder. Sensör çözünürlüğü oldukça düşük olduğu için 100mA akım için yaklaşık olarak 45 mV mertebesinde bir voltaj üretmektedir. Sensör çıkışları doğrulama kontrol sistemine aktarılır. Bu sebeple yollandırmanın mümkün olduğu kadar kısa tutulması gerekir.

3.2.3. Gerilim izleyici

Gerilim izleyici sistem girişindeki voltaj seviyesini denetleyen ve sürme kontrol sistemine ileten sensör birimidir. Gece ve gündüz modlarında lambaların giriş voltaj seviyeleri değişiklik göstermektedir. Bu sebeple belirlenen limitlerde lojik 1 veya lojik 0 üretmektedir. AC veya DC gerilim seviyelerinde okuma yapabilir. Girişinden uygulanan 230VAC köprü diyot ile doğrularak R2 ve R4 dirençleriyle bir gerilim bölücü yapısı oluşturulur. Bu yapı ile giriş kapasiteleri ile doğrultulan voltaj seviyesi sensör girişine iletilir. R3 560 ohm direnç ile sensörün çözünürlüğü ayarlanabilmektedir. Akım izleyicisinde olduğu gibi bu mimaridede yedekli sistem kullanılmıştır.



Şekil 3. 20: Gerilim izleyici şematığı.

3.2.4. Sürme kontrol sistemi PCB çizimi

Sürme kontrol sistemi PCB çizimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. AC ve DC sistemler karışık olduğu için devre kartı üzerindeki konumlandırmaya özen gösterilmelidir. Çalışan sistemlerin birbirlerini etkilememesi için kullanılan çizim programında mesafe kuralları atanmalıdır. Kullanılan komponentlerin teknik dökümanlarındaki öneriler dikkate alınarak tasarım iyileştirilmelidir.

Sistem içerisinde yer alan akım izleyici için dikkat edilmesi gereken hususlar:

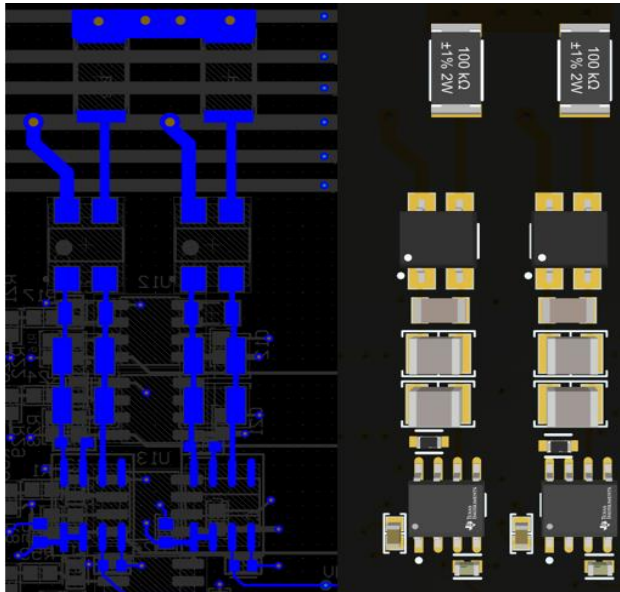
- Giriş ve çıkış akım yolu için yalıtılmış güç düzlemleri ve sinyaller için büyük bakır düzlemler kullanılmalıdır.
- PCB yüzeyi boyunca hava ve sıcaklık akışına dikkat edilmelidir.
- İzole edilmiş sistem girişine vialar ile termal iyileştirmeler yapılmalıdır.
- Akım sensör manyetik alan topoloji ile çalıştığı için komşu yüksek akım izlerini minimize etmeli ve yakın konumlandırılmalıdır. Giriş akımı izi sensöre ek manyetik alan sağlayabilir.
- Akımın yaklaştığı açı cihazdan saptıkça yatay eksene 0° , ek manyetik alan katar ve artar. Bu sebeple sistem giriş ve çıkışlarının aynı düzlem ve açıyla yönderilmesi gerekmektedir. [17]

Sistem içerisinde yer alan gerilim izleyici için ise:

- Alt katman yüzeyi sistemin ana nötr hattı olarak kurgulanmalıdır. Giriş kapasiteleri 0603 veya 0805 kılıf seçilebilir. Giriş kapasitelerin voltaj seviyeleri minimum 50V olmalıdır ve mümkün olduğu kadar giriş pinine yakın konumlandırılmalıdır.
- İzole bir tasarım için FGND pinlerini alt katmana bağlamak için via kullanımı yapılmalıdır. 560 ohm ayar direncinin 4mm yakınına herhangi bir voltaj üreten komponent konulmamalıdır. İndüklenen manyetik alan sensörün hassasiyetini bozulabilir.

Kullanılan emniyetli röleler için ise dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Bobin uçları DC gerilim ile beslendiğinde anahtarlanan kontaklar ile tetikleme voltaj aralarındaki mesafelere dikkat edilmelidir.
- Rölenin bobin uçlarının kendi üzerinden deşarj olması için rölenin bobin uçlarına ters olacak şekilde ters bir paralel diyot bağlanmalıdır.[18]
- Rölelerin kontak uçlarından yüksek akım geçebileceği için yol kalınlıkları ve bakır yüzeylerin mümkün olduğu kadar geniş tutulması gerekmektedir. Termal iyileştirme için kullanılacak olan pcb bakır kalınlığı 35µm veya 70µm olarak tercih edilebilir.

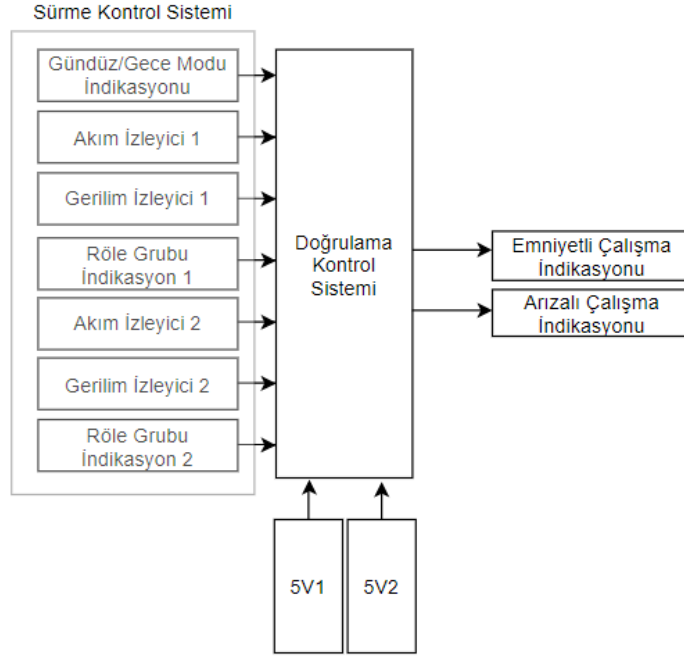


Şekil 3. 21: Gerilim izleyici konumlandırma ve yönlendirme.

yaparak PLC'ye bilgi çıkışı sağlar. Tüm bu işlemler birbirinden galvanik olarak izoleli 2 farklı bağımsız kanal tarafından sağlanmaktadır.

Ölçülen akım ve voltaj sensor değerleri bu fonksiyonun 1oo2 olarak tasarlanan doğrulama kontrol sistem modülü tarafından değerlendirilir. Bu modül ayrıca gece/gündüz göstergesi için voltaj bilgilerini de değerlendirir. Bu işlemin bir sonucu olarak, doğrulama kontrol sistemi arıza veya emniyetli göstergesi oluşturur. Modüllerden birinde arıza olması durumunda, sistem ayrıca kabinet varsayılanında bulunan bakım sistemine de alarm verir. Arıza ve emniyet bilgileri emniyetli kontrolürece iletilir. Doğrulama kontrol sistemi içerisindeki komponentler güç kontrol sistemi tarafından sağlanır ve sistemdeki voltaj ve akım sensor değerleri ise sürme kontrol sistemi tarafından sağlanmaktadır. Doğrulama kontrol sistemi saha ekipmanlarının belirlenen limitlerde emniyetli bir şekilde çalışıp çalışmadığını değerlendirerek komuta merkezini bilgilendirir.

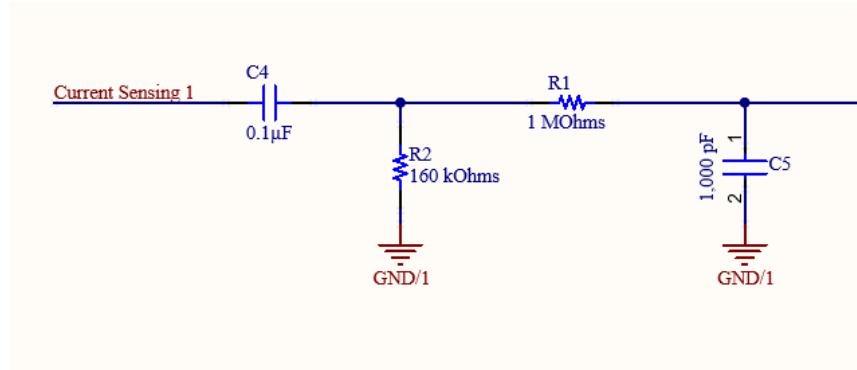
Böylelikle demiryolu sistemlerinin emniyetli bir şekilde sürülmesi doğrulanmış/onaylanmış olur. Sistemin yedekli yapısı olduğu için bir hatta meydana gelebilecek bir hata durumunda hızlıca ana kontrol merkezi bilgilendirerek bakım personelinin müdahale etmesine olanak tanır ve işletmenin hata durumunda kontrollü devam etmesini sağlar.



Şekil 3. 23: Doğrulama kontrol sistemi akış diyagramı.

3.3.1. Sensör verilerinin filtrelenmesi ve yükseltilmesi

Sürme kontrol sistemi üzerinden algılanan sensör verileri doğrulama kontrol sistemine aktarılır. Gerilim sensörü çıkışları ayarlanan gerilim seviyelerine göre lojik 1 veya lojik 0 bilgisi vermektedir. Akım sensörleri 45mV seviyelerinde bir sinüs dalgası çıkışı vermektedir. Bu nedenle okunan sinyalin bir bant geçiren filtre ile doğrultulması gerekmektedir. 2 hat üzerinden akım okuması yapılan sistemlere girişine düşük geçiren filtre ile yüksek geçiren bir filtre konumlandırılarak bant geçiren bir filtre elde edilmiştir.



Şekil 3. 24: Akım sensörü çıkış filtresi.

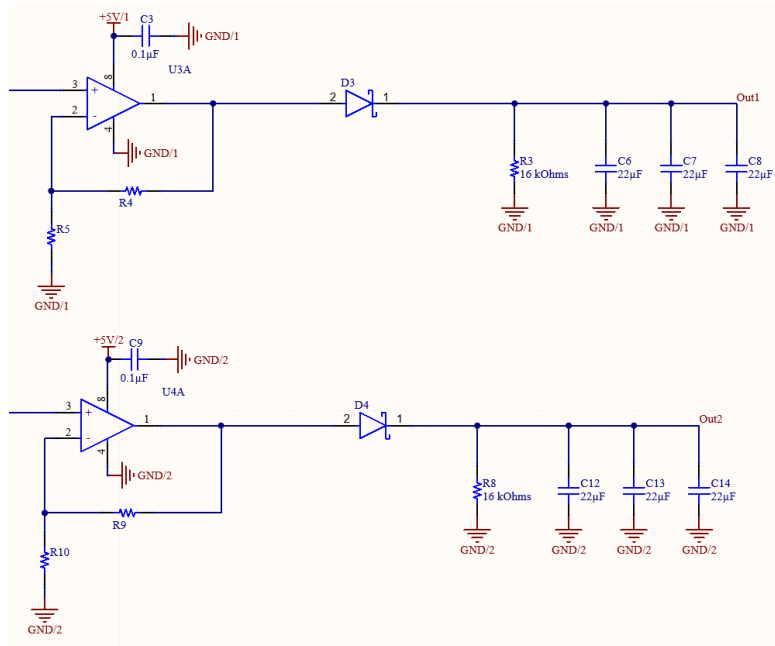
$$f(C) = \frac{1}{2\pi R_2 C_4} = 15Hz \quad (3.1)$$

$$f(C) = \frac{1}{2\pi R_1 C_5} = 150Hz \quad (3.2)$$

Formül üzerinden hesap yapıldığında C4 ve R2 yüksek geçiren filtre kesim frekansı 15Hz olarak hesaplanmaktadır. Alçak geçiren filtre hesabı yapıldığında ise R1 ve C5 için 150Hz bulunmaktadır. Akım sensörü verileri 15-150 Hz band geçiren filtre yapısından sonra yükselteç devresine girerek çözünürlükleri artırılır ve belirlenen kazanç oranında opamp çıkışı vermektedir. Yükseltme katsayısı opamp kazanç formülü ile hesaplanmaktadır.

$$Sensor(Yükseltme Oranı) = 1 + \frac{R_4}{R_5} = 42 \quad (3.3)$$

Mevcut sistemde filtrelenmiş akım sensörü çıkışı yaklaşık olarak 42 kat yükseltilecek şekilde bir shootky diyot ve kapasiteler ile çıkıştaki voltaj dalgalanmalarını ve osiloskop ile gözlemleyebildiğimiz voltaj minimum ve maximum noktaları arasındaki mesafenin minimize tutulması amaçlanmıştır. Filtrelenen ve yükseltelen akım sensörü 2 farklı kanaldan ölçüm alınarak yapılmaktadır.



Şekil 3. 25: Yükselteç şematığı.

3.3.2. Okunan verilerin karşılaştırılması ve indikasyon oluşturulması

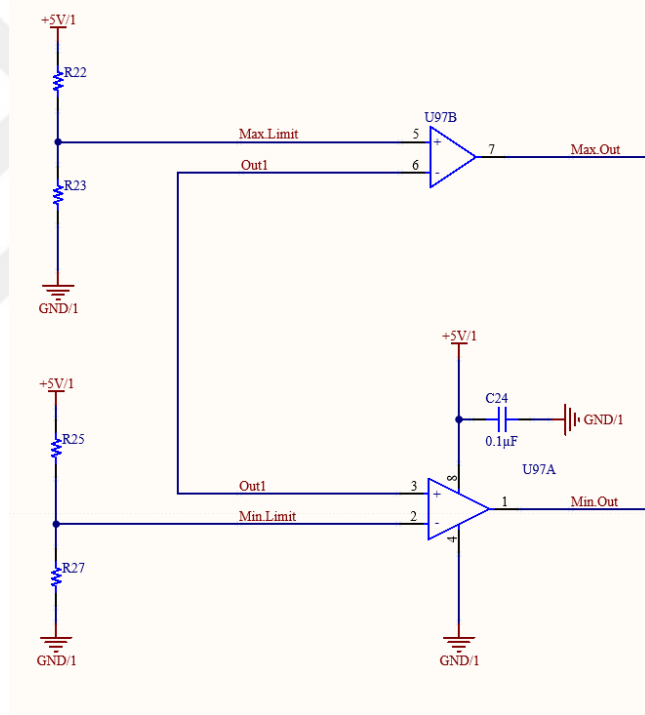
Akım sensör verileri filtrenip, yükseltildikten sonra kullanılan saha ekipmanlarının minimum ve maksimum çalışma değerleri belirlenmiştir. Lambaların boшта çektiği akım, gece modunda çalışırken çektiği akım ve gündüz modunda çektiği akım değerleri, parlaklık değerleri belirlenip sistem için kritik bir seviye olan limitler hesaplanmıştır. Bu limitler kullanılan saha ekipmanlarının marka ve modellerine göre değişiklik göstereceği için modüler bir yapıda veya kolay bir şekilde ayarlanabilir halde tasarlanmıştır.

Mevcut devre kartının minimum ve maksimum belirlenen limitler kullanılan projeye bazlı olarak değiştirilebilir. Aynı zamanda sistem AC ve DC farklı çalışma tiplerine göre kurgulanabilmektedir. Lamba tiplerine konfigürasyon tabloları belirlenmiştir. Lamba tiplerinin emniyetli sistem içerisindeki gündüz modu, gece modu ve hata modları lamba üreticileri tarafından belirtilmiş olmakta birlikte sahada yapılan ölçüm ve testlerle beraber bu limitler doğrulanmıştır. Tablo 3.2’de aktif olarak kullanılan saha ekipmanlarının elektriksel limitleri gösterilmiştir.

Tablo 3. 2: Saha lambaları elektriksel özellikleri ve limitleri.

Lamba Tipleri	Güç Beslemesi	Minimum Limitler	Maksimum Limitler
Saha Ekipmanı 1 (DC)	24VDC	335mA	410mA
Saha Ekipmanı 2 (DC)	24VDC	250mA	450mA
Saha Ekipmanı 3 (AC)	230VAC (Gündüz Modu)	40mA (Gündüz Modu)	100mA (Gündüz Modu)
	230VAC (Gündüz Modu)	40mA (Gündüz Modu)	115mA (Gündüz Modu)
Saha Ekipmanı 4 (AC)	180VAC (Gece Modu)	40mA (Gece Modu)	50mA (Gece Modu)
	230VAC (Hata Modu)	20mA (Hata Modu)	30mA (Hata Modu)
Saha Ekipmanı 5 (AC)	230VAC (Gündüz Modu)	140mA (Gündüz Modu)	240mA (Gündüz Modu)
	180VAC (Gece Modu)	28mA (Gece Modu)	210mA (Gece Modu)
Saha Ekipmanı 6 (AC)	230VAC (Gündüz Modu)	50mA (Gündüz Modu)	1.4A (Gündüz Modu)

Tablo 3.2 üzerinden de anlaşılacağı üzere lamba tipleri ilgili projenin coğrafi koşullarına ve proje şartnamelerine göre değişiklik gösterebilir. Gece modu bütün lambalar için geçerli değildir. Ancak gece modu primer taraftan gerilim değeri emniyet trafosu ile değiştirilerek kullanılır. Primer taraftan bir emniyet trafosu kullanılarak ölçüm yapılır. Bu nedenle, tedarikçiler tarafından sağlanan belgelerde atıfta bulunulan ikincil değerler ile birincil değerler arasında farklılıklar olabilir. Ürününün çıkış voltajı değeri 180VAC'ye eşit veya daha düşük olduğunda gece modu etkinleştirilir. Fakat mevcut sistemin buna uygun olması gerekmektedir. Bu sebeple yükseltile 2 farklı akım sensörü verisi maximum ve minimum limitler belirlenerek bu limitlere göre kıyaslanmalıdır.



Şekil 3. 26: Karşılaştırma şematiği.

R22, R23 dirençleri ile akım değerlerinin kıyaslanacağı maksimum limit belirlenmiştir. R25, R27 dirençleri ile ise minimum limitler belirlenmiştir. Bu limitler belirlenirken lamba tiplerinin hata modu ve maksimum çalışma özellikleri dikkate alınmıştır. Örneğin 230VAC ile çalışan bir saha ekipmanı gündüz modunda çalışırken 130 mA akım, gece modunda çalışırken 45 mA akım tüketmektedir. Gündüz modunda çalışırken akım sensörü çıkışı 50 mV gerilim üretirken gece modunda bu değer 20 mV seviyelerindedir.

Filtreleme ve yükseltme işlemleri yapıldıktan sonra yükselteç çıkışı olarak gündüz modunda yaklaşık olarak 3,3 V seviyelerinde ilen gece modunda sistem 1,8 V çıkış üretir. Lambanın parlaklığının 0'a düştüğü akım değeride 35 mA seviyeleridir. Bu sebeple sistemin limitlerinin 40 mA <Limit> 150 mA arasında olmalıdır. Yükselteç devresi sonrasında bu limitler 1.5V <Limit> 3.7V oluşmaktadır. Yukarıda bahsedilen dirençlerle bir gerilim bölücü devresi oluşturularak bu limitlerin oluşması sağlanır ve anlık çekilen akım değeri ile kıyaslanır. Herhangi bir limit dışında olması durumunda sistem bunu hata olarak algılar ve bir hata indikasyonu üretir.

Sistem 2 adet kanal bulunur. Bu kanalların lamba renklerine ve tiplerine göre kıyaslanması önemlidir. Bu sebeple lambaların çalışma mantığı anlaşılmalıdır. Sistem içerisinde kırmızı, sarı ve yeşil lamba grupları vardır. Bu lambalarının farklı anlamları bulunduğu için sisteme göndereceği emniyetli veya hata indikasyonunda farklılık göstermektedir.

Kırmızı lamba bloğa girmenin yasak olduğunu gösterir. Sürücünün lambayı geçmeden durması beklenir. Yeşil lamba sürücünün önündeki en az iki bloğun uygun olduğunu ve normal hızla ilerleyebileceğini temsil eder. Makas motor bölgesinde yön değişikliği olacağını ise sarı lamba belirler. Bazı durumlarda 2 adet sarı lamba beraber bulunmaktadır. Bunun anlamı ise kullanıldığı lamba rengine göre meşgulliyet, hız sınırı vb. anlamları oluşturur. Bu nedenle örneğin kırmızı lamba yanmadığı durumlarda sisteme yanmadı ve hata bilgisi iletilirken yeşil lamba yanmadığı durumda demiryolu kuralları ve standartları gereği yanıyor bilgisi iletilir. Bunun sebebi anlaşılan sistemi gereği yeşil lambanın yanması durumu oldukça kritik bir durumdur. Acil bir durumda trene geç bilgisi verilmesi hat üzerinde can ve mal kaybına yol açabilir. Bu nedenle hat üzerinde yeşil lambaların sürekli yandığı şeklinde bir algoritma belirlenir. Sistem hata ve indikasyon bilgilerini ana sinyalizasyon sisteminin algoritmalarına göre ayarlar ve komuta merkezine iletir. Sistem çalışma prensiplerinde belirlenen varyantları elektronik olarak kurgulamak için sistem içerisinde birçok lojik kapı ve optokuplor kullanılmıştır.

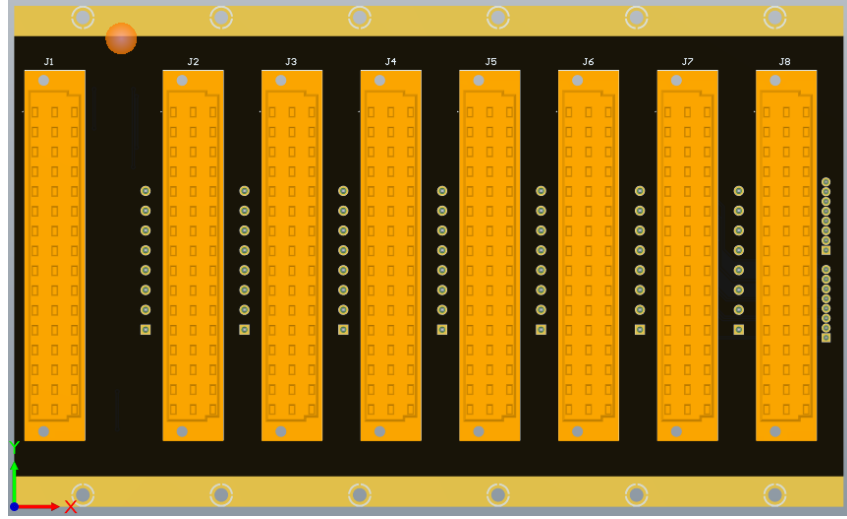
3.3.3. Doğrulama kontrol sistemi PCB çizimi

Doğrulama kontrol sistemi içerisinde 4 kanal ve her bir kanalda kendi içerisinde birincil ve ikincil olmak üzere 2 alt yapıdan oluşmaktadır. PCB toplamda 4 saha ekipmanını

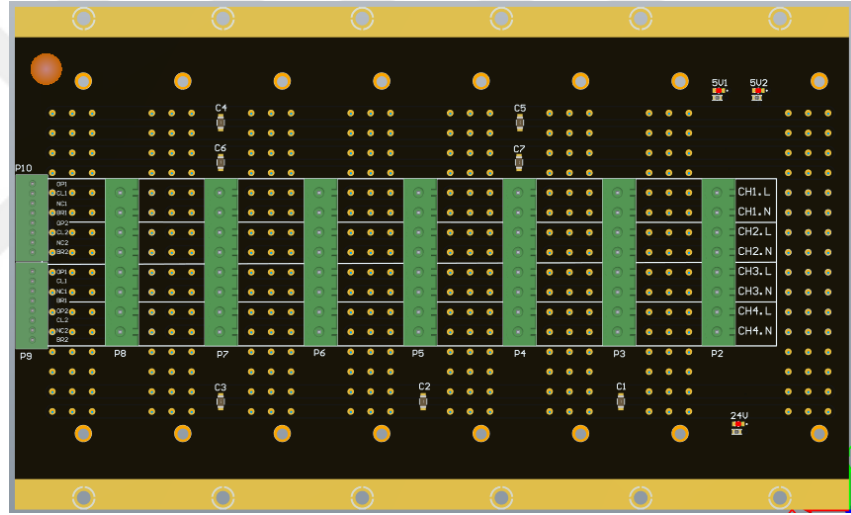
doğrularıp kontrol merkezine komut iletebilmektedir. Kart üzerinde 4 adet birincil kanalı 5V1 ile beslenirken, 2 adet ikincil kanallar 5V2 ile beslenmektedir. Kart üzerinde bütün sinyaller düşük voltaj seviyelerindedir. Bu nedenle elektromanyetik uyumluluk kuralları gereği olması gereken boşluk mesafesi ve atlama mesafeleri sürme kontrol kartına göre daha azdır. Sistem içerisinde bir çok yükselteç devresi, filtre devresi, optokupler, lojik kapılar bulunmaktadır. Bu nedenle filtre devresi ve yükselteç yapılarının mümkün olduğu kadar yollarının kısa olması ve etrafından yapılacak sinyallerin gürültü seviyelerinin düşük olması gerekmektedir. Ayrıca katman yapısı olarak 4 katlı bir bakır katman tercih edilmiştir. Güç ve toprak hatlarının daha rahat yayılması ve yönlendirilmesinin rahatlığı açısından bu husus önem arz etmektedir.

3.4. Arayüz Bağlantı Sistemi Devre Tasarımı

Arayüz bağlantı sistemi arayüzü tasarlanan güç kontrol sistemi, sürme kontrol sistemi ve doğrulama kontrol sistemini birbirine bağlayan ve sistem ile giriş çıkış filtreleme sistemi arasında bağlantı görevi gören bir devredir. Tasarlanan elektronik kartlar rack üzerine montaj edildiği için mekanik olarak gerekliliklere uygundur. Üzerinden konektörler ve saha çıkış klemensleri bulunur. Ayrıca üzerinde giriş besleme beslemeleri ve 5V1, 5V2 galvanik izoleli olan sistem içerisindeki beslemelerin gösterge indikasyon ledleri bulunmaktadır. Üzerinden aktif herhangi bir komponent bulunmamaktadır. Arayüz bağlantı kartı üzerinde 1 adet güç kontrol kartı ve 7 adet sinyal kartına (sürme ve doğrulama kontrol sistemi) olarak sağlamaktadır.



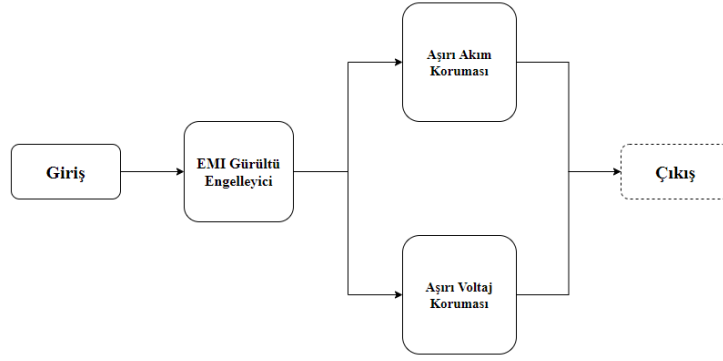
Şekil 3. 27 Arayüz bağlantı sistemi ön görünüş.



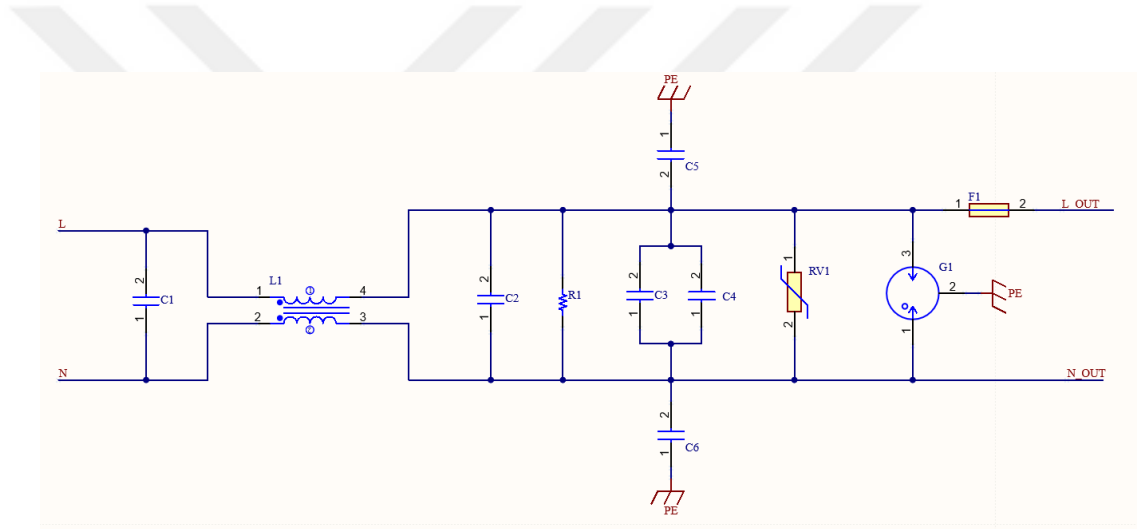
Şekil 3. 28 Arayüz bağlantı sistemi arka görünüş.

3.5. Giriş ve Çıkış Filtreleme Sistemi Devre Tasarımı

Kabinet içerisinde konumlandırılan elektronik sistem saha ekipmanlarına gönderilmeden önce giriş ve çıkış filtreleme sistemine dahil olur. Bu sistemi parafudr olarak tanımlayabiliriz. Sistemin girişi ve çıkışı arasındaki elektromanyetik paraziti önler. İçerisinde bulunduğu MOV ve GDT yapısı ile beraber sahadan gelebilecek aşırı gerilimleri sönmümler. Ayrıca aşırı akım koruması sağlamak için içerisinde sigorta bulunmaktadır.[20]



Şekil 3. 29: Giriş ve çıkış filtreleme sistemi akış diyagramı.



Şekil 3. 30: Giriş ve çıkış filtreleme sistemi şematiği.

Sistem girişindeki C1, L1 ve C2 komponentleri bir pi filtre yapısı oluşturmuştur. Pi filter çıkış dc voltajını stabil hale getirerek çıkışın dalgalanmasını azaltır. Aynı zaman sistem testleri esnasında saha tarafından gelebilecek yüksek frekansta farklı frekans bantlarındaki gürültüleri sönmölemek için L1 bobini kullanılmıştır. Bu bobin 30 ile 80 Mhz bantlarında aktif olarak çalışarak yaklaşık olarak 30 dB gürültü bastırmaktadır. Sistem içersinideki C3 kondansatörü fark mod gürültüleri için kullanılırken C4, C5 ve C6 kondansatörleri ortak mod gürültüleri için eklenmiştir. Çıkış tarafındaki MOV ve GDT yapısı anlık voltaj dalgalanmalarını sönmöleyecektir. GDT içersinde bir gaz bulunur.Yüksek darbe gerilim oluştuğunda gaz akım akışına izin vererek çalışır. Sistem ile saha ekipmanları arasında konulan bu sistemle beraber pano içersindeki ekipmanlar

elektriksel olarak korunmuş olup sistemin emniyetli bir şekilde çalışmasına devam etmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca sistemin konumlandırıldığı mekanik kutu ve klemens yapılarında modüler ve küçük boyutlarda seçilerek bakım yapılabilirlik ve kullanım açısında esneklik sağlamıştır.



BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Demiryolu sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan bu sistemle beraber yurtiçi ve yurtdışındaki aktif demiryolu hatlarındaki saha ekipmanlarının emniyetli bir şekilde kontrol edilmesi ve bu kontrolün doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem ve geliştirilen elektronik kartlarla beraber demiryolu standartlarına uygun ve elektromanyetik dalgalardan etkilenmeyecek bir yapı oluşmuştur. Farklı coğrafi koşullarda ve farklı varyantlarda uyum sağlayabilir ve modüler bir çözüm üzerine çalışılmıştır. Ayrıca sistemin emniyet güvenlik seviyeleri uyarınca SIL – 4 mertebesinde bir tasarıma olanak sağlamakla birlikte sistemin yedekli yapısı olması ile dikkat çekmektedir. Mevcut sistem tasarımı EN 50126, EN 50129 standartları gözetilerek tasarlanmış olup, fonksiyon emniyet güvenliği EN 61508 , EMC ve donanım tasarım standartları olan EN 50124, EN 55016, EN 50121 gözetilerek uygunlanmıştır. Tercih edilen komponentler yüksek MTBFe sahip olması, hata düşme olasılıklarının düşük olması sistemin emniyetli olmasını sağlamıştır. Sistemin emniyetli sayılabilmesi için tekil olarak komponentlerin belirli bir MTBF değerlerine sahip olmakla birlikte bütün sistemin birbiri içinde uyumlu olması ve emniyetli durumu sağlaması gerekmektedir. Bu sebeple elektronik komponentler için hata durumları analizleri yapılmıştır. Sistemin ve komponentlerin hata düşme değerleri ve komponentlerin hata modları detaylı bir şekilde dökümanlaştırılmış ve analiz edilmiştir.[21]

Sahada kullanılan farklı tipteki ikaz lambaları, uyarı sirenler ve hemzemin geçitlerdeki sinyal lambalarının çektikleri akım değerlerine göre revize edilebilir ve ayarlanan minimum ve maksimum değerlerine göre sistemin doğru çalışıp çalışmadığını algılayıp ana kontrol merkezine bilgi verebilir. Ana kontrol merkezinde sahada kullanılan ekipmanlarının sağlam çalışıp çalışmadığını görsel olarak ifade eden indikasyon sembolleri ve arka planda hata verilerini depolayan bir yazılımda bulunmaktadır. Böylelikle gerçek zamanlı olarak sistemlerin güncel durumları anlık olarak takip

edilebilmektedir. Sistem AC/DC saha ekipmanlarını farklı coğrafi koşullara göre kontrol edebilir ve emniyetli bilgisini iletebilmektedir.

Tasarlanan elektronik kartlar pano içerisinde rack diye tabir edilen bir mekanik muhafaza içerisinde konulandırılmaktadır. Bu sebeple kartlar arasındaki bağlantıyı sağlayan konektör birimlerinin iç dirençlerinin oldukça düşüktür. Saha çıkış terminasyonları ve modüler yapıyı sağlayan bir arka arayüz kartı bulunmaktadır. Bu kart saha çıkışlarını ve kartların birbirleri arasındaki bağlantı sağlamaktadır. Ek olarak üzerinde bulunan topraklama alanları ile sistemin topraklama sürekliliğinin sağlanmasına olanak sağlar.

Rack içerisinde konumlandırılan elektronik kart dışarıdan kart üzerindeki led indikasyonları üzerinden sistem güç ve arıza veya güvenli durumları hakkında bilgi vermektedir. İşlem yapan her kanal içerisinde sistem duruma göre emniyetli ve hata led indikasyonunu gösterir. Aynı zamanda pano içerisindeki bağlantı kablolarıyla emniyetli PLC'ye bilgi aktarır. Buradaki ana amaç bakım yapan personele sistem hangi noktada hata olduğunu veya sağlıklı çalıştığı bilgisini vermektedir. Sistem güç kontrol sistemi üzerinde ana besleme AC veya DC güç hatlarının aktif veya kapalı olmalı durumları ile beraber güç kontrol kartı üzerindeki 1003D mimarisi ile tasarlanan her bir DC/DC güç dönüştürücülerinde indikasyonları bulunmaktadır. Arka arayüz kartı üzerinde ise sistem saha çıkışlarının aktif olup olmadığını temsil eden indikasyonlar bulunur. Arka arayüz kontrol kartı saha çıkışları, giriş ve çıkış filtreleme sistemine bağlandıktan sonra sahaya iletilmektedir. Böylelikle pano ve saha arasında bir izolasyon oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Gündoğdu F., Söyler H., (2008). Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Tasarım Kriterleri ve Fail-Safe Kavramı. *Raylı Sistemler Bülteni*, Sayı: 9, 25-29.
- [2] Güleler, Y. (2009). *Bir Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemi Gerçekleştirme*, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Mecitoğlu, F., (2013) *Demiryolu Sinyalizasyon Sistemi Simülatörü ve SCADA Sistemi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Türker, F., Arslan M., Çakır A., (2017) Raylı Sistemler için SCADA Tabanlı Sinyalizasyon Sistemi. *SDU International Technological Sciences*, 9, 1-14.
- [5] TS-EN, (2017). *Railway Applications- The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*. (EN 50126-1).
- [6] TS-EN, (2017). *Railway Applications- The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*. (EN 50126-2).
- [7] Spellemaeker, M. and Witrant, L., (2007) How to Determine the Safety Integrity Level (SIL) of a Safety System. *Petro Online*. Erişim Haziran 23, 2023, https://www.petroonline.com/article/safety/15/michel_spellemaeker_lionel_witrant/how_to_determine_the_safety_integrity_level_sil_of_a_safety_system/348.
- [8] Söylemez, M.T., Durmuş, M.S. and Yıldırım, U., (2011) Functional Safety Application on Railway Systems: Turkish National Railway Signalization Project, *Proc of the 24th Int. Cong. On Condition Monitoring and Diagnostics Engineering Management*, Milano, 44(1), 1683-192.
- [9] TS-EN, (2018). *Railway Applications – Communication, Signalling and Processing Systems – Safety Related Electronic Systems for Signalling*. (EN 50129).
- [10] TS-EN, (2017). *Railway Applications-Electromagnetic compatibility-Part 1: General*. (EN 50121-1).
- [11] TS-EN, (2000). *Railway Applications- Electromagnetic Compatibility - Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world*. (EN 50121-1).

- [12] TS-EN, (2019). *Railway Applications – Electromagnetic Compatibility- Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus*. (EN 50121-4:2016-A1).
- [13] TS-EN, (2017). *Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements*. (EN 50016-2-3).
- [14] TS-EN, (2009). *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and Measurement Techniques - Electrostatic discharge immunity test*. (EN 61000-4-2).
- [15] Url-1 <te.com/usa-en/product-6609065-2.datasheet.pdf>, erişim tarihi:22.06.2023.
- [16] Url-1 <we-online.com/components/products/datasheet/7448680100.pdf>, erişim tarihi: 22.06.2023.
- [17] TS-EN, (2017). *Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - radiated disturbance measurements*. (EN 50016-2-3).
- [18] TS-EN, (2009). *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and Measurement Techniques - Electrostatic discharge immunity test*. (EN 61000-4-2).
- [19] TS-EN, (2017). *Railway Applications Insulation Coordination Part 1: Basic requirements clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*, (EN 50126-1).
- [20] TS-EN, (2017). *Railway Applications-Insulation coordination-Part 2: Overvoltages and related protection*. (EN 50124-2).
- [21] TS-EN, (2010). *Functional Safety of Electrical Electronic Programmable Electronic Safety-Related Systems - Part 1: General requirements*. (EN 61508-1).