

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ İÇİN
TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa TİFTİKCİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ İÇİN
TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa TİFTİKCİ
518101027**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 518101027 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa TİFTİKCİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ İÇİN TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMİ TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Metin GÖKAŞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Salman KURTULAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **21 Ocak 2013**

Aileme ve tüm mesai arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında anlatılan projenin alınmasında ve başarıyla yürütülmesinde, başta TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nün değerli Müdür ve Müdür Yardımcı'larına, beraber çalıştığım proje ekibi arkadaşlarımdan, Merkezi Kontrol Ünitesi iş paketinde çalışan Hüseyin Alpaslan YILDIZ'a, Murat DEMİRCİ'ye, Dinçer Mehmet BAHAR'a ve Utku GENÇ'e, TÜLOMSAŞ'ta bu projede çalışan tüm çalışanlara teşekkürü bir borç bilirim.

Projeye başladığım günden bu yana maddi ve manevi desteklerinden ötürü Erkan ELCİK'e, Mehmet Ali ÇİMEN'e ve Ali Önder BİLİROĞLU'na minnettarım.

Her türlü desteğini benden aileme gösterdikleri sabırdan ötürü teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2012

Mustafa Tiftikci
Kontrol Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı:	1
1.2 Literatür Araştırması:	3
2. RAYLI TAŞITLARDA KULLANILAN ALT BİLEŞENLERİN TANITIMI. 7	7
2.1 Elektronik Elemanlar	7
2.1.1 Kontrol Ekipmanları	8
2.1.2 Koruma Elemanları	9
2.2 Temel Mekanik Sistemler	10
2.2.1 Boji.....	10
2.2.2 Şasi, kaporta ve markiz	11
2.2.3 Fren Sistemi	11
3. TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMLERİ.....	15
3.1 Görevler.....	16
3.2 Genel Yapısı.....	18
3.3 Örnekler.....	18
3.3.1 Bombardier firmasının tren kontrol ve izleme sistemi.....	19
3.3.2 Traintic firmasının COSMOS tren kontrol ve izleme sistemi.....	21
3.3.3 Siemens firmasının SIBAS32 tren kontrol ve izleme sistemi.....	25
4. E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF İÇİN TASARLANAN TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMİ TASARIMI.....	29
4.1 Modern tren kontrol ve izleme sistemlerden farklılıkları ve benzerlikleri	31
4.2 MKÜ'nün Temel Görevleri.....	32
4.2.1 Günlükleme	32
4.2.1.1 Hızlı günlükleme	33
4.2.1.2 Yavaş (Olağan) günlükleme.....	33
4.2.2 Kumanda Masası Arayüzü	34
4.2.3 Hata takibi	35
4.2.4 Sinyalizasyon birimlerine arayüz.....	35
4.2.5 Çevresel ekipmanların kontrolü	35
4.2.6 Hız ve seyir hesaplama	36
4.2.7 Çoklu lokomotif çalışma	36
4.3 MKÜ'nün Temel Yapısı	36
4.3.1 Elektriksel Tasarım	37
4.3.2 Mekanik Tasarım	38

4.4 Tasarımda Baz Alınan Standartlar	39
4.5 İçerdiği Donanımlar	41
4.5.1 Elektronik Kartlar.....	41
4.5.1.1 Merkezi işlemci kartı(MİK)	44
4.5.1.2 Analog giriş kartı(AGK)	45
4.5.1.3 Sayısal giriş kartı(SGK)	46
4.5.1.4 Sayısal çıkış kartı(SCK)	47
4.5.1.5 Haberleşme kartı(HK)	48
4.5.2 Test prosedürleri.....	49
4.5.2.1 Donanım testleri	49
4.5.2.2 Yazılım testleri	50
4.6 İçerdiği yazılımlar	51
4.6.1 Yazılım altyapıları.....	51
4.6.1.1 QNX Neutrino gerçek zamanlı işletim sistemi	54
4.6.1.2 SafeRTOS gerçek zamanlı işletim sistemi	59
4.6.2 Yazılım tasarımı	66
4.6.2.1 Çevresel birimlerin yazılım tasarımı	67
4.6.2.2 Kullanılan birimler ve diyagramları	68
5. E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİFTE CKÜ HABERLEŞME VE	
GÜNLÜKLEME YAZILIMLARI.....	81
5.1 Haberleşme Altyapıları.....	82
5.2 Günlükleme İşlemleri.....	83
5.2.1 Günlükleme işlemlerinde kaydedilecek veriler	83
5.2.2 Günlükleme işlemine başlanacak durumlar	84
5.3 Kullanılan Arayüzler ve Özellikleri	85
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	89
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

TCDD	: TÜRKİYE CUMHURİYETİ DEVLET DEMİRYOLLARI
MW	: Mega Watt
TCMS	: Train Control and Monitoring System
EMU	: Electrical Multiple Unit
TÜLOMSAŞ	: TÜRKİYE LOKOMOTİF VE MOTOR SANAYİ AŞ.
MAM	: MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ
MRC	: MARMARA RESEARCH CENTER
CKÜ	: Cer Kontrol Ünitesi
MKÜ	: Merkezi Kontrol Ünitesi
GPS	: Global Positioning System(Küresel Konumlama Sistemi)
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
VCB	: Vacuum Circuit Breaker
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor
PCB	: Printed Circuit Board (Baskılı Devre)
LED	: Light Emitting Diode
MVB	: Main Vehicle Bus
CAN	: Controller Area Network
WTB	: Wide Train Bus
IP	: Internet Protocol
RAMS	: Güvenlik, Güvenilirlik, Sürdürülebilirlik, İzlenebilirlik
RAM	: Random Access Memory
ROM	: Read Only Memory
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
HMI	: Human Machine Interface(İnsan Makine Arayüzü)
USB	: Universal Serial Bus
ATS	: Automatic Train Stop(Otomatik Tren Durdurma)
TDS	: Tren Denetim Sistemi
I²C	: Inter Integrated Circuit
UART	: Universal Asynchronous Receive Transmit
SPI	: Serial Peripheral Interface
MİK	: Merkezi İşlemci Kartı
AGK	: Analog Giriş Kartı
SGK	: Sayısal Giriş Kartı
SCK	: Sayısal Çıkış Kartı
HK	: Haberleşme Kartı
PGU	: PWM Generation Unit
BGA	: Ball Grid Array
SIL	: Safety Integrity Level
RTOS	: Real Time Operating System(Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi)
CPU	: Central Processing Unit
FPGA	: Field Programmable Gate Array

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4-1 : CAN mesaj paketi uzunluğu	71
Çizelge 4-2 : CANBus'taki cihazlar için ID atamasının yapılması	72
Çizelge 4-3 : Örnek CAN ID dağılımı.....	72
Çizelge 4-4 : MKÜ'deki senkronizasyon mesajı ve yardımcı kartların cevapları	75
Çizelge 4-5 : Fonksiyonel mesajlar için CAN ID'leri.....	76
Çizelge 4-6 : Fonksiyonel mesaj tipleri.....	76
Çizelge A-1 : MİK performans testi prosedürü.....	92
Çizelge A-2 : SGK performans testi prosedürü.....	92
Çizelge A-3 : AGK performans testi prosedürü.....	93
Çizelge A-4 : SCK performans testi prosedürü.....	93
Çizelge A-5 : HK performans testi prosedürü.....	93
Çizelge A-6 : MİK fonksiyonellik testi prosedürü.....	94
Çizelge A-7 : SGK fonksiyonellik testi prosedürü.....	96
Çizelge A-8 : AGK fonksiyonellik testi prosedürü.....	96
Çizelge A-9 : SCK fonksiyonellik testi prosedürü.....	97
Çizelge A-10 : HK fonksiyonellik testi prosedürü.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2-1 : Elektrikli demiryolu taşıtlarında kullanılan pantograf.	7
Şekil 2-2 : Aks çeşitlerine göre bojiler.	10
Şekil 2-3 : DE11000 trenin çeşitli açılardan görünüşleri.	12
Şekil 2-4 : K-mikro sisteminde bulunan kartlar ve temel işlevleri.	14
Şekil 3-1 : Bombardier firmasının tren kontrol ve izleme sistemini özetleyen şema.	19
Şekil 3-2 : MITRAC'ın haberleşme yapısını gösteren şekil.	20
Şekil 3-3 : COSMOS kontrol modülü.	22
Şekil 3-4 : COSMOS sisteminin giriş/çıkış modülü.	23
Şekil 3-5 : COSMOS sisteminin insan-makine arayüzünü sağlayan modül.	23
Şekil 3-6 : COSMOS sisteminin Tekrarlayıcı modülü.	24
Şekil 3-7 : COSMOS sisteminin ağ geçidi modülü.	25
Şekil 3-8 : SIBAS32 merkezi kontrol ünitesi blok şeması.	27
Şekil 3-9 : SITRAC sistemine ait yazılım blok şeması.	28
Şekil 3-10 : SIBAS32 sisteminin haberleşme altyapısını gösteren blok şema.	28
Şekil 4-1 : Tren kontrol ve izleme sistemi mekanik muhafazası.	30
Şekil 4-2 : MKÜ'nün temel görevlerini gösteren şema.	32
Şekil 4-3 : MİK'e ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.	45
Şekil 4-4 : AGK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.	46
Şekil 4-5 : SGK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.	47
Şekil 4-6 : SCK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.	48
Şekil 4-7 : HK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.	49
Şekil 4-8 : Monolithic ve microkernel yapıdaki çekirdeklerin şeması.	55
Şekil 4-9 : Monolithic yapıdaki çekirdek.	56
Şekil 4-10 : Microkernel çekirdek.	56
Şekil 4-11 : Mikroişlemci kaynaklarının durumu.	58
Şekil 4-12 : Mikroişlemci kaynaklarının durumu.	58
Şekil 4-13 : Adaptif bölmelendirmeye örnek	59
Şekil 4-14 : Round-Robin algoritması.	61
Şekil 4-15 : Task durumlarını ve geçişlerini gösteren blok diyagram.	63
Şekil 4-16 : Sıralayıcı durumlarını ve geçişlerini gösteren blok diyagram.	65
Şekil 4-17 : Çevresel birimler Use-Case diyagramı	67
Şekil 4-18 : Çevresel birimlerin sınıf diyagramı.	69
Şekil 4-19 : CAN fiziksel katmanı gösterilimi.	70
Şekil 4-20 : MKÜ'de bulunan kartların MİK ile CAN bağlantı şeması.	71
Şekil 4-21 : Bir CANBus mesaj çerçevesinin dizilimi.	71
Şekil 4-22 : Sayısal giriş sınıf diyagramı.	77
Şekil 4-23 : Sayısal çıkış sınıf diyagramı	78
Şekil 4-24 : Haberleşme sınıf diyagramı	79
Şekil 4-25 : Günlükleme sınıf diyagramı.	79

E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ İÇİN TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMİ TASARIMI

ÖZET

Günümüzde gittikçe yaygınlaşan ulaşım ağları, karayolları haricindeki diğer ulaşım çeşitlerinin de önemini gittikçe arttırmaktadır. Bunlardan en önemlisi demiryollarıdır. Yolcu ve yük taşımada yaygınlıkla kullanılan ve diğer ulaşım çeşitlerine göre ekonomik olmasıyla öne çıkan demiryolları, son yıllarda elektrikli raylı taşıtların da kullanıma başlanmasıyla önemini göstermiştir.

Sanayi devriminde buhar makineleriyle yapılan demiryolu taşıtlarının, büyük miktarlardaki cevheri veya ticari ürünü kısmen daha ucuza taşıyabilmesi, büyük bir kalkınma ve zenginleşmeye zemin hazırladığı bilinmektedir. O dönemlerde elektrikle tahrik edilen ilk örneklerinin de görüldüğü bilinmektedir. Ancak raylı taşıtların kullanımı 18. ve 19. yy'da başlamış diye düşünülmemelidir. MÖ. 6.yy'da insan gücüyle ve bir kısmı ahşap raylar üzerinde veya yerde açılmış oyuklar içinde giden örneklerinin bulunduğu bilinmektedir. Bu örnekler bilinen ilk raylı taşıtlardandır.

19.yy'ın sonlarında ve 20.yy'ın başlarında elektrikle tahrik edilen ilk sistemler Avrupa'da ve Birleşik Devletler'de görülmeye başlanmıştır. İlk elektrikli tramvay ve füniküler bu dönemlerde yapılmıştır. 20.yy'ın ortalarında ise Japonya öncülüğünde ilk hızlı tren projeleri başlatılmış olup günümüzde, yaklaşık 600km/s hızlara kadar çıkabilen hatta magnetik levitasyon sistemiyle havada hareket edebilen, elektrikli hızlı trenler bulunmaktadır.

Ülkemizin bu gelişim sürecindeki durumu ise Cumhuriyet Dönemi öncesi ve sonrası olarak iki ana başlıkta toplanabilir. İlk olarak Cumhuriyet öncesi dönemde Almanlar tarafından Bağdat Demiryolu yapılmıştır. Bu hat Berlin'den Bağdat'a kadar uzanan bir demiryolu hattıdır. Bundan sonra Anadolu'nun çeşitli yerlerinde İngilizlere Fransızlara ve Almanlara imtiyaz bölgeleri verilerek demiryolları yaptırılmıştır. Bu esnada yapılan demiryollarının hem iktisadi hem de siyasi amaçlarının olduğu söylenebilir.

Cumhuriyet Dönemi sırasında, Atatürk'ün demiryollarının millileştirilmesi hususunda hassasiyet göstermesi ile kısa sürede Anadolu'daki tüm demiryollarının millileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca stratejik ve ekonomik olarak önem arz eden merkezlere demiryolları çekilmiştir. Bu ana hatlarla ülkenin savaş sonrası fakir ve çaresiz durumu düzeltilmeye çalışılmış ve başarıya ulaşılmıştır.

Demiryollarının millileştirilmesi çok önemli bir adım olmakla birlikte, bu önemli sektörde daha da ilerleyebilmek, İngiltere, Almanya ve Japonya örneğinde olduğu gibi ekonomik ve teknolojik gelişime "lokomotif" olmasını sağlayabilmek, yüksek teknoloji ve muasır medeniyet seviyesini yakalayabilmek amacıyla demiryolu alanında araştırma-geliştirme ve sanayi alanlarının desteklenmesi ve çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Bu amaçla “E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi Projesi” başlıklı projede yukarıda bahsedilen teknolojik ilerlemenin sağlanması desteklenmiştir. Bu projenin amacı TCDD envanterinde bulunan ve 1980 yapımı DE11000 isminde Dizel-Elektrik lokomotifin tam elektrikliye dönüştürülmesidir. Hedeflenen cer(çekiş) gücü 1MW’tır. Tamamıyla yerli katkı ve mühendislikle üretilmesi ise araştırma-geliştirme ve üretim sahası anlamında ülkemize önemli bir kapı açacak bir projedir.

Günümüz modern elektrikli lokomotiflere her anlamda rakip olabilecek tasarım mimarisiyle ülkemiz için önemli bir Ar-Ge çalışmasıdır. Bu proje ile daha önce Türkiye’de hiç yapılmamış Cer Konvertörü, Cer Doğrultucusu ve bunların kontrol üniteleri ve ayrıca Merkezi Kontrol Ünitesi olarak isimlendirilen genel izleme ve kontrol birimlerinin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilecektir.

Bu tez çalışmasında modern elektrikli lokomotiflerde ve hatta bu sistemlerin benzerlerinin kullanıldığı EMU(Electrical Multiple Unit) ve hızlı trenlerde kullanılan TCMS (Train Control and Monitoring System) sisteminin “E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Projesi”ndeki çalışmaları anlatılacaktır.

DESIGNING A TRAIN CONTROL AND MONITORING SYSTEM FOR THE PROJECT “DEVELOPMENT OF THE E1000 TYPE ELECTRICAL LOCOMOTIVE”

SUMMARY

Nowadays, the various transportation lines are getting widespread and critical importance in daily life. It is needed some alternative ways for transportation. Furthermore, the oil consumption and global warming force the people to use alternative types. So the researchers are working on some projects which are carbon-free vehicles. Among all the researches, the one of the most important one is electrical railway vehicles.

It is a well-known fact that the railway vehicles prepare a base for economical transportation for goods and cause welfare and wealth in the industrial revolution. It is seen that the civilization has somehow equal meaning with using railway vehicles in this era. Although, the steam-powered machines and locomotives play an important role as a catalyzer in industrial revolution, it is known that the electrical-powered trains and locomotives was tried and used as first samples in the industrial revolution. However the story of usage of railway vehicles in transportation does not start in industrial revolution, although it causes big impact of being success in 18th and 19th century. Actually, the first vehicles in railway is seen in 6th century (BC) as a man-powered traction force. The vehicle, which was designed for a king, was using wooden rails or going in hollows on the ground. These are the first prototypes for railway vehicles on the world.

In the last of 19th century, the first electrical-powered railway systems are seen in Europe and United States. The first electrical tramway and funicular was built in this century. In the middle of 20th century, the first high-speed train projects was started leads with Japanese engineers. Nowadays, the high-speed trains can operate up to 600km/h even with magnetic levitation systems without touching the ground.

As, the importance of the electrical-powered vehicles and the general trend in the world for railway, a project which is called “Development of the E1000 Type Electrical Locomotive”, was started in TÜBİTAK MRC(Marmara Research Center) in Energy Institute. The purpose of the project is to convert the DE11000 type Diesel-Electrical powered train to totally electrical powered locomotive. The aimed traction power is 1MW. The every critical device is going to be designed and produced by TÜBİTAK MRC Energy Institute and domestic producers. The project partner of TÜBİTAK MRC Energy Institute is TÜLOMSAŞ. The project is going to open some new production and application areas in Turkey.

This project is going to be a R&D work which is aimed to be a competitor to modern locomotive systems. In project, the first traction converter and inverter, their control units and also a Central Control Unit as a train control and monitoring system is designed in TÜBİTAK and produced in Turkey.

In this thesis, it will be given some information about the train control and monitoring system design for the project “Development of E1000 Type Electrical Locomotive” which this system can be used many railway vehicle types such as locomotives, EMU’s(Electrical Multiple Unit) and high-speed trains. This design will be competitor system in each sense for equal designs in the world which is developed by some very big companies. The domestication of design and production of this system is the most important purpose of this project.

In thesis, it is mentioned that general components of an electrical-powered locomotive. These components can be a part of electrical or mechanical system. The main electrical components are control unit of power electronic systems of traction system. This electrical system has the ability of full control of the main power conversion system. Tens of sensors and logic signals can be read by this system. For this purpose, the intelligence and speed of the traction control system is very critical point. To solve the complex problems precisely and fast, it is used some real time operating systems and logical circuits.

Another control system is the main control unit. The whole train control and monitoring system is the main control unit. This control unit monitors the operation, detect the faults and log them. Even if there is no error or fault on the system, the main control unit logs the operational data of the cruise. The reliability, availability, maintainability and safety are the key features of this type of systems. On some metros and high speed trains, main control unit has the critical tasks for safe operation such as door controls. Safety is a key feature but also the information systems have some importance. Infotainment system, which means the informatic components on a train, is also desired systems.

In this thesis work, it will be explained the train control and monitoring system of the E1000 type electrical locomotive. Because this is a locomotive, there will be no infotainment system on it. But the other safety controls for electrical equipment are existed.

The main structure of the main control unit has two important parts. One of the important parts is the peripheral units. These units have general purpose digital inputs and outputs. For safe operation, all the digital inputs and outputs are galvanic isolated from the main processor unit. The digital inputs have 10mA current inputs which lead safe operation. The digital outputs have 500mA current limitation and fully galvanic isolated from the main processor unit.

As the digital signals can be handled, the analogous signals can also be accepted for some sensors which have analogous outputs. The analogous inputs have also optically isolation. This isolation can be obtained by a voltage-current transducer like optocouplers. The analogous inputs isolate the signal and make conditioned for microcontroller components.

The microcontroller, which is used in these peripheral units, has various peripheral components such as CAN, I2C, SPI, Ethernet so on. The microcontroller is a member of Stellaris family microcontrollers of the Texas Instruments company.

The communication between peripheral units and processor unit is developed over an industrial communication protocol which is called CAN Bus. The protocol developed for project is based on CAN. The detailed explanation is in thesis.

The microcontroller software is based on a real time operating system which is called SafeRTOS. SafeRTOS is a SIL3 certified operating system. The operating system

has such a small kernel comparing a of the shelf operating systems like Unix or Windows. There is no networking stack on the SafeRTOS kernel but it can be added with third party applications like lightweightIP for Ethernet communication.

Another third party application, which is used in the application software, is used obtained by Texas Instruments. It is called Stellarisware which has all the drivers for peripherals. With Stellarisware software, it can be developed a software without looking the device datasheet of Stellaris microcontroller.

The Eclipse based integrated development environment obtained by Texas Instruments which is called Code Composer Studio is used. The code composer studio is a superior code development environment for embedded systems.

All the hardware of the main control unit is developed in TÜBİTAK MRC Energy Institute with a professional printed circuit board program.

All the hardware is tested based on some standards. These testing procedure is also included in the thesis.

The main importance of the project is developing a safe system using SafeRTOS and QNX real time operating systems. The code development with a real time operating system is one of the critical points of this project. Because the importance of the critical systems and the monitoring software which run on a PC must be handled carefully. The software organization can be done with an operating system in safe manner and easily handled.

The casing of the main control unit is designed for working in vibration, dust and moisture. Because the locomotive has hard condition for electrical systems. Although the operating conditions are hard, the controller units should work precisely.

In the thesis, it is going to explain a train control and monitoring unit and there is some related products which are designed in some big railway companies. This will give a chance the reader to compare the quality of the controller unit of the project. The train control and monitoring system which is designed for this project, is the first product which is designed for a locomotive in Turkey. This will lead the researchers and academicians have a good working area for railway systems.

In general view, the designing and engineering of electrical and mechanical systems is done by the TÜBİTAK MRC Energy Institute and the TÜLOMSAŞ. When this project is finished, the controller units can be used for further trains and locomotives. Because although the power electronics system can be changed, the controller units remains same.

1. GİRİŞ

Tez kapsamında, TÜBİTAK TARAL 1007 “E1000 Tip Elektrikli Lokomotif” projesi için geliştirilmiş olan Tren Kontrol ve İzleme Sistemi tasarımı, Merkezi Kontrol Ünitesi’ni çalışmaları anlatılacaktır. Tasarım sürecinde donanım ve yazılım bağlamında gerçekleştirilen işler anlatılacaktır. Temel olarak Merkezi Kontrol Ünitesi çalışmalarının detaylarının verildiği tezde, yapılan işin anlaşılabilmesi için proje hakkında, projede geliştirilen diğer sistemler hakkında bilgiler verilecektir. Ancak tasarım sürecinin ayrıntılarına girilmeyecek olup yalnızca tanıtım yapılacaktır.

Merkezi Kontrol Ünitesi’nin tasarım sürecinin anlatımına başlamadan evvel öncelikle, tezin amacından ve literatürde bu konuyla alakalı nasıl çalışmalar yapıldığından bahsedilecektir. Ardından raylı bir taşıtta bulunan temel elektronik ve mekanik sistemler tanıtılmaya çalışılacaktır. Merkezi Kontrol Ünitesi’nin tanıtımına geçmeden önce bir Tren Kontrol ve İzleme Sistemi’nin nasıl bir sistem olduğu ve görevleri anlatılacaktır. Bahsedilen özelliklerin ve görevlerin, nasıl gerçekleştirilebileceği ile alakalı, dünyadan örneklerle sunumu yapılacaktır. Burada amaç, bu sistemin teknik, idari ve mali alt yapısının nasıl olabileceği ile alakalı fikirler verilmeye çalışılacaktır.

Yukarıdaki tüm bilgilerden E1000 Tip Elektrikli Lokomotif projesi için tasarlanmış olan Tren Kontrol ve İzleme Ünitesi anlatılmaya başlanacaktır ancak asıl yoğunlaşılacak alan Merkezi Kontrol Ünitesi olacaktır. Görevleri, genel yapısı, tasarımda baz alınan standartlar, içerdiği donanımlar ve yazılımlar ayrıntılı olarak anlatılmaya çalışılacaktır. Merkezi Kontrol Ünitesi’ne dahil olmadığı halde, yapılan çalışmalarda benzerlikler bulunması sebebiyle Cer Kontrol Ünitesi’nin yazılım tasarımından da bahsedilecektir.

1.1 Tezin Amacı:

Raylı taşıtların kullanımının tarihi çok eskiye dayanmakla birlikte bu taşıtların kullanımı, endüstri devriminde buhar makinelerinin bulunmasıyla, çağ atlamış ve buhar makineleriyle tahrik edilen ilk raylı taşıtlar ortaya çıkmıştır. İlk örneklerinin

İngiltere’de görüldüğü buharlı lokomotifler, teknolojinin hızla ilerlemesiyle, elektrik tahrik sistemlerinin ve güç elektroniğinin gelişmesiyle, yerini elektrikli muadillerine bırakmıştır. Günümüzde çok yüksek hızlarda yolcu taşınması yapabilen trenler olduğu gibi çok büyük miktarlardaki yükün taşınması, elektrikli tahrik sistemleriyle sağlanabilmektedir. Yüksek güçlü veya yüksek hızlı trenler sayesinde ve gelişen güç elektroniği sistemlerinin yardımıyla demiryolu sektörü hızlı bir yükselişe geçmiştir.

Sadece tahrik sistemlerinin değil, izleme ve kontrol uygulamalarının, gelişen yarı iletken teknolojisi sayesinde büyük ivme kazandığı açıkça görülmektedir. Akıllı cihazların yardımıyla, çok ağır ve büyük olduğu halde, bir tren yaklaşık 500 km/s hıza çıkarılabilmektedir. Ancak bu işlemler, yüzlerce algılayıcının verileri çok hızlı takip edilerek, işlem yoğunluğu yüksek kontrol algoritmaları işletilerek başarılmaktadır. Sadece tahrik sistemlerinin değil, konforun, güvenliğin ve izlenebilirliğin sağlanması modern raylı taşıtlar için bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada bahsedilecek Tren Kontrol ve İzleme Sistemi, yukarıda bahsedilen konfor, güvenlik, izlenebilirlik, insan makine etkileşimi gibi konuları ele alan bir sistemdir.

Bu çalışmada, “E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi projesi kapsamında, Merkezi Kontrol Ünitesi olarak isimlendirilen sistem, bir Tren Kontrol ve İzleme Sistemi örneği olup, lokomotifin üst düzey kontrol ve izleme işlemlerini gerçekleştirecek bir ürün tanıtılacaktır. Bu yazının devamında Merkezi Kontrol Ünitesinin tanıtımı, genel yapısı, görevleri ve tasarlanan elektronik sistemlerin donanımı ve yazılımı tanıtılacaktır. Ayrıca Cer Kontrol Ünitesi (CKÜ) olarak isimlendirilen sistemin yazılım çalışmalarının bir kısmına değinilecektir.

Projede yapılan çalışmalarda, demiryolu standartlarına uyum hedeflenmektedir

Bir yük lokomotifinin Tren Kontrol ve İzleme Sistemi düşünüldüğünde ışıktandırma, yolcu bilgilendirme sistemlerinin bulunmayacağı anlaşılabılır. Bu çalışmada tasarlanan sistem, lokomotifin güvenli ve izlenebilir olmasını sağlamaktadır. Bu amaçla hata ve olay günlükleme, makinist bilgilendirme arayüzleri, sinyalizasyon sistemlerine arayüz sağlama, çevresel ekipmanların takibi ve kontrolü, ve çoklu lokomotif çalışma konularında MKÜ ’nün görevleri bulunmaktadır. Bu görevleri gerçekleştirebilmek için tasarlanan donanım, yazılım, test prosedürleri ve test ortamlarından bahsedilecektir. CKÜ ’de gerçekleştirilen yazılım çalışmalarından,

CKÜ 'ye ait günlükleme ve haberleşme sistemlerini yerine getiren yazılımdan bahsedilecektir.

Genel olarak bakıldığında tamamıyla yerli bir elektrikli lokomotifin yapılması hedeflenen bu projede, mühendislik ve tasarım TÜLOMSAŞ ve TÜBİTAK Enerji Enstitüsü'ne aittir.

1.2 Literatür Araştırması:

Tren kontrol ve izleme sistemleri hakkında, literatürde bulunan uygulamalardan bazıları bu bölümde verilecektir. Bu sistemler hem kontrol hem de izleme sistemlerini tek bir cihazda bulundurduğundan dolayı kontrol işlevi üzerine çok fazla miktarda çalışma bulabilmek mümkündür. Bu çalışmalar cer sistemini ilgilendirebilecek, motor kontrol, kayma/kızaklama problemlerinde olabilmektedir. Tez kapsamında cer kontrolü ve cer motoru denetimi hakkında sınırlı miktarda bilgi verildiğinden, bu bölüm kapsamında bahsi geçen problemler hakkında yapılmış çalışmalardan bahsedilmeyecektir.

Raylı taşıtlarda kullanılan algılayıcıların verileri tren kontrol ve izleme sistemi tarafından toplandığından aslında bu sistemler için veri toplama cihazı denilmesi yerinde olabilir. Ancak daha başka önemli görevler de üstlenmektedir. Modern raylı taşıt teknolojilerinde elektronik üniteler ve yazılımları, tren yönetiminde, haberleşmede, yolcu bilgilendirme sistemlerinde ve çekiş ve fren kontrol konularında, anahtar elementlerden biridir. Elektronik sistemlerdeki temel fonksiyonel değişiklikler havacılık ve otomotiv sektörlerinde olduğu gibi, kontrol ve izleme sistemleri konularında önemli değişiklikler getirmiştir(Bruni, 2007). Tren üstü cihazların ve haberleşme sistemlerinin gelişimi sayesinde, trenleri daha iyi takip edebilmek mümkün olabilmektedir. Haberleşme sistemleri ve trenin bulunduğu mevkiyi gösteren cihazlar bu amaçla kullanılmaktadır. E1000 tip elektrikli lokomotifte trenin nerede olduğunu anlayabilmek için GPS(Küresel Konumlandırma Sistemi) kullanılmıştır. Bruno S, 'ye göre konum bilgisi elde etmek için GPS sistemlerinden fazlasıyla yararlanılmaktadır[1].

Sadece elektronik donanımların gelişimi ve araştırılması değil, aynı zamanda tren üstü yazılımlarda da çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bir kısmı gerçek zamanlı veri alınması ve işlenmesi ile ilgiliyken bir kısmı da fonksiyonel güvenlik

çalışmalarıyla ilgilidir. Gerçek zamanlı veri işlemenin önemi tren dinamiğinin çok daha iyi anlaşılması ve buna uygun kontrol algoritmalarının işletilmesi noktasında önemlidir. Raylı araç dinamiğinin izlenmesinde ileri seviyeli konulardan biri olan gerçek zamanlı değerlendirme, süspansiyon ve en basit fonksiyonel kontrollerden, komponent seviyesinde detaylı hata tanılamaya kadar olan konularda bilgi sağlayabilmektedir. Operasyonel anlamda bu, güvenliğin, güvenilirliğin, ulaşılabilirliğin artırılmasında ve bakım maliyetlerinin azaltılmasında veya bunların koşula bağlanmasında önem arz etmektedir. İzleme ve kontrol konularının birbirlerini tamamlayan unsurlar olarak, kontrol stratejilerinin ve algoritmalarının belirlenmesinde katkılarının bulunduğunu belirtmek gerekir (Bruni, 2007).

Son yıllarda metro hatlarında ve raylı taşıtlarda, kontrol sistemlerinden talep edilen güvenlik ve performans artışı bu yeni sistemlerin güvenliklerinin sorgulanmasındaki baskıyı artırmıştır. Raylı taşıtlardaki güvenlik, bu taşıtların altsistemlerinde bulunan komponentlerin hatada güvenli olma durumuna göre temellendirilmiştir. Bu kavram rölelerin hata durumlarının karakterize edilmesinde güzelce değerlendirilmiştir, ancak modern kontrol sistemlerine, mikroişlemcilerde hata durumundaki tahmin edilemez davranışlardan dolayı, uygulanması çok zordur (Amendola, 1997). Bu zorlukların aşılması noktasında bazı standartlar getirilmiştir. Bu standartların gerekliliklerini yerine getirebilmek için aşağıda belirtilen özelliklere sahip deneysel ortamın kurulması gerekmektedir.

- Basit yazılımlardan uygulama yazılımlarına kadar, yazılımdaki her fonksiyon “örnek” girişlerle test edilmeli ve hatalar giderilmelidir.
- Yedekli çalışmada, eşzamanlamada zaman ölçümlerin, doğrulamaların ve çoklu işlemci analizinin gerçek zaman performansı analiz edilmelidir
- Hata durumlarının, hataları değerlendirme ve tepki gecikmeleri bağlamında oluşturulmalı ve sisteme uygulanmalıdır (Amendola, 1997).

Yukarıda anlatılanları destekler nitelikte başka çalışmalar da bulunmaktadır. Iyer, R. ve Rosetti, D.J.’nin belirttiği gibi, bilgisayar sistemlerinde yüksek güvenlik ana konulardan biridir. Ne yazılımda ne de donanımda hatasız bir sistemin mümkün olamayacağı birçok araştırmacının üzerinde hem fikir olduğu bir konudur. Bu nedenle hata durumunda, çalışmaya devam edecek veya tahmin edilebilir tepkiler gösterecek sistemlerin tasarlanması önem arz etmektedir. Teorik olarak, hata

durumunda kötü etkileri kapatabilecek bir sistem yapılabilir. Ancak yazılımsal hataların toleransı gayet düşük olabilmektedir[2].

Yukarıdaki bilgiler ışığında, tren kontrol ve izleme sistemlerinin, son zamanlar kritik rol oynamaya başlaması durumu söz konusu olmakla birlikte, güvenlik konularında zafiyetin olabileceği birçok araştırmacı tarafından söylenmektedir. Gelişen yarıiletken teknolojileri ve bu teknolojilerin kullanımı anlamında artan talep, üreticileri güvenlik anlamında zorlayacak birtakım donanım ve yazılımlar yapmaya itmektedir. Çok yetenekli bir donanım ve yazılım yapmış olmak hatasız bir ürün yapmak anlamına gelmediğinden bu konuda hassas olunması gerekmektedir, çünkü kullanılan elektronik sistemler yolcu taşınmasında aktif olarak kullanılmaktadır. Hata durumunda birçok insanın hayatını tehlikeye atmaktansa belirtilen standartlara ve yukarıda anlatıldığı gibi test ortamlarının kurulmasında büyük önem bulunmaktadır.

2. RAYLI TAŞITLARDA KULLANILAN ALT BİLEŞENLERİN TANITIMI

2.1 Elektronik Elemanlar

Temel olarak güç elektroniği sistemlerinin kullanıldığı yapılardan bahsedilecek bu bölümde temel alt sistemler tanıtılacaktır. Güç akış şemasında sırasıyla ilk olarak pantograftan bahsedilmelidir. Ülkemizde orta gerilim seviyesinde bulunan ve elektrikli trenlerin beslemesini sağlayan havai hattın gücün alınabilmesi için gerekli olan temasın sağlanması pantograf ismindeki cihaz üzerinden sağlanmaktadır. Şekil 2-1’de elektrikli demiryolu araçlarında kullanılan pantograflara bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2-1 : Elektrikli demiryolu taşıtlarında kullanılan pantograf.

Pantograf cihazı 25KV tek faz AC olan hattın beslemeyi direk olarak alan bir yapıdır. Bu cihazdan sonra acil durumlarda veya hata anında koruma sağlayabilmek için çeşitli elemanlar kullanılmaktadır. Koruma elemanının yanı sıra çeşitli ölçümler için kullanılan algılayıcılar bulunmaktadır(gerilim ve akım trafoları).

Pantograftan sonra güç akış şemasına göre VCB(Vacuum Circuit Breaker) isminde vakumlu bir devre kesici bulunmaktadır. Hata durumunda bu kesici açılarak tren beslemesi kesilmektedir.

Koruma ve ölçüm ve kesici elemanlardan sonra elektrikli trenlerde esas olarak bulunan diğer önemli bir yapı olan Cer Trafosu’ndan bahsetmek gerekir. 25KV’luk besleme gerilimi bu trafo sayesinde esas güç elektroniği elemanlarına ve yapılarına

kaynak sağlamaktadır. Cer Trafosu'nun devamında Cer Konvertörü ve Cer İnvertörü(tahrik sağlayan motorların AC veya DC olmasına göre değişiklik gösterebilir.) bulunmaktadır. Bu güç elektroniği sistemleri motor sürüşü için gerekli beslemenin oluşturulmasını sağlar.

Cer Trafosu'nun bir çıkışından da yardımcı konvertör isminde bir güç elektroniği sistemine daha çıkış bulunmaktadır. Bu yapı motor haricindeki diğer tüm besleme gerilimlerinin oluşturulmasını sağlar(aydınlatma, bilgilendirme, kontrol ekipmanları).

Cer konvertörü ve cer invertörü gelişen yarı iletken teknolojileri sayesinde geribeslemeli kontrol sistemleriyle kontrol edilen akıllı sistemler haline dönüşmüştür. Alınan gerilim ve akım geribeslemelerine göre uygun gerilim, akım ve çalışma bölgesi(motor veya rejeneratif çalışma) kontrolü yapılmaktadır. Bu sistemde IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor), tristör ve benzeri güç elektroniği ekipmanlarını kullanan topolojiler bulunabilmektedir. Son yıllarda az kayıplı, kontrolü kolay anahtarlama elemanları olarak kullanılan IGBT'ler bu sistemlerde yoğunlukla kullanılmaktadır[15].

Bu anahtarlama elemanlarının kontrollü bir biçimde sürülebilmesi, gerekli güvenlik ve koruma işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve hatta gerekli bilgilendirmelerin dahi yapılmasını sağlayan yüksek teknoloji ürünü kontrol üniteleri bulunmaktadır.

2.1.1 Kontrol Ekipmanları

Yukarıda kısaca özetlenen kontrol ekipmanları yüksek teknoloji ürünü mikroişlemci sistemleriyle donatılmaktadır. Ayrıca gerilim, akım, hız ve sıcaklık gibi geribesleme bilgilerinin okunabilmesini sağlayan elektronik sistemleri bünyesinde barındırır.

Kullanılan sistemlerde hem donanımsal hem de yazılımsal filtrelelere yer verildiği ve uzun testlere tabi tutulduğu bilinmektedir.

Saniyede milyonlarca işlem yapabilen mikroişlemci sistemleri ile koruma ve motor sürme işlemleri yürütülebildiği gibi haberleşme ve günlükleme işlemleri yapılabilmektedir. Günümüzde bu tarz sistemlerde gelişkin haberleşme altyapıları ve günlükleme özelliğine sahip kontrol ekipmanları kullanılmaktadır.

Bu yapılar genellikle bir takım elektronik karttan oluşan bir sistem görünümündedir. Bu kartlara giren sinyallerin ve kartlardan çıkan sinyallerin kablolama işlemleri

sistemin düzgün çalışması açısından önem arz etmektedir Elektronik sistemleri nem, aşırı sıcaklık ve tozdan koruyacak kutuları bulunmaktadır. Ayrıca üzerlerinde son durum bilgilerinin ve hata durumlarının gösterildiği ışıklı uyarılar da bulunabilmektedir. Bu bölümün devamında temel elemanlar gösterilmiştir[8].

2.1.2 Koruma Elemanları

Besleme sistemlerinin tamamında çeşitli hatalara karşı önlemler bulundurulmaktadır. Pantograftan başlamak üzere koruma elemanları ve tren güvenliği olası hatalarda sağlanmaktadır. Yıldırım düşmesi, katenerde meydana gelen bazı arızalar ve tren içi sistemlerde oluşabilecek bazı hatalara karşı önlem alabilmek için trenler üzerinde kullanılan bazı yapılar aşağıda gösterilmektedir.

- Parafudur
- Vakumlu devre kesici(VCB)
- DC bara aşırı gerilim koruma üniteleri
- Topraklama izleme ünitesi

Yukarıda bahsedilen yapılardan bilgi vermek gerekirse, parafudur diye anılan cihaz, katenerde meydana gelebilecek anlık gerilim sıçramalarında tren üstü sistemleri koruyabilmek amacıyla sigorta gibi çalışan bir yapıdır. Buna göre gerilim parafudurun kesme sınırından daha yukarı çıktığı anda katenerde bağlantı kesilir.

VCB olarak bahsedilen cihaz, vakumlu bir devre kesici olup, olası bir hata durumunda, makinist veya elektronik hata takip sistemleri tarafından açılarak trenin katenerden ayrılmasını sağlar. Bu aynı zamanda açma kapatma anahtarı olarak da kullanılmaktadır. Katenerdeki gerilimin çok yüksek olması sebebiyle, herhangi bir arıza durumunda devreyi tam olarak kesebilmek için bu cihazın basınçlı hava ile çalışması(mekanik olarak) gerekmektedir.

Tren üzerinde kullanılan diğer bir sistem ise DC bara aşırı gerilim koruma ünitesidir. Bu ünite, DC barada aşırı yükselen gerilime karşı elektronik veya mekanik anahtarlardan oluşan anahtarlar ve dirençlerden oluşabilir.

Elektrikli trenlerde görülen önemli arızalardan biri de topraklama kaçaklarıdır. Bu sistemdeki bazı elektronik veya mekanik cihazlara aşırı elektriksel stres bindirebileceğinden bu hata durumuna karşı bir önlem almak gerekmektedir. Evlerde kullanılan sigortalarda olduğu gibi fazın artışı ve eksisinden geçen akımlar ölçülür ve

belli bir farkın üstünde bir akım farkı gözlenirse sistemde topraklamadan kaynaklı kaçakların olduğu anlaşılabilir. Bu durumda gerekli hata tedbirleri alınır.

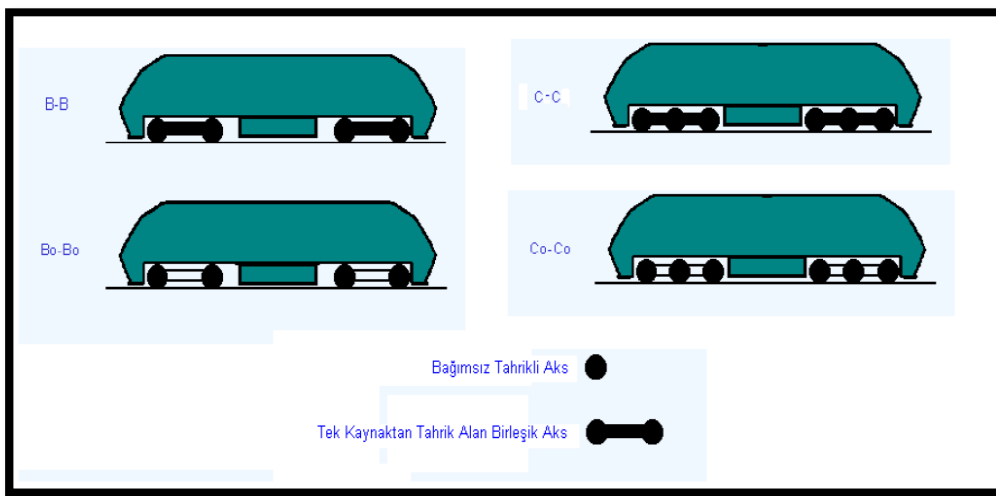
2.2 Temel Mekanik Sistemler

2.2.1 Boji

Bir raylı taşıtın raylar üzerine oturduğu, tekerlerin ve süspansiyon sistemlerinin bulunduğu yapıdır. Bir raylı taşıtta, üretimi ve tasarımı en zor olan bölümdür, çünkü trenin raylar üzerinde stabil bir biçimde gidebilmesi, boji tasarımının doğruluğuna bağlıdır. Ayrıca taşıyıcı mekanizma olmasından dolayı en sağlam ve hatasız üretilmesi gereken bölümdür.

UIC standartlarına göre, Avrupa demiryolu taşıtlarında uyulan bazı boji tasarımları mevcuttur. Buna göre bojiler, tahrik mekanizmasının bulunup bulunmamasına göre, bir setteki boji sayısına göre ve bojideki tekerlek sayılarına göre birkaç çeşittir. Bunlar isimlendirmelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

Şekil 2-2’de bojilerin sınıflandırılması ve isimlendirilmesi gösterilmektedir. Bir bojide 2 çift tekerlek bulunuyorsa bu tip bojiler “B” harfiyle, 3 çift tekerlek bulunuyorsa “C” harfiyle gösterilmektedir. Bojilerde bulunan motorun tahrik etme biçimine göre fazladan bir “o” harfi eklenmektedir. Eğer bojideki tekerlekler birbirinden bağımsız tahrike sahipse, tip bojiler “Bo” veya “Co” olarak isimlendirilirler[9].



Şekil 2-2 : Aks çeşitlerine göre bojiler.

E1000 tip lokomotifte kullanılan bojiler “Bo-Bo” olarak isimlendirilmektedir. Bu isimlendirmeden anlaşıldığı gibi, bojilerde toplamda 2 birbirinden bağımsız tahrik bulunmaktadır ve bir bojide toplamda 2 çift tekerlek bulunmaktadır[3].

2.2.2 Şasi, kaporta ve markiz

Bu başlıkta temel mekanik elemanlardan bahsedilecektir. Şasi olarak isimlendirilen yapı, trenin, yukarıda bahsedilen bojilerin üstüne oturtulduğu yapıdır. Yani araçlar bojiler üstüne şasi üzerinden oturtulur ve boji bağlantısı şasi üzerinden yapılmaktadır.

Kaporta ise şasinin üst tarafında kalan ve makinist kabini, tahrik sistemleri ve diğer yardımcı birimleri kapatan, konteynır biçimli bir yapıdır.

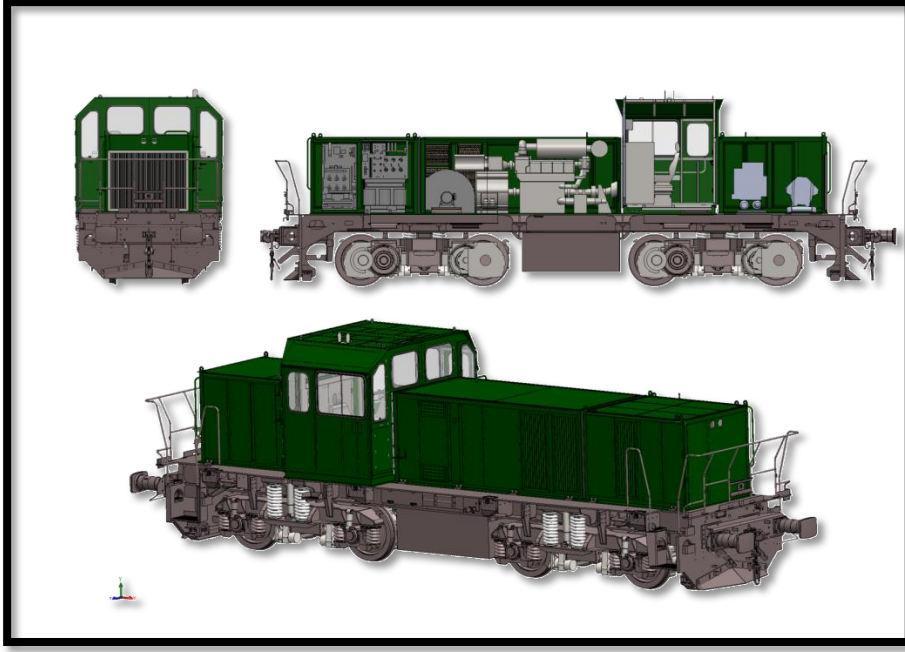
Demiryolu jargonunda makinist kabinin bulunduğu kabine markiz denmektedir. Markizin içerisinde kontrol ekipmanları ve kumanda masaları (her yön için birer adet) bulunmaktadır. Şekil 2-3’te örnek olması açısından DE11000 lokomotifin çeşitli açılardan mekanik çizimleri verilmiştir. Resimde bojiler, şasi kaporta ve markiz açıkça görülmektedir.

2.2.3 Fren Sistemi

Çeşitli raylı taşıtlarda, tahrik sistemlerinin yanında frenleme sistemleri bulunmaktadır ve yüksek güvenlik seviyeleriyle donatılırlar. Çelik raylar üzerinde çelik tekerleklerle hareket eden raylı araçlarda frenleme kuvvetleri cer kuvvetlerinden daha fazla olmaktadır.

Frenleme için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar cebri frenler ve elektronik frendir(rejeneratif çalışma). Frenleme yapıları bu tez kapsamında ayrıntılı bir biçimde anlatılmayacaktır.

Lokomotiflerde kullanılan cebri fren sistemlerinde hidrolik veya pnömatik sistemler kullanılmaktadır. Normalde frenin kilitli olduğu bu sistemlerde, basınç artırılarak fren kuvveti azaltılır. Fren yapılmak istendiğinde ise bu basınç düşürülmektedir. Gerekli basınç lokomotiflerde bir kompresör veya pompa yardımıyla sağlanmaktadır.



Şekil 2-3 : DE11000 trenin çeşitli açılardan görünüşleri.

Elektronik fren veya rejeneratif fren olarak tanımlanan yapı ise elektrik motoruna sahip lokomotiflerde güç elektroniği elemanları sayesinde, hareket halindeki motorun kinetik enerjisinin kaynağa geri aktarılmasıdır. Bu işlem sadece tam elektrikli trenlerde uygulanabilmektedir.

Demiryolu taşıtlarının fren yapılarında kumlama ismi verilen ve diğer karayolu taşıtlarında bulunmayan farklı bir yapı bulunmaktadır. Kumlama isminde de anlaşılabilirceği üzere, tren üzerinde depo edilen bir miktar kumun, frenleme veya cer esnasında, tekerleklerin rayların üstünde kayma veya kızaklama yapmaması için raylara dökülür. Tekerleklerin ve rayların çelik olduğu düşünülürse, frenleme ve cer verilmesi esnasında tekerleklerin, sürtünme katsayısını artırabilmek ve raylara daha iyi tutunmasını sağlamak amacıyla makinistlerin kullandığı bir mekanizmadır. Kumlama sadece makinist tarafından değil çeşitli elektronik birimler tarafından da otomatik olarak kullanıldığı bilinmektedir.

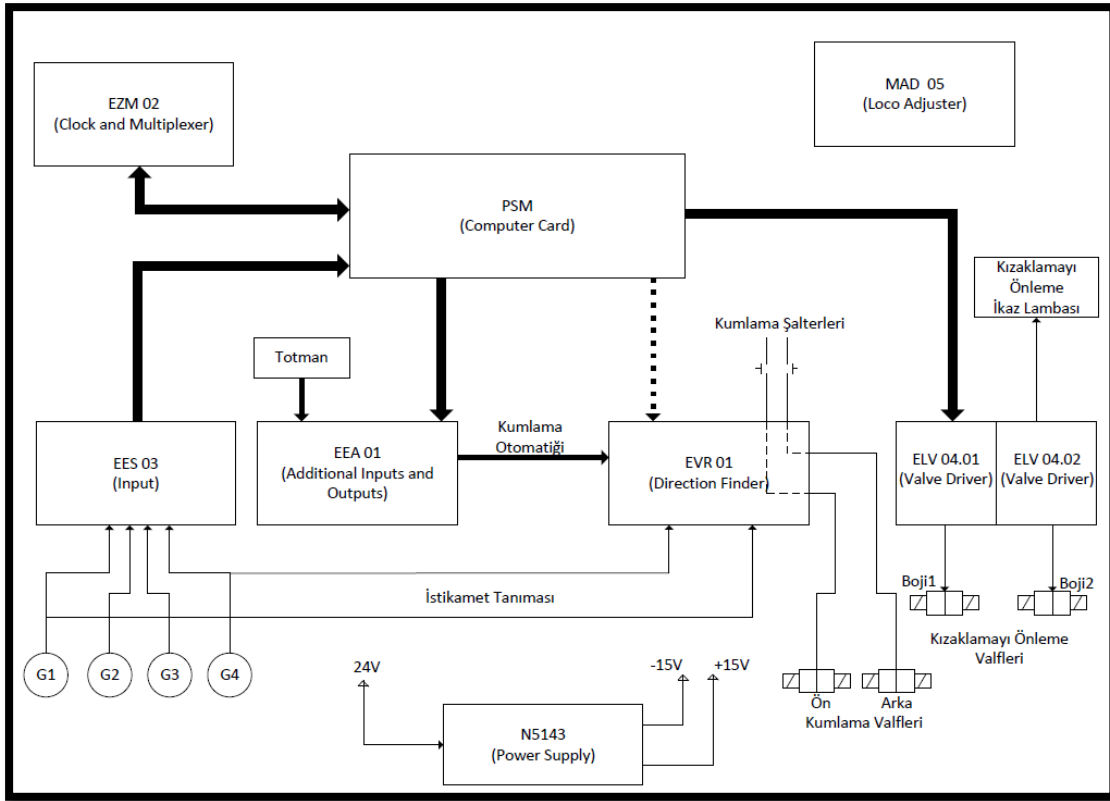
DE11000 isimli dizel-elektrik lokomotifin fren sistemi örnek olması açısından burada anlatılmaya çalışılacaktır. K micro sürüş ve frenleme olaylarını kontrol eder. Kontrol elemanlarından ve ölçme sistemlerinden gelen işaretler lojik olarak bağlanır ve elektriksel kontrol işaretlere dönüştürülür ve bu işaretler lokomotif tarafından değerlendirilir.

K-micro ayrıca lokomotifte kumlamayı da kontrol eder. Enkoderden alınan bilgiye göre yön tayini yaparak ön ya da arka kısma kumlama yapar. Ayrıca makinistin manuel olarak da kumlama yapmasına imkân tanır. Pnömatik sistemlere ve lokomotifteki dizel motoruna fren hattındaki selenoid valflerle müdahale edilir. Çakışan komutlar veya hatalar otomatik olarak gücün kesilmesine veya lokomotifin durdurulmasıyla sonuçlanır. Kontrol ünitesi E-kabin diye adlandırılan makinist kabininde bir bölmeye yerleştirilmiştir. Kartlar tek sıra bir modüle yerleştirilmiştir. Gerekli bağlantılar PCB'ler ve röle kartlarıyla sağlanmaktadır. K micro besleme kartı lokomotifteki ana dc-dc çeviriciden 24V ile beslenir ve çıkışında +-15V oluşturur. Bazı PCB üzerindeki LED'ler kontrolörün çalışma durumunu gösterir. Bu da giriş ve çıkışların kontrolünde kolaylık sağlar. Bu herhangi bir arıza durumun tespitinde avantaj sağlar. Kontrol ünitesinin çalışma sıcaklık aralığı -30 +70'dir.

K-micro kontrolörü aşağıdaki fonksiyonel grupları ihtiva eder. Şekil 2-4'te K-micro'daki kartlar şema olarak gösterilmektedir.

- 1) Güç kaynağı
- 2) Start-up kontrol
- 3) Kumanda masası seçme
- 4) Ters yönde sürüş
- 5) Güç kontrol
- 6) Fren kontrol
- 7) Dead-man (makinistin sağlığının ve bilincinin yerinde olduğunun onayı)

Krauss-Maffei fren sistemi, E1000 tip lokomotif geliştirilmesi projesi kapsamında, değiştirilmeden kullanılacak bir sistem olup, girişleri ve çıkışları okunarak yaptığı işlemler kaydedilecektir.



Şekil 2-4 : K-mikro sisteminde bulunan kartlar ve temel işlevleri.

3. TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMLERİ

Tren kontrol ve izleme sistemleri, isminden de anlaşılacağı üzere, merkezi bir tren denetim sistemidir. İçerisinde, çeşitli gerilimlerde ve formda elektronik sinyalleri okuyabilen yapıları içerirken aynı zamanda çeşitli gerilimlerde ve formlarda kontrol ve denetleme sinyalleri üretebilmektedir. Bu sistemlerin görevlerinden ve genel yapılarından aşağıda bahsedilecektir. Bu bölümde ayrıca, E1000 tip elektrikli lokomotif için tasarlanan sistemden başka, çeşitli örneklerle bu sistem tanıtılmaya çalışılacaktır.

Görevlerine göre dağıtık yapıların bulunduğu bu sistemlerde, çok fazla miktarda sayısal giriş/çıkışa olanak tanıyan yapılar bulunmakla birlikte bu dağıtık yapıdaki birimlerle sürekli olarak veri iletişimi sağlanmıştır. Tasarlanan cihazlar, herhangi bir tren için özel tasarım olmadığı için çeşitli lokomotif, dizi veya metro sistemlerinde kullanılabilir. Güvenliği artırılmış elektronik devreler ve algoritmalar içermektedir. Aşağıda tanıtılmaya çalışacak görevleri yerine getirebilmek için güvenliği artırılmış, özelleşmiş bir bilgisayar sisteminden bahsedilecektir. Çeşitli sayıdaki vagon, lokomotif veya dizi çalışma biçimlerine uygunluğu bulunmaktadır. Bu amaçla bu sistemlerin bir hayli dağınık olduğunu ve aralarındaki haberleşmelerin yoğun olarak kullanıldığı ve yaptığı bazı işlemlerde güvenlik seviyelerinin yüksek tutulduğu söylenebilir.

Bu yapılar, özel olarak elektrikli trenler için değil, her türden tahrik sistemi içeren raylı taşıtlarda kullanılabilir. Modüler ve yüksek teknoloji seviyesine sahip cihazlardır. İzleme sistemlerini genişletebilmek ve kullanımı kolaylaştırabilmek adına internet ortamına bağlanabilen sistemler geliştirilmiştir.

Bu konuyla alakalı çalışan büyük elektronik firmaları bulunmaktadır, ancak bunlar yine de bir elin parmaklarını geçmemektedir. Ayrı firmaların yaptığı sistemler birbirleriyle anlaşmalı çalışmadıklarından bütün trenlerde aynı firmaya ait sistemlerin kullanım zorunluluğu bulunmaktadır.

Bu ürünler sadece tren üzerinde çalışacak yazılım ve donanımlardan ziyade, bakım ve test görevlerini yerine getirebilmek ve takip edebilmek için, bilgisayarlarla

rahatlıkla iletişim kurabilen sistemler tasarlamaktadır. Bu sistemler gerekli yazılımlarıyla birlikte bir bütün halinde çalışmaktadır. Bu sayede makinist, yolcu ve bakım birimlerini gerekli bilgilerle sürekli (ve gerçek zamanlı) olarak bilgilendirmektedir.

3.1 Görevler

Tren Kontrol ve İzleme Sistemlerinin temel görevleri aşağıda sıralandığı gibidir.

- Hata tanılama ve günlükleme
- Kontrol
 - Tren kontrolü: Çekiş/fren kontrolü, hız/tork kontrolü, yağlama vb.
 - Ekipman kontrolü: İklimlendirme, yardımcı üniteler, batarya şarj, kompresör, pantograf, kapılar vb.
 - Ayrıca aydınlatma, haberleşme, yolcu bilgilendirme(sesli ve/veya görüntülü)
- İzleme
 - Kontrol devrelerinin durumları
 - Ekipman durumları
 - Sistem sağlığı
 - Alarm durumları
- Makinist ve bakım bilgilendirme desteği
 - Hız bilgisi
 - Çekiş/frenleme ünitelerinin durumları
 - Tekerlek kayma/kızaklama
 - Bojilerin stabilitesi
 - Güç kaynakları, kompresör, iklimlendirme cihazlarının durumları
 - Tren sürüş hazırlık ve hata tanılama/giderme yardımı
 - Ekipman ve altsistemlere ilişkin verilerin depolanması
 - Hata/olay kaydı
- Çalışma koşullarını izleme ve tren izleme merkezine aktarma

Yukarıda sayılan özellikleri tamamı tren kontrol ve izleme sistemlerinin görevleri arasındadır. Trenin tüm kontrol ünitelerinin ve giriş çıkış birimlerinin durumlarından,

operasyona uygun çalışmasından, kontrol/kumanda işlevlerinin sırasıyla ve düzgün olarak yerine getirilmesinden sorumludur.

Üstlendiğı en temel görevlerden birisi de yapılan işlerin (makiniist veya kontrol cihazları tarafından) kaydedilmesidir. Olası bir hatada veya acil durumda acil durum senaryolarının işletilmesi, yolcuların ve makiniistin düzgün olarak bilgilendirilmesi bu sistemin sorumluluğundadır. Sistem durumu sürekli gözlenerek hata durumları kaydedilir. Ayrıca bu hatanın tanımı yapılarak bilgilendirme yapılır.

Bir raylı cihazın en önemli sistemlerinden birisi kuşkusuz motor kontrol ve çekiş kontrol sistemleridir. Raya sağlam bir biçimde tutunabilmek, taşıtı istenen operasyon bölgesinde çalıştırmak, tüm bunları yaparken sistemlerden herhangi birini tasarlanandan daha fazla zorlamamak kontrol sistemlerinin en önemli görevlerinden biridir. Bunları gerçekleştirebilmek için karmaşık kontrol yapılarının hızla ve doğru bir biçimde çalıştırmalıdır. Algılayıcılardan gelen geribesleme sinyalleri, kontrol döngülerinde sisteme uygun kontrol işareti üretebilmek adına işlenir. Bu sistemler güvenliğin ön planda tutulduğu algoritmalar işletir.

Kontrol algoritmalarının işletilmesinde geribesleme sinyallerinin alındığı sensörler dışında, sistemin durumunu denetleyen, yolcuların konforunu ve güvenliğini algılayıcılar bulunmaktadır. Bu algılayıcıların tamamının izlenmesi tren kontrol ve izleme sistemlerinin en temel görevlerinden biri olarak görülebilir.

Bir çeşit yol bilgisayarı görevi üstlenen bu sistem, aydınlatma ve iklimlendirme gibi, yolcu taşıyan raylı taşıtların konforunun artırılması işlevlerini yürütür. Günümüz demiryolu taşıtlarına bakıldığında bu sistemlerin, göze hitap eden, kolay anlaşılır, gerektiğinde sesli ve ışıklı uyarılar da kullanarak yolcuları ve makiniisti bilgilendirdiğı görülmektedir. Yolcuları ilgilendiren bilgiler yolculara, makiniisti ilgilendiren bilgiler makiniiste ve bakım yapacak teknik insanlara kendi konularındaki bilgiler düzenli ve kolay anlaşılabilir bir arayüz yardımıyla sergilenir.

Artan demiryolu taşıtlarının güvenli bir biçimde seyrine olanak tanıyabilmek için kontrol ve kumanda sistemlerinin durumu ve konum bilgileri, kablosuz haberleşme araçlarıyla merkez sisteme aktarılır. Bu sayede operasyon esnasında bütün trenlerin durumları görülerek buna uygun planlama yapılabilir. Kablosuz bilgi aktarımı günümüz trenlerinde görülen önemli sistemlerden biridir.

3.2 Genel Yapısı

Bölüm 3.1’de tanıtılan görevlerin tamamının yerine getirilebilmesi için tren kontrol ve izleme sistemlerinin, mekanik ve elektronik bazı özelliklere sahip olması beklenmektedir. Avrupa’da geçerli demiryolu standartlarından birisi olan EN 50155 isimli standart, elektronik sistemlerin mekaniği ve çalışma koşullarını tanımlamaktadır. Buna göre nem, sıcaklık, titreşim, elektromanyetik gürültü ve gerilim/akım seviyeleri hakkında bazı kurallar getirilmiştir. İlerleyen bölümlerde bu standarttan ve getirdiği koşullardan bahsedilecektir.

Tren kontrol ve izleme sistemlerinde genel olarak dağıtık yapılar görülmektedir. Bütün sinyallerin tek bir noktada toplanması yerine, görevlerine göre ayrılmış birimler bulunmaktadır. Bu hem üretimi kolaylaştırmaktadır hem de güvenli operasyon için olanak sağlamaktadır. Dağıtık sistemlerin en önemli dezavantajlarından biri de karmaşık haberleşme sistemlerinin bulundurulmasının gerekliliğidir. Bu amaçla tren kontrol ve izleme sistemlerinde Ethernet, MVB(Main Vehicle Bus), WTB(Wide Train Bus), CAN(Controller Area Network) gibi iletişim protokolleri bir ya da birkaçı kullanılmaktadır. Farklı hatlardan birbirlerine geçiş, ağ geçitleri (gateway) kullanılarak yapılmaktadır. Bu haberleşme birimleri, merkez kontrol birimleri ve uzak merkezle bağlantı kurmak üzere tasarlanmıştır.

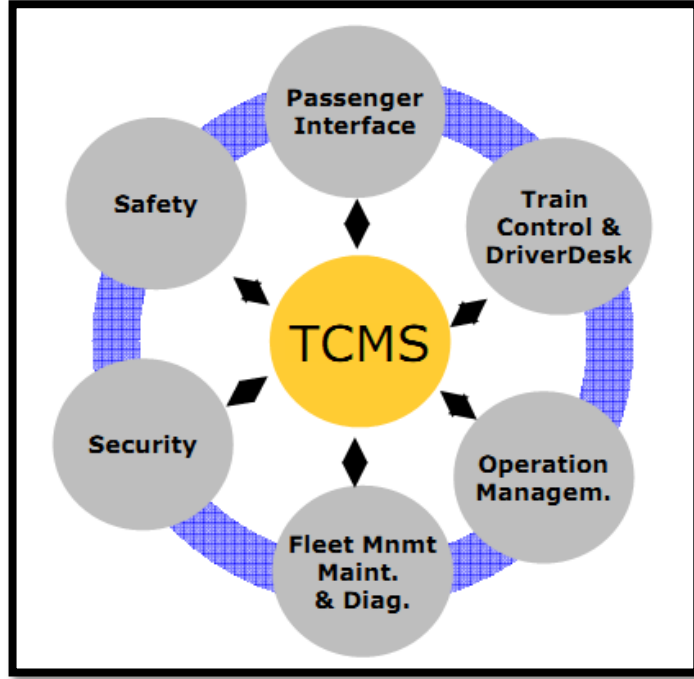
Mekanik sınırlamalar, nem, sıcaklık ve titreşim gibi temel stres unsuru kavramlar üzerine tanımlanmıştır. Ayrıca elektromanyetik gürültünün bertaraf edilmesi sağlanır. Ayrıca montaj kolaylığı ve dayanıklılık göz önünde bulundurulduğunda mekanik kısıtlar önemli bir tasarım kriteridir.

3.3 Örnekler

Bu bölümde piyasada bulunabilen 3 farklı firmanın yaptığı tren kontrol ve izleme sistemleri tanıtılacaktır. Amaç, bu sistemlerin esasında nasıl bir yapıya sahip olması gerektiği hakkında fikir vermesi açısından verilmektedir. Resimlerle ve teknik dokümanlarla zenginleştirilerek algının kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Bu bölümde tanıtılacak tren kontrol ve izleme sistemleri aşağıdaki gibidir.

3.3.1 Bombardier firmasının tren kontrol ve izleme sistemi

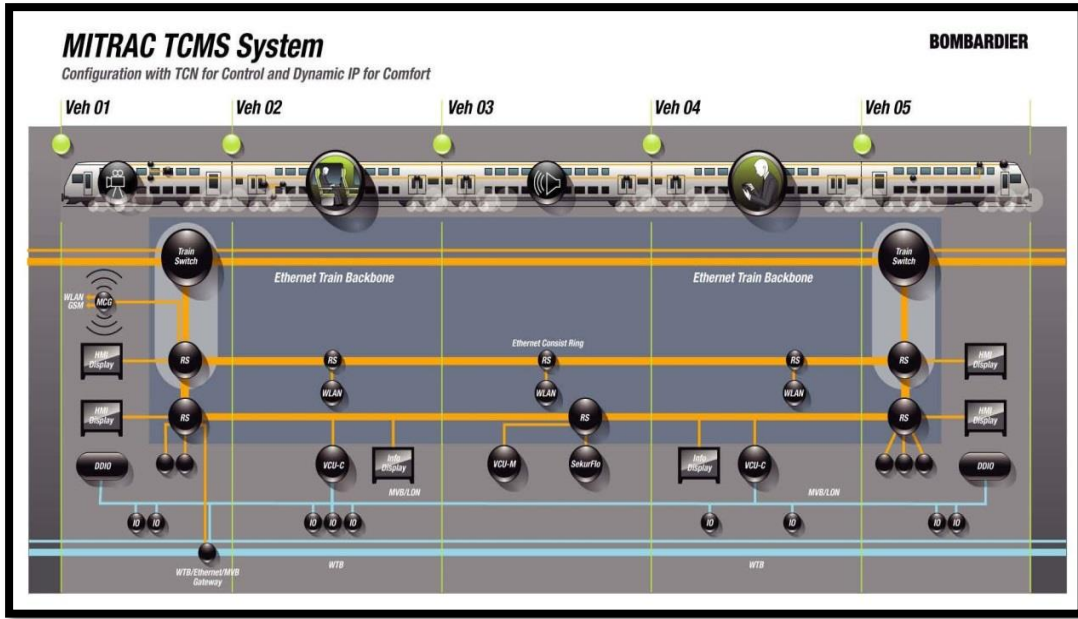
EN50155 standardına uygun bir tren kontrol ve izleme sistemidir. Yazılımları da EN50128/129 uyumlu olup araç içi IP tabanlı internet teknolojisiyle donatılmıştır. Uzaktan trenle alakalı verileri internet ortamından takip edebilmeyi sağlayan bu özelliği Bombardier firmasının ürününün önemli özelliklerinden biridir.



Şekil 3-1 : Bombardier firmasının tren kontrol ve izleme sistemini özetleyen şema.

Şekil 3-1’de bu firmanın tren kontrol ve izleme sisteminin temel özellikleri gösterilmiştir. Buna göre güvenlik, yolcu arayüzü, tren kontrolü ve kumanda masası, operasyon yönetimi, filo yönetimi, bakım ve hata tanılama bu sistemin ana özellikleri arasında yer almaktadır.

Modüler ve fonksiyonel bir yapısı olan bu sistemin IP tabanlı internet protokolü ve araç içi haberleşme şemasını gösteren Şekil 3-2’de verilmiştir. Buna göre MITRAC araç içinde WTB(Wide Train Bus) olarak isimlendirilen ve RS485 tabanlı bir protokol kullanmaktadır. Ayrıca birbirinden bağımsız ve farklı vagonlardaki sistemlerle Ethernet ağı üzerinden haberleşmektedir. Bu farklı protokolleri birleştirmek üzere bir ağ geçidi modülü bulunmaktadır.



Şekil 3-2 : MITRAC'ın haberleşme yapısını gösteren şekil.

Üzerinde bulunan birden fazla iletişim protokolü sayesinde tren bilgileri aktarılmaktadır. Bunlardan kablosuz olanlar aşağıdaki gibidir.

- GSM
- GPRS
- Uydu haberleşmesi
- Kablosuz internet bağlantısı (Wi-Fi)

Bunlardan başka araç içinde kullanılmak üzere MVB(Main Vehicle Bus), WTB(Wide Train Bus), TCN(Train Communication Network) gibi arayüzler sunulmuştur. Ağ geçidi modülünde bunlara sayısı birden fazla olmak üzere destek verilmiştir.

Bu sistemin kullanıldığı bazı sistemler aşağıda belirtilmiştir.

- Londra metrosu: 72 * 8'lik ve 112*7'lık araç bulunmaktadır.
- Hollanda NS Reizigers(Metro) : 67*4 ve 32*6 'lık araçları bulunmaktadır.
- Chicago Transit Authorities: 406*2'lık araçları bulunmaktadır.

Dünyanın farklı yerlerinden kullanımı yukarıda görülmektedir ve firmanın lokomotif ve metro üretimindeki başarısı bilinmektedir[16-17].

3.3.2 Traintic firmasının COSMOS tren kontrol ve izleme sistemi

Traintic firmasına ait COSMOS isimli tren kontrol ve izleme sistemi ürünü, TCN tabanlı bir haberleşme protokolüne sahip olmakla birlikte, WTB ve Ethernet arayüzlerini de içinde barındıran bir kontrol ve kumanda sistemidir. Modüler ve dağıtık bir yapısı olan COSMOS, tak-çalıştır özelliğine sahip alt sistemlerden oluşmaktadır. Esnek ve güvenliği yüksek bir sistemdir. Çeşitli projelerde (metro, tramvay, hızlı tren vb.) kullanılmaya uygun bir yapısı bulunmaktadır[18].

Kullanımı ve kurulumu kolay bir sistem olan COSMOS sisteminin, kablo trafiğini azaltacak yapılara sahip olduğu belirtilmektedir.

Çeşitli haberleşme protokollerinden:

- MVB araç hattı: Ünite içerisinde çeşitli birimlerle haberleşme işlemlerinde,
- WTB tren hattı: Üniteler arası bilgi paylaşımında,
- Ethernet hattı: HERMES platformu sayesinde üniteler arası haberleşmede, yolcu, makinist ve ana merkeze bilgi aktarımı gibi yüksek bant genişliği isteyen durumlarda kullanılabilir yapıdadır.

COSMOS sistemi EN50126, EN50128 ve EN50129 standartlarına sahip, güvenilirlik, güvenlik, izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik (RAMS) sunan bir sistemdir. COSMOS sistemi hata tanılama fonksiyonuna sahip bir sistemdir. Bu sayede güvenlik ve dayanıklılık konularında gelişkindir. İstenilen derecede yedekli çalışma desteklenmektedir. Son olarak esnek bir analiz ve izleme sistemine sahiptir. Bu yapısıyla:

- Ekipman konfigürasyonları hazırlama
- Farklı üniteler içeren araçların konfigüre etme
- Haberleşme kalitesini kontrol etme
- Değişkenlerin izlenmesi
- Otomatik alarm yapıları ve yüklenebilen değişkenlerin takibi
- Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde kolay kullanım

konularında yazılım ve donanımlar içermektedir.

Bu sisteme ait modüller aşağıda gösterildiği gibidir.

- Kontrol Modülü(CCU): Tren kontrol sekansını kontrol eden ve hangi sinyalin işleneceğine karar veren sistemdir. Ayrıca araç içi haberleşmeyi düzenleyen

merkezi birimdir. Sistemdeki yedekli çalışmayı kontrol eder. 32 bit mikroişlemcisine sahip işlemci, 2Mbyte RAM(Random Access Memory) ve 2Mbyte Flash bellek, yazılım altyapısı gerçek zamanlı işletim sistemi mimarisi, IEC61375-1 ve EN50155 standartlarında tasarım, bir adet RS232 ve 2 adet MVB(Main Vehicle bus) haberleşme arayüzleri, hata ve bakım durumları için LED göstergeler bu modülün genel özelliklerindendir. Şekil 3-3'te bu modül gösterilmiştir.



Şekil 3-3 : COSMOS kontrol modülü.

- Giriş/Çıkış Modülleri(M I/O): Genel amaçlı ve kolayca konfigüre edilebilir giriş/çıkış modüllerinden oluşmaktadır. Esnek yapısı sayesinde istenildiği gibi konfigüre edilmesi, farklı trenlerde farklı amaçlar için kullanımını kolaylaştırmaktadır. Çeşitli hata ve aşırı durumlar için korumalar içerir. MVB, RS485 ve bilgisayardan konfigürasyon yapabilmek amacıyla RS232 arayüzleri bulunmaktadır. Çeşitli sinyal tiplerine uygun kartlar(analog giriş, analog çıkış, sayısal giriş, MOSFET'li sayısal çıkış, röleli sayısal çıkış) kartlarla istenilen sinyal tipine uygun konfigürasyon yapılabilir. Şekil 3-4'te görüldüğü üzere bu kartlar 19" 'lık rack yapısında kullanılmaktadır.



Şekil 3-4 : COSMOS sisteminin giriş/çıkış modülü.

- İnsan-Makina Arayüzü(HMI): 10.4” ve 12.1” büyüklüklerinde iki TFT dokunmatik ekran tipine sahip bu modüller, makinist ve bakım personeli için bilgilendirme ekranı olarak kullanılmaktadır. Alarm, durum ve ekipman bilgileri gösterilir. Hata tanılama, kayıt ve izleme önemli fonksiyonlarındandır. Bir adet USB(Universal Serial Bus) ve iki adet RS485 çıkışı bulunmaktadır. Ayrıca MVB ve Ethernet arayüzleri bulunmaktadır. Gerçek zamanlı bir işletim sistemi kullanılan bu sistemde Pentium tabanlı bir mikroişlemci bulunmaktadır. Şekil 3-5’te kullanıcı dostu arayüzüyle HMI modülü görülebilir.



Şekil 3-5 : COSMOS sisteminin insan-makine arayüzünü sağlayan modül.

- Tekrarlayıcı ve Tazeleyici Modül(RP): Araç içinde yoğunlukla kullanılan MVB hattı için bir ağ geçidi ve MVB sinyal kuvvetlendirici olarak çalışmaktadır. Trenin uzak noktalarında bulunabilen modüllerle güvenle

iletişim kurabilmek, amacıyla sinyal kalitesini ve g¼c¼n¼ artırmak temel g¼revidir. Sinyal seviyelerinin optimum d¼zeyde tutulabilmesi için bu t¼r cihazların kullanımı gerekmektedir. Yukarıda diğerk mod¼ller için verilmiş demiryolu standartları bu cihazda da bulunmaktadır. şekil 3-6’da bu sisteme ait bir şekil g¼r¼lebilir.



şekil 3-6 : COSMOS sisteminin Tekrarlayıcı mod¼l¼.

- Ağ Geçidi Mod¼l¼: Farklı iletişim protokollerinden MVB ve WTB(Wide Train Bus) arasında gidip gelmesi gereken veriler bu mod¼l¼ üzerinden diğerkine aktarılmaktadır. Farklı lokomotif veya vagonları birbirine bağlayabilmek için kullanılmaktadır. Durum izlemesi için hata LED’leri, bir adet RS232 portu, d¼rt adet WTB portu ve iki adet MVB portu bulundurmaktadır. Demiryolu standartlarına uyumluluk bu ¼r¼n için de s¼z konusudur. şekil 3-7’de bu mod¼l g¼r¼lebilir.



Şekil 3-7 : COSMOS sisteminin ağ geçidi modülü.

3.3.3 Siemens firmasının SIBAS32 tren kontrol ve izleme sistemi

Siemens firmasının bir ürünü olan SIBAS32 isimli tren kontrol ve izleme sistemi araç kontrolünden çekiş kontrolüne kadar araç içindeki bütün görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Kullanıldığı aracın türü(metro, hızlı tren, tramvay vb.) farketmeksizin bütün elektrikli raylı taşıtlarda kullanılabilmektedir. Bu sistemin ilk versiyonu 1983 yılında bütün görevleri otomatik olarak yerine getirmek üzere tasarlanmış olup, 1992 yılında SIBAS32 sistemi geliştirilmiştir. 7000’den fazla raylı taşıtta ve 100’den fazla projede kullanılıp, güvenilirliği kanıtlanmış bir üründür. Dünya üzerinde birçok yerde metrolarda, tramvaylarda ve hızlı trenlerde kullanılmıştır. Aşağıda bu sistemin kullanıldığı yerlere ilişkin örnekler verilmiştir.

- “Combino”, “Avanto”, “ULF”(Viyana’da kullanılan hafif raylı metro), “S-DT”(Stuttgart’ta) ve “Üstra 2000”(Hannover’ da) raylı taşıtlarında,
- Avrupa’nın birçok yerinde, Taipei ve Singapur’da bazı lojistik amaçlı bölgesel raylı taşıtlarda,
- “Shinkansen”, “E2”, “ICE 2/3/T/TD”, “Velaro”, “ETR470” ve “CP Penduloso” gibi hızlı trenlerde,
- Birçok lokomotifte(sınıf 152, 1016, 1116, 2016, FS E 402 B, CR DJ 1, EG 3001 ve Di8),

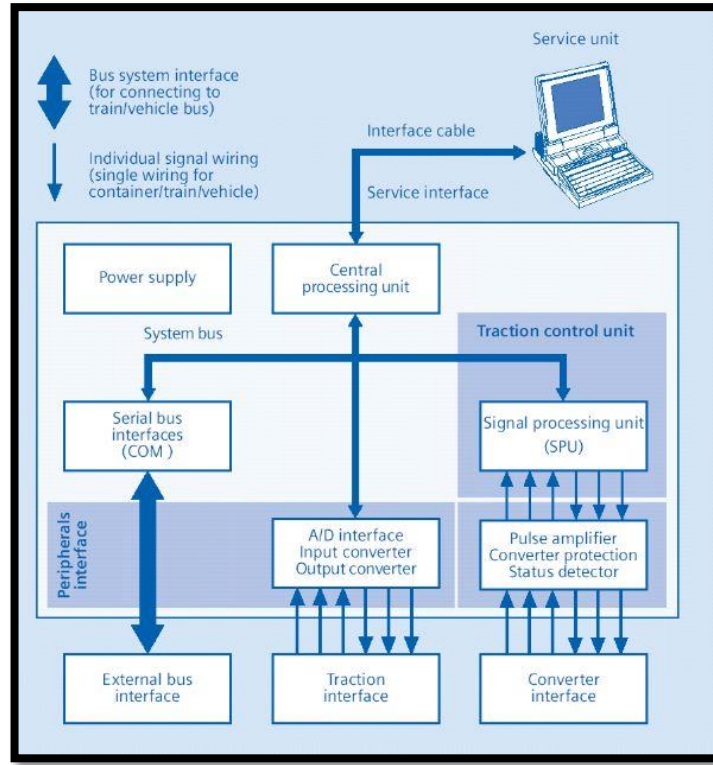
- Maden ocaklarında özel amaçlı trenlerde kullanılmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi dünyanın birçok yerinde SIBAS32, tren kontrol ve izleme sistemi olarak çok çeşitli proje ve trenlerde kullanılmaktadır. Diğer tren kontrol ve izleme sistemlerinde olduğu gibi SIBAS32 ana kontrol ve çekiş kontrol modüllerine, giriş/çıkış birimlerine, makinist ve bakımcı kumanda arayüzlerine sahip bütüncül bir üründür.

Araç içi kontrol, kumanda ve koruma işlemlerini gerçekleştiren çeşitli modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller ile alakalı tanıtım bilgileri bu başlık altında verilecektir. Alt seviye kontrol algoritmalarından üst seviye kontrol ve kumanda, işlemleri açık ve kapalı çevrim kontrol döngüleriyle gerçekleştirilmektedir. Bunlara ek olarak genel hata tanılama ve bakım sistemleri ihtiva etmektedir. Modüller çeşitli gerilim aralıklarında beslenebilmekte olup, farklı besleme gerilimi bulunduran konfigürasyonlarda kullanılabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde, SIBAS32 sistemi, esnek ve uygulaması kolay bir yapı göstermektedir.

Aşağıda SIBAS32 sisteminde kullanılan çeşitli üniteler tanıtılmıştır.

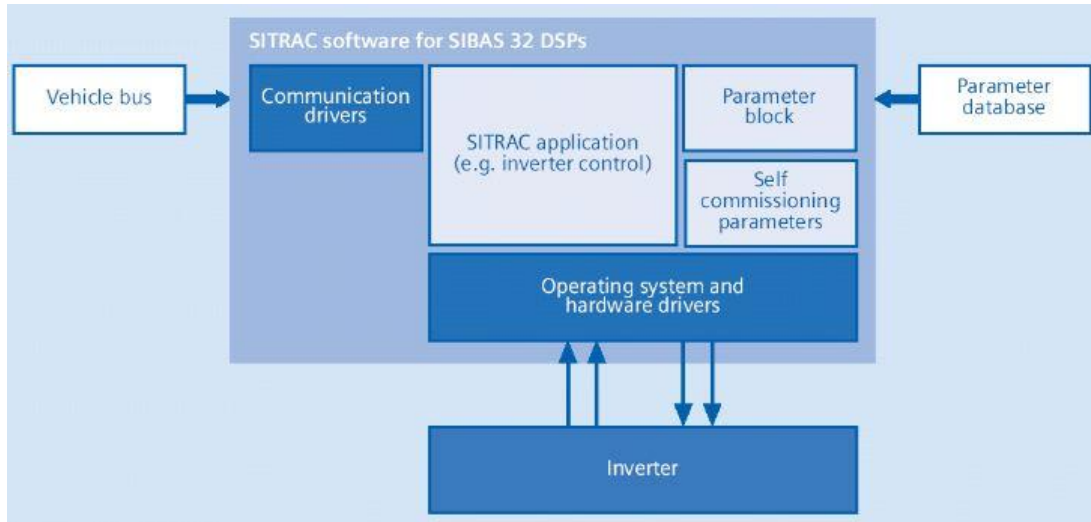
- Merkezi Kontrol Ünitesi (CCU) : Üst seviye kontroller(makinistten gelen emirlerden kapı açma/kapama işlemleri, cer veya fren istekleri, çekiş kontrol sistemine iletilecek referans bilgileri) ve haberleşme sisteminin yönetilmesi bu ünitenin sorumluluğundadır.
- SIBAS32 sisteminden gelen, sistemin genel sağlığıyla ilgili kontrolleri yürütür. Hata tanılama işlemleri bu sistemin görevleri arasındadır. Tren çalışmasındaki performans verileri, algılayıcılardan gelen verilerin izlenmesi, çevresel birimlerin test rutinlerinin yürütülmesi SIBAS32 merkezi kontrol ünitesinin diğer önemli görevleri arasındadır. Şekil 3-8’te merkezi kontrol ünitesinin blok şeması görülmektedir.
- Cer(Traction) Kontrol(Control) Ünitesi(Unit) : Cer motorlarının, cer ve frenleme isteklerini gerçekleştirebilmesi için, açık ve kapalı çevrim kontrol algoritmalarının işletildiği ünite dir. Merkezi kontrol ünitesinden cer ve frenleme isteklerini alır ve geriye sistemin durumunu ve hata bilgilerini gönderir. Bunları gerçekleştirirken, ivmenin birinci dereceden türevi olan sarsıntı sınırlaması(jerk limitation) ve kayma/kızaklama algoritmalarını işleterek gerekli kontrol işaretlerini üretir.



Şekil 3-8 : SIBAS32 merkezi kontrol ünitesi blok şeması.

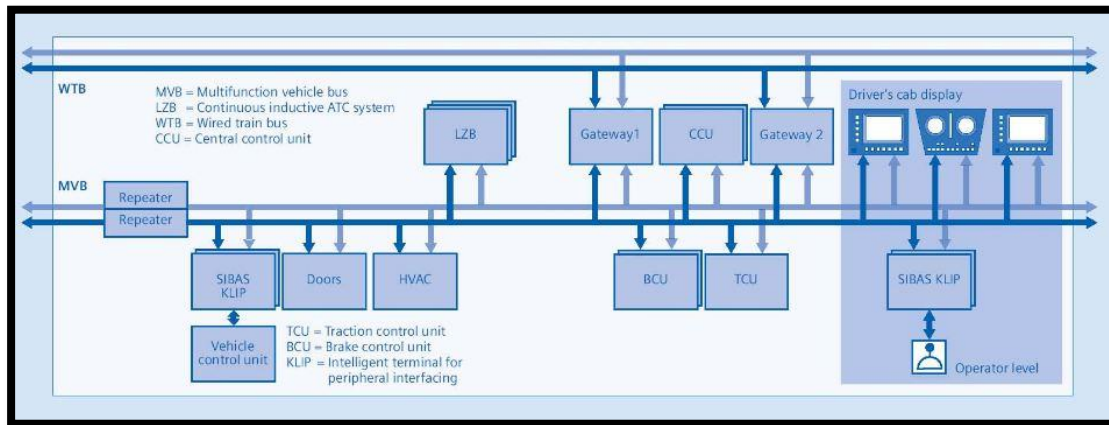
Bir hata durumunda acil kapatma fonksiyonlarını işletir. Ayrıca test, hata tanılama ve haberleşme sistemlerine arayüz bulundurma diğer önemli özelliklerindendir. SITRAC(Siemens TRAction Control) kartıyla beraber kullanıldığında, raylı taşıtlar için en kritik sistemlerden olan ver konvertörü cer invertörü cihazlarının kontrolünü, açık ve kapalı çevrim kontrol algoritmalarıyla, gerçekleştirir. Ayrıca konvertör ve invertör modülleri için hata tanılama ve koruma işlemlerini yürütür. Sensörsüz hız kontrolü ve yüksek miktarda dinamik tork kontrolü bu ünitenin gerçekleştirebildiği diğer önemli özelliklerdendir. SITRAC sistemine ait yazılım blok şeması Şekil 3-9'da gösterildiği gibidir.

SIBAS32 sisteminin tren içi haberleşme alt yapısında daha önce bahsedildiği gibi bazı protokoller beraber bulunmaktadır ve bu protokolleri birbirine bağlayan ağ geçidi üniteleri bulunmaktadır. Haberleşme altyapısının blok şeması şekil 3-10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3-9 : SITRAC sistemine ait yazılım blok şeması.

Şekil 3-10’da görüldüğü gibi kumanda masası ve diğer tüm önemli birimler birbirlerine WTB ve MVB gibi ana haberleşme hatlarıyla birbirlerine bağlanmıştır. Kontrol ve kumanda verileri bu hatlar üzerinden merkezi kontrol ünitesine gelir veya tam tersi merkezi kontrol ünitesinden trene yayılır. Bu ağlar yardımıyla merkezi kontrol ünitesi, kendine bağlanmış donanımlarla haberleşerek, hata tanılama ve test işlemlerini gerçekleştirebilmektedir[19].



Şekil 3-10 : SIBAS32 sisteminin haberleşme altyapısını gösteren blok şema.

4. E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF İÇİN TASARLANAN TREN KONTROL VE İZLEME SİSTEMİ TASARIMI

E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi projesi tezin giriş kısmında da bahsedildiği üzere yeni nesil modern elektrikli bir lokomotifin elektrik ve mekanik donanımların yerli prototiplerini üretmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla tasarlanan ürünlerin olabildiğince yerlileştirme temel amaçtır.

Bu yerlileştirme çalışmalarında en temel unsurun elektronik komponentlerde olduğu görülmüştür. Bölüm 3'te bahsedilen tren kontrol ve izleme sisteminin, makinist kabinin ve güç elektroniği, kontrol birimlerinin yerlileştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Tren kontrol ve izleme sistemi E1000 tip elektrikli lokomotifte temel olarak 2 ana unsurdan oluşmaktadır.

- Merkezi Kontrol Ünitesi
- Cer Kontrol Ünitesi

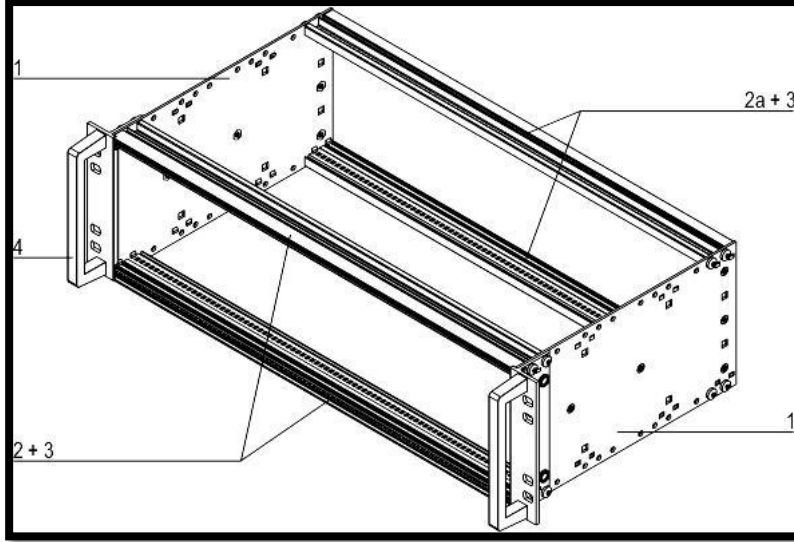
Şimdiye kadar dünyadan örnekler verilerek anlatılan tren kontrol ve izleme sistemleri bu iki ana unsuru beraberinde bulundurmakta ve aslında alt bileşenler halinde bu sistemleri barındırmaktadır. Projenin bu iki önemli unsurundan Merkezi Kontrol Ünitesi'nin(MKÜ) tasarımı bu bölümde ayrıntılandırılacaktır. Ayrıca bu bölümde, Bölüm 2'de tanımlanan, diğer firmaların tren kontrol ve izleme sistemleriyle, E1000 Tip Elektrikli Lokomotif için tasarlanan sistemlerin benzerliklerinden ve farklılıklarından genel olarak bahsedilmiştir. Bir sonraki bölümde Cer Kontrol Ünitesi'nin(CKÜ) tasarımı tamamen ayrıntılandırılmadan, sadece bir kısım yazılım çalışmalarından bahsedilecektir.

MKÜ ve diğer kontrol üniteleri, yüksek hızlı ve yoğunluklu algoritmaların koşturulacağı sistemler olduğundan, küçük bir bilgisayar niteliğinde olması gerekmektedir. Dünya üzerinde bu işle uğraşan firmalar, ürünlerini bu gereklilikle geliştirmişlerdir. Bu endüstriyel bilgisayar sistemlerinin en temel bileşenleri elektronik kartlar, mekanik muhafaza ve akıllı kartların yazılımıdır.

Demiryolu uygulamaları için geliştirilen elektronik birimler için Avrupa’da kabul görmüş ve genel olarak tasarımın her aşamasını etkileyen en önemli standart EN 50155’tir. Bu standartta birimin muhafazası, elektronik kartlar ve yazılım konu başlıklarında uyulması gereken kurallar bulunmaktadır. Titreşim, şok, nem ve sıcaklık konularında belirlenmiş koşullara uyumluluğu sağlayabilmek gerekmektedir.

Elektronik kartların mekanik olarak sağlam olması ve zorlu hava koşullarına dayanımı, sistemin içinde bulunduğu pano ile ilgilidir. Kartların birbirleriyle ve çevreyle iletişimini sağlayabilmek amacıyla Eurocard standardıyla yerleşim ve boyutlandırma yapılabilmektedir. E1000 tip lokomotifin elektronik kontrol ünitelerinin mekanik kısıtlarını oluşturan bu standart, dünya üzerinde buna benzer elektronik kabinlerde kullanılmaktadır. Eurocard standardına göre kartların her birinin boyutları belirlenmiştir.

MKÜ’de kart yerleşimlerinin, boyutlarının ve hatta kartlar arası haberleşme protokollerinin standartlaştırıldığı yapılardan biri olan CompactPCI protokolü kullanılmıştır. Şekil 4-1’de görülen rack tipindeki yerleşimde Eurocard standardına göre boyutlandırılmış kartlar ve bu kartların haberleşmelerini, beslemelerini dağıtan Omurga(Backplane) olarak isimlendirilen karta yan yana ve omurgaya dik gelecek şekilde yerleştirilir.



Şekil 4-1 : Tren kontrol ve izleme sistemi mekanik muhafazası.

4.1 Modern tren kontrol ve izleme sistemlerden farklılıkları ve benzerlikleri

E1000 Tip Elektrikli Lokomotif için tren kontrol ve izleme sistemi tasarımında yukarıda da bahsedildiği gibi 2 ana alt sistemden bahsetmek mümkündür. İsimlendirme sadece tren kontrol ve izleme sistemi olarak değil MKÜ ve CKÜ olarak yapılmıştır. Bu sınıflandırmayı göre aşağıdaki yapı açıklamaktadır.

- CKÜ
 - Cer ile ilgili tüm kontrol algoritmaları ve kumanda işlemlerinden sorumludur. Buna göre CKÜ sadece cer motoru kontrolü, geribesleme sinyallerinin okunması ve değerlendirilmesi, güç akışının düzgün işlemesi, koruması ve gerekli hızlı günlüklemenin tutulmasından sorumludur.
- MKÜ
 - Cer dışında kalan tüm kontrol ve kumanda işlemlerinin merkezidir. Aşağıda görevleri ve özellikleri ayrıntılandırılmıştır.

E1000 Tip Elektrikli Lokomotif bir yük, manevra ve lojistik destek lokomotifi olarak kullanılması planlandığından modern muadillerinden bazı temel farklılıklarının daha bulunduğu belirtilmelidir. Bu temel farklılıklar aydınlatma ve yolcu bilgilendirme sistemlerinde açığa çıkmaktadır. E1000'in yolcu taşınması yapması planlanmadığından yolcu bilgilendirme, aydınlatma ve kapı kontrolleri bulunmayacaktır. Bu farklılık bazı algoritmaların ve sayısal giriş/çıkışın MKÜ'de bulunmadığını anlamına gelmektedir.

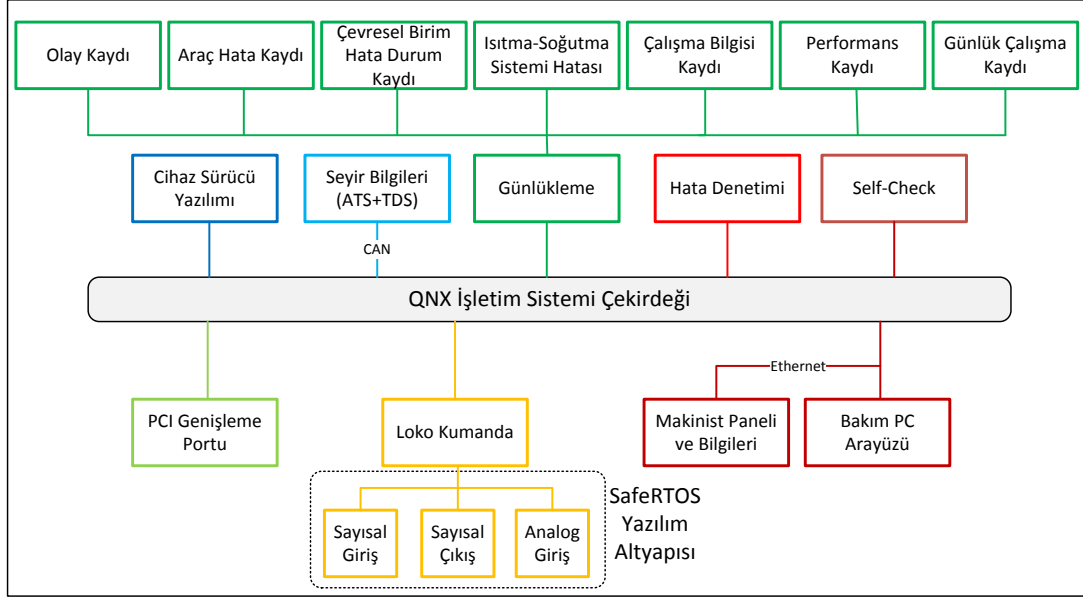
Dağıtık sistem mantığı MKÜ ve CKÜ için benimsenmiş olsa da bir hızlı tren veya metroda olduğu gibi taşıtın farklı yerlerine konumlandırılmış birimler bu sistemlerde bulunmamaktadır. Ayrıca ağ geçidi olarak özel bir birim yerine kartların içerisine gömülmüş olarak ağ geçidi yapıları bulundurulmuştur.

Yazılım ve donanım alt yapılarının tanımlanmasında modern muadilleriyle aynı teknolojik seviyede olan MKÜ ve CKÜ, bu noktada diğer sistemlerle benzerlik göstermektedir.

Diğer sistemlerin büyük çoğunluğu rack tipi muhafaza ve kart yerleşimi sunarken MKÜ ve CKÜ de bu noktada benzer özellikler göstermektedir.

4.2 MKÜ'nün Temel Görevleri

MKÜ'nün temel görevleri anlatılmadan önce Şekil 4-2'de temel görevlere ait blok şema inceleyebilir. Bu blok şema aynı zamanda MKÜ'deki yazılım alt yapısının da nasıl olabileceği hakkında fikir vermektedir[5-7].



Şekil 4-2 : MKÜ'nün temel görevlerini gösteren şema.

4.2.1 Günlükleme

Uçaklarda kullanılan kara kutunun gerçekleştiği işleve benzeyen bir sistem olup, MKÜ'nün dâhil olduğu tüm kararların, algılayıcı verilerinin, yol bilgilerinin, hata bilgilerinin, kontrol parametrelerinin, makinist bilgilerinin, seyir bilgilerinin kaydedilmesi günlüklenme olayıdır. Bu bilgiler MKÜ üzerindeki MİK(Merkezi İşlemci Kartı) kartında bir bellek birimine yazılır(SD-Card). Bu kayıtlarının tutulmasının amacı lokomotif üzerinde olup biten tüm olayların ve hata bilgilerinin daha sonradan işlenmek üzere kaydedilmesi amaçlıdır. Ayrıca lokomotifin bakımı esnasında veya olası versiyon güncellemeleri için veri oluşturabilmesidir.

Günlükleme sadece yapılan tüm işlemlerin gözlenmesi amacıyla değil aynı zamanda adli vakalar için kanıt oluşturabilme anlamında da istenen bir özelliktir. Tüm bu kayıtlar tarih ve saat bilgisi ile birlikte saklanır. Ayrıca saklanan veriler bilgisayarlarda kullanılan dosyalama sistemi ile saklanacağından bilgisayardan takibi kolaydır.

Bu verilerin, tren bakıma alındığında istenildiğinde direk olarak MKÜ'deki akıllı birime erişerek veya hafıza kartının MKÜ'den çıkarılarak alınması mümkün kılındı. Bu verileri çekilebilmesi, değerlendirilebilmesi ve ayıklanabilmesi için de bir bakım arayüzünün yazılması planlanmaktadır. Bu arayüz kaydedilmiş verileri çeker, MKÜ ile haberleşir ve durum bilgisi elde eder. Şekil 4-2'de blok diyagram halinde MKÜ'nün görevleri tanıtılmıştır.

Burada tutulan veriler iki şekilde ayrıştırılabilir.

4.2.1.1 Hızlı günlükleme

Cer motorundan kaynaklı bir hata olması durumunda hata anından önce ve sonra 500ms'lik zaman dilimi boyunca motora gönderilen ve motordan alınan bütün işaretlerin (gerilim, akım, hız, tork, IGBT kapı işaretleri, hata kaynağı, hataya karşı alınan önlemler vb.) kaydedilmesi hızlı günlükleme işlemidir. Buna göre bu bilgiler, sürekli olarak üzerine yazılan, bir hafıza birimi tutulur. Hata durumu gerçekleştiğinde hatadan önceki ve sonraki 500ms'lik süre boyunca yapılan tüm aktiviteler kaydedilir. Sonradan bu veriler ışığında hatanın tespiti ve önlenmesi için çalışma yapılmasına olanak tanınır.

4.2.1.2 Yavaş (Olağan) günlükleme

Lokomotif üzerindeki tüm olayların ve seyir durumunun belirli periyotlar halinde sürekli kaydedilmesi şeklinde gerçekleşir. Burada tutulan bilgiler dış dünyadan veya kontrol ünitelerinden gelen her aktivite, performans, olay ve hata bilgilerinin tutulması şeklindedir. Bu kayıtlar aşağıdaki paragraflarda anlatılmıştır.

Olay kaydı, olay kayıt fonksiyonu geçmiş olan belli sayıda olayın kaydını tutar. Kayıt sayısı dolup yeni bir olay gerçekleştiğinde ilk kayıt silinir ve yeni kayıt yapılır.

Araç hata kaydı, aracın temel komuta işaretlerinin yapılıp yapılmadığı ya da tren hattının kontrolünde bir problem olduğu zaman müşterinin belirleyeceği süre boyunca ve örnekleme zamanıyla, olay araç hata kaydı olarak tutulur.

Çevresel birim hata-durum kaydı, ana konvertör-invertör, yardımcı konvertör, fren kontrol sistemi hatası burada kaydedilen hata çeşitleridir. Bahsi geçen çevresel birimlerden herhangi birinde bir sorun olması durumunda, olaydan önceki belirli bir süre ve olaydan sonraki belirli bir süre ilgili kayıtlar tutulur. Bu kayıtlar çevresel birim hata durum kaydı olarak kaydedilir.

Isıtma-soğutma sistemi hatası, ısıtma ve soğutma sistemlerinde oluşan herhangi bir hatada, ilgili olayların kayıtları, hatadan önceki belirli bir süre ve hatadan sonraki belirli bir süre olarak tutulur. Bu kayıtlar çevresel birim hata durum kaydı olarak kaydedilir.

Çalışma bilgisi kaydı, MKÜ lokomotif çalıştırılmasından itibaren her bir saniyede bir lokomotifin komutlarının listesinin en az 24 saatlik geçmişini kayıt altına almakla sorumludur. Ayrıca MKÜ sürekli olarak lokomotifin, toplam seyahat ettiği mesafe, toplam kompresör çalışma süresi, toplam kompresör açılıp kapanma sayısını kaydeder. Bu kayıtlar MKÜ çalışmaya başladığından itibaren tutulur ve silinemez.

Günlük çalışma kaydı, MKÜ lokomotifin günlük olarak, seyahat ettiği mesafe ve seyahat süresini kaydeder. Bu veriler maksimum değerlerine ulaştıklarında tekrardan sıfırdan başlarlar. Bu kayıtlar MKÜ çalışmaya başladığından itibaren tutulur ve silinemez.

Performans kaydı, MKÜ kalkıştan itibaren, her saniyede bir, 30 dakikalık çevrimler boyunca, lokomotif sürüşü ve performansı ile ilgili verileri kayıt altında tutar. Bu veriler istenildiği takdirde mobil terminalden kullanıcı tarafından silinebilir.

4.2.2 Kumanda Masası Arayüzü

Makinist için görsel ve işitsel her türlü uyarı ve bilgilendirmesinin yapılmasıdır. Buna göre makinist 12 inçlik dokunmatik bir ekran vasıtasıyla sürekli bilgilendirilir. Gösterilmesi gereken verilerin çokluğu ve önem derecesine göre arayüz ekranında bazı veriler sürekli ekranda kalmakta, bazı veriler makinist istediği zaman gösterilmekte, bazı veriler ise hata anlarında makinisti uyarmak ve bilgilendirmek amacıyla ekrana getirilmektedir. Ayrıca makinistin lokomotifi kullanırken verdiği her komutun değerlendirildiği, uygulanması için gereken işlemlerin başlatıldığı, makiniste lokomotifi kullanım için arayüz oluşturulduğu birimdir.

DE11000'in hem kısa mesafe yük lokomotifi hem de manevra lokomotifi olmasından dolayı iki adet kumanda masası bulunmaktadır ve bunlar arasında geçiş yapılabilmektedir. Cer istekleri (hızlanma, yavaşlama, kumlama) kumanda masası arayüzünden sağlanır. Ayrıca korna, silecek, ısıtıcılar ve soğutucular, farlar, sinyaller gibi kumanda işlevleri yine kumanda masası üzerinden yapılır.

4.2.3 Hata takibi

Bütün sistemlerin uyum içinde ve olağan şekilde çalıştığının denetlenmesi görevidir. Açılışa, hareket halindeyken ve kapanışta her işlemin doğru bir biçimde gerçekleştiğini denetleme mekanizmasıdır. Tüm işlemleri takip edebilmek amacıyla lokomotif üzerinde alınabilecek veriler değerlendirilir ve olası hata durumları ve hata durumunda yapılması gereken işlemlerin gerçekleştirilmesi sağlanır. Hata durumlarında CKÜ, MKÜ veya makinist hatayı engellemek veya oluşabilecek zararları azaltmak amacıyla aksiyon alabilirler. Ancak hata durumunda bütün akıllı sistemler ve makinist uyarılır.

4.2.4 Sinyalizasyon birimlerine arayüz

TCDD'nin envanterinde bulunan raylı taşıtların bir kısmında demiryolu sinyalizasyon görevlerini yerine getiren ATS(Otomatik tren durdurma) ve TDS(Tren denetim sistemi) birimleri bulunmaktadır. Bu birimler, raylarda bulunan özel işaretlenmiş ve sinyalizasyon amaçlı kullanılan cihazlardan yolun durumu hakkında bilgi elde eder. Bu bilgilere göre hız sınırlamaları ve sinyalizasyon görevleri gerçekleştirilir ve makinist uyarılır. MKÜ'nün sinyalizasyon işlemindeki rolü ise bu sistemlere arayüz sağlayarak, onlarla haberleşerek makinistin işlerini kolaylaştırmak, yol hakkında bilgi sahibi olmak, trenin hız verisini almak veya doğrulamaktır.

Güvenliğin üst seviyede tutulduğu sinyalizasyon işlemlerinde, zaten kullanılan sistemler olan ATS ve TDS sistemlerinin görevleri yine aynı cihazlar tarafından devam ettirilir. MKÜ'nün bu sisteme, lokomotifin genel kontrol ve kumanda işaretlerine katkı sağlaması amaçlanmıştır. Sinyalizasyon işlemlerinin yüksek öncelikli önem arz etmesinden dolayı, bu sistem ile olan haberleşmeye de güvenlik açısından dikkat edilmesi planlanmıştır.

4.2.5 Çevresel ekipmanların kontrolü

E1000 tip elektrikli lokomotifinin içerisinde en temel kontrol ve kumanda işlemlerini gerçekleştiren CKÜ ve MKÜ birimlerinin dışında başka akıllı birimler de kullanılmaktadır. Bu birimlerden en önemlilerinden biri de yardımcı konvertördür. Katener hattından gelen gerilimi uygun gerilim seviyelerine düşürerek(temel olarak 24V ve 110V) birçok sisteme gerilim kaynağı sağlayacak olan birimdir. Güvenliği

artırılmış bir iletişim ile haberleşilecek yardımcı konvertör, MKÜ'nün arayüz sağlayacağı önemli birimlerdenidir.

Bu cihaz, tren durdurulduğunda katenerden çekilir ve cer motorunun ve yardımcı konvertörün güç bağlantısı kesilir. Bu durumda elektronik devreleri besleyebilmek ve pantografi tekrar yukarıya kaldırmak için trenlerde 110V nominal gerilimde batarya bulunur. Bu bataryaların şarj ünitesi de yine yardımcı konvertörün çıkışında bulunmaktadır. Ayrıca ısıtma sistemleri, elektropnömatik valflerin beslemeleri, 110V'luk gerilim kesicilerin beslemeleri de yine yardımcı konvertör üzerinden yapılır.

MKÜ'nün arayüz sağladığı diğer birimler ise far, korna, silecek, ısıtma ve soğutma sistemleridir. Bunlardan en önemlilerinden biri de soğutma sistemidir, çünkü cer konvertörünün ve motor sürücü anahtarların soğutulması işlemi en önemli görevler arasındadır. MKÜ bu sistemlerin kontrolörleriyle iletişim halindedir ve bilgi alır.

4.2.6 Hız ve seyir hesaplama

MKÜ sürekli olarak araç hızını ve seyir bilgilerini tutmaktadır. Makinist panelindeki ekrandan girilen bilgilerle aracın nerede ve ne zaman harekete geçtiği, ne kadar yol gittiği ve ne kadar yol kaldığı belirtilir.

4.2.7 Çoklu lokomotif çalışma

Bir yük treninde cer gücü sadece bir lokomotiften sağlanmayabilir. Gerekli durumlarda iki lokomotifin kullanılması gerekebilir. Bu durumlarda MKÜ'ler ortaklaşa çalışarak(master-slave yapısı içerisinde) trenin güvenli bir çalışma yapabilmesini sağlar. Bu amaçla güvenli ve modern trenlerde kullanılan MVB haberleşme protokolüne arayüz sağlanması planlanmıştır. Geliştirilen donanımlar bu arayüzü sağlayacak niteliktedir.

4.3 MKÜ'nün Temel Yapısı

MKÜ yukarıda verilen görev sorumlulukları yerine getirebilecek farklı yapılarda elektronik kartlardan oluşmaktadır. Kartların tamamında içerisinde E1000 için özel geliştirilmiş yazılımlar bulunmaktadır. Bu bölümde MKÜ'de bulunan elektronik kartlar ve bu kartların özellikleri açıklanacaktır. Ayrıca MKÜ'deki kartların ve bu kartların içinde bulunduğu kabinin özellikleri açıklanacaktır.

MKÜ'deki kartların tamamı, belirlenen görev ve sorumlukları yapabilmek için özel olarak tasarlanmış kartlardır. Bu kartlar standart 3U Eurocard standartlarına uygun kutular içinde bulunur.

4.3.1 Elektriksel Tasarım

Bu bölümde MKÜ'nün elektriksel tasarımının genel özellikleri tanıtılacaktır. Kartların tanıtımı detaylı olarak ilerleyen bölümlerde yapılacaktır.

MKÜ, görev ve sorumluluklarına göre farklı tipte kartlardan oluşmaktadır. Bu görev paylaşımından kasıt, sayısal sinyallerin okunması ve üretilmesi, analog sinyallerin okunması ve çeşitli haberleşme kanallarının kullanılmasıdır.

Kartların tamamında izole yapılar tercih edilerek MKÜ'yü lokomotifin geri kalanından izole edilmiştir.

Projede CompactPCI mekanik altyapısı ve haberleşme protokolü kullanılması kararlaştırılmıştır. Bunun sebepleri aşağıda verilmiştir.

CompactPCI mekanik yapısı EuroCard mekanik yapısının aynısıdır. EuroCard mekanik yapısı ise titreşime ve darbeye karşı oldukça dayanıklı endüstriyel bir standarttır ve birçok demiryolu uygulamasında kullanılmaktadır. Kontrol kartlarının mevcut yapısı düşünüldüğünde Eurocard mekanik yapısının kullanılması düşünülmüştür.

Eurocard mekanik yapısını kullanan iki çeşit yaygın iletişim protokolü vardır. Bunlar CompactPCI ve VMEBus'tır. Projede kullanılan PowerPC tabanlı merkezi işlemci kartının doğrudan PCI arayüzü bulunmaktadır. Tundra gibi PCI-VME köprüleri ise artık piyasada fazla kullanılmamakta, kullanılan entegreler ise oldukça pahalıya tedarik edilmektedir. Ayrıca VMEBus'ın CompactPCI a karşı en büyük avantajı, birden fazla merkezi olan sistemlerde, haberleşmenin hakem tarafından belirlenmesidir. Projede merkezi kontrol biriminde bir adet merkezi işlemci kartı kullanılmıştır. Bu sebeple mevcut merkezi kontrol sistemi yapısı düşünüldüğünde CompactPCI kullanmak VMEBus kullanmaktan hem daha güvenli hem de daha basit bir çözüm olmuştur.

Compact PCI konektörlerinde 20 adet özel tanımlı pin bulunmaktadır. Bu özel tanımlanmış pinler ile kullanılması düşünülen ve PCI arayüzüne sahip olmayan çevresel birimler arasında haberleşme kurulmuştur. CompactPCI yapısında omurga

empedansı ayarlanabilmektedir. CompactPCI yapısında kartlar dik konumda durmaktadır ve soğutulması daha kolaydır. CompactPCI, haberleşme protokolü olarak CompactPCI kullanmasından dolayı birçok kartı ve sürücüyü desteklemektedir.

4.3.2 Mekanik Tasarım

Compact PCI, PCI tabanlı bir endüstriyel PC standardıdır. Normal masaüstü standart PCI'dan farklı bir fiziksel yapısı vardır. CompactPCI VMEBus tarafından yaygınlaştırılan Eurocard fiziksel yapısındadır.

CompactPCI hem 3U (100mm ye 160mm) hem de 6U (160mm ye 233mm) kart boyutları için tanımlanmıştır. Projede 3U'luk kartların kullanılmıştır.

- IEEE 1101.1 mekanik standartlarında tanımlanış, standart Eurocard boyutları
- Yüksek yoğunluklu 200 pin ve soket bağlantıları (IEC tarafından onaylanmış ve Bellcore lisanslı)
- Rahat soğutma için dikey kart yerleşimi
- Şok ve titreşim dayanıklılığı
- Metal ön panel
- Ön ya da arka kısımdan kullanıcı giriş-çıkış bağlantıları
- Birçok tedarikçiden sağlanabilecek standart şase
- Yüksek sayılarda üretilen CompactPCI standardında entegreleri kullanabilme
- Hot swap özelliği
- Basit konfigürasyonda sekiz adet kart yuvası.

Compact PCI'nin merkezinde, gaz sızdırmazlığı olan, yüksek yoğunluklu IEC-1076 standardını sağlayan, pin-soket konektörü bulunur. Bu konektörün düşük endüktansı ve kontrol edilebilen empedansı bu konektörü PCI işaretleri için ideal hale getirir. 2 mm'lik Compact PCI metrik konektörü, 47x5 sıralı, 220 pinli bir konektördür. 15 adet pin çentik mesafesi sebebi ile kullanılamaz. Ayrıca ek ekranlama da kullanılabilir. Bu pinler içersinde oldukça fazla olan toprak pinleri vardır ve bunlar topraklama ve ekranlama için uygun bir alan sağlar. CompactPCI konektörünün empedansının kontrol edilebilmesi istenmeyen işaretlerin filtrelenmesini kolaylaştırır ve bu sayede normal PC'lerde kullanılan PCI bağlantısı 4 tane olmasına rağmen CompactPCI'nin bağlantı sayısı 8'i bulur. Bu bağlantı sayısı da CompactPCI-CompactPCI köprüler vasıtası ile kolaylıkla arttırılabilir.

3U CompactPCI kartlarında tek 220 pin’li konektör kullanılır. Bu konektör bütün besleme, toprak ve 32 bitlik ya da 64 bitlik PCI işaretlerini taşır. Bu konektör 2 parçadan oluşur. İlk parça alt kısımda olup 110 pinlidir ve J1 adı verilir. İkinci kısım da 110 pinlidir ve V2 adı verilir. Bu konektördeki 20pin gelecekte kullanılmak üzere ayrılmıştır. Omurgada erkek konektör, kartlarda ise dişi konektör kullanılır. Tak-çıkart özelliği olan kartlar sadece 32 bitlik PCI arayüzüne sahiptir ve 110 pin kullanır. Ancak sadece J1 konektörüne sahip olan 32 bitlik kartlar da 64 bitlik kartlara takılabilir.

6U’luk kartlar fazladan 3 farklı konektöre sahiptir ve pin sayısı 315’e kadar çıkar. Bu konektör de aynı şekilde 2mm’lidir. Bu fazladan bağlantılar çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Özellikle VME ya da ISA köprüleri kullanılan hibrit paketlerde kullanılır. Bu hibrit paketler CompactPCI’den hızlı çevresel birim ve giriş çıkış elde etmek için kullanılabilir.

4.4 Tasarımda Baz Alınan Standartlar

MKÜ’nün tasarımında herhangi bir sertifikasyon sürecine gidilmediği halde, tasarım sürecinde kısıtlamalar getiren standartlardan faydalanılmıştır. Bu standartlar, yapılması ve yapılmaması gereken durumları anlatarak güvenli çalışma için gereken detayları tanımlamaktadır.

Raylı taşıtlarla ilgili standartlara bakıldığında katener gerilimleri, tren üzerindeki güç kaynakları, çeşitli elektronik birimlerin elektriksel ve mekanik özellikleri vb. hakkında kısıtlamalar getirmiştir. MKÜ tasarımını ilgilendiren en önemli ve tek standart EN50155’tir. Bu standart tren üzerinde kullanılan her bir elektronik donanımın elektriksel özelliklerini ve mekanik dayanımları hakkında sınır değerler sunan bir standarttır. Donanımın yanında bu tarz sistemlerde (varsa) yazılımlar için de özellikler sunmaktadır. Bunların yanında bakım, onarım, sürdürülebilirlik, izlenebilirlik ve güvenlik konuları ihtiva etmektedir. Bu yapısıyla EN50155, tren üzerinde kullanılan bütün elektronik donanımların, yazılımsal, elektriksel mekanik detaylarıyla alakalı bilgi verirken, tasarlanan donanımın test prosedürlerini ve bakımı hakkında kısıtlamalar içermektedir.

EN50155 aşağıdaki başlıklarda kısıtlamalar içerir.

- Çevresel kullanım koşulları: Rakım, çalışma ısısı, şok ve titreşim, bağıl nem ve atmosferik kirleticilerin durumuna göre kısıtlamalar.
- Elektriksel kullanım koşulları: Elektriksel kullanım koşullarının bir kısmı elektronik sistemin güç kaynağıyla ilintili kısıtlamalardır. Belirlenen gerilim sınırlarının altında ve üstünde arızasız çalışması gereken gerilim sınırları, kaynakta kesinti olması durumunda cihazda herhangi bir hasarın meydana gelmemesi ve çalışmaya devam etmesi, DC dalgalılık faktörü gibi konularda sınırlamalar bulunmaktadır. Ayrıca gerilim dalgalanmaları, elektrostatik boşalma, geçici gerilim değişimleri ve elektromagnetik girişim EN50121 standardında belirlenen koşullara uyum gerekmektedir.
- Güvenilirlik ve sürdürülebilirlik: Güvenilirlik konusunda, güvenli olarak çalışma saatinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu süre, üretici ve kullanıcı arasında belirlenen başka herhangi bir süre yoksa, 20 yıldan az olmamalıdır. Sürdürülebilirlik konusunda ise çeşitli kartların ve sistemin, tren üstünde ve tren haricinde ayrıca her ilk çalıştırılma esnasında yapılması gereken testler anlatılmıştır. Hata tanılamanın bulunması gerekmektedir. Ayrıca sistemin değiştirilebilir parçalardan oluşması gerektiği bildirilmiştir. Buna göre arızalanan cihazlar değiştirilebilir yapıda olmalıdır.
- Dizayn: Bu başlıkta elektronik sistemin dizaynının nasıl yapılması gerektiği ve nelere uyması gerektiği anlatılmıştır. Ters kutuplama, in-rush akımlarına karşı bağışıklık, hata koruma sistemlerinin varlığı gerekmektedir. Ayrıca üretim esnasında ISO 9001 kalite standartlarına uyumluluk gerekmektedir. Kullanılan sistemlerin elektromagnetik bağışıklığı, kullanıcıya herhangi bir zarar vermesini önlemesi gerekmektedir. Bu bölümde yazılım tasarımı konusunda kısıtlamalar bulunmaktadır. Buna göre yazılım modüler ve yapısal olmalı ayrıca test edilebilmelidir. Donanımda kullanılan hafıza elemanları test edilip doğruluğu ve ulaşılabilirliğine bakılmalıdır.
- Sistem komponentleri: Sistemde kullanılan her bir komponentin elektronik devre, konektör ve bu komponentlere ait tren üzerinde yerleşimi hakkında kısıtlamalar içerir. Ayrıca kablolama konusunda da kısıtlamalar bulunmaktadır. Elektronik devrelerdeki elektronik komponentlerin yerleşimleri, standartları, lehimlenmesi, birim testleri konularında

sınırlamalar bulunmaktadır. Ayrıca bunların soğutma durumları gerekiyorsa soğutmasının bulunması gerekmektedir.

- Güvenlik: Sistemin, kullanıcı tarafından belirlenen fonksiyonel ve kişisel güvenlik tedbirlerinin alınması gerekmektedir.
- Dokümantasyon: Sistemin donanımı ve yazılımıyla ilgili dokümanlarının tam olması gerekmektedir. Bu dokümanlar malzeme listeleri, kullanım kılavuzları vb. dokümanlardır.

4.5 İçerdiği Donanımlar

Bu bölümde MKÜ sisteminin donanımları, öncelikle genel olarak anlatılacak, sonrasında da elektronik kartlarla ilgili ayrıntılara yer verilecektir. Önceki bölümlerde görevleri ve temel yapısı açıklanan MKÜ sisteminin elektronik kartları derinlemesine inceleyecektir. Bu amaçla kartların tasarımları, blok şemaları, kartlarda kullanılan malzemelerin genel özellikleri, neye göre seçildikleri, üretim esnasında dikkat edilen noktalar aşağıdaki başlıklarda anlatılacaktır. Devrenin özelliğine göre tasarım biçiminin değişmesi durumu söz konusu olduğundan bu süreçten de bahsedilecektir. Örneğin giriş/çıkış kartlarında yapılan izolasyonlar, Merkezi İşlemci Kartı'nın tasarımında gözetilen kriterler(yüksek frekans devre tasarımı) anlatılacaktır.

4.5.1 Elektronik Kartlar

MKÜ sisteminin görevleri düşünüldüğünde merkezi bir işlemci birimi, çeşitli sinyaller için giriş/çıkış kapıları ve çeşitli haberleşme protokolleri için bir ağ geçidi yapısının düşünülmesi kaçınılmazdır. Her bir başlık kendi içerisinde donanım tasarımı kriterleri barındırmaktadır. Ayrıca bu kartlarda kullanılacak yazılımların gereksinimleri karşılanmalıdır.

Elektronik kartların donanım tasarımı süreçleri kısaca özetlenmek istenmektedir. Lokomotifin kara kutusu ve beyni olması sebebiyle, MKÜ'nün tasarımının esnek ve modüler bir yapıda olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Projenin başlarında lokomotif merkezi kontrol ünitesi hakkında elde edilmesi gereken kaynaklar elde edilmiş, müşteri kurum beklentileri ve eklenmesinin iyi olacağı özellikler eklenmiştir. Bu sayede çıkarılan donanım isteklerini karşılamak üzere modüler ve esnek bir yapı üzerinde durulmuştur. Ar-Ge projesi olması sebebiyle, esnekliğin çok

önemli olduğu hatırlanmalıdır. Modüler yapı ise hem esneklik sağlamakta hem de işi kolay halledilebilir birim parçalara bölmektedir.

Merkezi işlemci kartının bilgisayar niteliğinde olması ve herhangi bir girişe veya çıkışa doğrudan müdahale etmemesi gerektiği; giriş/çıkış kartlarının girişleri okumak ve kendisine verilen çıkışları vermekten başka herhangi akıllı bir yapı içermemesi gerektiği; ağ geçidi biriminin farklı hızlarda ve çevrimlerde yararlanılan haberleşme protokollerini, merkezi işlemci kartı kontrolünde, yönetmesi gerektiği, temel tasarım kriterleridir.

Yukarıda bahsedilen tasarım kriterlerinden başka, önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, MKÜ'yü kendi kabini dışındaki her birimden izole edecek yapıların tercih edilmesi diğer tasarım kriterlerindendir.

Kartların birbirleriyle güvenli, hızlı ve basitçe haberleşmelerini sağlayacak yapılar üzerinde tartışılmıştır. Sonuç olarak MKÜ kartlarının birbirleriyle temel iletişiminin CANBus üzerinden yapılmasına ve bunun yanında 3.parti genişleme kartlarına arayüz sağlayacak protokollerden birine sahip olması gerektiği kararı alınmıştır. Bu protokol için düşünülen adaylar CompactPCI ve VME protokolleridir. Bu iki seçim kriteri, merkezi işlemci kartında kullanılacak mikroişlemcinin belirlenmesinde ve bu mikroişlemcide koşacak gerçek zamanlı işletim sisteminin belirlenmesinde kilit rol oynamıştır. Ayrıca merkezi işlemci kartında kullanılmasına karar verilen komponentlerin, birbirleri arasında yüksek frekanslı sinyaller gönderip alması(RAM-Flash-mikroişlemci arası sinyaller), baskılı devre tasarımında önemli tasarım kriterleri getirmiştir.

Giriş/çıkış kartlarında kullanılması gereken donanımlar belirlenirken, TÜLOMSAŞ'ın ve çeşitli standartların(EN50155 vb.), giriş/çıkış sinyalleri için elektriksel özellikleri, kilit rol oynamıştır. Buna göre her bir girişin ve/veya çıkışın, hangi gerilim-akım-güç değerlerinde çalışacağı, modüllerde kullanılacak komponentlerin hangi standartlara sahip olması gerektiği belirlenerek eleman seçimleri yapılmıştır. Ayrıca gerilim ve akım seviyelerine göre izolasyon gerilimlerinin belirlenmesi ve buna uygun izole komponentler kullanılması gerekmiştir. Sayısal ve analog verilerin okunması(uygun değerlere ve forma getirildikten sonra) ve merkezi işlemci kartına iletilmesi amacıyla Texas Instruments firmasının ARM Cortex-M3 tabanlı LM3S9B96 kodlu mikrokontrolörünün

kullanılmasına karar verilmiştir. Piyasada ARM Cortex-M3 tabanlı ve özellik olarak birbirlerine çok yakın oldukça fazla ürün bulunduğundan seçim yapmak zor olmaktadır. Ancak LM3S9B96 mikrokontrolörünü diğerlerinden ayıran en önemli özelliği, içerisinde bulunan ROM(Read Only Memory) bölgesinde gerçek zamanlı bir işletim sisteminin çekirdek kodlarının bulunmasıdır(SafeRTOS). Üstelik bu gerçek zamanlı işletim sistemi kullanımı kolay, az hafıza ve işlemci kaynağı harcayan ve en önemlisi SIL3 sertifikası bulunduran bir işletim sistemidir. Bu işletim sistemiyle ilgili bilgiler tezin ilerleyen kısımlarında ayrıntılı bir biçimde verilecektir.

Yukarıda bahsedilen ARM Cortex-M3 tabanlı mikrokontrolörler piyasada çok fazla bulunması, küçük ve işlevli mikrokontrolörler olması sebebiyle piyasada en çok tercih edilen mikrokontrolörler arasındadır. Özellikle çevresel birimlerinin bolluğu ve çalışma frekansları bu mikrokontrolörlerin tercih edilmesine sebep olmaktadır. Son yıllarda bu mikrokontrolörlere USB ve Ethernet gibi önemli çevresel birimler eklenerek, bu mikrokontrolörleri çok yetenekli hale getirmiştir. Elektronik kartlarda kullanılan haberleşme protokollerinden olan I²C(Inter-Integrated Circuit), SPI(Serial Peripheral Interface), UART(Universal Asynchronous Receive and Transmit), CAN(Controller Area Network), Ethernet, USB(Universal Serial Bus) gibi haberleşme protokolleri bu mikrokontrolörlerde standart olarak bulunmaktadır. Tüm bunlar düşünüldüğünde ağ geçidi amacıyla yapılacak birimde, diğer kartlarda da kullanılması düşünüldüğünde tanıdık bir yapı olması ve yukarıda bahsedilen tüm özellikleri bünyesinde barındırması sebebiyle LM3S9B96 mikrokontrolörü tercih edilmiştir.

LM3S9B96 mikrokontrolörü Cer Kontrol Ünitesi'nde de kullanılmıştır. Bunun sebepleri, ROM'unda SafeRTOS bulundurması, Ethernet, USB gibi protokolleri desteklemesi, ciddi bir yazılım ve donanım desteğinin bulunması olarak gösterilebilir. Bu tez kapsamında bu mikrokontrolörde gerçekleştirilen yazılımlara ağırlık verilecektir.

Bahsedilen özellikleri içeren Merkezi İşlemci Kartı(MİK) Analog Giriş Kartı(AGK), Sayısal Giriş Kartı(SGK), Sayısal Çıkış Kartı(SCK) ve Haberleşme Kartı(HK) MKÜ birimi için tasarlanmıştır. HK, MKÜ'nün ağ geçidi olarak kullanılması düşünülmüştür.

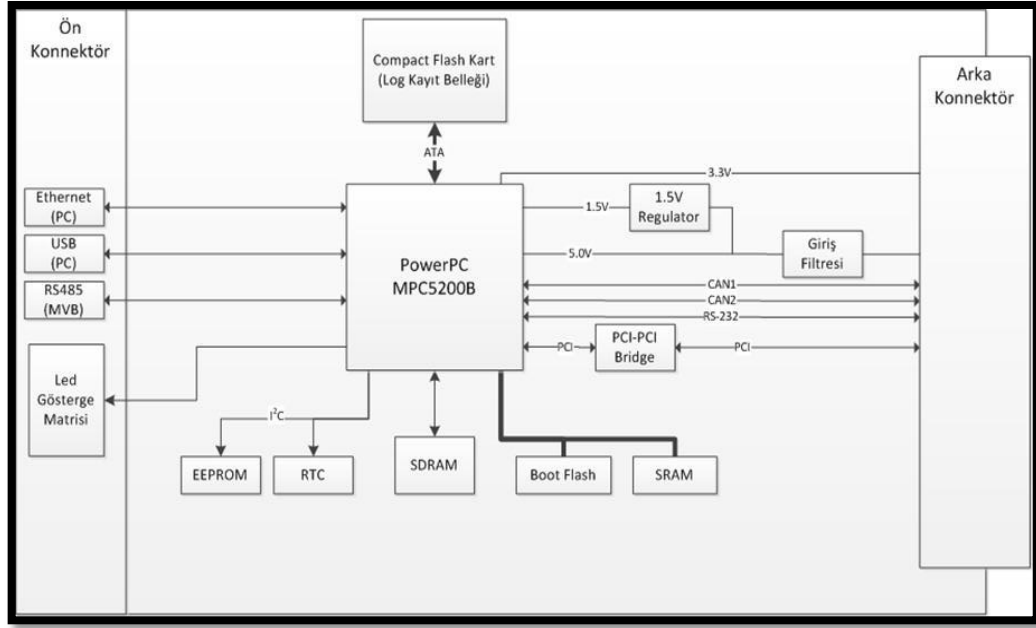
4.5.1.1 Merkezi işlemci kartı(MİK)

Bu kart MKÜ'nün ve lokomotifin beyni olarak tasarlanmış, 10 katlı bir PCB(baskılı devre)'ye sahip, üzerinde BGA, 0402 ve benzeri kılıfta, elle lehimlenmesi imkânsız elemanlar bulunduran, Ethernet, CAN, USB, CompactPCI haberleşme protokollerine sahip küçük bir bilgisayar anakartı niteliğinde bir karttır. Kart üzerinde 400mHz saat frekansıya çalışan PowerPC tabanlı bir mikroişlemci bulundurmaktadır. Lokomotifin MKÜ haricindeki bütün birimlerinden izole yapıda ve lokomotif giriş/çıkış kartları ile müdahale yapabilen bir kart olma özelliğini taşır. Kart 3U (100mm x 160mm) boyutlarında olup üzerinde 3.3V 2.8V ve 1.2V gerilim seviyeleri bulunmaktadır.

Kartın üzerindeki işaretlerin yoğunluğu PCB'nin 10 katlı olmasından da anlaşılabilir. Bu tarz bir PCB'nin çizilmesinde yüksek frekanslı işaretlerin (CompactPCI, RAM ve flash bağlantıları) bozulmamasına dikkat edilmelidir, çünkü elektriksel sinyallerin frekanslarının artması, PCB yolları üzerindeki endüktif ve kapasitif etkilerin artmasına ve işaret kaybının gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için PCB üretici firmalarının, iç katmanlardaki ve dış katmanlardaki empedans ölçümlerine uyulması gerekir.

Bu kart üzerinde, MKÜ'nün en temel görevlerinden biri olan günlüklemenin kaydedildiği hafıza birimi bulunmaktadır. Ethernet üzerinden dış dünyaya erişim sağlanabildiği gibi Ethernet destekleyen diğer akıllı birimlere(örneğin kumanda masası, CKÜ üzerindeki Cer Merkezi Kontrol Ünitesi kartı ve CKÜ'deki diğer akıllı birimler) erişim yapılabilir.

Bu kart kendi çevresel birim kartlarıyla güvenli bir CANBus hattından haberleşirken gelecekte takılabilecek CompactPCI tabanlı bir karta da arayüz sağlayabilmektedir. Bu da MKÜ'nün gelecekte MİK kadar akıllı birkaç birimle çalışabilmesini sağlamaktadır. Şekil 4-3'te MİK kartının donanımına ilişkin blok şema görülebilir.



Şekil 4-3 : MİK'e ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.

4.5.1.2 Analog giriş kartı(AGK)

Analog giriş kartı, ARM tabanlı bir işlemciyle kontrol edilen, seçilebilir 0-110V veya 4-20mA girişlere ve filtreli 8 adet analog değeri okuyabilecek yeteneğe sahip kartlardır.

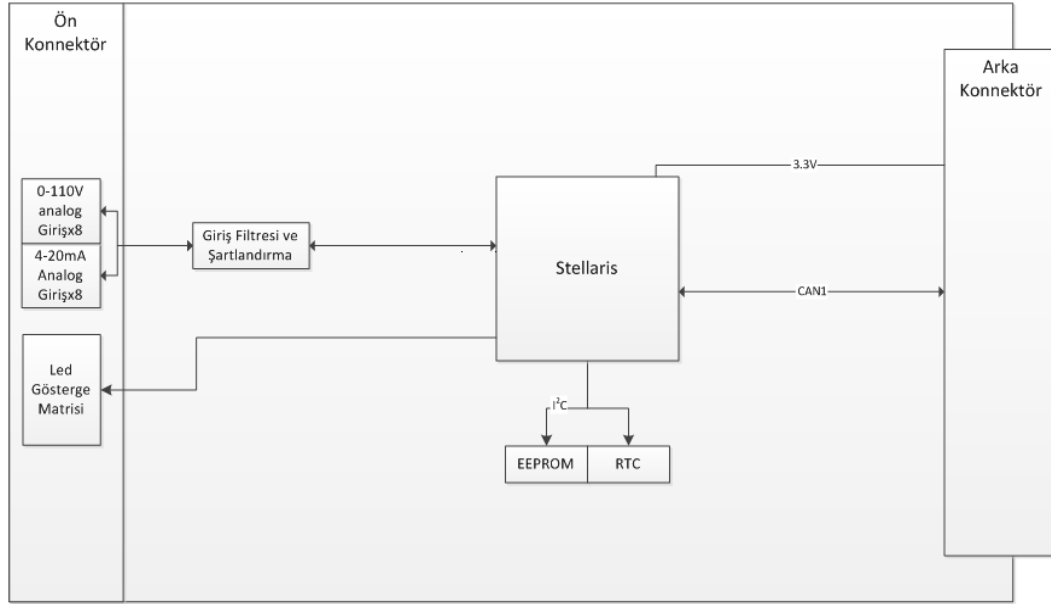
Analog giriş kartlarının blok diyagramı Şekil 4-4'te verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde görüleceği üzere analog giriş kartları aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- ARM tabanlı merkezi işlemci birimi
- Omurgaya 1 adet CANBus bağlantısı
- Omurgaya 1 adet RS-232 bağlantısı
- Seçilebilir 0-110V 8 adet filtreli diferansiyel gerilim girişi.
- Seçilebilir 4-20mA 8 adet filtreli diferansiyel gerilim girişi.

Analog giriş kartlarının gerilim giriş aralığı için şu an düşünülen değer 0-110V'tur. Ancak projenin ilerleyen süreçlerinde değişen proje ihtiyaçları göz önüne alınarak bu giriş skalası tasarımda donanımsal olarak revize edilebilir.

Analog giriş kartlarına ön konektörden gelen analog veriler, diferansiyel olarak filtrelendikten sonra sayısala dönüştürülecektir. Sayısala dönüştürülen veriler isteğe bağlı olarak değişik periyotlarla ya da karşıdan istek gönderildiğinde omurgada

bulunan CANBus veri yoluna gönderilir. Şekil 4-4'te bu karta ilişkin blok diyagram görülebilir.



Şekil 4-4 : AGK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.

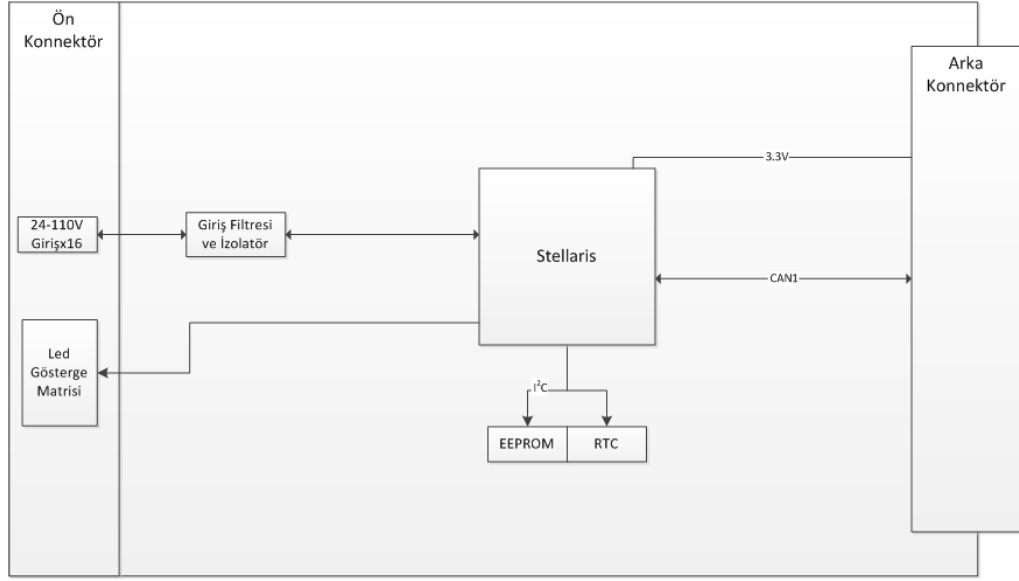
4.5.1.3 Sayısal giriş kartı(SGK)

Sayısal giriş kartları, ARM tabanlı bir işlemciye sahip olan, 24-110V arası gerilimlerde sayısal giriş işaretlerini izole olarak okuyabilen, 16 girişe sahip kartlardır.

Sayısal giriş kartlarının blok diyagramı Şekil 4-5'te verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde görüleceği üzere sayısal giriş kartları aşağıdaki özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır:

- ARM tabanlı merkezi işlemci birimi
- Omurgaya 1 adet CANBus bağlantısı
- Omurgaya 1 adet RS-232 bağlantısı
- 24V - 110V izole 16 adet sayısal giriş.

Sayısal giriş kartlarına ön konektörden gelen sayısal veriler, izole olarak filtrelendikten sonra okunur. Okunan veriler isteğe bağlı olarak değişik periyotlarla ya da karşıdan istek gönderildiğinde omurgada bulunan CANBus veri yoluna gönderilir. Bu karta ilişkin blok diyagram Şekil 4-5'te gösterilmiştir.



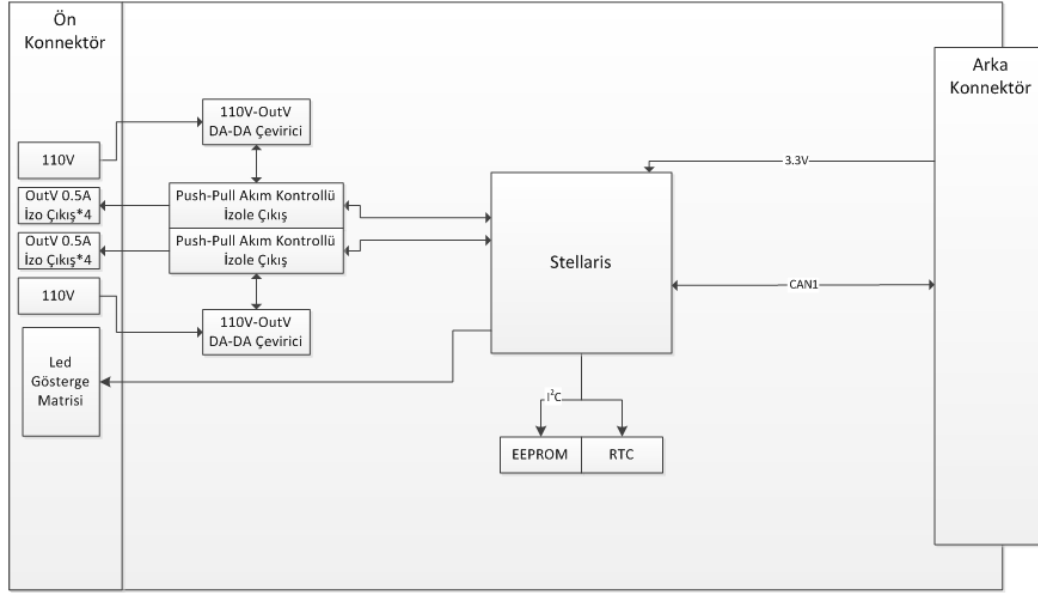
Şekil 4-5 : SGK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.

4.5.1.4 Sayısal çıkış kartı(SCK)

Sayısal çıkış kartı ARM tabanlı, sayısal çıkış veren elektronik kartlardan oluşmaktadır. Bir demiryolu taşıtındaki DC gerilim standartlarına bağlı olarak 4 çeşit gerilim seviyesinde çalışabilecek kart tasarlanmıştır. Bu gerilimler:

- 24V 0.5A
- 72V 0.5A
- 110V 0.5A

Çıkışların beslemeleri kartın bağlı olduğu omurgadan izole olacaktır. Bu sayede kartın dışarıda oluşabilecek bir arızasından veya başka bir yerde yapılmış izolasyondan devrenin yanması engellenmiştir. Bu karta ait blok diyagram Şekil 4-6'da gösterildiği gibidir.



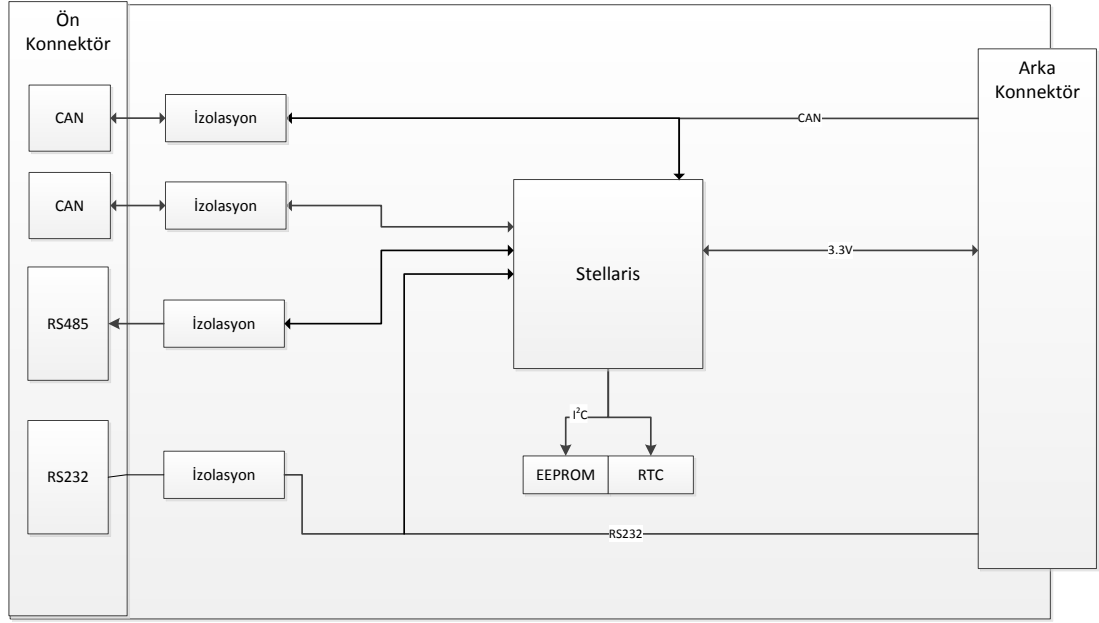
Şekil 4-6 : SCK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.

4.5.1.5 Haberleşme kartı(HK)

Merkezi kontrol ünitesinin dışarıya açılan haberleşme birimidir. Merkezi kontrol ünitesi, kendi rafının içindeki tüm kartlarla, doğrudan omurga üzerinden haberleşirken dışarıdan gelen her türlü bilgiyi bu kart üzerinden alır. Kart üzerinde ayrıca RS232 ve RS485 haberleşme portları da bulunur.

Haberleşme kartına gelen bütün sinyaller optik olarak izole edildikten sonra omurgaya aktarılır. MKÜ rafının dışında gerçekleşebilecek herhangi bir elektriksel problemde, MKÜ'yü koruma işi bu izolasyon katmanında gerçekleştirilir. Ayrıca, istenmesi halinde, gelen tüm veriler haberleşme mikrokontrolörüne de gelir. Bu sayede ayıklanması ya da filtrelenmesi gereken veriler burada yapılır.

Bu kartın diğer bir önemli özelliği ise dağıtık haberleşme ağının kurulmasını sağlamasıdır. Dışarıdan gelen veriler doğrudan MKÜ omurgasına gelmemekte, önce haberleşme kartı üzerindeki mikrokontrolörde bekletilmektedir. Merkezi işlemci kartı haberleşme kartına istek göndererek, kendisinde olan verileri ister. Bu sayede haberleşme trafiği ayarlanmış olur. Ayrıca haberleşme kartına gelen veriler sayısal ortamda filtrelenebilir. Bu karta ait blok diyagram Şekil 4-7'de görülebilir[5-7].



Şekil 4-7 : HK'ya ilişkin basitleştirilmiş blok diyagram.

4.5.2 Test prosedürleri

Test başlığı altında proje kapsamında kapsamında MKÜ ile ilgili yapılan testlere yer verilecektir. Bu bölümde hem yazılım hem de donanım testleriyle alakalı bilgiler verilecektir.

Donanım testleri elektronik kartlar üretildikten sonra, kartlarda donanımsal bir arızanın ya da bir tasarım hatasının olup olmadığını incelemek için yapılacak testlerdir. Ayrıca donanım testleri ile yapılan tasarımların uygulamada kullanılıp kullanılmayacağına ve donanımsal açıdan revizyona ihtiyaç olup olmayacağı da tespit edilecektir.

Yazılım testleri, yazılımların fonksiyonel olarak test edilmesini, ayrıca bu yazılımların donanım entegrasyonu ile operasyonel olarak yazılımların çalışmalarının test edilmesini sağlayacaktır.

4.5.2.1 Donanım testleri

Donanım testleri MKÜ’de kullanılacak olan bütün elektronik kartların donanımsal olarak test edilmesini kapsar. Bu testler üç parçaya ayrılabilir.

- Tip testleri
- Rutin testler
- İnceleme testleri

Tip testleri, her bir elektronik kart için tanımlanan, her bir elektronik kartın fonksiyonellik ve operasyonel olarak incelendiği testlerdir. Bu testler her çeşit elektronik kartların içerisinde bir adet seçilerek yapılır. Bu testlerle tasarlanan donanımların tasarım kriterlerine uyup uymadığı ve buna bağlı olarak revizyon gerektirip gerektirmediği sorgulanmıştır.

Tip testleri birkaç basamaktan oluşmaktadır. Birinci adım görsel test kısmıdır ve üretimden gelen kartların görsel incelemesini içerir. Testler esnasında devre şematikleri, bilgisayar ortamında hazırlanan üretim dosyaları, malzeme listesi gerekmektedir.

Tip testlerinde ikinci adım performans testidir. Kartın tasarım kriterlerine ve isterlerine uygun şekilde üretilip üretilmediği araştırılır. Varsa tasarım veya üretim hataları çıkarılmaya çalışılır. Bu testler laboratuvar koşullarında ($25^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$) yapılır. Bu basamakta birinci basamakta ihtiyaç duyulan malzemelere ek olarak havya, mikrokontrolörler için programlayıcı, osiloskop, multimetre ve güç kaynağı kullanılır. Performans testinden beklenti, test edilen tüm kartların bu testlerden başarılı olarak geçmesidir. Başarılı olmayan maddelerle ilgili risk dokümanı oluşturulur ve gerekirse tasarımda revizyona gidilir.

Rutin testler, üretilen her karta yapılacak olan testlerden oluşmaktadır. Rutin testler genel olarak tip testlerinin daha özelleşmiş halidir. Tasarımın doğruluğu tip testinde onaylanmış olduğundan bu test kapsamında sadece üretilmiş kartların doğru olarak üretildiği ve sahaya çıkarılmaya hazır olduğu anlaşılır.

İnceleme testleri projenin ilerleyen aşamalarında donanım ile ilgili öngörülmemiş hataların bulunması testidir.

Hazırlanan test prosedürleri Ek A'da verilmiştir.

4.5.2.2 Yazılım testleri

MKÜ yazılım testlerini genel olarak üç bölüme ayrılmaktadır. Bunlar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

- Fonksiyonellik testi
- Operasyonel test
- İnceleme testleri

Fonksiyonellik testleri, yapısal olarak tanımlanmış olan yazılımların çalışması ile ilgili olan testlerdir ve yazılımın belirlenen görevleri yerine getirip getirmediğini görmek amacı ile yapılması planlanan testlerdir.

Operasyonel testler tasarlanan yazılımlar donanıma entegre edildiğinde yapılan testlerdir. Yazılımın donanım entegre edilmesiyle ortaya çıkacak olan problemlerin görülebilmesi için yapılması planlanan testlerdir.

İnceleme testleri de donanım testlerine benzer şekilde, tren üstünde, uzun süreli olarak yapılacak testler esnasında çıkarılan hatalar şeklindedir.

Hazırlanan performans ve fonksiyonellik testi prosedürleri Ek A'da verilmiştir.

4.6 İçerdiği yazılımlar

MKÜ'de bulunan bütün elektronik kartlarda bir gerçek zamanlı işletim sistemi koşturmaktadır. Bu işletim sistemleri QNX Neutrino ve SafeRTOS isimli işletim sistemleridir. Bu işletim sistemlerinin ikisi de IEC61508'e göre SIL3(Safety Integrity Level) standardındadır. Buna göre bu işletim sistemleri güvenli bir yazılım geliştirebilmek için ortam sağlamaktadır.

Kullanılan işletim sistemleri ve yazılım altyapıları aşağıda anlatılacaktır. SafeRTOS AGK, SGK, SCK ve HK'nın yazılım altyapısını oluştururken QNX Neutrino MİK'in yazılım altyapısını oluşturmaktadır. Bu tez kapsamında SafeRTOS için geliştirilen E1000 yazılım mimarisi ayrıntısıyla tanıtılacak olup, QNX yazılımlarının derinine inilmeyecektir. Sadece QNX işletim sistemi tanıtılmaya çalışılacaktır.

4.6.1 Yazılım altyapıları

Merkezi kontrol ünitesinin görev ve sorumlulukları Bölüm 4.2'de tanıtılmıştı. Bu belirlenen göre ve sorumlulukların yerine getirilebilmesi için merkezi kontrol ünitesinin donanımının nasıl yapılandırılması gerektiği belirtilmiştir. Bu bölümde merkezi kontrol ünitesinin yazılımı ve yazılım ihtiyaçları hakkında bilgi verilecektir. Merkezi kontrol ünitesinin temel işlemleri göz önüne alındığında aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Tren güvenliğini sağlayan ekipmanlara (ATS ve TDS) ara yüz sağlama ve bu verilere göre güvenliği sağlama

- Bazı çevresel donanımları (algılayıcı, eyleyici, röle kartı, ısıtma-soğutma vb.) kumanda etme
- GSM/GPRS/GPS/Ethernet/USB/PCI vb. ara yüzleri sağlama
- Hata ve olay durumlarının kaydı ve makinistin bilgilendirilmesi

Bu görevlerin yerine getirilebilmesi amacıyla MKÜ'nün aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Çok fazla sayıda ve çeşitte verinin ilişkilendirilmiş bir biçimde gruplandırılması, değerlendirilmesi ve depolanması merkezi kontrol ünitesinin temel işlemlerinden biridir. Bunu sağlayabilmek amacıyla tüm verilerin düzgün bir veri tabanı kullanılarak hızlı bir biçimde kaydedilmesi ve istenildiğinde bu veriler okunarak kullanıcıya sunulabilmelidir. Verilerin saklanırken güvenli bir biçimde (veri kaybı yaşanmadan), düzgün mantıksal sırada depolanması gerekmektedir. Bu veriler bilgisayar ortamında rahatlıkla incelenip takip edilebilmelidir. Bu yüzden bilgisayarlarda kullanılan dosyalama sistemlerine uygun olmalıdır (Dosya sistemi).

Birçok haberleşme protokolüne sahip olması beklenen MKÜ'den, sürekli olarak gelen verilerin hızla işleyerek istenen cevapları vermesi beklenmektedir. Bu amaçla çeşitli ortamlardan ve haberleşme kapılarından gelen veriler ilgili birimlerce paylaşılacak, veri güvenliğine yüksek önem verilir.

Haberleşme kapılarından gelen veriler içerisinde öncelik sırasına önem verilmelidir. Düşük öncelikli bir veri işlenirken yüksek öncelikli bir verinin gelmesi durumunda yazılım, yüksek öncelikli verinin işlenmesine öncelik verirken aynı anda birden fazla öncelikli veri gelmesi durumunda bunları işleyebilme yetisine sahip olmalıdır. İşlenen verilerin kesme rutinleri içerisinde olmadığı durumlarda verilerin çoklu görevler halinde işlenmesi gerekebilmektedir (Çoklu Kullanım).

MKÜ yazılımı piyasadaki başka yazılım ve uygulamalarla veya donanımlarla (MKÜ olmasa da) aynı dili konuşabilmeli, ortak paydada buluşturup standartları yakalayabilmelidir (POSIX).

Yazılımın organizasyonunun sağlanabilmesi ve toplu çalışmaya uygun halde olması projedeki yazılımın başarıyla tamamlanması açısından önemlidir. Farklı yazılımcıların aynı yazılım projesinde yer alıp ortaya çalışan bir versiyon çıkarabilmeleri projenin yazılım yükünün paylaşılabilmesini sağlar. Bu amaçla yazılımın en önemli ihtiyaçlarından biri, birden fazla yazılım geliştiriciyle çalışmaya

uygun halde olmasıdır. Bu amaçla klasik mikroişlemci yazılımlarında kullanılan C dilinin aksine yüksek seviye dillerden C++ gibi bir dille yazılım gerçekleştirilmesi önemlidir.

Uygulama esnasında farklı, periyodik olmayan ve işlem yükü ağır uygulamaların işletilmesi durumunda işlemcinin kaynaklarının zorlanabileceği durumlar söz konusu olduğu düşünüldüğünde yazılımın bu durumlarda üzerine düşen vazifeyi eksiksiz, doğru ve zamanında yapması gerekmektedir.

Tren yolu uygulamalarında en önemli kısıtlardan biri güvenlik standartlarına uyumluluk yazılımın diğer önemli ihtiyaçlarından biridir. Herhangi bir hata durumu olursa dâhi bu hatanın hızla bertaraf edilmesi ya da yedek sistemlere geçilmesi gereklidir.

Yukarıda sıralanan ihtiyaçların ışığında MKÜ yazılımında gömülü bir işletim sisteminin kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. İşletim sistemleri sayesinde yukarıda bahsedilen ihtiyaçların tamamı kolaylıkla karşılanabilmektedir. İşletim sistemleri kendi içlerinde hazır olarak bulunan dosyalama sistemi kodları sayesinde verileri bilgisayar ortamında kolaylıkla okunabilecek biçimde kaydedebilme yeteneğine sahiptirler.

MKÜ yazılımında işletim sistemi üzerinde koşacak çeşitli uygulamaların birbirleriyle kolaylıkla ve belli bir protokolde haberleşebilmeleri gerektiğinden yukarıda bahsedilmişti. Bu amaçla işletim sistemlerinde IPC (Inter Process Communication) denen yapıların bulunması bu işlemi gerçekleştirmek için gereklidir.

İşletim sistemlerinde kullanılan dile ortak bir payda getirebilmek amacıyla kullanılan POSIX kodları sayesinde kodların taşınabilirliği sağlanır.

İşletim sistemlerindeki görevlerin önceliklerinin belirlenmesiyle yüksek öncelikli verilerin işlenmesine öncelik tanınmaktadır. Bu sayede yüksek öncelikli bir veri, düşük öncelikli verinin işlenip bitirilmesini beklemeden işlenmeye başlanabilir. Ayrıca bir işi bitirmeden diğerlerine geçip onları da işleyebilme kapasitesi de yine işletim sistemlerine has bir özelliktir (Çoklu Kullanım).

Gömülü yazılımlarda işletim sisteminin tercih edilmesindeki en önemli sebeplerinden biri büyük çaplı uygulamalarda yazılım sistem organizasyonun düzgün kurulabilmesidir. İşletim sistemi sayesinde işler görevlere bölünerek, ilgili işler gruplandırılır ve bunlara bellekte uygun yerler ayrılır. Ayrıca birden fazla yazılım

geliştiricinin çalışacağı uygulamalarda bu yazılımcıların birbirlerini etkilememelerini sağlayacak yüksek seviye dillerden olan C++'ın kullanılması işletim sistemleri sayesinde mümkün olabilmektedir.

Piyasada paket olarak satılan işletim sistemleri aldıkları güvenlik sertifikaları sayesinde sertifikasyon işlemlerini kolaylaştırıp güvenli kod geliştirebilmeyi sağlayabilirler.

Bu sebeplerden ötürü QNX firmasının Neutrino isimli gerçek zamanlı işletim sistemi kullanılması planlanmaktadır. İşletim sistemlerinin getirdiği avantajlardan ayrıca QNX Neutrino mikrokernel yapıdaki çekirdeğiyle ve adaptif bölmelendirme özelliğiyle tercih sebebi olmuştur. Tüm bu özellikler ve daha fazlası aşağıda açıklanmıştır.

QNX Neutrino demiryolu standartlarına uygunluk ve güvenilirlik anlamında da EN50128'in istediği SIL3 güvenlik seviyesini sağlamaktadır.

4.6.1.1 QNX Neutrino gerçek zamanlı işletim sistemi

Lokomotif üzerinde kullanılacak akıllı kartlar iki sınıfa ayrılırsa, bu kartlardan birisi daha alt seviye görevleri işlerken(sadece haberleşme veya kontrol algoritması işlemleri), diğer kartlar ise daha üst düzey kontrol işlerini düzenlemektedir. Örnek olarak, insan vücudunda motor sinirlere emir gönderen omurilikteki sinir merkezleri alt seviye işlemleri gerçekleştiren kartlara karşılık gelirken, beyindeki sinir merkezi üst seviye kontrol işlemlerini gerçekleştiren akıllı kartlara karşılık gelmektedir. Üst seviye kontrol işlemlerini yapan birimlerin iş yoğunluğu ve çeşitliliği düşünüldüğünde gerçekleştirmesi gereken tüm görevlerin düzgün bir sırayla ve şaşmadan yapılması bir gerekliliktir. Ayrıca bu görevler her zaman aynı sırayla gerçekleşmeyebileceği gibi anlık gerçekleşen olaylara hızla tepki verilmesi gerekebilir. Bu amaçla hem yapılacak görevlerin kolayca ele alınmasını ve hızla tepki verilmesini sağlamak hem de yüksek işlem kapasiteli mikroişlemcilerde kolayca çalışabilmek amacıyla işletim sistemleri kullanılır.

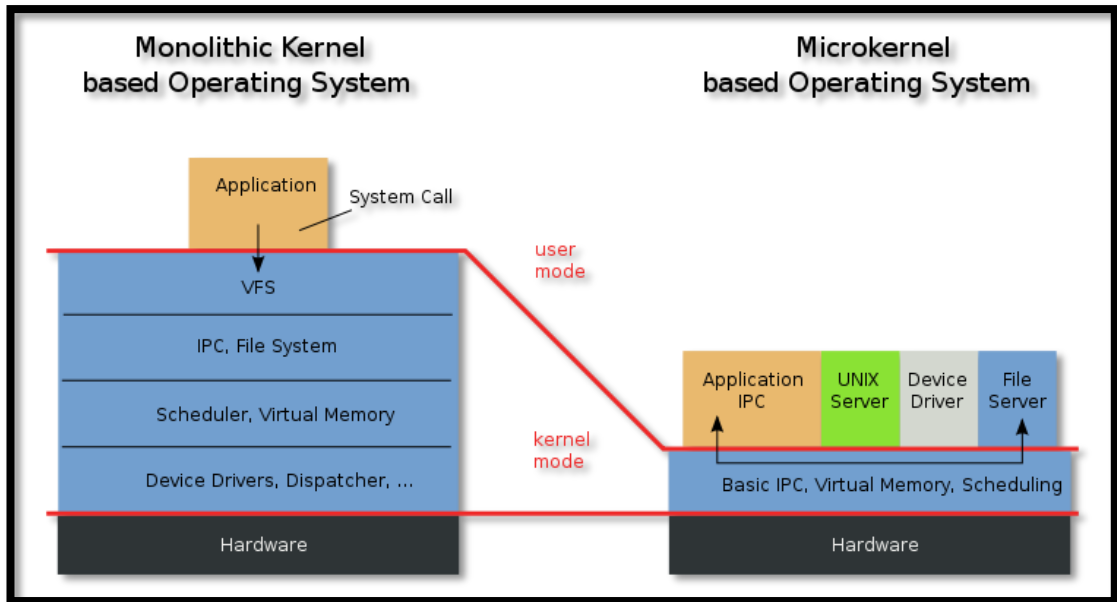
İşletim sistemlerinin kullanılmasındaki en temel noktalar yukarıda sıralandığı gibidir. Bu temel görevlerin yerine getirilebilmesi için yüksek seviyede algoritmalar içeren büyük kod blokları halinde yazılan işletim sistemleri mikroişlemci kaynaklarını daha verimli kullanılabilir hale getirebilmektedir. Ancak işletim sisteminin getirdiği yazılım organizasyonun sağlanmasının bir karşılığı olur. Belli bir işi işletim sistemi

kullanarak yapmak ile işletim sistemi olmadan direk olarak gerçekleştirmek arasında belli bir hız farkı olabilmektedir. Bununla birlikte normalde mikroişlemcili sistemlere yazılan uygulamalar düşünüldüğünde görevlerin her biri teker teker ele alınır ve biri bitirildikten sonra diğerine geçilir. İşletim sistemlerinde aynı anda çoklu iş yapabilme yetisi bulunduğundan ciddi bir avantaj sağlanmaktadır. Ancak gerçek zamanlı işlemler yapılmasını gerektiren, iş yoğunluğunun ve çeşitliğinin fazla olduğu durumlarda kullanılmak üzere gerçek zamanlı işletim sistemleri çıkarılmıştır. Bu işletim sistemleri hem yazılım organizasyonu anlamında bir işletim sistemi gibi çalışmakta hem de tepki süreleri anlamında çok avantajlı konumdadır.

QNX işletim sistemi birçok gerçek zamanlı işletim sisteminden biridir. Aşağıda QNX işletim sistemiyle alakalı önemli teknik özelliklere yer verilmiştir[11-12].

4.6.1.1.1.QNX işletim sistemi çekirdeği

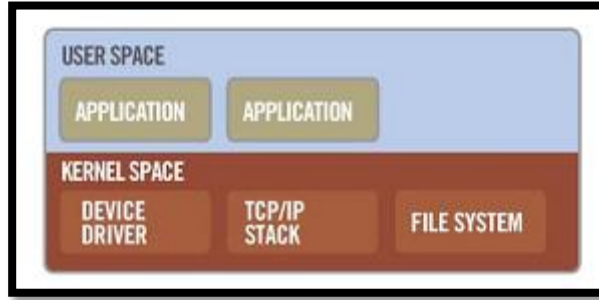
İşletim sistemlerinin tamamında bir adet kernel denilen ve yazılan tüm uygulamaların koşturulduğu bir çekirdek yazılım bulunmaktadır. Bu çekirdek kullanıcının yazdığı uygulamaların ve dış ortamdan gelen anlık olayların düzenlendiği ve işlemciye işlenmek üzere gönderildiği bölümdür. İşletim sistemlerinin mimarileri incelendiğinde genel olarak iki kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar Şekil 4-8’de görülmektedir.



Şekil 4-8 : Monolithic ve microkernel yapıdaki çekirdeklerin şeması.

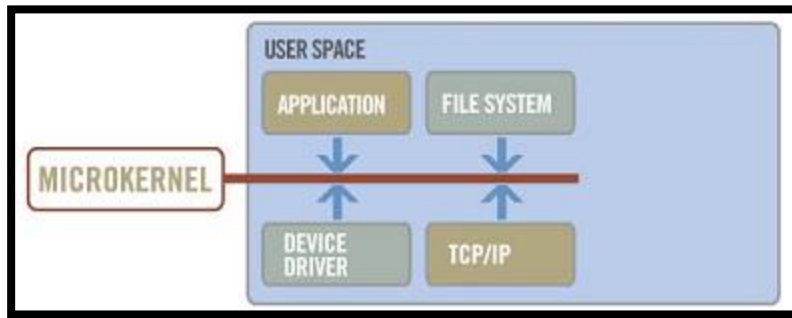
Burada geçen monolithic kavramı şu şekilde açıklanabilir. Bu çekirdek yapısında donanıma ait tüm yapılar kernelde bulunmaktadır. Dosyalama sistemi, TCP/IP yönetimi ve donanımda kullanılan tüm cihazların sürücü yazılımları kernelin içinde bulunmaktadır. Özellikle donanım sürücüsü geliştirme durumlarında kernelin kodlarını değiştirmek gerektiğinden, herhangi bir şekilde yapılmış bir hatada direk olarak işletim sisteminin çekirdeği kullanılmaz duruma gelir ve reset durumu gerektirir. Şekil 4-9’da bu kernel yapısına ait bir grafik bulunmaktadır.

Bu tip çekirdek yapılarında kullanıcılar uygulamalarına göre küçük programlar yazarlar ve asıl uygulamayı burada gerçekleştirirler. Bunu yapabilmek için birbirleri arasında ve çekirdek ile haberleşmek durumundadırlar. Bunları sistem çağrıları yaparak gerçekleştirirler.



Şekil 4-9 : Monolithic yapıdaki çekirdek.

Microkernel yapıdaki çekirdek yapısında ise işletim sistemi çok temel anlamda bazı işlemleri yüklenmiştir. Geriye kalan büyük bir miktarda iş kullanıcı tarafındaki programlar tarafından halledilir. QNX işletim sisteminde dosyalama sistemi, IPC (Inter Process Communication) gibi işlemler kernelin dışında yapılır. Şekil 4-10’da QNX işletim sisteminin çekirdeğinin yapısını gösteren bir şema bulunmaktadır.

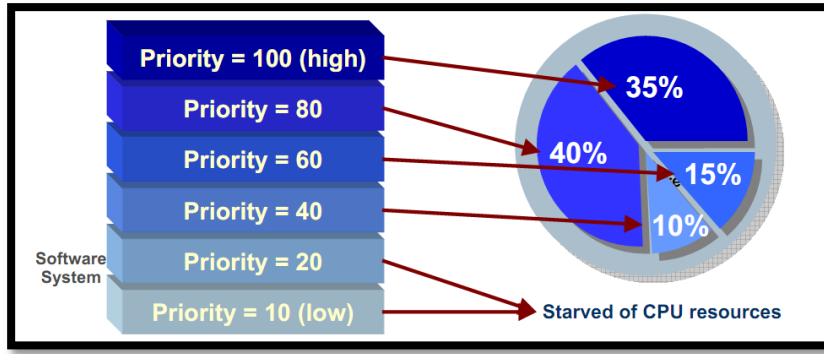


Şekil 4-10 : Microkernel çekirdek.

Bu yapıda her türlü cihaz sürücüleri, uygulama katmanları, dosyalama sistemi, TCP/IP yönetimi çekirdek dışında gerçekleştirilir. Aslında her biri kullanıcı tarafından yazılmış birer program gibidir. Herhangi birinin bir şekilde kapanması, kilitlenmesi veya hata vermesi durumu oluştuğunda ilgili uygulama yeniden başlatılarak sorun giderilir. Bu aşamada çalışan diğer programlar hiçbir şekilde etkilenmezler. Ayrıca hali hazırda çalışmakta olan sistem hiç kapatılmadan yeni programların eklenmesi durumu da söz konusudur. Yeni programlar eklenirken program kodları çekirdekte bulunmadığından bütün çekirdeğin tekrar derlenmesi gerekmez. Bu da uygulama geliştirme açısından ciddi bir hız artışı anlamına gelmektedir. Buna karşılık IPC yani prosesler arası haberleşme monolithic kernelle karşılaştırıldığında daha yavaş kalmaktadır. Çünkü her bir haberleşme esnasında programlar kernelde bulunmadığından fazla miktarda veri taşınımı söz konusudur. Örnek vermek gerekirse bu durumda haberleşme esnasında fazla miktarda fonksiyon argümanı bulunmakta ve bu da işlem yükünü nispeten artırmaktadır. Ayrıca daha fazla hafıza birimi gerektirmektedir.

QNX işletim sisteminin diğer önemli özelliği ise adaptif bölmelendirme yapısıdır. Günümüzde bütün gerçek zamanlı işletim sistemleri uygulamaları onların önceliklerine göre işler, ancak bu durum mikroişlemci kaynakları yeterliyken gayet güzel çalışırken CPU'ya aşırı yüklenildiği durumlarda sıkıntı çıkarabilmektedir. Normalde uygulanan yöntem CPU'nun kaynaklarının belli yüzdelerde belirlenmiş görevlere atanması şeklinde de çalışabilmektedir. Ancak zaman zaman bu kaynakların dengesiz kullanımı gerçekleşebilir. Söz gelimi A görevine CPU'nun %30'u, B görevine CPU'nun %30'u ve C görevine CPU'nun %40'ı ayrılmış olsun. Ortalamaya bakıldığında A, B ve C görevlerine kendilerine ayrılan CPU kaynağının yeterli geldiği kestirilebilmekteyken, herhangi bir t anında A ve B görevleri %10'luk kısımları kullanırken C görevi CPU'nun %60'lık kısmına ihtiyaç duyabilir. Böyle bir durumda atanmış kaynaklar düşünüldüğünde C görevinin beklenenden geç cevap işleneceği gözükmektedir.

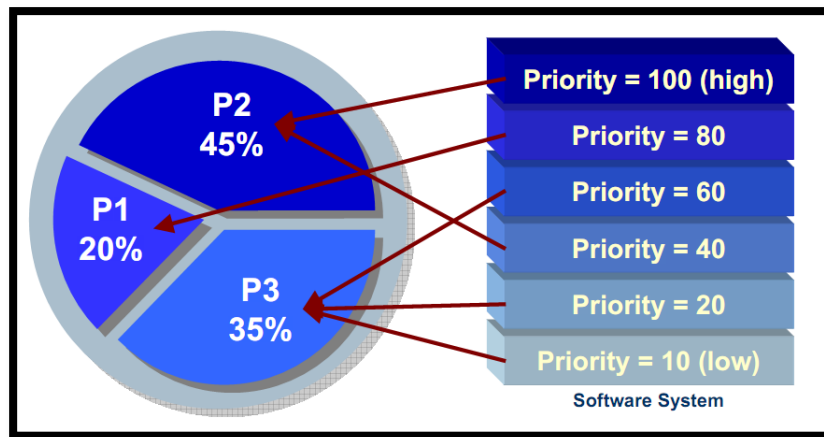
Şekil 4-11'de başka bir durum için mikroişlemci kaynağının yeterli gelmediği bir durum gözükmektedir. Ancak gerçek zamanlı bir işletim sistemi kullanılan uygulamalarda olabildiğinde hızlı cevaplar alabilmek çok önemlidir. Bu yüzden QNX işletim sistemi adaptif bölmelendirme isminde çevrimiçi bir kaynak ayırma yöntemi uygulamaktadır.



Şekil 4-11 : Mikroişlemci kaynaklarının durumu

Şekil 4-12’de örnekte C görevinin %60’lık CPU kaynağına ihtiyaç duyduğu anda QNX işletim sistemi adaptif bölmelendirme algoritması sayesinde ihtiyaç halinde diğer görevlere ayrılan CPU kaynağını C görevine kaydırabilmektedir. Bu da QNX işletim sisteminin gerçek zamanda işlem yapabilme yetisini artırabilmektedir. Ayrıca şekilde de görüldüğü üzere kaynak ayırımlarının dinamik olarak yapıldığı durumda CPU’nun efektif kullanıldığı gözükmemektedir.

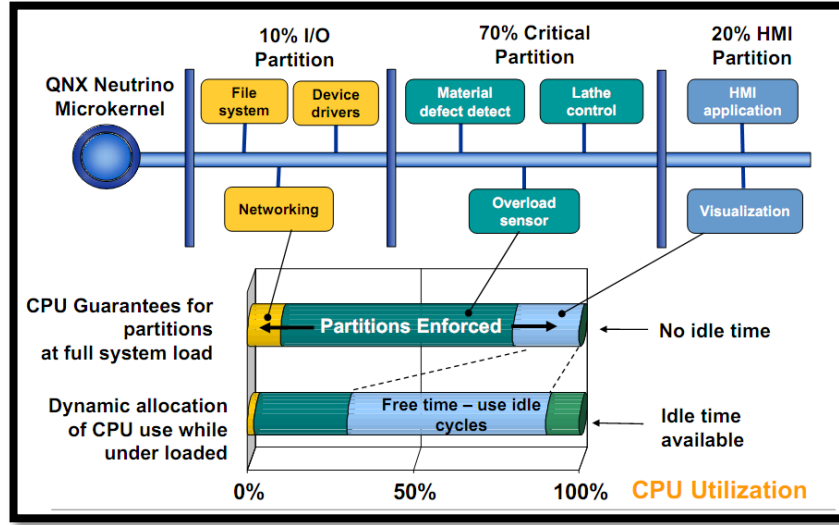
Şekil 4-12’te görüldüğü üzere CPU kaynakları tam yüklemde gerekli kaynakların ayrıldığını garanti eder. Ancak fazla yükleme ve az yükleme durumlarında CPU kaynaklarının dinamik olarak ayrıldığı durumda CPU kaynağı israf edilmemiş olur.



Şekil 4-12 : Mikroişlemci kaynaklarının durumu.

QNX işletim sisteminin yukarıda sadece bazı önemli özellikleri tanıtılmıştır. Bu tez kapsamında anlatılmayan, piyasada bulunabilen diğer gerçek zamanlı işletim

sistemlerinden farklı olarak, kullanışlı ve gerçek zamanlı çalışmayı kolaylaştırıcı özellikleri bulunmaktadır. Şekil 4-13'te bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4-13 : Adaptif bölmelendirmeye örnek

4.6.1.2 SafeRTOS gerçek zamanlı işletim sistemi

SafeRTOS, Wittenstein firmasının gerçek zamanlı ve deterministik bir işletim sistemidir. Kritik uygulamalar için geliştirilmiş ve IEC61508'e göre SIL3 sertifikasyonuna sahip gerçek zamanlı bir işletim sistemidir. Endüstriyel ve medikal uygulamalarda kullanılabilecek, kod büyüklüğü ve karmaşıklığı azaltılmış bir yapısı vardır. Gerçek zamanlı işletim sistemleri arasında ilk ve tek olarak piyasada bulunan bir mikrokontrolörün ROM(Read Only Memory)'unda yüklü olarak gelen bir işletim sistemidir. SafeRTOS'a ait kütüphane dosyalarının Bu sayede, SafeRTOS kullanılacak projeye dâhil edilmesiyle kolaylıkla kullanılabilir durumdadır. SIL3 standardı almak istendiğinde bu işletim sisteminin çekirdek kodlarının tekrar sertifikasyon sürecine girmesine ihtiyaç kalmaz. Çünkü ROM'da bulunan bilgiler değiştirilemeyeceğinden sertifikasyon sürecine dâhil edilmez.

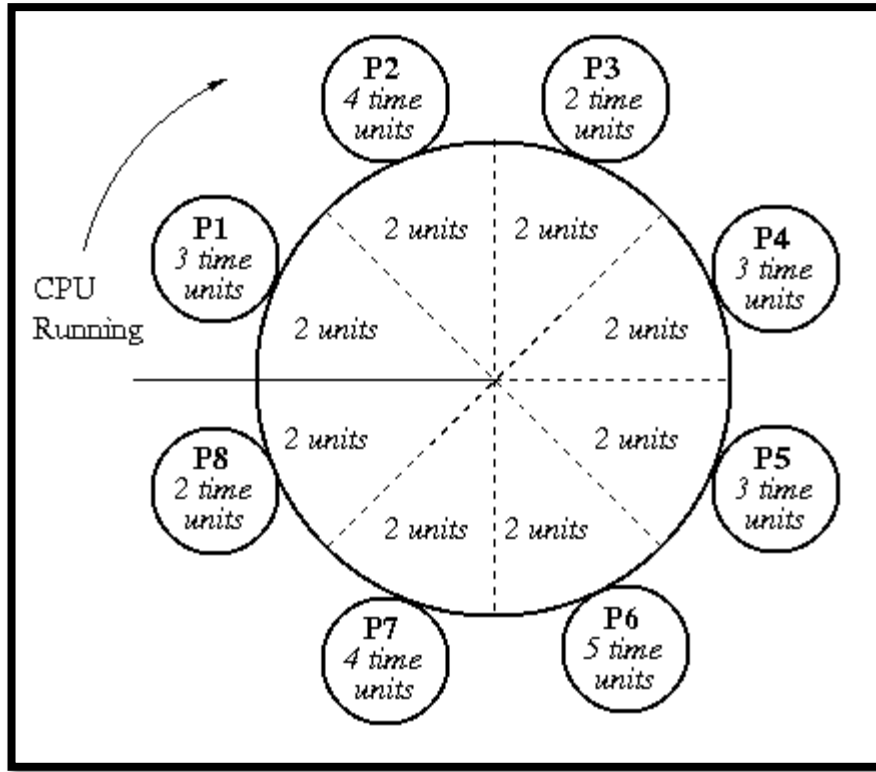
İşletim sisteminin SIL3 standardında olması, bu işletim sistemiyle yapılan bir projenin de SIL3 standardına sahip olacağı anlamına gelmez ancak bu güvenlik standardında bir platform ile yola çıkmak anlamına gelmektedir. Standardın izin vermediği operasyonlar SafeRTOS'ta dâhil olmadığı için zaten kullanılamaz durumdadır.

Bu işletim sistemi FreeRTOS isminde açık kaynak kodlu gerçek zamanlı işletim sisteminin SIL3 standardı almış versiyonudur ve bu iki işletim sistemi birbirine çok benzemektedir.

Yukarıda bahsedilen iki işletim sistemi de Round-Robin zaman sıralamasını(scheduling) kullanır. Round-Robin sıralaması işletim sistemlerinde kullanılan bir zaman sıralama algoritmasıdır. Round-Robin prensibine dayanmaktadır. Bu algoritma, zaman dilimi esasına göre çalışır. Her prosesin(birim iş) bir zaman dilimi bulunur ve bu zaman dilimi içerisinde çalışma hakkı ilgili prosese aittir. Normalde bütün prosesler eşit haklara sahiptir ve bu algoritmaya göre prosesler döngüsel olarak sürekli taranır. Round-Robin algoritmasına göre proseslere öncelik verilememesine rağmen, SafeRTOS içerisinde tanımlı tasklar arasında önceliklendirme bulunmaktadır. Basit ve uygulaması kolay bir algoritmadır.

Şekil 4-14'te Round-Robin algoritmasının nasıl çalıştığı gösterilmiştir. Buna göre her birime eşit zaman dilimleri atanır. Bu zaman diliminde işlem bitmiyorsa diğerine geçilir ve işlem bir sonraki döngüde devam edilmek üzere bırakılır.

SafeRTOS, C dilinde yazılmıştır. 32 bit işlem yapabilen işlemciler için tasarlanmıştır. Sadece 7K-14Kbyte çekirdek dosyasına sahiptir. Bu da piyasada bulunan birçok mikrokontrolörde rahatlıkla kullanılabileceği anlamına gelmektedir[13-14].



Şekil 4-14 : Round-Robin algoritması.

SafeRTOS işletim sisteminin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Sistem RAM(Random Access Memory)'nin izin verdiği sayıda task(tanımlanmış görev birimi) yaratmak mümkündür.
- Her task için bir öncelik atamak mümkündür.
- Tasklar eşit önceliğe sahip olabilirler. Bu durumda nasıl bir task seçimi yapılacağı ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır.
- Tasklar ve kesme rutinleri arasında semafor ve data paylaşımı “Queue” yapısıyla mümkündür.
- Tasklar belirlenmiş bir miktarda çalışabilir veya bekletilebilir.
- Dinamik olarak bellek ayırımı mümkün değildir(IEC61508 standardı gereği)
- Taskların kendilerine ayrılmış bellek gözlerini aşmalarına izin verilmez. Bu durumda hata fonksiyonu çağrılır. Çağrılan fonksiyonda güvenlikle alakalı işlemleri yapabilmek mümkündür.
- SafeRTOS sahip olduğu fonksiyonlitesini küçük, basit ve dayanıklı(gürbüz) bir yapıda olmasıyla başarır.

- SafeRTOS'ta "Hungarian Notation" (yazılımcının tanımladığı her değişken veya fonksiyon ismi için, isimlerinin başına getirilen anahtar harflerle tanımlama) kullanılmaktadır.

4.6.1.2.1.SafeRTOS sistem komponentleri

SafeRTOS içerisinde tanımlı komponentler aşağıdaki gibidir.

- Tasklar
- Sıralayıcı(Scheduler)
- Tasklar ve kesme rutinleri arasındaki haberleşme(Queue)
- Kesmeler

Yukarıda bahsedilen temel komponentler SafeRTOS işletim sisteminin temel özelliklerini anlayabilmek için açıklanması gereken özelliklerdir. Küçük çaplı ve basit bir işletim sistemi olmasından dolayı bu komponentlerin sayısı Unix, Windows veya MacOS gibi işletim sistemlerinin sahip olduğu komponentlerin(farklı kullanıcılar tanımlama, ağ vb.karmaşık yapılar) sayılarına göre oldukça az sayıdadır.

Task, herbiri birbirinden izole edilmiş, birim işlem bölgeleridir. Yazılım geliştiriciler gerçekleştirecek işlere göre tasklar tanımlarlar. Yazılım geliştirilen cihazın yapacağı temel görevler burada parçalara ayrılır(örneğin algılayıcıdan verilerinin okunup değerlendirilmesi için bir task ve algılayıcıdan gelen, geldikten sonra işlenen algılayıcı verileri bir ekranda gösterme işlemi için ayrı bir task). Parçalara ayrılan temel görevlere birer öncelik ve bellekte bölge ayrılır. Bu taskların hangi döngüde çalışacakları veya nasıl bir olayda (queue event) çalışacakları belirtilebilir. Tasklarla ilgili temel SafeRTOS fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

- *xTaskCreate()*:Bu fonksiyon yardımıyla SafeRTOS'ta bir fonksiyon tanımlanır. Yaratılan task içerisinde sonsuz döngü olarak isimlendirilen (*while(1){...}*) bir blok bulunur ve taskın yapacağı tüm işlemler burada gerçekleştirilir.
- *xTaskDelete()* : Bu fonksiyon yardımıyla SafeRTOS içerisinde tanımlanmış bir task silinir. Sıralayıcı bir daha o taska ait fonksiyona dallanmaz.

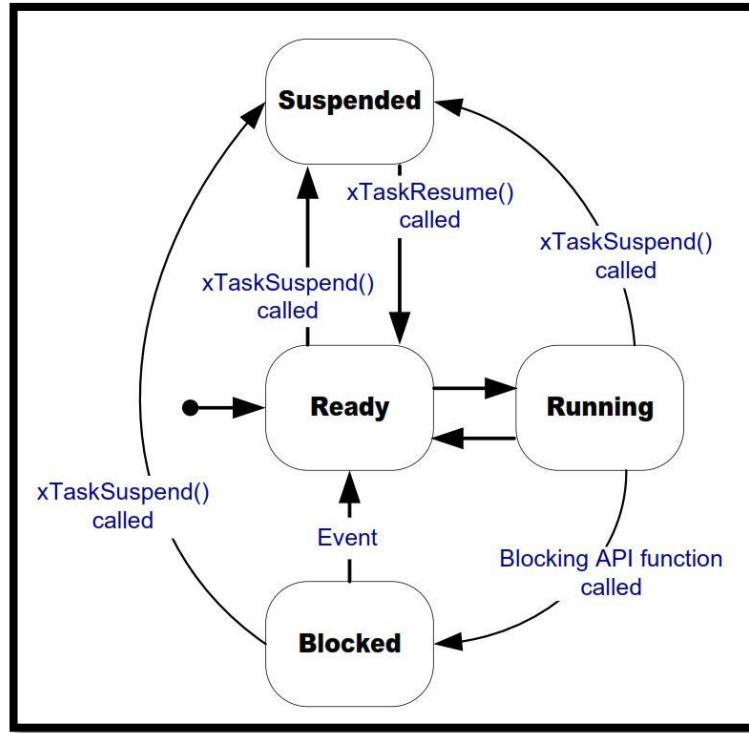
SafeRTOS'ta tanımlanan tasklar aşağıdaki durumlardan birinde olabilirler.

- "*Çalışıyor(Running)*" : Bulunulan anda çalışmakta olan task "*çalışıyor*" olarak gösterilmektedir. Bu task sıralayıcı tarafından seçilmiş ve bulunulan

anda çalışmaktadır. Aynı anda sadece bir task “*çalışıyor*” durumunda olabilir.

- “*Bloke edilmiş(Blocked)*” : Bir task çalışmıyor ve tetiklenmek için bir olay bekliyorsa, o task “*bloke edilmiş*” durumdadır.
- “*Askıya alınmış(Suspended)*” : Eğer bir task *xTaskSuspend()* fonksiyonuyla askıya alınmış ise bu duruma geçmiştir. Bu taskın “*askıya alınmış*” durumundan çıkabilmesi için *xTaskResume()* fonksiyonun çağırılması gerekir. Sıralayıcı “*askıya alınmış*” durumdaki bir taska geçiş yapmaz.
- “*Hazır(Ready)*” : “*Çalışıyor*” durumuna geçebilecek bir task, sırasını beklemek için “*hazır*” durumda bekler. Sıralayıcı “*hazır*” bekleyen ve önceliği en yüksek olan bir taska geçiş yapar. Bu durum yeni yaratılmış bir task için ilk durumdur.

Task durumlarını ve geçişlerini göstermek üzere Şekil 4-15 incelenebilir.



Şekil 4-15 : Task durumlarını ve geçişlerini gösteren blok diyagram.

Tasklar tanımlandıktan sonra sırada sıralayıcının tanımlanması gerekir. Sıralayıcı aşağıdaki görevleri yerine getirmekle yükümlüdür.

- Hangi taskın “*çalışıyor*” durumuna geçeceğini ve ne zaman başka bir taska geçileceğini belirler.
- Her task için ayrılan süreyi belirler.
- Zaman dolduğunda “*bloke edilmiş*” durumdaki bir taskı “*hazır*” durumuna getirir.

Sıralayıcı yukarıda bahsedilen görevlerin tamamını, platforma göre değişiklik gösteren, “sistem çalışma frekansı” (mikroişlemci çekirdek frekansından farklı) yardımıyla yapar. Bu değerin ne olacağı SafeRTOS’un konfigürasyonlarının yapıldığı yerde belirtilir.

Task geçişlerini yapan sıralayıcının çalışma prensibinin Round-Robin algoritması olduğu önceden belirtilmişti. Buna göre hâlihazırda çalışan task, hazırda bekleyen tasklar arasında önceliği en yüksek tasktır. Eğer iki taskın önceliği aynıysa bunlardan “*hazır*” durumunda daha çok beklemiş task işlemciyi kullanma hakkına sahip olur.

Sıralayıcıyı başlatmadan önce en azından bir adet taskın yaratılmış olması gerekmektedir. *xTaskStartScheduler()* fonksiyonuyla sıralayıcı başlatılır ve başlar başlamaz “boşta(Idle)” taskı otomatik olarak yaratılır.

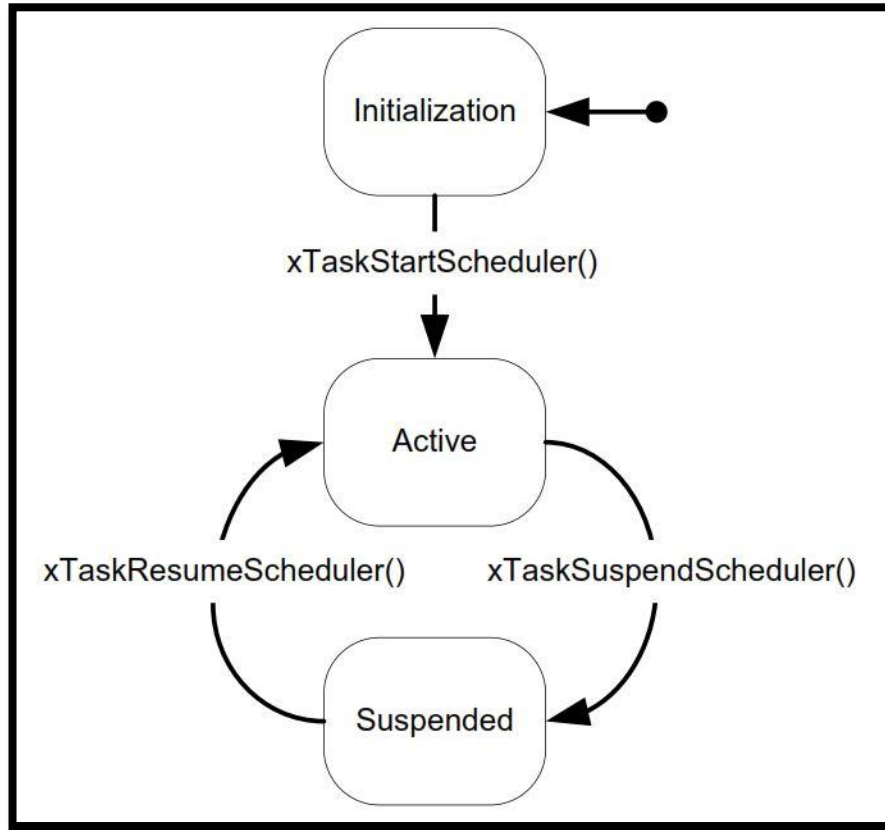
Taskların durumları olduğu gibi sıralayıcının da durumları mevcuttur. Sıralayıcının içinde olabileceği durumlar aşağıdaki gibidir.

- “*Başlama(Initialization)*” : Sıralayıcının çalışmaya başlamadan önceki başlangıç durumudur. Bu durumda sıralayıcının uygulama üzerinde hiç bir rolü yoktur. Tasklar ve semaforlar sıralayıcının bu durumundayken yaratılabilir.
- “*Aktif(Active)*” : Bu durumdayken sıralayıcı kontrolü eline almıştır. Sıralayıcının sıradaki taskı belirleme işini nasıl yaptığı daha önce anlatılmıştı. Bu prensibe göre sıralayıcı, “*aktif*” durumdayken task seçimi işlemini yapar.
- “*Askıya alınmış(Suspended)*” : Sıralayıcı bu durumdayken herhangi bir task geçişi işlemini yerine getirmez. Sıralayıcının “*askıya alınmış*” durumuna girdiğinde çalışan task sürekli çalışır durumda kalır, ta ki sıralayıcı tekrar “*aktif*” duruma getirilinceye kadar. Bu durumdayken sanki hiç bir işletim sistemi tanımlanmamış bir proje işleniyor gibi çalışma durumu söz konusudur. Sıralayıcı bu durumdayken kesme rutinlerine geçiş engellenmez.

Şekil 4-16’da sıralayıcının durumları ve durum geçişleri gözükmektedir.

Sıralayıcı tanımlaması ve durumları anlatıldıktan sonra tasklar arasındaki veri transferini sağlayan yapı(Intertask communication) anlatılacaktır. Bu yapı SafeRTOS işletim sisteminde “Queue” ismindeki yapılar sayesinde gerçekleştirilir. Bu yapı, tasklar arasında data transferini (değişkenler global tanımlanmamış olsa bile), tasklar arasındaki eşzamanlamayı ve semafor tipindeki çalışmayı gerçekleştirebilir. “Queue” yapısının karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Herhangi bir anda bir “queue” hiç bir veri içermeyebilir.
- “Queue”, *xQueueCreate()* fonksiyonuyla yaratılırken, tasklar arasında iletilecek data paketlerinin boyutu ve sayısı belirtilir.
- Taşınacak herhangi bir paket *xQueueSend()* veya *xQueueSendFromISR()*(kesme rutininde çağırılmalıdır) fonksiyonları yardımıyla gönderilir, gönderilen paketler *xQueueReceive()* veya *xQueueReceiveFromISR()*(kesme rutininde çağırılmalıdır) fonksiyonlarıyla alınır.



Şekil 4-16 : Sıralayıcı durumlarını ve geçişlerini gösteren blok diyagram.

- “Queue” yapısı FIFO(First In First Out) tipindedir. Gönderilen task mesajları ilk giren ilk çıkar mantığıyla değerlendirilir.
- “Queue” içerisinde gönderilen veriler başka bir ara değişkene kopyalanarak gönderilirler. Ancak gönderilen datanın büyük olması durumunda, kopyalama fazladan zaman harcayacağından, mesaj içerisinde global olarak tanımlanmış bir değişkenin referansı da gönderilebilir. Bu sayede kopyalama işlemi sadece gönderilen referansın boyutu kadar olacaktır. Bu özellik E1000 projesindeki kod geliştirme işlemlerinde sıklıkla kullanılmıştır.
- “Queue” yapılarıyla mesaj gönderme/alma işlemleri, sıralayıcıya task geçişi için neden teşkil etmektedir. Eğer FIFO’da bekleyen bir mesaj var ise sıralayıcı ilgili taskı çağırarak FIFO’yu boşaltmaya çalışacaktır.
- “Queue” içinde gönderilen mesaj sadece bir bitlik değer içeriyorsa semafor gibi kullanılabilir. Bitin değerini değiştirebilen task semafora sahiptir ve o bu özelliği bırakana kadar kullanma hakkı o taska aittir.

“Queue” yapısı tanımlandıktan ve özellikleri belirtildikten sonra SafeRTOS içinde tanımlanmış kesme rutinlerine geçilebilir. SafeRTOS kesme rutini tanımlama işlemini engellenmemektedir, ancak tavsiye edilen yapı şu şekildedir. Kesme rutini içerisinde, kesme nereden geldiyse onun işlemi yapılır(örneğin UART mesajı alınır veya hangi pinde değişiklik olduğu belirlenir) ve kesme bayrağı temizlenir. Ancak bu veriyle herhangi bir işlem yapılmadan *xQueueSendFromISR()* fonksiyonuyla bu veriyi işleyecek taska mesaj gönderilir. Gerekli işlemin task içerisinde yapılması sağlanır. Bu sayede, işletim sisteminde çalışan diğer işlerin önceliklerine göre, sıralandırma daha güvenle yapılabilir. Eğer kesmeyle alınan verinin acilen işlenmesi gerekiyorsa önceliği yüksek taska gönderilerek derhal işlenmesi sağlanır. İşletim sisteminin getirdiği nimetlerden olan önceliklendirme bozulmadan güvenli çalışma sağlanmış olur.

4.6.2 Yazılım tasarımı

MKÜ’de bulunan kartlarda farklı mikroşlemci mimarilerinin bulunduğu daha önceden belirtilmişti. Farklı mimariye sahip mikroşlemcilerden sadece ARM tabanlı mikrokontrolörlere ait yazılımların tasarım sürecine bu bölümde değinilecektir. ARM tabanlı mikrokontrolörün bulunduğu kartlar (AGK, SGK, SCK ve HK) burada “Çevresel Birimler” olarak isimlendirilip, ayrıntılar bu başlık etrafında toplanacaktır.

4.6.2.1 Çevresel birimlerin yazılım tasarımı

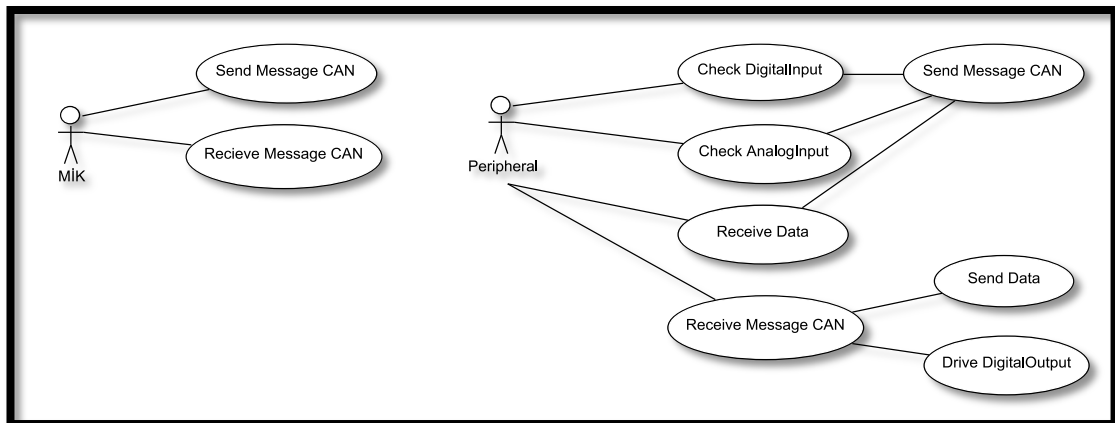
Bu bölümde çevresel birimlerin yazılım yapısından ve oluşturulmuş UML sınıf diyagramlarından bahsedilecektir.

Çevresel birimlerden TI firmasının ARM Cortex-M3 çekirdekli Stellaris LM3S9B96 işlemcisi ile birlikte SafeRTOS işletim sistemi kullanılacaktır. SafeRTOS işletim sistemi aşağıda verilen sistem bileşenlerini sunmaktadır.

- Görevler (Tasks)
- Task fonksiyonları
- Task durumları
- Task Öncelikleri
- Task zaman programları (Task Scheduler)

Aşağıda, yukarıda verilen sistem bileşenleri kullanılarak hazırlanmış olan çevresel birimlerin yazılım yapılarından bahsedilmiştir. Bu yapı UML sınıf diyagramları şeklinde tasarlanmıştır ve cihaz sürücüsü (device driver) düzeyinde tasarım yapılmıştır. Cihaz sürücülerinin yazılımında ise ilgili işlemcinin cihaz sürücü yazılımı olan StellarisWare kullanılacaktır. Bu bölümde çevresel birimlerde kullanılacak olan üst düzey yazılım açıklanmıştır.

Çevresel birim kartlarının görev ve sorumluluklarını yerine getirmesi amacı ile geliştirilecek olan yazılımın Şekil 4-17’de use-case diyagramları ile basitçe gösterilmiştir.



Şekil 4-17 : Çevresel birimler Use-Case diyagramı

4.6.2.2 Kullanılan birimler ve diyagramları

Bu bölümde çevresel birimlerde kullanılması planlanan bütün görevler ve özellikler sınıf diyagramları halinde verilecektir. Bu sınıf diyagramlarında verilen fonksiyonların gerçekleşmesinde TI firmasının ilgili işlemci için sunduğu hazır sürücüler barındıran Stellarisware yazılım paketi kullanılacaktır. Bu sebeple bu raporda genel yazılım işleyişinden bahsedilmiş, sürücü tasarımlarına girilmemiştir.

Şekil 4-17'deki UML sınıf diyagramından görüleceği üzere her bir iş tanımı ayrı bir sınıf olarak tanımlanmıştır ve kullanıcı düzeyinde bu iş tanımlarının fonksiyonları ve bu fonksiyonlar ile ilgili değişkenler verilmiştir.

MKÜ'nün çevresel birimlerinde ve CKÜ'nün bazı kartlarında aynı işlemci kullanılır. Burada kullanılacak yazılım yapısı temelde MKÜ çevresel birimlerinin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik tasarlanmasına rağmen CKÜ'nün ihtiyaçlarını da karşılar.

Çevresel birimlerde kullanılacak olan yazılım her bir kart için ayrı ayrı geliştirilmesi yerine hepsi için ortak yazılım geliştirilmesi ve gerekli sürücülerin makrolar ile aktif edilmesi düşünülmüştür. Bu sebeple bütün tasklar arasındaki işlemler ve bu taskların tetiklenme kaynakları bu bölümde açıklanacaktır.

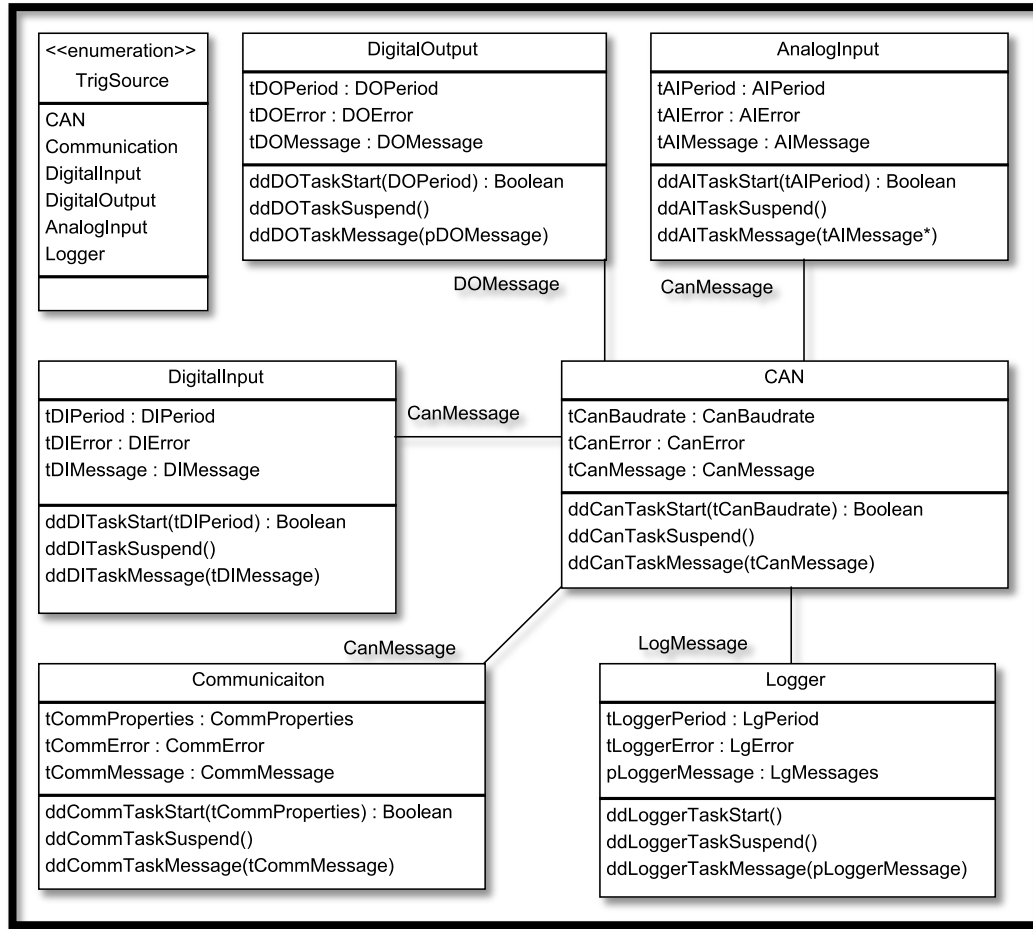
Aşağıda Şekil 4-18'de çevresel birimlerin yapması planlanan iş tanımlarına ve bu tanımlar için kurulacak olan tasklara değinilmiştir.

4.6.2.2.1.Güvenliği artırılmış CANBus iş tanımı

CKÜ ve MKÜ'deki elektronik kartlar çeşitli görevleri gerçekleştirebilmek için birbirleri ile haberleşmektedir. Projede kartların birbirleri ile haberleşmesi Omurga üzerinden yapılır. Bu bölümde omurga üzerinden kartların haberleşmesi için kurulan protokol, standart OSI (Open System Inteconnection) modeli üzerinden kurgulanmıştır.

OSI modeli ISO tarafından geliştirilmiş ve iki bilgisayar arasındaki iletişimin nasıl olacağını tanımlamaktadır. ISO/IEC 7498-1:1994 standardında model detaylı olarak anlatılmıştır.

OSI modeli, bilgisayarlar arasındaki haberleşmeyi 7 katmana ayırır ve bu katmanlar üzerinden bilgisayar haberleşmesini tanımlar. Bu katmanlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 4-18 : Çevresel birimlerin sınıf diyagramı.

1. Fiziksel Katman: Fiziksel veri aktarımının sağlandığı katmandır. Verinin içeriği önemli değildir. Verinin gönderilmesi için kullanılan konektörler ve kablolardan oluşur.
2. Veri Katmanı : Ağ paketlerinin çerçevelerinin tanımlandığı katmandır. Ağ katmanından alınana veri paketlerine hata kontrol bitleri, ID bitleri vb. bitler eklenerek çerçevelerin kurulduğu katmandır.
3. Ağ Katmanı: Ağ adreslerinin fiziksel adreslere çevrildiği katmandır. Çerçevelerin veri blokları haline getirildiği katmandır.
4. Taşıma Katmanı: Verinin bölümlere ayrılarak alıcıya gitmesinin kontrol edildiği katmandır. Üst katmandaki verilerin alt katmandaki veri paketlerine çevrilir kontrol edilir. Bu katmanda akış kontrolü yapılır.
5. Oturum Katmanı: Bağlantının kurulduğu ve yönetildiği katmandır. İki bilgisayar arasındaki haberleşmenin kurulduğu ve bunun organize edildiği katmandır.

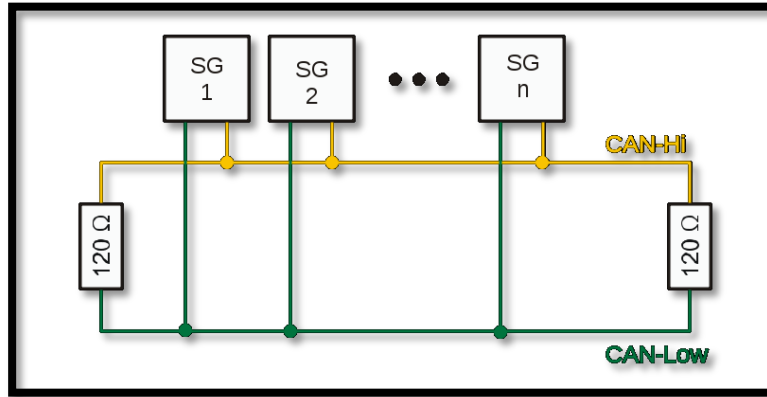
6. Sunum Katmanı: Ver formatlama ve şifreleme katmanıdır. Verilerin uygulama katmanına gönderilmeden önce paketlerden ayrılıp çözüldüğü katmandır. Bu katmanda sıkıştırma şifreleme işlemleri yapılır.
7. Uygulama Katmanı: Kullanıcı uygulamalarının koştığı katmandır

Projede kullanılan haberleşme protokolü OSI modeli üzerinden açıklanacaktır.

Omurga haberleşmesinde Can protokolünün kullanılmasına karar verilmiştir. Can fiziksel katmanı ISO11898-1 standardında geniş olarak anlatılmıştır.

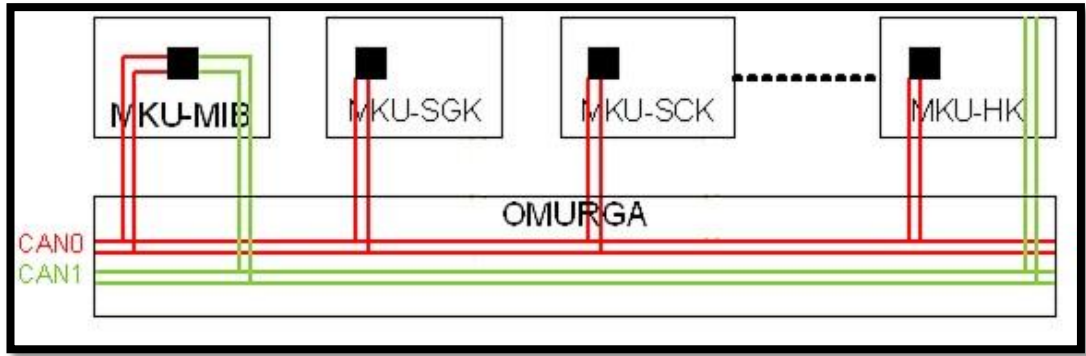
CANBus'ta işaretler diferansiyel olarak taşınırlar. Her bir cihaz CAN-High ve CAN-Low hatlarına paralel olarak bağlanarak veri yoluna dâhil olurlar. Can hattının uç noktaları 120ohmluk dirençlerle sonlandırılır.

Şekil 4-19'da yukarıda bahsedilen yapı gösterilmektedir. CAN hattının başlangıcında ve sonunda kullanılan dirençler hat empedansını 60ohma sabitlemektedir. Ancak bu empedans değeri hat uzunluklarına, hattın kendi empedansına ve gürültü seviyelerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Hat empedansını sağlayabilmek için devrelerin üzerlerine(MKÜ'de) veya omurga üzerine(CKÜ) hat dirençleri konmuştur.



Şekil 4-19 : CAN fiziksel katmanı gösterilimi.

MKÜ ile yardımcı kartlar arasındaki omurga üzerinden yapılan CAN bağlantısı Şekil 4-20'de gösterilmiştir. Kullanılan her devrede en az 2 adet CAN portu bulunmasına karşılık, yardımcı kartlardan HK hariç tamamı tek port üzerinden MİK'e bağlanmaktadır. HK'dan ise 2 adet CAN portu çıkmaktadır.

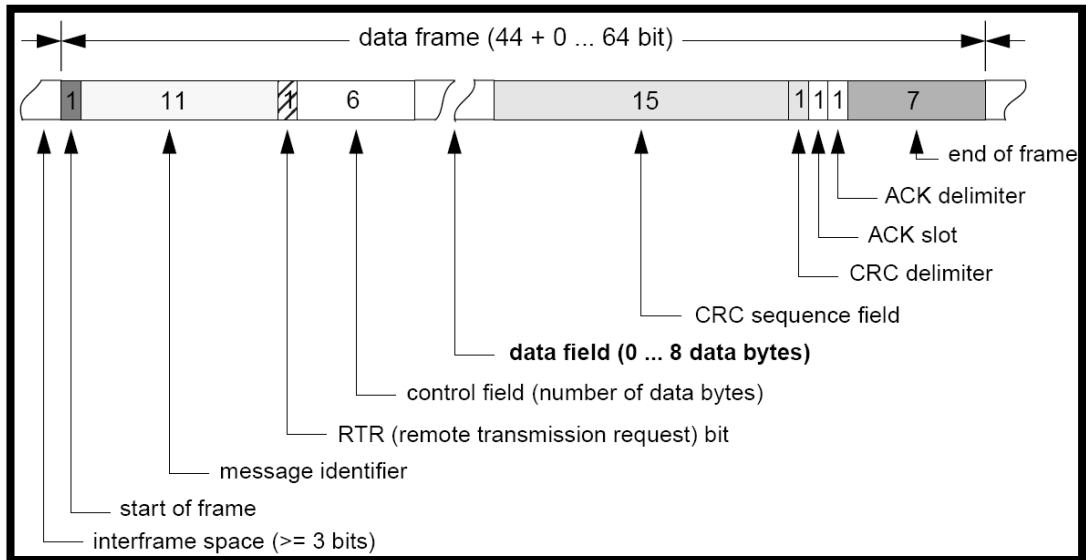


Şekil 4-20 : MKÜ’de bulunan kartların MİK ile CAN bağlantı şeması

CANBus haberleşme protokolünde bir veri çerçevesi Şekil 4-21’de tanımlanır. CANBus’ın bir paketinin boyutu içeriği ile birlikte verilmiştir. Bu paket büyüklüğü kullanılarak 8Byte veri taşıyan bir paketin 1Mbit/s hızına sahip bir veri yolu için ne kadar süre aldığını Çizelge 4-1’deki hesaplamak mümkündür.

Çizelge 4-1 : CAN mesaj paketi uzunluğu

CAN Paketi	İki paket arası	Stuff Bits	Toplam
108 bit	3 bit	24 bit	135 bit



Şekil 4-21 : Bir CANBus mesaj çerçevesinin dizilimi.

Çizelge 4-1'e göre bir paketin sunucudan istemciye ulaşması 1Mbit/s hıza sahip bir veri yolunda 135us süre almaktadır. 1Mbit/s hıza sahip bir veri yolunda 8 mesaj 1.08ms süresinde iletilmektedir. Buradan yaklaşık olarak 1.25ms'de 8byte veriye sahip 8 mesaj iletildiği sonucuna ulaşılabilir.

Standart CANBus paketinde her bir paketin hangi istemciden geldiğini belirlenmek amacı ile ID adı verilen 11bitlik alan kullanılır. Bu alan MKÜ'de kullanılacak olan her bir karta takıldıkları porta göre statik olarak atanmıştır.

Projede kullanılacak olan hem MKÜ hem de CKÜ omurgasında Geographical Adressing (GA) adı verilen pinler bulunmaktadır. Bu pinler standart CompactPCI omurgasında 5 bit olarak tanımlanmasına rağmen MKÜ'de ve CKÜ'de 4 bit olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Her bir kartın CAN paketi ID'si belirlenirken bu adresler de göz önüne alınmıştır. Bu sayede kartların hangi portlara takıldığından bağımsız olarak her birisine ayrı ayrı statik ID verilebilecektir. GA pinleri kullanılarak tanımlanmış CAN ID şeması Çizelge 4-2'te verilmiştir.

Çizelge 4-2 : CANBus'taki cihazlar için ID atamasının yapılması.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
GA				Device ID						

CAN protokolünde cihazlara değil mesajlara kimlik numarası verilmektedir. AGK ve HK kartlarının birden fazla mesaj tipi bulunduğu için, tanımlanmış her mesaj tipine bir ID atamak gerekmiştir.

Atanan kart ID'lerini daha iyi anlayabilmek için Tablo 4-3'e bakılabilir. Burada slotlarına göre sırayla yerleştirilmiş kartlar gözükmemektedir. İlk slotta her zaman MİK kartı bulunmaktadır. Diğer kartların yerleri değişik takılabilmektedir.

Çizelge 4-3 : Örnek CAN ID dağılımı.

MİK	SGK-1	SGK-2	SCK-1	SCK-2	AGK-1	AGK-2	HK
0x000	0x082	0x102	0x183	0x203	0x284	0x304	0x388

CANBus protokolünde CANID'ye göre bir hakemlik sistemi bulunmaktadır. Bütün istemciler veri yoluna bağlı olduğu için bütün CAN kontrolcülerini veri katmanında CANID'ye göre hakemlik yaparlar. Bu hakemlikte esas, CANID'si düşük olan

istemcinin veri yoluna katılma hakkı kazanmasıdır. Bu sebeple en düşük ID'li istemci en yüksek veri yoluna çıkma önceliğine sahiptir.

Çizelge 4-4 incelendiğinde görüleceği üzere MİK'e en yakın slota takılan kart en yüksek önceliğe sahiptir. Ayrıca aynı şekilde, aynı Device ID'ye sahip kartlardan GA'sı en düşük olan kart veri yoluna katılma önceliğine sahip olacaktır.

Uygulama katmanına gelindiğinde, bu katmanda kartlar arasında yapılacak olan bütün haberleşme tipleri açıklanacaktır. Kartlar arasındaki haberleşme için tasarlanan uygulama katmanı hazırlanırken çalışacak olan protokolün güvenli, eşzamanlı, ve deterministik olmasına özen gösterilmiştir.

Kartlar arasında 2 çeşit mesaj yapısı tanımlanmıştır.

1. İşlemci kartlarından yardımcı kartlara ya da yardımcı kartlardan işlemci kartlarına gönderilecek periyodik veriler.
2. İşlemci kartlarından diğer kartlara iletilecek olan fonksiyonel mesajlar.

Periyodik veri transferi açıklanmadan önce belirtilmesi gereken birkaç önemli konu bulunmaktadır.

- Uygulama katmanı tasarlanırken aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmuştur.
- Gönderilecek olan verilerin gecikmesi tam olarak tanımlanabilmelidir.
- Gecikme süreleri olabildiğinde aşağıya çekilmelidir.
- Veri yolunun doğruluğu önceden hesaplanabilmeli (deterministik) ve güvenli limitler içinde tutulabilmelidir (%50).

Gönderilecek olan verilerin gecikmesinin tam olarak saptanması, veriler arasındaki gecikmenin sabit olmasını sağlamaktadır. Bu sayede yardımcı kartlardan alınacak verilerle tasarlanmış olan kumanda ve kontrol algoritmalarında veriler arasındaki gecikmeden kaynaklanan bozucular olabildiğince azaltılır (Isochronous Communication).

Yardımcı kartlardan gelen verilerin hem kumanda hem de kontrol işlerini yapabilecek periyotlarla ulaştırılması gerekmektedir. Tren dinamikleri göz önüne alındığında kumanda işleri için 200ms'lik periyot yeterli olsa da kontrol için 10ms'lere kadar düşülmesi gerekmektedir.

CAN veri yolundan yapılan haberleşmelerde, veri güvenliği için veri yolu yoğunluğunun %80 yoğunluğu hiçbir zaman geçmemesi gerekmektedir. %50 yoğunluk ile %80 arası ise veri kaybı yaşanabilecek sınırlar içerisinde. Bu sebeple güvenlik gereği veri yolu yoğunluğunun da uygulama katmanında hazırlanan protokolda göz önüne alınması gerekmektedir.

Bütün öncelikler göz önüne alındığında bu önceliklere sahip olan farklı CAN protokolleri bulunmaktadır (SafeCANOpen, CANAerospace, MilCAN vb.).

İlgili protokoller incelendiğinde ve mevcut donanımlar göz önüne alındığında, açıklanan bütün gereklilikleri CANAerospace protokolünün “Time Stamp” özelliği ile sağlanabileceğine karar verilmiştir. Bu sebeple omurgada kullanılacak olan “Periyodik Veri Transferi” protokolünde CANAerospace protokolünün bu özelliği kullanılmıştır.

Yukarıda 1Mbit/s veri hızında 8 Byte’lık 8 paketin 1.25ms’de ulaştığı hesaplanmıştı. Mevcut omurgada bir CAN hattına en fazla 8 cihaz takılması kararlaştırılmıştır. Bu sebeple oluşturulan periyodik veri transferi protokolü en kötü durum olarak omurgaya MİK dâhil 8 kart takılması planlanarak oluşturulmuştur.

Oluşturulan protokolün gelişim aşamaları açıklanacaktır. Ancak öncelikle MİK’ten yardımcı kartlara gönderilecek olan bir senkronizasyon mesajı tanımlamak gerekmektedir. Senkronizasyon işareti 0x001 CAN ID’sine sahip, veri bulundurmayan ve sadece MİK’ten gönderilen bir mesajdır.

Bu protokolda, yardımcı kartlardan beklenen, senkronizasyon işaretini aldıktan sonra takıldıkları slotlara göre sırayla veri gönderilmeleridir. Kısaca senkronizasyon işareti Broadcast olarak veri yoluna gönderildikten sonra ilk olarak 1 numaralı slotta bulunan kart veri yolunu kullanmıştır. 2 numaralı slotta bulunan kart ise önceden belirlenmiş ‘t’ zaman sonra veri yoluna veri basacaktır. Aynı şekilde 3 numaralı slotta bulunan kart ise önceden belirlenmiş ‘2t’ zaman sonra veri yoluna veri basacaktır. Bu şekilde tüm kartlar sırayla veri yoluna verilerini göndereceklerdir ve bu veriler merkez tarafından işlenecektir.

Yardımcı kartlar, anlık verileri değil, senkron işaretini aldıkları anda okudukları verileri gönderecektir. Bu sayede tüm veriler merkez tarafından belirlenmiş bir ölçek zaman sonunda merkeze ulaştırılacaktır. Kısaca bu sayede, yardımcı kartların veri okuma senkron probleminin ihmal edilebilir boyutlara indirilmesi planlanmıştır.

Çizelge 4-4 : MKÜ'deki senkronizasyon mesajı ve yardımcı kartların cevapları

Byte	MİK	SCK	SCK	SGK	SGK	AGK	AGK(2)	HK
1	SYNC	D1(1)	D1(1)	D1(1)	D1(1)	D1(1)	D1(1)	D1(1)
2	SYNC	D1(2)	D1(2)	D1(2)	D1(2)	D1(2)	D1(2)	D1(2)
3	SYNC	D1(3)	D1(3)	D1(3)	D1(3)	D1(3)	D1(3)	D1(3)
4	SYNC	D1(4)	D1(4)	D1(4)	D1(4)	D1(4)	D1(4)	D1(4)
5	SYNC	D1(5)	D1(5)	D1(5)	D1(5)	D1(5)	D1(5)	D1(5)
6	SYNC	D1(6)	D1(6)	D1(6)	D1(6)	D1(6)	D1(6)	D1(6)
7	SYNC	D1(7)	D1(7)	D1(7)	D1(7)	D1(7)	D1(7)	D1(7)
8	SYNC	D1(8)	D1(8)	D1(8)	D1(8)	D1(8)	D1(8)	D1(8)
Zaman		1.25ms	1.25ms	2.5ms	3.75ms	5ms	6.25ms	7.5ms

Çizelge 4-4'te senkronizasyon mesajından sonra, kartların bulunduğu slota göre cevap verme sekansı görülmektedir. Buna göre 10ms'de bir senkronizasyon mesajı MİK tarafından gönderilir.

Fonksiyonel mesajlar, MİK tarafından yardımcı kartlara gönderilecek olan fonksiyonel mesajların tanımlandığı protokoldür. Hâlihazırda veri yolu bir önceki tanımlanan veriler sebebi ile yüzde elli civarında doludur. Bu sebeple fonksiyonel mesajları, periyodik veri transferi paketlerinin arasında göndermek, veri yolunda hatalara sebep verebilir. Bunu önlemek amacı ile periyodik veri transferinin bir senkron zamanında, yardımcı kartlara gönderilecek olan verilerin güvenli bir şekilde ulaştığından emin olmak gerekmektedir.

Veri güvenliğinin yüksek olduğu fonksiyonel mesajlarda CANOpen protokolünün yapısı kullanılacaktır (Bkz: EN50325-5). Bu raporun devamında “fonksiyonel mesajlar” ‘da kullanılacak olan protokol ele alınacaktır.

Öncelikle fonksiyonel mesajların sadece merkez tarafından gönderileceğinin hatırlamak gerekmektedir. Sisteme bağlı diğer elektronik kartlar sadece fonksiyonel mesaj alma özelliğine sahip olacak biçimde ayarlanmıştır. Bu sebeple fonksiyonel mesajların yapısı sadece ilk slota takılacak olan merkezi birim tarafından gönderileceği düşünülerek planlanmıştır.

Fonksiyonel mesajlar yapı olarak iki parçaya ayrılabilir. Bunlar, veri yolundaki bütün alıcılara gönderilen yayın şeklindeki mesajlar ve sadece belli bir alıcıya gönderilen mesajlardır. Bu sebeple fonksiyonel mesajlarda yukarda bahsedilen ID yapısına uygun şekilde Çizelge 4-5'teki yapılandırma kullanılmıştır.

Çizelge 4-5 : Fonksiyonel mesajlar için CAN ID'leri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0x0				Node ID				Functional Message		
GA				Device ID						

Çizelge 4-6'da fonksiyonel mesaj tipleri gösterilmektedir. CAN ID'nin son 7bit'lik kısmı Device ID olarak ayrılmıştır. Bu kısım ise yayın şeklindeki mesajları ve özel mesajları ayırmak amacıyla ile fonksiyonel mesaj yapısında iki parçaya ayrılmıştır. 7bit'lik bölümün ilk 4 biti alıcının bulunduğu slotun ID'si olarak düzenlenecektir. Kısaca eğer merkez tarafından gönderilen mesaj yayın şeklinde ise CANID'nin ilk sekiz biti 0x00 olacaktır. Eğer ilk slotta bulunan karta gönderiliyorsa ilk 8 bit 0x01 değerini alacaktır.

CANID'lerin bu şekilde ayarlanması gönderilen fonksiyonel mesajların her zaman öncelikli olmasını sağlamaktadır. Bu sayede merkez istediği zaman mesajlar arasına yüksek öncelikli fonksiyonel mesaj ekleyebilmesi, istediği alıcıya mesaj gönderebilmesi sağlanmıştır. Fonksiyonel mesajların daha ID kısmında ayrılması ve fonksiyonel mesajların sadece Merkez tarafından gönderilebilmesi sayesinde mesajların karışması engellenmiştir.

Verilen ID yapısı incelendiğinde merkez tarafından 8 adet hem özel hem de yayın şeklinde mesaj gönderilebileceği anlaşılmaktadır. Bu mesajlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Çizelge 4-6 : Fonksiyonel mesaj tipleri.

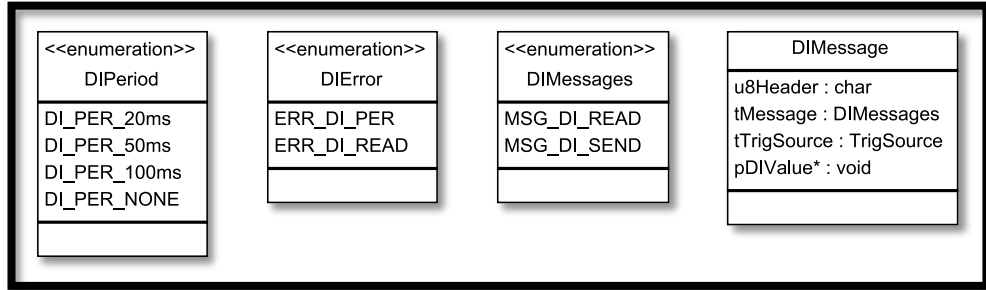
Mesaj
<i>Rezerve</i>
<i>Senkron</i>
<i>Software Reset</i>
<i>Mesaj Geribesleme</i>
<i>Fonksiyonel Veri</i>
<i>Zaman</i>
<i>Rezerve</i>
<i>Rezerve</i>

Fonksiyonel mesajlar sadece merkez tarafından gönderilen güvenlik önceliği yüksek mesajlardır. Bu sebeple bu mesajların belirli bir zaman aralığında alıcılar tarafından

alındığından merkezin emin olması gerekmektedir. Ayrıca bu mesajların veri içermesi durumunda verinin doğruluğu hem alıcı hem de gönderici tarafından teyit edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple her bir fonksiyonel mesaj belli zaman aralıkları ile gönderilen iki pakette oluşmaktadır. Alıcılar iki tane ardışıl ve CANID'si eş mesaj aldıktan sonra bu mesajları devreye alacaklardır. Bu paketlerin veri içermesi durumunda ilk mesaj verinin kendisini diğer mesaj ise verinin bit tersini (bitwise inverse) içermektedir. Muhatap olunan alıcı iki paket halinde gönderilen verilerin doğruluğunu kontrol eder. Gönderilen verilerin düzgün şekilde alınmadığı alıcı tarafından anlaşıldığında geri besleme ID'sine sahip bir hata mesajı gönderir.

4.6.2.2.2.Sayısal giriş iş tanımı

Sayısal giriş özelliği sayısal giriş kartında bulunmaktadır. Sayısal giriş kartı da ön panelden aldığı verileri belirli periyotlarla MİK'e göndermekle sorumludur. Bu iş bir zaman tetikleyicisi ile yapılmıştır. Bu işin yapılmasını sağlayacak olan zaman tetikleyicisi "DigitalInput" taskı kurulurken kullanıcı tarafından belirlenen zaman periyodunda(10ms.) çalışır. Bu zaman periyodunda "DigitalInput" taskı giriş verilerini okur ve MİK'e gönderilmesi için CAN taskını tetikler.



Şekil 4-22 : Sayısal giriş sınıf diyagramı.

Şekil 4-22'de "DigitalInput" taskı için oluşturulmuş son kullanıcı değişkenleri verilmiştir. Şekil x-x'de verilen "DigitalInput" sınıfı incelendiğinde ilgili cihaz sürücü fonksiyonları da görülebilir. Tasarımcı, *DITaskInit()* fonksiyonu ile ilgili taskın kurulumunu ve zamana bağlı olarak tetiklendiğinde ilgili taskın çalışmasını sağlar.

4.6.2.2.3.Analog giriş iş tanımı

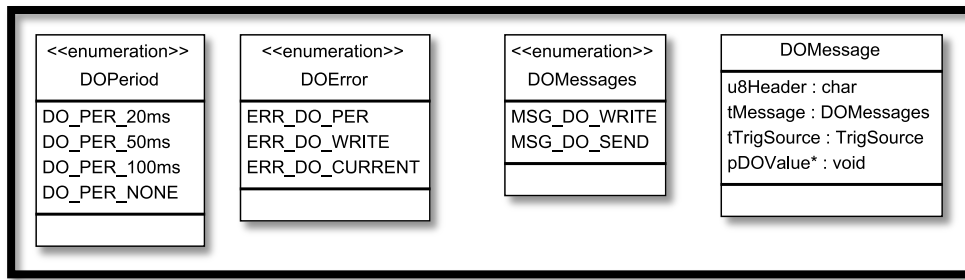
Analog giriş özelliği, analog giriş kartında bulunmaktadır. Analog giriş kartı ön panelden aldığı verileri belirli periyodlarla MİK'e göndermekle sorumludur. Bu iş bir

zaman tetikleyicisi ile yapılmıştır. Bu işin yapılmasını sağlayacak olan zaman tetikleyicisi, “AnalogInput” taskı kurulurken, kullanıcı tarafından belirlenen zaman periyodunda(10ms.) çalışır. Bu zaman periyodunda “AnalogInput” taskı giriş verilerini okur ve MİK’e gönderilmesi için CAN taskını tetikler.

4.6.2.2.4.Sayısal çıkış iş tanımı

Sayısal çıkış özelliği sayısal çıkış kartlarında bulunmaktadır. SCK, CAN üzerinden aldığı verileri ön panelden dış birimlere iletmekle sorumludur. Bu iş bir olay tetikleyicisi ile yapılmıştır. Bu işin yapılmasını sağlayacak olan olay tetikleyicisi “SafeCANProtocol” taskı tarafından gönderilir. Bu tetikleme ile “DigitalOutput” taskı CAN taskından aldığı verileri ön panelden harici birimlere iletir.

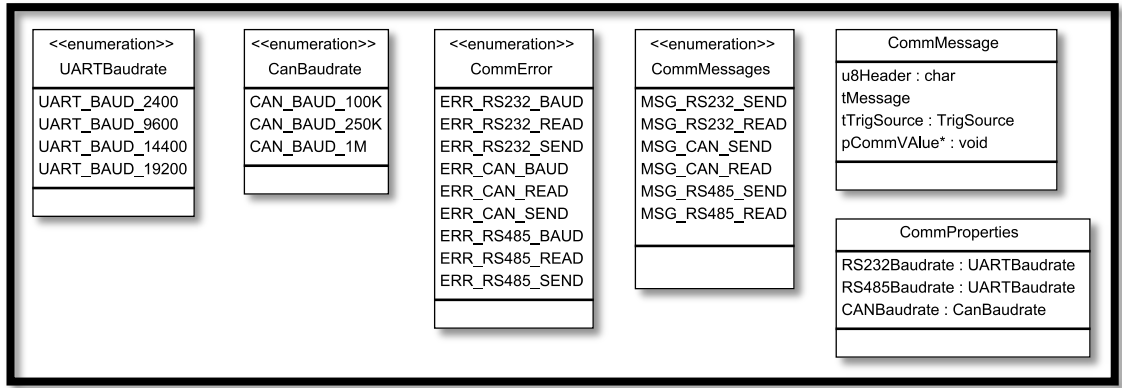
Şekil 4-23’de “DigitalOutput” taskı için oluşturulmuş son kullanıcı değişkenleri verilmiştir. “DigitalOutput” sınıfı incelendiğinde ilgili cihaz sürücü fonksiyonları da görülebilir. Tasarımcı *DOTaskInt()* fonksiyonu ile ilgili taskın kurulumunu sağlar.



Şekil 4-23 : Sayısal çıkış sınıf diyagramı

4.6.2.2.5.Haberleşme iş tanımı

Haberleşme kartı CAN üzerinden aldığı verileri ön panelden dış birimlere iletmekle sorumludur. Bu iş bir olay tetikleyicisi ile yapılmıştır. Bu işin yapılmasını sağlayacak olan olay tetikleyicisi CAN Taskı tarafından gönderilir. Bu tetikleme ile “SafeCANProtocol” taskından aldığı verileri ön panelde bulunan RS-232, RS-485 ve CAN çıkışlarına iletir. Bu task aynı zamanda harici birimlerden gelen verileri MİK’e iletmek için, veri geldiğinde “SafeCANProtocol” taskını tetikler.



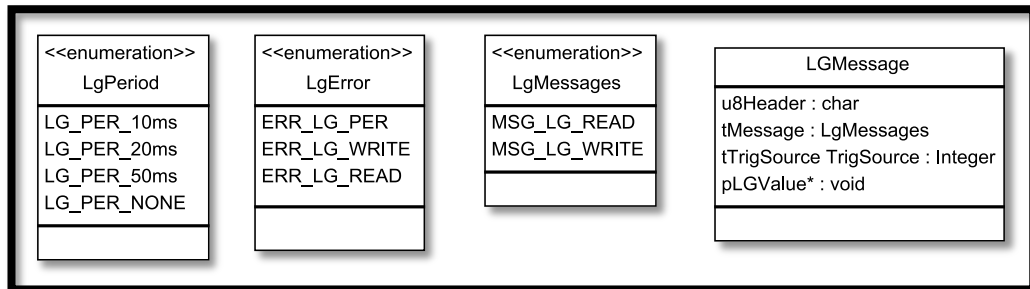
Şekil 4-24 : Haberleşme sınıf diyagramı

Şekil 4-24’te “SafeCANProtocol” taskı için oluşturulmuş son kullanıcı değişkenleri verilmiştir. Haberleşme sınıfı incelendiğinde ilgili cihaz sürücü fonksiyonları da görülebilir. Tasarımcı *SafeCANProtocolInit()* fonksiyonu ile ilgili taskın kurulumunu sağlar. Bu task sadece olaya bağlı tetiklendiği için taskın kurulumu için yazılacak olan cihaz sürücüsünde ayrıca bir işlem periyodu girişi bulunmamaktadır.

4.6.2.2.6. Kayıt tutma iş tanımı

Kayıt tutma iş tanımı normalde PGU kartında bulunan Stellaris işlemciye aittir. Ancak yazılımda esneklik sağlanması açısından çevresel birimlerin yazılımlarına da eklenmiştir. Bu iş hem olay hem de zaman tetikleyicisi ile yapılmıştır. Bu işin yapılmasını sağlayacak olan olay tetikleyicisi çevresel birimlerden gelen hata mesajlarıdır.

Kayıt tutma işi sürekli olarak, belirli periyotlarla yapılmasına rağmen, çevresel birimlerden gelen bir hata mesajı ile işlemci tarafından tetiklenir ve o ana kadar kaydettiği belli bir zamana kadar olan verileri ve tetik geldikten sonra geçen belli bir sürede kaydettiği verileri kalıcı kayıt belleğine aktarır.



Şekil 4-25 : Günlükleme sınıf diyagramı

Şekil 4-25’de “fs_task” için oluşturulmuş son kullanıcı değişkenleri verilmiştir. Günlükleme sınıfı incelendiğinde ilgili cihaz sürücü fonksiyonları da görülebilir. Tasarımcı *FsTaskInit()* fonksiyonu ile ilgili kayıt tutma taskını kurar. Bu task hem olaya hem zamana bağlı tetiklendiği için taskın kurulumu için yazılacak olan cihaz sürücüsünde ayrıca bir işlem periyodu girişi bulunmaktadır.

Bu iş tanımının diğer önemli özelliği ise kayıt altına aldığı verileri, ham olarak yazmaktansa herhangi bir bilgisayarda rahatlıkla okuyabilmek amacıyla, FAT32 dosyalama sistemiyle tutmaktadır. Bu sayede kayıtlar bilgisayar ortamına aktarıldığında basit programlar yardımıyla kayıtlar görülebilmektedir. Ayrıca tarih ve zaman kayıtlarının ve klasör ağacının da bulunmasıyla verileri ayıklamak kolaylaşmıştır. Sadece tarihe bağlı değil aynı zamanda değişen farklı durumlar için (makine değişimi vb.) klasörleme yapılabilir.

5. E1000 TİP ELEKTRİKLİ LOKOMOTİFTE CKÜ HABERLEŞME VE GÜNLÜKLEME YAZILIMLARI

CKÜ sistemi, bu tezin diğer kısımlarında da anlatıldığı gibi, cer motoru ve cer motoruyla doğrudan ilişkili sistemlerin tamamına hükmeden bir yapıdır. Bu sistemde, MKÜ’de olduğu gibi, 3U boyutunda Eurocard standardında kartlar kullanıldığı gibi, bundan farklı olarak 6U ve 9U boyutunda kartlar da kullanılmıştır. Kartların tamamının aynı boyutlarda olmaması, CKÜ kabinin özel tasarlanmış, hibrit yapıda bir omurgaya sahip olmasını gerektirmiştir. Kartların görevleri, sayıları ve yapıları MKÜ’deki kartlarla benzerlik göstermekle birlikte MKÜ’de hiç olmayan sistemler ve arayüzler CKÜ sisteminde bulunmaktadır. CKÜ sistemindeki bu farklı özellikler tez kapsamında anlatılmayacaktır.

CKÜ sisteminin görevleri, yapısı ve yazılımı bu tez kapsamında ayrıntılı olarak işlenmeyecek olup bu bölümde sadece tanıtım yapılacaktır. Bu bölümde CKÜ kartlarında kullanılan ARM tabanlı mikrokontrolörün(Texas Instrumens firmasının Stellaris işlemci ailesinden LM3S9B96) yazılım çalışmalarına yer verilecektir. Ancak sistemin anlaşılabilmesi açısından bu bölümde genel bir tanıtım yapılacaktır.

CKÜ sisteminin en temel görevlerinden birisi cer motorlarının tork/hız kontrolünü yapmak ve gerekli IGBT kapı işaretlerini üretmektir. İnvertör blokunun güç katında yüksek gerilim ve akım değerlerine sahip IGBT’ler kullanıldığından, bu cihazların uygun sürülebilmesi, hata durumunda korunması CKÜ’nün en kritik görevlerindendir. Ayrıca üretilen her hatalı sinyalin cer motorunda bir hataya veya istenmeyen durumlara sebep vereceği düşünülürse, CKÜ sisteminin hataya bağışıklık kazandırılmış olması gerekmektedir.

Projede kullanılan yüksek güçlü IGBT’lerin kapı sinyalleri, IGBT’ler üzerinde çok yüksek elektromanyetik gürültü bulunmasından dolayı, fiberoptik arayüzle verilmektedir. Yani IGBT’lerle elektriksel bir bağ bulunmamaktadır. IGBT’lere, gerekli fiberoptik işaretler, CKÜ sistemi tarafından üretilip verilmektedir.

CKÜ sistemi invertör blokunun sürülmesinin haricinde, konvertör blokunun sürülmesi işlemini yürütmektedir. Elektriksel sinyaller açısından bakıldığında invertör ve konvertör blokları benzer komponentlerden oluşmakla birlikte birbirinden ayrı kontrol yazılım bloklarıyla kontrol edilmektedir. Ancak üretilen sinyaller ve okunan geribesleme işaretleri birbirine benzerlik göstermektedir.

E1000 tip elektrikli lokomotifin Bo-Bo yapısında olduğu ve toplamda 4 adet motora sahip olduğu daha önceki bölümlerde anlatılmıştı. Ayrıca ana konvertörün motorların beslemesini oluşturduğundan bahsedilmişti. Tüm bu güç elektroniği sistemlerinin kontrolü, tek bir hibrit kabinde bulunan, CKÜ sistemi tarafından yürütülmektedir.

CKÜ sisteminin yaptığı işlerin matematiksel yoğunluğu ve hata durumlarında oluşabilecek zararların büyüklüğü düşünüldüğünde bu sistemde koruma tedbirlerinin alınmasının önemi anlaşılmaktadır. Bu amaçla, sistemde üretilen tüm kontrol işaretleri, FPGA yardımıyla denetlenmekte ve bir hata durumu algılandıysa, nanosaniyeler içinde, gerekli tedbirler FPGA tarafından alınmaktadır.

CKÜ kabininin merkezi kontrol kartının mimarisi, MKÜ sistemi içerisinde tanıtılan MİK kartının mimarisinin aynısıdır. Her iki kartta aynı mikroişlemci ve aynı işletim sistemi kullanılmaktadır. Yani CKÜ sisteminde bulunan diğer bir akıllı kart, burada bahsedilen karttır.

CKÜ'nün haberleşme altyapısı, MKÜ'de olduğu gibi CANBus iletişim protokolü üzerine temellendirilmiştir. Haberleşme işlemlerinin tamamı, MKÜ'de de aynısı kullanılan, ARM tabanlı mikrokontrolörle yapılmaktadır. Bu mikrokontrolörün, bu ve daha başka görevleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bu mikrokontrolör, haberleşmede görev almakla beraber, hızlı günlükleme olarak adlandırılan görevi de yerine getirmektedir.

İlerleyen altbaşlıklarda ARM işlemcisinin yürüttüğü haberleşme ve günlükleme görevlerinden bahsedilecektir.

5.1 Haberleşme Altyapıları

CKÜ sisteminde bulunan akıllı kartların tamamı birbirleriyle sürekli haberleşme halindedir. Çeşitli katmanlarda haberleşme altyapılarına sahip CKÜ sisteminin haberleşme altyapısı bu bölümde tanıtılacaktır.

Kartların birbirleriyle haberleşmede kullandığı en temel protokol, daha önce de ayrıntılarıyla anlatılmış olan, güvenliği artırılmış CANBus'tır. Kare dalga modülasyon(PWM) işaretlerinin üretildiği ve kontrol algoritmalarının işletildiği kart ile merkezi cer kontrol kartı olarak isimlendirilen kart CANBus üzerinden haberleşmektedir. Bu hat üzerinden, gerekli tork/hız referans bilgileri paylaşılmaktadır. Ayrıca donanımsal hata koruma kartının ve fiberoptik giriş/çıkış kartının haberleşmesi CANBus üzerinden yapılmaktadır.

CKÜ kabinin içerisinde MİK kartının bir benzerinin kullanıldığı belirtilmişti. MKÜ'de MİK ile sağlanan CompactPCI arayüzü, CKÜ kabininde kullanılmamıştır. Bununla beraber MKÜ'de kullanılan giriş/çıkış kartlarından AGK, SGK ve SCK kartları, MKÜ'de kullanıldığı gibi kullanılmıştır. Cer merkezi kontrol kartı, bu kartlarla, MKÜ'de olduğu gibi, CANBus üzerinden haberleşmektedir.

5.2 Günlükleme İşlemleri

Bölüm 4.2.1'de MKÜ'nün günlükleme görevleri ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştı. CKÜ günlükleri, makinist panelindeki ekranda gösterilmesi gerekmeyen, sadece motor kontrolünde uzman kişileri ve bakım personeli ilgilendirecek kayıtlardan ibarettir. Bu kayıtların içeriği hakkında bilgiler bu başlık altında ileride verilecektir.

MKÜ'deki sürekli günlüklemenin aksine, CKÜ'de döngüsel günlükleme yapılacaktır. Bilgiler, sürekli olarak, hafıza haritası önceden çıkarılmış belleklere kaydedilecek ancak belirlenen bellek dolduğunda tekrar aynı belleğin üzerine yazılarak kayıtlar tutulmaya devam edecektir.

Bu döngüsel kayıtlar kalıcı olmayan bellek gözlerinde tutulacaktır. Tanımlanmış hata durumlarından gerçekleştiğinde, bu kayıtlar uygun tarih ve zaman bilgileriyle beraber, dosyalama sistemi kullanılarak, SD-Kart veya kartların üzerlerinde bulunan kalıcı bir belleğe yazılacaktır.

5.2.1 Günlükleme işlemlerinde kaydedilecek veriler

CKÜ sisteminin en önemli görevi cer motorlarını uygun koşullarda sürmektir. Uygun olmayan koşulların oluşması hata durumu olarak algılanmalı ve gerekli tedbirler alınmalıdır. CKÜ'nün modern muadilleri, bölüm 3.3'te belirtildiği gibi, güçlü hata tanılama sistemlerine sahiptir. Günlükleme işleminde, tanımlanmış hata

durumlarından birisi gerçekleştiğinde, sistemin tamamından okunan veriler kalıcı belleklere yazılacaktır. İzlenecek bu bilgiler aşağıdaki gibidir.

- Katener gerilimi
- Katenerden çekilen akım
- Cer trafosunun sekonder tarafının gerilimi
- Cer trafosunun sekonder tarafından çekilen akım
- Konvertör çıkışının gerilimi
- Dört motora ait motor faz akımları
- Motorların torkları
- Motorların hızları
- Motorların sıcaklıkları
- Konvertör-invertör blokundaki IGBT sıcaklıkları
- Soğutma suyu sıcaklıkları
- Konvertör, invertör, motor ve diğer güç elektroniği koruma elemanlarının durumları(açık, kapalı gibi)
- CKÜ sistemine bağlı tüm kartların hata durumları
- CKÜ sistemine bağlı koruma elemanlarının hata durumları
- Hata algılandığı anda, CKÜ sistemine gelmiş referans bilgileri (tork/hız)

Yukarıda sayılan bilgiler sürekli izlenmektedir. Bu izlenen veriler bellekte döngüsel olarak saklanmaktadır. Haberleşme ve günlükleme işlerini gerçekleştiren mikrokontrolörle, kontrol algoritmalarını işleten DSP(Digital Signal Processor) arasında paylaşılan yukarıdaki bilgiler hata durumunda kalıcı belleklere yazılacaktır. Sistemde SD-Kart olup olmadığı kontrol edilip, varsa SD-Kart'a yoksa dahili kalıcı belleğe yazılacaktır(Flash).

5.2.2 Günlükleme işlemine başlanacak durumlar

Akım ve gerilim sensörlerinden okunan verilerin limit değerlerini aşması durumu hata olarak algılanmaktadır. Ayrıca CKÜ'deki herhangi bir kartın hata bildirmesi veya karta ulaşılamaması hata durumlarından birisidir. Koruma elemanlarından herhangi birine emir verilip uygulanamadığı görülmesi durumu yine bir hata durumudur.

MKÜ ve CKÜ sistemi açılışta bir dizi başlangıç testlerine tabi tutulurlar. Bu testlerde bellek erişimleri, yardımcı kartların sorguları olacaktır. Ayrıca yardımcı konvertörden alınan batarya geriliminin fazla düşük ya da yüksek olduğu bilgisi diğer bir hata durumudur.

Kısaca özetlemek gerekirse, çalışma ve açılış sekansının herhangi bir noktasında gerekli işlem yapılamamışsa bu bir hata durumudur. Hata durumunun kaynağına göre ilgili koruma önlemi alınır ve CKÜ sistemi içerisinde günlüklenir.

5.3 Kullanılan Arayüzler ve Özellikleri

CKÜ kartlarında kullanılan haberleşme işlemleri için aşağıdaki arayüzler kullanıma alınmıştır.

- CANBus
- RS232
- Ethernet
- USB(Client)
- RS485

Yukarıdaki protokoller hakkında açıklamalar tezin önceki bölümlerinde verilmişti. Bu protokollerin hepsi CKÜ ürünün son halinde kullanılıp kullanılmayacağı kesin olarak karar verilmemekle beraber, CANBus, RS232 ve Ethernet'in belli görevleri üstlenecektir. CANBus elektronik donanımlar içi temel haberleşme protokolü olmakla beraber bilgisayar bağlantısı için RS232 ve Ethernet altyapıları sisteme eklenmiştir. USB ve RS485 ile alakalı uygulama yazılımları henüz bitirilmemiş olup sadece sürücü yazılımları aşamasında bırakılmıştır. CKÜ, MKÜ ve sistemin geri kalanıyla alakalı bir haberleşme ve iletişim senaryosu oluşturulduğunda kullanıma alınacaktır. Bu karar tren üstü testlere geçildiğinde verilecektir.

Bunların haricinde, kartlarda bulunan donanıma göre çeşitli hafıza ve giriş/çıkış birimlerine ulaşabilmek amacıyla SPI ve I²C protokolleri kullanılmaktadır. Bunlar sadece kart içi kullanılmakta olup kartın dışına çıkarılmamıştır. Kullanılan bazı hafıza birimlerine ise mikroişlemcilerin ve mikrokontrolörlerin dâhili veri hatlarıyla ulaşılmaktadır. Mikroişlemcinin dâhili bellek birimine ulaşması gibi dışarıdan ek olarak takılan RAM ve Flash gibi hafıza elemanlarına ulaşım söz konusudur. Burada temel amaç yazılım geliştirme ve uygulama esnasında kullanılan işletim sistemlerinin

hafızayı taşımasını engellemektir. Eklenen hafıza birimlerinin atanmış görevleri bulunmaktadır. Bu görevler kontrol katsayılarının dışarıdan girilebilmesi, versiyon numaralarının tutulması ve hata takibi esnasında karşılaşılan hataların kaydedilmesidir.

CKÜ biriminde hata tanılamayı kolaylaştırabilmek için LED’li göstergeler yapılmıştır. Bu göstergeler sistemin durumunu gösterecektir. Ayrıca CKÜ ’de seçimli bir anahtar sayesinde sistemin birçok durumu için kartlardaki LED ’lerden hata takibi yapabilmeyi olanak tanımaktadır.

Yukarıda bahsedilen arayüzlerin tamamı LM3S9B96 mikrokontrolörü tarafından sağlanan özellikler olup diğer mikroişlemci ve cihazların sağladığı arayüzlere değinilmemiştir. LM3S9B96’nın çevresel birimlerinin ve haberleşme portlarının fazlalığı sayesinde birçok işlemi tek başına yerine getirebilmektedir. Ancak kontrol algoritmalarının işletilmesinde, hata durumlarının belirlenmesinde ve genel kontrol ve kumanda emirlerinin verilmesinde herhangi bir işlevi yoktur. Alt seviye bir eyleyici rolü ve haberleşme düzenleyici olarak kullanılmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi projesi için tasarlanmış Merkezi Kontrol Ünitesi anlatılmıştır. Bu elektronik cihazın görevlerinin ve yaptığı işlerin daha iyi anlaşılabilmesi için beraber çalıştığı diğer birimlerden ve trenin genel yapısından bahsedilmeye çalışılmıştır. Ayrıntısına girmeyen birçok konu bulunmakla beraber Merkezi Kontrol Ünitesinin tasarımı hakkında ayrıntı verilmiştir.

Bu yapılan çalışmayla, tez kapsamında tanıtılan modern tren kontrol ve izleme sistemlerine benzeyen, bir tren kontrol ve izleme ünitesi tasarlanmıştır. Projenin takvimi gereği yapılan elektronik ve mekanik donanım çalışmaları tamamlanmış, laboratuvar testleri aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada düzeltilmesi düşünülen ve yeniden tasarlanması gereken donanımlar çıkarılmaktadır. Laboratuvar testlerinin ardından tren üstü testlere geçilmesi öngörülmektedir. Bu testler kapsamında trenin genel performansı ve güvenlik önlemlerinin yeterliliğine bakılacaktır. Ancak bu tezin yazıldığı dönemde tren üstü testlerine henüz geçilmediğinden projenin bu kısmıyla alakalı ayrıntılara ve bilgilere yer verilememiştir.

Projenin en önemli çıktılarından olan, cer konvertörü, cer invertörü ve bunların kontrol ünitelerinin tasarımı, Türkiye’de daha önceden yapılmamış ve çok yüksek maliyetli cihazlar olması sebebiyle, ülkemizde raylı taşıtların gelişmesi anlamında büyük öneme sahiptir. Bu çalışmanın ardından yapılacak lokomotif, yerli katkı anlamında en yüksek katkıya sahip raylı taşıtımız olacaktır.

Bu projenin devamında, E1000 tip lokomotiften daha büyük güçlere ve hızlara sahip olabilecek, lokomotif, elektrikli dizi veya hızlı tren projelerinin yapılabilmesi için hem önemli bir referans hem de önemli bir başlangıç noktası oluşturacaktır. Ayrıca bu sistemler için harcanan paraların büyük kısmı yurdumuzda kalacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bruni, S. ve diğ.**(2007, Ağustos). Control and monitoring for railway vehicle dynamics. *International Journal of Vehicle Dynamics and Mobility*.
- [2] **Iyer, R. , Rosetti, D.J.**(1985, Aralık). Effect of System Workload on Operating System Reliability: A Study on IBM 3081, *IEEE Transactions on Software Engineering* Vol. SE-11 NO. 12.
- [3] **Okamoto, I.**(1998). How Bogies Work, *Japan Railway & Transport, Review* 18
- [4] **Amendola, A. ve diğ.**(1997). Experimental Evaluation of Computer-Based Railway Control Systems. *IEEE*.
- [5] **E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi Projesi, 1. Gelişme Raporu** (2011, Ağustos), *TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü*
- [6] **E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi Projesi, 2. Gelişme Raporu** (2012, Şubat), *TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü*
- [7] **E1000 Tip Elektrikli Lokomotif Geliştirilmesi Projesi, 3. Gelişme Raporu** (2012, Ağustos), *TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü*
- [8] **Railway Applications – Electronic equipment used on Rolling stock,** *European Standard EN 50155*, 2007
- [9] **Standard Designation of Axle Arrangement on Locomotives and Multiple-Unit Sets,** *UIC Publications, UIC 650 5th edition of 1.1.83*
- [10] **Texas Instruments LM3S9B96 Microcontroller Datasheet,** *Texas Instruments Inc. Production Data*, 2012
- [11] **Url-1 :** <<http://www.qnx.com/products/neutrino-rtos/index.html>>, alındığı tarih: 8.10.2012
- [12] **Url-2 :** <<http://en.wikipedia.org/wiki/QNX>>, alındığı tarih: 8.10.2012
- [13] **Url-3 :** <<http://www.highintegritysystems.com/download/manuals-datasheets/safertos-datasheet-downloads/>>, alındığı tarih: 15.10.2012
- [14] **Url-4 :** <<http://en.wikipedia.org/wiki/SafeRTOS#SafeRTOS>>, alındığı tarih: 15.10.2012
- [15] **Url-5 :** <http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport>, alındığı tarih: 10.12.2012
- [16] **Url-7 :** <<http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/propulsion---controls/products/train-control-and-management-system?docID=0901260d8000e5de>>, alındığı tarih: 22.10.2012
- [17] **Url-8:** <http://www.transportation.bombardier.com/en/1_0/1_3/1_3_2_4_1.jsp>, alındığı tarih: 23.10.2012

[18]Url-8 : <<http://www.cafpower.com/sistema-tcms-cosmos.php>>, alındığı tarih:
12.11.2012

[19]Url-9 :
<http://www.mobility.siemens.com/en/data/pdf/sonstiges/sibas/siemens_sibas_32_en.pdf>, alındığı tarih: 13.11.2012

EKLER

EK A: Performans ve Fonksiyonellik Testi Prosedüleri

EK A**Çizelge A-1 : MİK performans testi prosedürü.**

Test	Açıklama
Güç kaynağında besleme değişimleri	Güç kaynağı girişine katalog değerleri arasında gerilim uygulandığında ilgili kartta gerilim dalgalanması oluşup oluşmadığı incelenir. 10 kere tekrarlanır.
5V, 3V3, 2V5, 1V5	
Fonksiyonel testler	
<i>JTAG ulaşımı</i>	Kullanılan JTAG Debugger ile işlemciye erişim olup olmadığı incelenir
<i>Flash Ulaşımı</i>	JTAG Debugger ile flash'a erişim olup olmadığı incelenir
<i>Boot Yüklenmesi</i>	JTAG debugger ile Flash'a Boot yüklenir.
<i>RS-232 ulaşımı</i>	Boot üzerinden RS-232 terminal bağlantısı olup olmadığı incelenir.
<i>Yazılım yüklenmesi</i>	Yazılım yükleme işinin başarılı olup olmadığı incelenir
<i>Ethernet ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden Ethernet ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
<i>RTC ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden RTC ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
<i>USB ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden USB ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
<i>CAN ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden CAN ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.

Çizelge A-2 : SGK performans testi prosedürü.

Test	Açıklama
Güç kaynağında besleme değişimleri	Güç kaynağı girişine katalog değerleri arasında gerilim uygulandığında ilgili kartta gerilim dalgalanması oluşup oluşmadığı incelenir
5V, 3V3	
Güç kaynağında besleme kesintisi	Güç kaynağı girişinde 10ms'lik gerilim kesintisi olması durumunda ilgili kartta gerilim kesintisi ya da dalgalanma olup olmadığı incelenir
5V, 3V3	
Fonksiyonel testler	
<i>JTAG ulaşımı</i>	Kullanılan JTAG Debugger ile işlemciye erişim olup olmadığı incelenir
<i>Yazılım yüklenmesi</i>	Yazılım yükleme işinin başarılı olup olmadığı incelenir
<i>CAN ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden CAN ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
<i>Sayısal Giriş Ulaşımı</i>	Harici olarak her bir sayısal girişin durumu değiştirilerek giriş durumları yazılım üzerinden gözlenir.

Çizelge A-3 : AGK performans testi prosedürü.

Test	Açıklama
Güç kaynağında besleme değişimleri	Güç kaynağı girişine katalog değerleri arasında gerilim uygulandığında ilgili kartta gerilim dalgalanması olup oluşmadığı incelenir
5V, 3V3	
Güç kaynağında besleme kesintisi	Güç kaynağı girişinde 10ms'lik gerilim kesintisi olması durumunda ilgili kartta gerilim kesintisi ya da dalgalanma olup olmadığı incelenir
5V, 3V3	
Fonksiyonel testler	
<i>JTAG ulaşımı</i>	Kullanılan JTAG Debugger ile işlemciye erişim olup olmadığı incelenir
<i>Yazılım yüklenmesi</i>	Yazılım yükleme işinin başarılı olup olmadığı incelenir
<i>CAN ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden CAN ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
<i>Analog Giriş Ulaşımı</i>	Harici olarak her bir analog girişin durumu değiştirilerek giriş durumları yazılım üzerinden gözlenir.

Çizelge A-4 : SCK performans testi prosedürü.

Test	Açıklama
Güç kaynağında besleme değişimleri	Güç kaynağı girişine katalog değerleri arasında gerilim uygulandığında ilgili kartta gerilim dalgalanması olup oluşmadığı incelenir
5V, 3V3	
Güç kaynağında besleme kesintisi	Güç kaynağı girişinde 10ms'lik gerilim kesintisi olması durumunda ilgili kartta gerilim kesintisi ya da dalgalanma olup olmadığı incelenir
5V, 3V3	
Fonksiyonel testler	
<i>JTAG ulaşımı</i>	Kullanılan JTAG Debugger ile işlemciye erişim olup olmadığı incelenir
<i>Yazılım yüklenmesi</i>	Yazılım yükleme işinin başarılı olup olmadığı incelenir
<i>CAN ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden CAN ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
<i>Sayısal Çıkış Ulaşımı</i>	Yazılım üzerinden her bir sayısal çıkışın durumu değiştirilerek çıkış durumları gözlenir.

Çizelge A-5 : HK performans testi prosedürü.

Test	Açıklama
Güç kaynağında besleme değişimleri	Güç kaynağı girişine katalog değerleri arasında gerilim uygulandığında ilgili kartta gerilim dalgalanması olup

	oluşmadığı incelenir
5V, 3V3	
Güç kaynağında besleme kesintisi	Güç kaynağı girişinde 10ms'lik gerilim kesintisi olması durumunda ilgili kartta gerilim kesintisi ya da dalgalanma olup olmadığı incelenir
5V, 3V3	
Fonksiyonel testler	
JTAG ulaşımı	Kullanılan JTAG Debugger ile işlemciye erişim olup olmadığı incelenir
Yazılım yüklenmesi	Yazılım yükleme işinin başarılı olup olmadığı incelenir
CAN ulaşımı	Yazılım üzerinden CAN ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.
RS232 ve RS485 ulaşımı	Yazılım üzerinden RS232 ve RS485 ulaşımının başarılı olup olmadığı incelenir.

Çizelge A-6 : MİK fonksiyonellik testi prosedürü.

Test	Açıklama
MKÜ Yazılımı Ağ Bağlantı Testi	- Bakım bilgisayarı olarak Windows XP/2000 uyumlu bir işletim sistemi kurulu x86 bir dizüstü kullanılır, dokümanın devamında bu bilgisayar “bakım bilgisayarı” olarak anılacaktır - Dizüstü bilgisayar üzerinde MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı kurulu olmalıdır. Söz konusu yazılımın detayları daha sonra belirlenecektir - Bakım bilgisayarı çapraz bağlı bir ağ kablosuyla MKÜ kutusundaki ağ anahtarına bağlanır - Bakım bilgisayarında MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı çalıştırılır, hedef IP adresi olarak MKÜ MİB kartının adresi girilir (ör. 192.168.1.1) - Bağlantının başarıyla tamamlandığı ve dolayısıyla MKÜ ağ bağlantısının işlevini yerine getiriyor olduğu görülür.
MKÜ ve CKÜ Yazılım Alt Sistemlerinin Durum Bilgilerinin Sergilenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Denetim Ekranı (Diagnostik Ekranı) açılır - Ekranda sergilenen durum bilgileri incelenerek tüm yazılım alt sistemlerinin çalışır durumda olduğu görülür.
MKÜ kayıt dosyalarının (loglarının) görüntülenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Kayıt İnceleme Ekranı (Log Ekranı) açılır. - Ekranda kayıt bilgilerinin sergilendiği görülür. - Kayıt bilgilerinin dosyaya kaydetmek amacıyla “Dosyaya Kaydet” butonuna basılır, dosya yeri ve adı girilerek dosyanın başarıyla kayıt edildiği görülür. - Kayıt edilen dosyanın doğrulanması için aynı pencerede “Kayıt Dosyası Aç” butonuna basılır ve az önce kayıt edilen dosya seçilerek açılır. - Açılan veriler incelenerek dosyanın sağlıklı kayıt

	edilip yüklendiği doğrulanır.
Yazılım versiyonu izleme ve güncelleme testi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Yazılım Bakım Ekranı açılır. - MKÜ üzerinde çalışmakta olan yazılımın versiyonu görülür. - “Yazılım Güncelle” butonuna basarak daha önceden kaydedilen MKÜ yazılım güncelleme paketinin yeri gösterilir. - Güncelleme işleminin başarıyla tamamlanması beklenir.
Alınan toplam yol bilgisinin görüntülenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Yol Kaydı Ekranı açılır. - Açılan ekranda trenin belirli bir tarihten itibaren veya son seferinde kat ettiği yolun sergilendiği görülür.
Tren alt sistemlerinin çalışma sürelerinin görüntülenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Çalışma Kaydı Ekranı açılır. - Trenin kritik alt sistemlerinin değişimden/bakımdan itibaren toplam çalışma sürelerinin sergilendiği görülür.
MKÜ ayarlarının değiştirilmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Konfigürasyon Ekranı açılır. - Ayarların güncellenmesinin denenmesi amacıyla MKÜ sistem saatinin ayarları yapılır ve kaydedilir. - Saatin başarıyla güncellendiği görülür.
Haberleşme başarımının görüntülenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Haberleşme Diagnostik Ekranı açılır. - MKÜ ve CKÜ’ nün farklı iletişim hatlarının başarıyla çalıştığı, gözlemlendiği ve hat üzerinden akan verinin görüntülenebildiği görülür.
Konverter ve inverter bloklarının durum bilgilerinin görüntülenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Cer Diagnostik Ekranı açılır. - Cer sistemindeki konverter ve inverter bloklarının sıcaklık, akım vb. gibi durum bilgilerinin sergilendiği görülür. - Seçilen herhangi bir parametrenin zamana karşı gerçek zamanlı grafiğinin çizdirilebildiği görülür.
Hız-zaman grafiğinin sergilenmesi	- Bu test için trenin seyir halinde olması ya da tren hız sensörlerinin simüle edilmesi gerekmektedir. - MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Performans İzleme Ekranı açılır. - Trenin seyir halindeyken anlık hızının zamana göre grafiğinin gerçek zamanlı olarak sergilendiği görülür.
Motorların akım-zaman grafiklerinin sergilenmesi	- Bu test için trenin seyir halinde olması ya da akım sensörlerinin simüle edilmesi gerekmektedir. - MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Performans İzleme Ekranı açılır.

	- Tüm motorlar için ayrı ayrı anlık akım değerlerinin zamana karşı grafik olarak çizdirilmesi istenir ve grafiğin gerçek zamanlı olarak sergilendiği görülür.
Katener-zaman grafiklerinin sergilenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Performans İzleme Ekranı açılır. - Katener geriliminin zamana karşı gerçek zamanlı grafiğinin başarıyla sergilendiği görülür.
Aydınlatma elemanlarının kontrol edilmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Diagnostik Ekranı açılır. - Lokomotifin aydınlatma elemanlarının durum ve arıza bilgilerinin sergilendiği görülür.
Batarya durum bilgisinin sergilenmesi	- MKÜ ve CKÜ PC kullanıcı yazılımı Diagnostik Ekranı açılır. - Bataryanın durum bilgilerinin (gerilim, şarj-deşarj akımı vb.) sergilendiği görülür.

Çizelge A-7 : SGK fonksiyonellik testi prosedürü

Test	Açıklama
Yazılım yükleme	İlgili emülatör tarafından yazılım flash'a yüklenir ve binary olarak test edilir.
Can sürücü testi	CAN üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve emülatör üzerinden okunur
Sayısal giriş sürücü testi	İşlemcinin sayısal giriş olarak düzenlenmiş tüm pinlerinin durumu 1s peryodla 10 kere değiştirilir ve emülatör üzerinden değişiklik gözlenir.
CAN ID testi	İlgili kartın cPCI omurgasına yerleştirildiğinde doğru ID alıp almadığı emülatör üzerinden kontrol edilir.
Can Task testi	CAN taskı üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve ilgili taska mesajın iletilip iletilmediği kontrol edilir.
Sayısal giriş task testi	İşlemcinin sayısal giriş olarak belirlenmiş pinlerinin durumları değiştirilir ve bir sonraki sayısal giriş taskı tetiklendiğinde girişler emülatör üzerinden okunur
Tasklar arası haberleşme	Sayısal giriş taskı zamana bağlı olarak tetiklendiğinde Can task'ına tetik göndermesi ve CAN taskının tetiği alması emülatör üzerinden kontrol edilir
Veri tablolarının doğruluğu	Task'lara ait veri tabloları her taskın girişinde ve çıkışında okunarak atamaların doğru yapıldığı kontrol edilir.

Çizelge A-8 : AGK fonksiyonellik testi prosedürü.

Test	Açıklama
Yazılım yükleme	İlgili emülatör tarafından yazılım flash'a yüklenir ve

	binary olarak test edilir.
Can sürücü testi	CAN üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve emülatör üzerinden okunur
Sayısal giriş sürücü testi	İşlemcinin analog giriş olarak düzenlenmiş tüm pinlerinin durumu 1s peryodla 10 kere değiştirilir ve emülatör üzerinden değişiklik gözlenir.
CAN ID testi	İlgili kartın cPCI omurgasına yerleştirildiğinde doğru ID alıp almadığı emülatör üzerinden kontrol edilir.
Can Task testi	CAN taskı üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve ilgili taska mesajın iletilip iletilmediği kontrol edilir.
Analog giriş task testi	İşlemcinin analog giriş olarak belirlenmiş pinlerinin durumları değiştirilir ve bir sonraki analog giriş taskı tetiklendiğinde girişlerin değişimi emülatör üzerinden okunur
Tasklar arası haberleşme	Analog giriş taskı zamana bağlı olarak tetiklendiğinde Can task'ına tetik göndermesi ve CAN taskının tetiği alması emülatör üzerinden kontrol edilir
Veri tablolarının doğruluğu	Task'lara ait veri tabloları her taskın girişinde ve çıkışında okunarak atamaların doğru yapıldığı kontrol edilir.

Çizelge A-9 : SCK fonksiyonellik testi prosedürü.

Test	Açıklama
Yazılım yükleme	İlgili emülatör tarafından yazılım flash'a yüklenir ve binary olarak test edilir.
Can sürücü testi	CAN üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve emülatör üzerinden okunur
Sayısal çıkış sürücü testi	İşlemcinin sayısal çıkış olarak düzenlenmiş tüm pinlerinin durumu 1s peryodla 10 kere değiştirilir ve osiloskop üzerinden değişiklik gözlenir.
CAN ID testi	İlgili kartın cPCI omurgasına yerleştirildiğinde doğru ID alıp almadığı emülatör üzerinden kontrol edilir.
Can Task testi	CAN taskı üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve ilgili taska mesajın iletilip iletilmediği kontrol edilir.
Sayısal çıkış task testi	İşlemcinin sayısal çıkış olarak belirlenmiş pinlerinin durumları değiştirilir ve bir sonraki sayısal çıkış taskı tetiklendiğinde çıkışların değişimi osiloskop üzerinden okunur
Tasklar arası haberleşme	Can taskına sayısal çıkış verisi geldiğinde, Can taskının

	Sayısal çıkış kartına tetik göndermesi ve taskın tetiği alması emülatör üzerinden kontrol edilir.
Veri tablolarının doğruluğu	Task'lara ait veri tabloları her taskın girişinde ve çıkışında okunarak atamaların doğru yapıldığı kontrol edilir.

Çizelge A-10 : HK fonksiyonellik test prosedürü.

Test	Açıklama
Yazılım yükleme	İlgili emülatör tarafından yazılım flash'a yüklenir ve binary olarak test edilir.
Can sürücü testi	Her CAN portu üzerinden ayrı ayrı 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla her CAN portuna 10 kere mesaj gönderilir ve emülatör üzerinden okunur
UART sürücü testi	Her UART portu üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve bilgisayarın RS-232 portu üzerinden bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde bilgisayar üzerinden 1s aralıklarla her UART portuna 10 kere mesaj gönderilir ve emülatör üzerinden okunur
CAN ID testi	İlgili kartın cPCI omurgasına yerleştirildiğinde doğru ID alıp almadığı emülatör üzerinden kontrol edilir.
Can Task testi	CAN taskı üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve Peak-Can emülatörü ile bu mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde Peak-Can üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve ilgili taska mesajın iletilip iletilmediği kontrol edilir.
Haberleşme Task testi	Haberleşme taskı üzerinden 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve bilgisayarla mesajlar bilgisayardan okunur. Aynı şekilde bilgisayardan 1s aralıklarla 10 kere mesaj gönderilir ve taska iletilip iletilmediği kontrol edilir.
Tasklar arası haberleşme	Can taskına bir mesaj geldiğinde bu mesajın ilgili haberleşme taskı tetiklenerek o porttan gönderilmesi ve aynı şekilde haberleşme portuna bir mesaj geldiğinde CAN taskı tetiklenerek CAN üzerinden mesajın iletilmesi bilgisayar ve Peak-CAN kullanılarak test edilir.
Veri tablolarının doğruluğu	Task'lara ait veri tabloları her taskın girişinde ve çıkışında okunarak atamaların doğru yapıldığı kontrol edilir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mustafa Tiftikci

Doğum Yeri ve Tarihi: Balıkesir – 19.01.1987

Adres: Org. İzzettin Aksalur Cad. Yeni Levent Loj. T Blok No: 2 4.Levent/İST.

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

E-posta: mustafa.tiftikci@gmail.com, mustafa.tiftikci@tübitak.gov.tr

Yayın Listesi:

- **Tiftikci M**, Çimen M, Ararat Ö. Ergenç A, “E1000 Tip Elektrikli Lokomotif için Tren Kontrol ve İzleme Sistemi Tasarımı”, TOK2012, Niğde, 2012