

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MEKANİK GÜÇ AKTARMA ORGANLARI TEST DÜZENEĞİ  
İÇİN ENERJİ KAZANIMLI BİR KONTROL SİSTEMİ  
TASARIMI**

**OKAY GEZER**

**KOCAELİ 2022**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MEKANİK GÜÇ AKTARMA ORGANLARI TEST DÜZENEĞİ**  
**İÇİN ENERJİ KAZANIMLI BİR KONTROL SİSTEMİ**  
**TASARIMI**

**OKAY GEZER**

**Prof. Dr. Ali TANGEL**  
**Danışman, Kocaeli Üniv. ....**

**Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı ÖZTÜRK**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. ....**

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARA**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Sağlık ve Tek. Üniv. ....**

**Tezin savunulduğu tarih: 30.06.2022**

## ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

Okay GEZER

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

(İmza)

Okay GEZER

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında askeri, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde farklı şekillerde kullanılan çeşitli aktarma organlarının test edilmesi için kullanılan bir test düzeneği için enerji kazanımlı bir kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam esnasında benden her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Ali TANGEL'e, sayın Doç. Dr. Mehmet DAL'a, sayın Dr. Sıtkı ÖZTÜRK'e, sayın Dr. Barış GÖKÇE'ye , sayın Prof. Dr. Hayreddin DÜZCÜKOĞLU'na ve sayın Prof. Dr. Adnan KAVAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yapılan çalışmalarda teknik destek veren ve ilgili ortamı hazırlayan sayın Köksal ÖZDEMİR'e , sayın Hayrettin TÜRK'e , sayın Onat TOTUK'a , sayın Murat YETİŞ'e, sayın M. Kutay AZKUR'a , sayın T. Tolga GEZGİNCİ'ye ve tezime katkıda bulunan diğer tüm çalışma arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2022

Okay GEZER

## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. MEKANİK GÜÇ AKTARMA ORGANLARI .....	3
2.1. Tasarıma Temel Alınan Test Düzeneği Genel Yapısı ve Bileşenleri.....	7
2.2. Tahrik ve Yük Motorları.....	9
2.3. Tahrik ve Yük Motorları Genel Sürme Prensipleri .....	11
2.4. Test Sistemi Kontrol Merkezi ve PLC Ünitesi.....	15
2.5. Test Sistemi HMI(İnsan-Makine Arayüzü) ve PARDUS İşletim Sistemi .....	23
3. TEST SİSTEMİ İÇİN TASARLANAN KONTROL SİSTEMİ BİLEŞENLERİNİN TEMEL DAVRANIŞLARININ BENZETİMLERİ VE ÇIKTILARI.....	31
3.1. Test Sistemi Tahrik ve Yük motorlarının Elektrik ve Mekanik Karakteristiklerinin Benzetimleri ve Çıktıları .....	31
3.2. Test Sistemi Tahrik ve Yük Motorlarının V/f Sürücü ile Sürülmesi Halinde Modellenmesi ve Benzetim Sonuçları .....	38
4. TEST DÜZENEĞİ KONTROL SİSTEMİ İÇİN KULLANILACAK YAZILIMLAR VE GENEL PROGRAMLAMA ALGORİTMALARI.....	44
4.1. Test Düzeneği Kontrol Sistemi için Kullanılacak PLC ünitesinin Programlanması ve Genel Yazılım Algoritmaları .....	44
4.2. Test Düzeneği Kontrol Sistemi için Kullanılacak Kullanıcı Arayüzü HMI Ünitesinin Programlanması ve Genel yazılım Algoritmaları .....	46
4.3. Test Düzeneği Kontrol Sisteminde Enerji Kazanımını Sağlayan Yazılım ve Uygulama Prensipleri .....	48
4.4. Test Düzeneği Kontrol Sisteminde MODBUS-TCP Haberleşme Bağlantısını Sağlayan Yazılım ve Algoritması .....	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	51
KAYNAKLAR.....	53
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Güç aktarma organlarından dişli mekanizması .....	3
Şekil 2.2.	Bir dişli mekanizması barındıran dişli kutusu .....	4
Şekil 2.3.	Güç aktarma organlarından tork çevirici.....	4
Şekil 2.4.	Bir dişli kutusu test düzeneği tasarımı .....	5
Şekil 2.5.	Enerjisi frende tamamen kaybedilen bir test düzeneği.....	6
Şekil 2.6.	Gelişmiş çok motorlu dişli kutusu test düzeneği.....	6
Şekil 2.7.	Gelişmiş çok motorlu bir diferansiyel test düzeneği tasarımı .....	7
Şekil 2.8.	Gelişmiş bir test düzeneği tasarımı ve enerji tasarrufu yöntemi .....	8
Şekil 2.9.	Klasik test düzeneği tasarımı ve enerji kaybetme yöntemi .....	8
Şekil 2.10.	Test düzeneği uygulaması ve enerji kaybetme yöntemi.....	9
Şekil 2.11.	Tesla tarafından geliştirilen indüksiyon motor prototipi.....	10
Şekil 2.12.	Asenkron ind. Motor tork/devir karakteristik eğrisi.....	10
Şekil 2.13.	MATLAB ortamında üretilen IM tork/devir karakteristik eğrisi .....	10
Şekil 2.14.	Modern bir indüksiyon motor kesiti ve elemanları .....	11
Şekil 2.15.	Skaler kontrol edilen bir AC motorun sürücü şeması .....	11
Şekil 2.16.	Skaler kontrol edilen bir AC motorun V/f eğrisi.....	12
Şekil 2.17.	Skaler kontrol edilen bir sürücünün çıkış dalga şekilleri .....	13
Şekil 2.18.	Kontrol sistemi blok şeması ve enerji geri kazanım yolu .....	14
Şekil 2.19.	Karakteristik üzerinde tahrik ve yük motorlarının çalışma noktaları.....	15
Şekil 2.20a.	Kontrol sistemi mimarisi ve kontrol bağlantıları.....	16
Şekil 2.20b.	Genel bir PLC kurulumu ve ek kartları .....	17
Şekil 2.21.	Genel bir PLC dijital giriş katı devresi.....	18
Şekil 2.22.	Genel bir PLC dijital çıkış katı devresi .....	18
Şekil 2.23.	Genel bir Ladder lojik programlama örneği.....	19
Şekil 2.24.	Genel bir FBD lojik programlama örneği .....	19
Şekil 2.25.	Genel bir haberleşme mimarisi .....	20
Şekil 2.26.	MODBUS TCP haberleşme mimarisi .....	20
Şekil 2.27.	Gelişmiş bir SCADA mimarisi ve veri yolları .....	21
Şekil 2.28.	Test yazılımı Siemens S7/1200 PLC test kurulumu .....	22
Şekil 2.29.	Test yazılımı Siemens S7/1500 PLC test kurulumu .....	22
Şekil 2.30.	Test yazılımı MODICON M340 PLC test kurulumu .....	23
Şekil 2.31.	PARDUS masaüstü genel görünümü.....	24
Şekil 2.32.	GAMBAS uygulama geliştirme ortamı ve arayüzü .....	25
Şekil 2.33.	MODBUS/TCP logosu.....	26
Şekil 2.34.	MODBUS/TCP Haberleşme mimarisi .....	26
Şekil 2.35.	MODBUS/TCP ile haberleşen ARDUINO MEGA test düzeneği.....	27
Şekil 2.36.	Generic MODBUS tester yazılımı ara yüzü.....	28
Şekil 2.37.	Test amaçlı özgün haberleşme yazılımı ara yüzü .....	28
Şekil 2.38.	Test amaçlı özgün haberleşme veri toplama ve görselleştirme .....	29
Şekil 2.39.	Kontrol sistemi devre şeması kapak sayfası.....	30
Şekil 2.40.	Kontrol sistemi devre şeması tek hat şeması.....	30
Şekil 3.1.	Test düzeneği temel benzetim modeli .....	31
Şekil 3.2.	Motorların 50-50 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri.....	32
Şekil 3.3.	Motorların 50-49 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri.....	33
Şekil 3.4.	Motorların 50-48 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri.....	33
Şekil 3.5.	Motorların 50-51 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri.....	34

Şekil 3.6.	Motorların 50-52 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri .....	34
Şekil 3.7.	Test düzeneği elektriksel parametreler eklenmiş benzetim modeli.....	35
Şekil 3.8.	Düzenekte motorların çektiği güçler ( 50Hz-49Hz).....	36
Şekil 3.9.	Düzenekte motorların çektiği güçler ( 50Hz-51Hz).....	36
Şekil 3.10.	Düzenekte 50-49 Hz çalışmada motorun çektiği akım ve gerilim .....	37
Şekil 3.11.	Düzenekte motorlara 50-51 Hz. uygulama ve tork ölçümü.....	37
Şekil 3.12.	Düzenekte motorlara 50-51 Hz. uygulama ve hız ölçümü.....	38
Şekil 3.13.	Düzenekte motorlara 50-51 Hz. uygulama ve güç ölçümü .....	38
Şekil 3.14.	Test düzeneği plects benzetim modeli.....	40
Şekil 3.15.	Düzenekte Motorlara 50-48 Hz. Uygulama ve tahrik motoru torku .....	41
Şekil 3.16.	Düzenekte motorlara 50-48 Hz. Uygulama ve yük motoru hızı .....	41
Şekil 3.17.	Düzenekte motorlara 50-48 Hz uygulama ve yük motoru torku.....	41
Şekil 3.18.	Düzenekte motorlara 50-48 Hz. uygulama ve DC baranın gerilimi. ....	42
Şekil 3.19.	Düzenekte motorlara 50-48 Hz uygulama ve DC baralar arası akım.....	42
Şekil 3.20.	Düzenekte motorlara 50-48 Hz uygulama ve şebekeden çekilen güç.....	43
Şekil 4.1.	Test düzeneğinde kullanılacak PLC yazılımı temel algoritması .....	45
Şekil 4.2.	Test düzeneğinde kullanılacak Kullanıcı arabirimi yazılımı temel algoritması .....	47
Şekil 4.3.	Windows altında çalışan haberleşme test yazılım çalışması uygulaması....	49
Şekil 4.4.	Test düzeneğinde kullanılacak haberleşme yazılımı temel algoritması .....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A.	: Amper, Akım şiddeti birimi
Hz.	: Hertz, frekans birimi
ms.	: Mili saniye, zaman birimi
Nm.	: Newton metre, Tork birimi
Rad/s.	: Radyan / saniye, Açısal hız birimi
Rpm.	: Tur / Dakika, Dakikada dönüş sayısı
V.	: Volt, Gerilim birimi
W.	: Watt, güç birimi

### Kısaltmalar

INVERTER	: DC/AC Power Inverter (DC Gerilimi AC Gerilime Çeviren Devre)
HMI	: Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarı İletkenli Alan Etkili Transistör)
LADDER	: PLC Ladder Programming Language (PLC Basamak Programlama Dili)
PARDUS	: Yerli İşletim Sistemlerimizden Bir Tanesi
PC	: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
PID	: Proportional- Integrative- Derivative Control Method (Oransal - İntegral- Türevsel Kontrol Yöntemi)
PLC	: Programmable Logical Controller (Programlanabilir Lojik Denetleyici)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
RS232	: Seri Haberleşme Türlerinden Birisi
RS485	: Diferansiyel Seri Haberleşme Türlerinden Birisi
RTU	: Remote Terminal Unit (Uzak Terminal Ünitesi)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Yönetsel Denetim ve Veri Toplama Grafik Kullanıcı Arayüzü)
VFD	: Variable Frequency Driver (Değişken Frekanslı Sürücü)
V/f	: Voltage – Frequency Rate Control (Gerilim ve Frekans Oranı Kontrolü)

# MEKANİK GÜÇ AKTARMA ORGANLARI TEST DÜZENEĞİ İÇİN ENERJİ KAZANIMLI BİR KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

## ÖZET

Bu çalışmada temel amaç, çeşitli sanayi kollarında çokça kullanılmakta olan mekanik güç aktarma organlarının fonksiyon ve ömür testlerinde kullanılan bir düzenek için bir kontrol sisteminin tasarlanması ve çeşitli benzetimlerle fonksiyonel doğrulamasının yapılmasıdır. Bu kontrol sisteminde üzerinde en çok durulması gereken nokta enerji kazanımı sağlanmasıdır. Ayrıca kontrol sistemi kullanıcı ara yüzünün yerli işletim sistemi PARDUS üzerinde gerçekleştirilmesi de diğer bir önemli tasarım özelliğidir.

Mekanik güç aktarma organları dediğimizde anlaşılması gereken temel elemanlar dişli kutuları, kayış kasnak sistemleri, şaftlar, kavramalar ve benzerleri gibi genel olarak dönme hareketini belli bir tork altında karşı tarafa ileten yapılardır. Bu aktarma organları otomotiv sanayi, makine imalat sanayi ve savunma sanayi gibi pek çok alanda çok önemli bir kullanım alanına sahiptir. Bu mekanik elemanların sahada kullanılmadan önce test edilmesi de günümüz kalite sistemleri için vazgeçilmezlerindedir. Bu testler fonksiyonel ve ömür testleri olmak üzere iki temel gruba ayrılabilir.

Bu makine elemanlarının test edilmesi için genel olarak sistem girişine toplam tork ihtiyacını karşılayabilen bir elektrik makinesi ile tahrik verilmesi ve eleman çıkışında bu makineye karşı direnen mesela fren gibi bir mekanizma ile yük sağlanması ile elemanın belli bir dönüş ve tork altında zorlanması mantığı yatmaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen düzenekte ise hem tahrik için, hem de yük amaçlı olarak bir asenkron elektrik makinesi kullanılmıştır. Bu düzenek temelde örneğin bir otomotiv dişli kutusunun hem rampa çıkarken, hem de rampa inerken maruz kaldığı etkilerin incelenmesini sağlarken, aynı zamanda klasik metotlara göre %80 enerji kazanımı da sağlayabilmektedir. Çünkü fren olarak çalışan elektrik makinesi elektrik üretmekte ve bu elektrik tahrik, elektrik makinesinde tekrar kullanılabilir.

Piyasada en problemsiz ve ucuz elektrik makinaları olarak kabul edilen asenkron elektrik makineleri bu tasarımda yine karmaşık olmayan V/f yöntemi ile çalışan hız kontrol cihazları ile sürülerek, fiyat etkin bir tasarım yapılmıştır. Hız kontrol cihazları PLC tabanlı bir kontrol sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Böylece zor şartlar altında bile aylarca sürecek ömür testleri organize edilebilmektedir. PLC kullanıcı arayüzü olarak ise düşük maliyetli kişisel bilgisayar üzerinde kurulmuş olan PARDUS işletim sistemi üzerinde geliştirilmiş olan bir yazılım test düzeneği yazılımı gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktarma Organı, Asenkron Motor, Enerji Kazanım, Ömür Testi, Pardus, V/f Yöntemi.

# DESIGN OF AN ENERGY SAVING CONTROL SYSTEM FOR THE MECHANICAL POWER TRANSMISSION COMPONENTS TEST SETUP

## ABSTRACT

The main purpose of this study is to design a control system for a mechanism used in the functional and life tests of mechanical power transmission organs, which are widely used in various industries, and to perform functional verification with various simulations. The most important point to focus on in this control system is to provide energy gain. In addition, the realization of the control system user interface on our local operating system PARDUS is another important design feature.

The basic elements that need to be understood when we say mechanical power transmission components should be structures such as gearboxes, belt-pulley systems, shafts, clutches and the like that generally transmit the rotational motion to the other side under a certain torque. These powertrains have a very important usage in many areas such as automotive industry, machinery manufacturing industry and defense industry. Testing these mechanical elements before they are used in the field is also indispensable for today's quality systems. These tests can be divided into two basic groups as functional and life tests.

In order to test these machine elements, the logic is that the system input is driven by an electrical machine that can meet the total torque requirement, and the element is forced under a certain rotation and torque by providing a load with a mechanism that resists this machine at the exit of the element. Our assembly is based on the use of an asynchronous electric machine for both drive and load purposes. This setup basically enables an automotive gearbox to examine the effects that it is exposed to while ramping and descending, while at the same time providing 80% energy gain compared to conventional methods. Because the electric machine that works as a brake generates electricity and this electricity can be reused in the Drive electric machine.

Asynchronous electric machines, which are regarded as the most problem-free and inexpensive electrical machines in the market, are driven by speed control devices working with the uncomplicated  $V / f$  method in this design, and it appears as a price-effective design. Speed control devices are controlled by a PLC-based control system. Thus, even under difficult conditions, life tests that will last for months can be organized. As PLC user interface, it will be used to use a test setup software developed by us on the PARDUS operating system and installed on a low cost personal computer.

**Keywords:** Drivetrain, Asynchronous Motor, Energy Recovery, Life Test, Pardus, V/f Method.

## 1. GİRİŞ

Mekanik güç aktarma organları dediğimizde anlaşılması gereken temel elemanlar dişli kutuları, kayış kasnak sistemleri, şaftlar, kavramalar ve benzerleri gibi genel olarak dönme hareketini belli bir tork altında karşı tarafa ileten yapılardır. Bu aktarma organları otomotiv sanayi, makine imalat sanayi ve savunma sanayi gibi pek çok alanda çok önemli bir kullanım alanına sahiptir. Bu mekanik elemanların sahada kullanılmadan önce test edilmesi de günümüz kalite sistemleri için vazgeçilmezlerindedir. Bu testler fonksiyonel ve ömür testleri olmak üzere iki temel gruba ayrılabilir. Akın S. 2019 da yaptığı çalışmasında bu testin hidrolik versiyonlarını incelemiştir. Ayrıca Kızılaslan K. 2007 deki çalışmasında yorulma testleri hakkında bir değerlendirme sunmuştur.

Bu makine elemanlarının test edilmesi için genel olarak sistem girişine toplam tork ihtiyacını karşılayabilen bir elektrik makinesi ile tahrik verilmesi ve eleman çıkışında bu makineye karşı direnen mesela fren gibi bir mekanizma ile yük sağlanması ile elemanın belli bir dönüş ve tork altında zorlanması mantığı yatmaktadır. Tez çalışmasında gerçekleştirilen düzenekte ise hem tahrik için, hem de yük amaçlı olarak bir asenkron elektrik makinesi kullanılmıştır. Bu düzenek temelde örneğin bir otomotiv dişli kutusunun hem rampa çıkarken, hem de rampa inerken maruz kaldığı etkilerin incelenebilmesini sağlarken aynı zamanda klasik metotlara göre %80 enerji kazanımı da sağlayabilmektedir. Çünkü fren olarak çalışan elektrik makinesi elektrik üretmekte ve bu elektrik tahrik, elektrik makinesinde tekrar kullanılabilir. Akın B. 2013 yılında yayınladığı uygulama raporunda 3 fazlı indüksiyon motorların sürülmesi hakkında bir yöntem önermiştir. Usta M.A. da 2013 deki indüksiyon motorun Skaler sürülmesi hakkındaki tez çalışmasında yöntemi geliştirmiştir.

Piyasada en problemsiz ve ucuz elektrik makinaları olarak kabul edilen asenkron elektrik makineleri bu tasarımda yine karmaşık olmayan V/f yöntemi ile çalışan hız kontrol cihazları ile sürülerek fiyat etkin bir tasarım yapılmıştır. Hız kontrol cihazları PLC tabanlı bir kontrol sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Böylece zor şartlar altında bile aylarca sürececek ömür testleri organize edilebilmektedir. PLC kullanıcı arayüzü olarak ise düşük maliyetli kişisel bilgisayar üzerinde kurulmuş olan PARDUS işletim sistemi üzerinde geliştirilmiş olan bir yazılım test düzeneği yazılımı gerçekleştirilmiştir. Pardus konusunda

Zontul 2009 da yayınladığı bir makalede Pardus yaygınlaştırma konusunda önerilerini sıralamıştır. 2019 da Sarıkaya İ. İşletmelerde Pardus konulu bit tez kaleme almıştır.

Ayrıca Özen F. 2019 da ve Irmak E. yaptıkları çalışmalarda PLC tabanlı sistemler ve Modbus TCP konularına yer vermiştir.

Bu tez çalışma beş bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde konuya bir giriş yapılmış ve amacımız açıklanmıştır. İkinici bölümde güç aktarma organları incelenmiş ve bunların test düzenekleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca yine ikinci bölümde tasarımı yapılan kontrol sistemi detaylı şekilde açıklanmıştır. Üçüncü bölümde tasarımda kullandığımız genel yapılar modellenmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde kontrol sistemi üzerinde koşan yazılımlar ve algoritmaları incelenmiştir. Beşinci ve son bölümde ise sonuç ve önerilerimiz paylaşılmıştır. PARDUS işletim sisteminin endüstriyel alanlarda da kullanılmaya başlanması oldukça önemli ve dış bağımlılığı oldukça azaltabilecek türden bir çalışmadır.

## 2. MEKANİK GÜÇ AKTARMA ORGANLARI

Günümüzde pek çok sanayi kolu faaliyetleri içerisinde mekanik güç aktarımı oldukça yoğun şekilde kullanılmaktadır. Herhangi bir güç üretici üzerinde üretilen dönüş hareketi, herhangi bir iş yaptırmak amacı ile güç aktarma organları üzerinden başka bir makine aksamına aktarılmakta ve faydalı olabilecek forma çevrilmektedir. Bu aktarma işlemini gerçekleştiren donanımlar genel olarak güç aktarma organı olarak isimlendirilmektedir. Bunlar piyasada yaygın kullanım isimleri ile sıralanırsa:

- Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 de görüldüğü gibi dişli kutusu, şanzıman, redüktör, tork konverter vb. isimlerle anılan devir ve tork değiştirebilen dişli kökenli donanımlar.
- Şekil 2.3 de verildiği gibi kayış-kasnak, zincir-dişli gibi yine tork ve devir değiştirebilen donanımlar.
- Şaft, kardan mili, istavroz vb. isimlerle anılan aktarma organları.
- Diferansiyel gibi daha karmaşık aktarma organları.



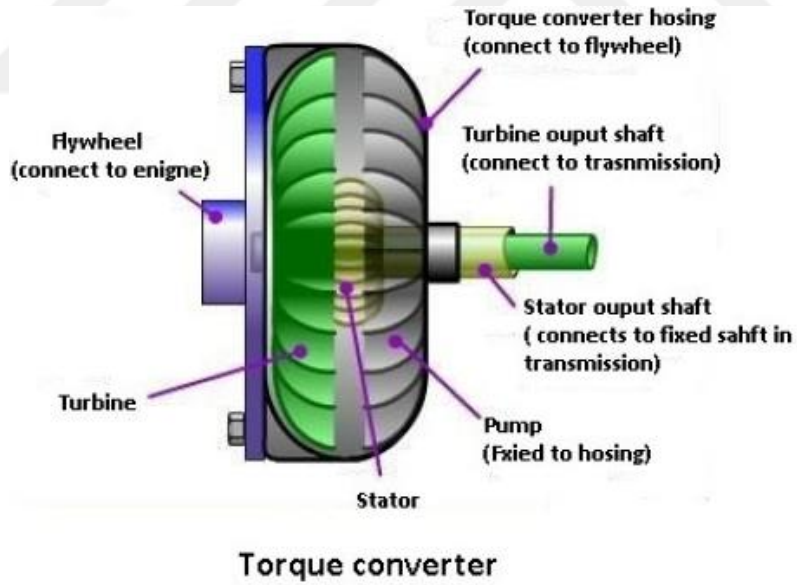
Şekil 2.1. Güç aktarma organlarından dişli mekanizması (URL-1)

Bu aktarma organları özellikle otomotiv, savunma, havacılık, makine imalatı başta olmak üzere pek çok sanayi alanında kullanılmaktadır. Bu organların pek çoğu kritik görevlere sahiptir. Bunlarda meydana gelebilecek hatalar insan hayatı kayıplarına varabilecek sonuçlar doğurabilmektedir. Bu yüzden bu donanımların imalatında ve tasarımında gösterilen özenin belki de daha fazlası, bu donanımların kalite kontrol testlerinde gösterilmesi gerekmektedir. Sayed M. 2017 tarihli çalışmasında bu konuları irdelemiştir.

Ekipmanlar faaliyetleri esnasında maruz kalacakları yüklerin ve şartların belki de birkaç misline maruz bırakılarak gelecekte olabilecek hataların erkenden ortaya çıkarılabilmesi amacıyla kalite kontrolünü yapmak için test düzeneklerinde çalıştırılması gerekmektedir.



Şekil 2.2. Bir dişli mekanizması barındıran dişli kutusu(URL-2)



Şekil 2.3. Güç aktarma organlarından tork çevirici (URL-3)

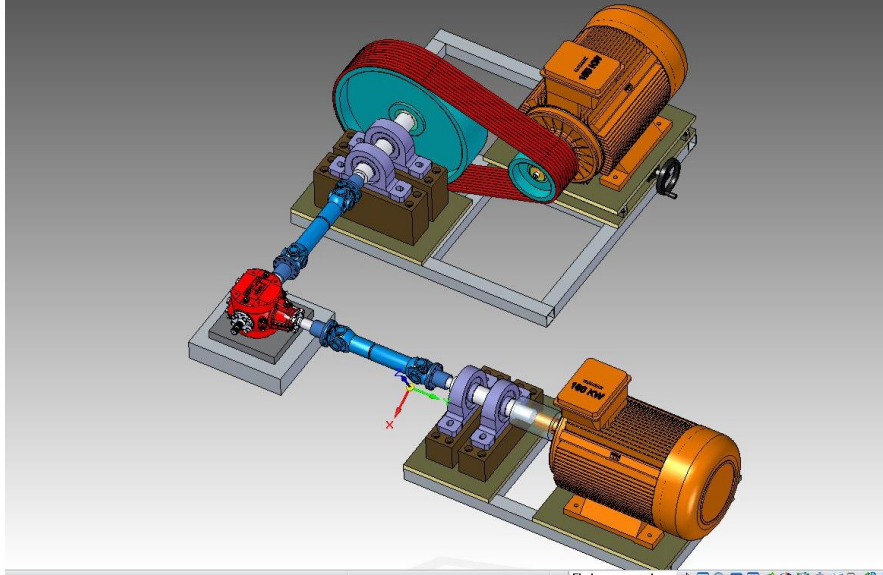
Bahsi geçen testler, ilgili donanımın iki temel özelliği göz önüne alındığında iki ana gruba ayırtırmak mümkündür. Bunlar:

- a. İşlevsel testler
- b. Ömür testleri

İşlevsel testler donanımın yapması gereken, örneğin tork yükseltme işlemlerini doğru yapıp yapmadığı gibi işlemlerin yapıldığı testlerdir. Bu testler özellikle kısa süreli ve yorucu olmayan, genellikle imalat ve montaj doğru yapılmış mı? Sorusuna cevap arayan testlerdir.(Uçtu Ö.,2015).

Ömür testleri ise işlevsel olarak doğru çalışan güç aktarma donanımlarının çalışma hayatları boyunca maruz kalacağı şartlara benzer yük ve çevresel şartların oluşturularak uzun sürelerle işletildiği testlerdir. Ömür testleri için aylarca sürebilecek testler tasarlanabilir. Genellikle testlerin sonunda donanım içeriğindeki elemanlarda meydana gelen aşınma ve bozulmalar incelenerek donanımın ömrü hakkında bilgiler toplanmaya çalışılmaktadır.

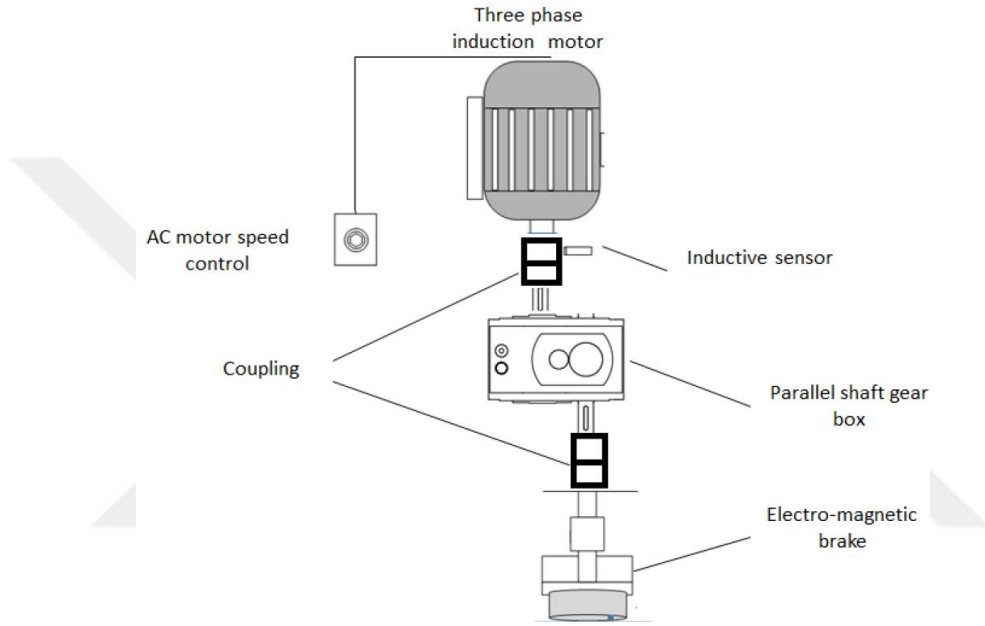
Bütün testler boyunca bir aktarma organına yük, sıcak, soğuk, yağmur ve toz gibi aşırı şartlar altında çevresel ortamlar ve benzeri zorlayıcı deneyler uygulanabildiği görülmektedir. Ayrıca test esnasında aktarma organından devir, tork, güç gibi bilgiler toplanabildiği gibi ses, titreşim, sıcaklık, esneme gibi başka tür aydınlatıcı veriler de toplanabilmektedir.



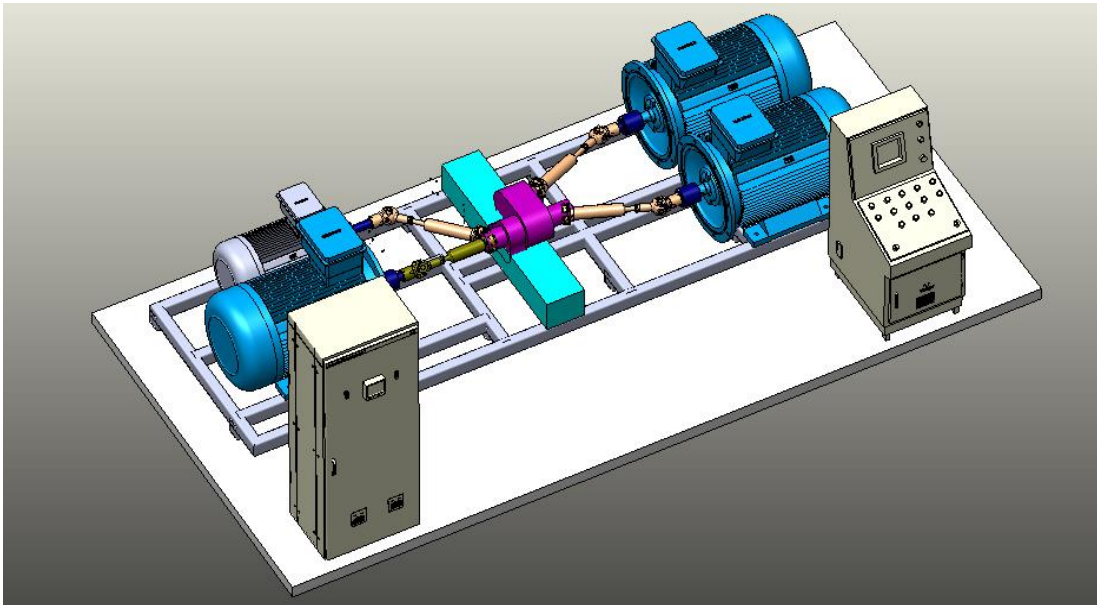
Şekil 2.4. Bir dişli kutusu test düzeneği tasarımı

Bahsedilen koşulları gerçekleştirmek amacıyla tasarlanan testlerin uygulanabildiği cihazlara test düzeneği ismi verilmektedir. Test düzenekleri çok uzun yıllardır kullanılmaktadır. Şekil 2.4 de dişli kutusu test düzeneği örneği verilmiştir. Temel olarak aktarma organı gerçek görevinde nasıl çalışacak ise düzenek üzerinde de bu görevine

benzer şekilde tahrik edilebilmeli ve çıkışında da benzer şekilde karşı tork verilerek zorlanabilmelidir. Geleneksel yöntemler genellikle güç aktarma organı girişine bağlı bir motor ile aktarma organı çıkışında buna zorluk gösteren, direnen, bir fren yapısı ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.5 te enerjisi frende tamamen kaybedilen bir test düzeneği örneği verilmiştir. Bu yöntemler genelde kolay ve pratik oldukları için tercih edilmekte, fakat girişte kullanılan motorda harcanan güç, fren üzerinde ısıya çevrilerek boşa gitmekte, çöpe atılmaktadır.



Şekil 2.5. Enerjisi frende tamamen kaybedilen bir test (Kızılaslan K.,2007)

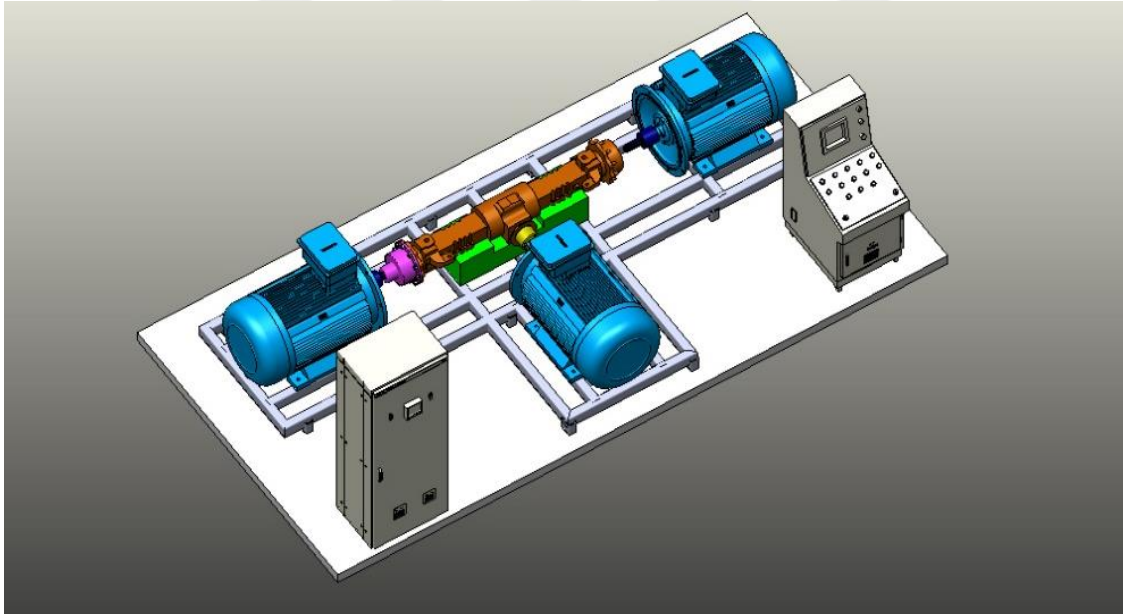


Şekil 2.6. Gelişmiş çok motorlu dişli kutusu test düzeneği

Ancak günümüz modern test sistemleri bu fren yapısını değişik formlara çevirerek buradaki enerji kaybını engellemeye dönük çözümler önermektedir. Özellikle hidrolik motorlar ile yapılan test sistemlerinde bu kısımdaki enerji kazanımı sağlanabilmektedir. Şekil 2.6 da gelişmiş çok motorlu dişli kutusu test düzeneği örneği verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, Şekil 2.7 de verilen test düzeneğinin komple elektromekanik olarak tasarlanması ve kayıp olabilecek enerjinin en yüksek oranda tekrar tahrik motorunda kullanılmasını sağlayacak bir kontrol sisteminin tasarımı yapılarak benzetim sonuçları incelenmiştir. Dalbiçer C. (2017).

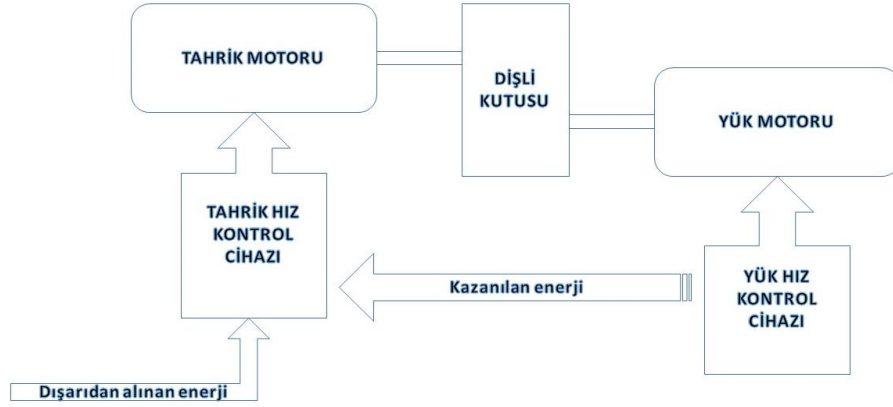
Ayrıca bu enerji kazanımının yanında, güç aktarma organının hem pozitif güç aktarım testleri hem de negatif güç aktarım testleri aynı düzeneğin üzerinde yapılabilir. Örneğin bir otomotiv dişli kutusunun hem rampa çıkarken harcadığı güç hem de rampa inerken harcadığı güç aynı düzeneğin üzerinde enerji kazanımlı olarak test edilebilir. Geleneksel yöntemlerde bu mümkün değildir.



Şekil 2.7. Gelişmiş çok motorlu bir diferansiyel test düzeneği tasarımı

## 2.1. Tasarıma Temel Alınan Test Düzeneği Genel Yapısı ve Bileşenleri

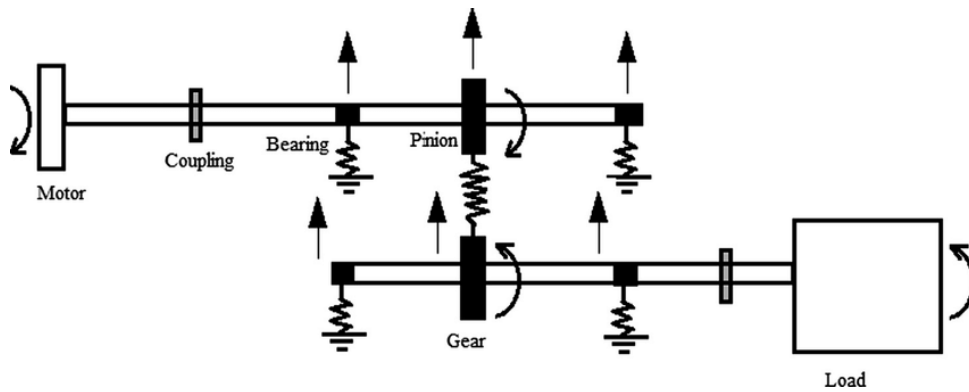
Bu çalışmada kontrol sistemi tasarlanacak olan test düzeneği genel blok yapısı Şekil 2.8 verilmiştir. Bu blok yapısı daha öncede bahsi geçen genel yapıdır. Bu blokta tasarlanan temel elemanların görevleri kısaca açıklanırsa:



Şekil 2.8. Gelişmiş bir test düzeneği tasarımı ve enerji tasarrufu yöntemi

- Ana şasi: Bütün test düzeneğini taşıyacak olan konstrüksiyondur.
- Tahrik motoru: Tasarıma temel alınan 1/1 oranlı dişli kutusunu çevirecek olan ana motordur. Negatif güç aktarımı esnasında yük motoru olarak çalışacaktır.
- Yük motoru: Dişli kutusu çıkışına bağlanacak olup, negatif güç aktarımı esnasında tahrik motoru olarak kullanılacaktır.
- Test edilecek olan dişli kutusu: 1/1 oranlarına sahip sadece dönüş yönünün tersleyen dişli kutusudur.
- Kontrol sistemi: Bütün sistemi kumanda edecek olan ve hız kontrol cihazları ile PLC ekipmanlarını barındıran temel kontrol panosudur.
- Ara yüz bilgisayarı: Testi kolay kullanabilmek ve parametrelerini girebilmek için PARDUS işletim sistemi yüklü düşük maliyetli dizüstü bilgisayar.

Şekil 2.9. de görüldüğü üzere temel test metodolojisi motor tarafından tahrik edilen dişli kutusu girişi, yük üzerinde kullanılan ataletsel ve sürtünmeli yöntemler ile zorlanması üzerine kuruludur.



Şekil 2.9. Klasik test düzeneği tasarımı ve enerji kaybetme yöntemi (Makis V.,2018)

Şekil 2.9. ve Şekil 2.10. da test yöntemlerinde girişe verilen enerji çıkışta söndürülerek enerji kaybı yaşanmakta ve maliyet yükselmektedir. Bu tezde temel alınan test yöntemi bu enerjinin geri kazanılması üzerine kuruludur.



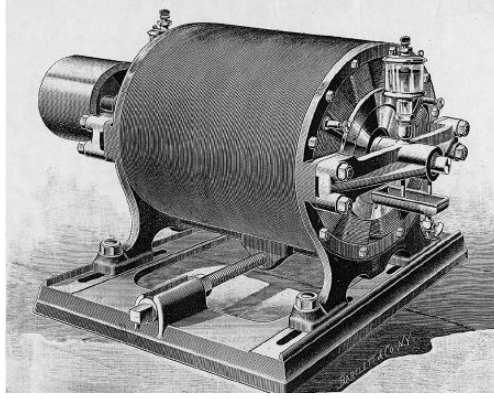
Şekil 2.10. Test düzeneği uygulaması ve enerji kaybetme yöntemi (Sayed M.,2017)

## 2.2. Tahrik ve Yük Motorları

Tasarıma temel alınan test düzeneğinde tahrik motoru ve yük motoru özdeş yapılara sahip asenkron alternatif akım makinesi olarak seçilmişlerdir. Bu motorlar fırçasız olmaları sebebi ile oldukça düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip güvenilir motorlardır. Özel sürme teknikleri ile kullanıldığında, kontrol maliyetleri yüksek olsa da V/f yöntemi gibi kolay uygulanabilir teknikler ile oldukça düşük maliyetler ile kullanılabilir.

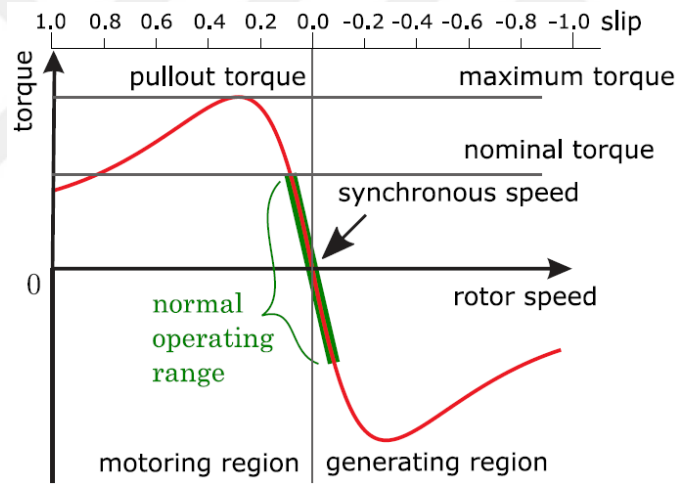
Bu motorların diğer bir özelliği de yük motoru olarak kullanılan motorun rejeneratif bölgede yine maliyet etkin şekilde ve oldukça verimli bir kullanım özelliği göstermesidir. Piyasada benzer özelliklere sahip test makinelerinde kullanılan senkron motorlar ve servo motorlar oldukça yüksek maliyetlere sebep olduklarından, tasarım için dezavantaj oluşturmasından tez çalışması kapsamında incelenmemiştir.

Test sistemlerinde kullanılan asenkron motorların ilk örnekleri Şekil 2.11 de verilen temel motorlar olarak, TESLA tarafından üretilmiş ve ilk alternatif akım elektrik şebekelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu konuda (Qui F. , 2019) , Motor Handbook iyi bir kaynaktır. Bu kaynak incelendiğinde motor yapısına ait detaylar daha iyi gözlemlenebilir.

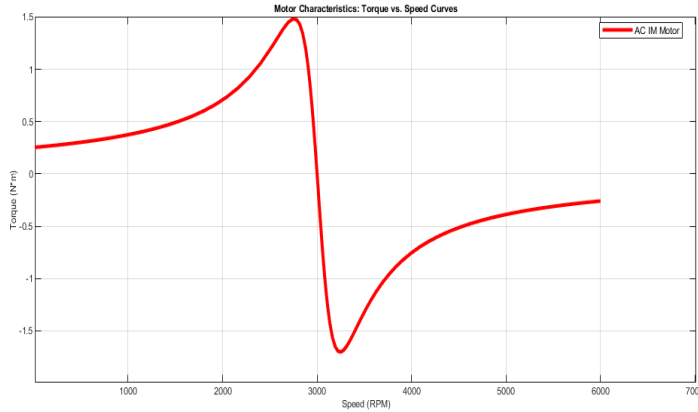


Şekil 2.11. Tesla tarafından geliştirilen indüksiyon motor prototipi (Akın B.,2017)

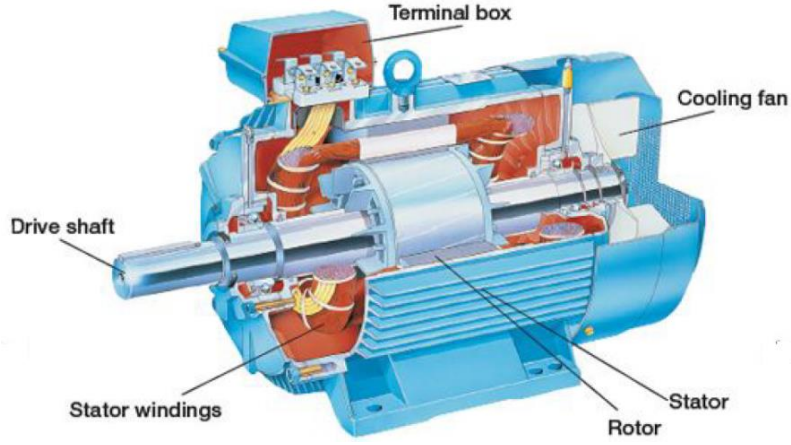
Bu tip motorlar bu gün sanayi uygulamalarının çok büyük bir kısmını üstlenmektedir. Bunu temel sebebi az bakım gereksinimi, kolay uygulama, düşük maliyet ve kabul edilebilir düzeyde bir verimliliğe sahip olmasıdır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 de asenkron motorları tork/devir karakteristik eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.12. Asenkron ind. Motor tork/devir karakteristik eğrisi. (Qi F. ,2017)



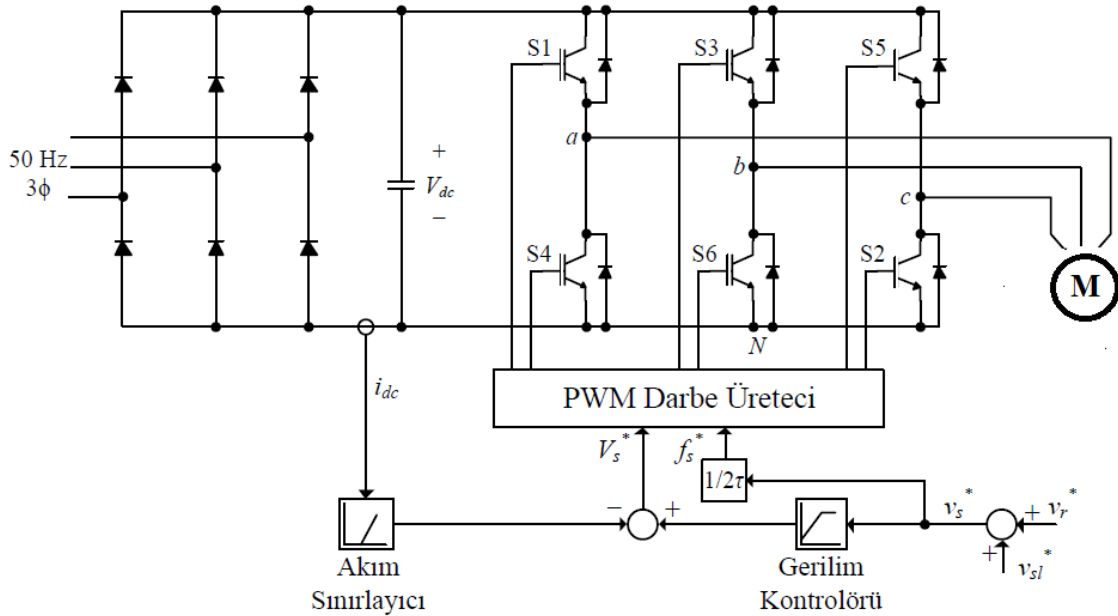
Şekil 2.13. MATLAB ortamında üretilen IM tork/devir karakteristik eğrisi



Şekil 2.14. Modern bir indüksiyon motor kesiti ve elemanları (Akın B. 2013)

### 2.3. Tahrik ve Yük Motorları Genel Sürme Prensipleri

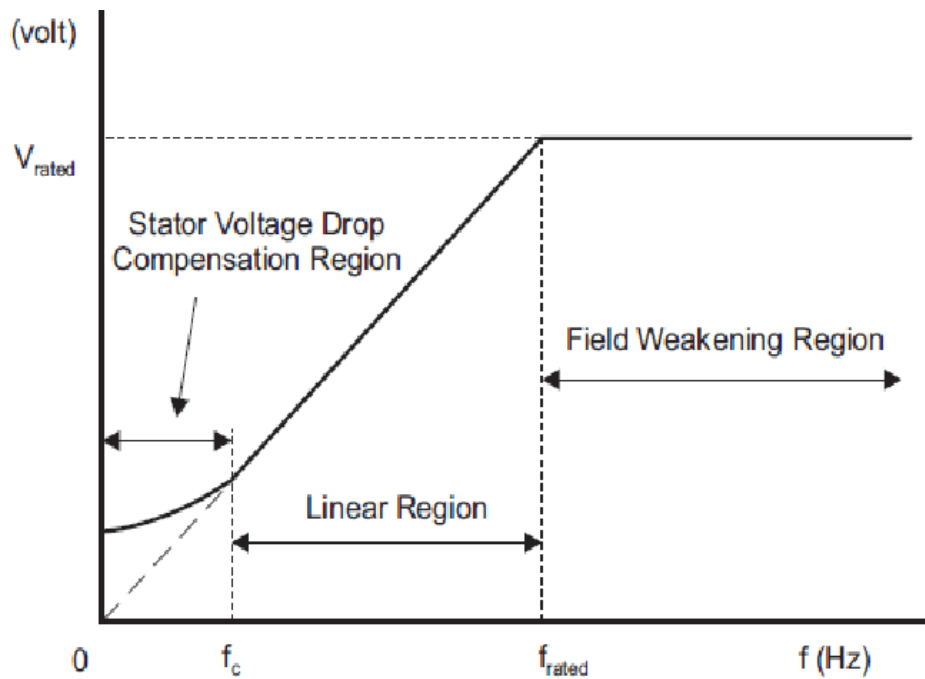
Sistemde kullanılan alternatif akım asenkron motorları diğer adı ile alternatif akım indüksiyon motorları günümüz sanayisinde en çok tercih edilen elektrik motorları ailesidir. Birkaç farklı türevi olsa da ana yapısı hemen hemen aynıdır. Bazen sincap kafesi motor olarak da isimlendirildiği de olmaktadır. Şekil 2.14 de asenkron motorun elemanları ara kesit alınarak verilmiştir. (Akın B. ,2013) .



Şekil 2.15. Skaler kontrol edilen bir AC motorun sürücü şeması (Usta M.A.,2013)

Asenkron motorun temel çalışma prensibi stator içerisinde bulunan sargılarda meydana gelen döner manyetik alanın, sargı bulunmayan rotordaki kısa devre çubuklarına indüklediği akımın oluşturduğu manyetik alanı sürüklemeye çalışması ile meydana gelen dönme hareketi üzerine kuruludur. Motorun serbest çalışma hızı uygulanan alternatif akımın frekansı ile doğru orantılıdır. Ancak motor sargılarının indüktif değerlerinin sabit olması sebebi ile düşük frekanslarda aşırı akımın engellenmesi amacıyla motor uçlarına daha düşük gerilimler uygulanmaktadır. Asenkron motoru sürmek için basit bir sürücü devresi Şekil 2.15. verilmiştir.

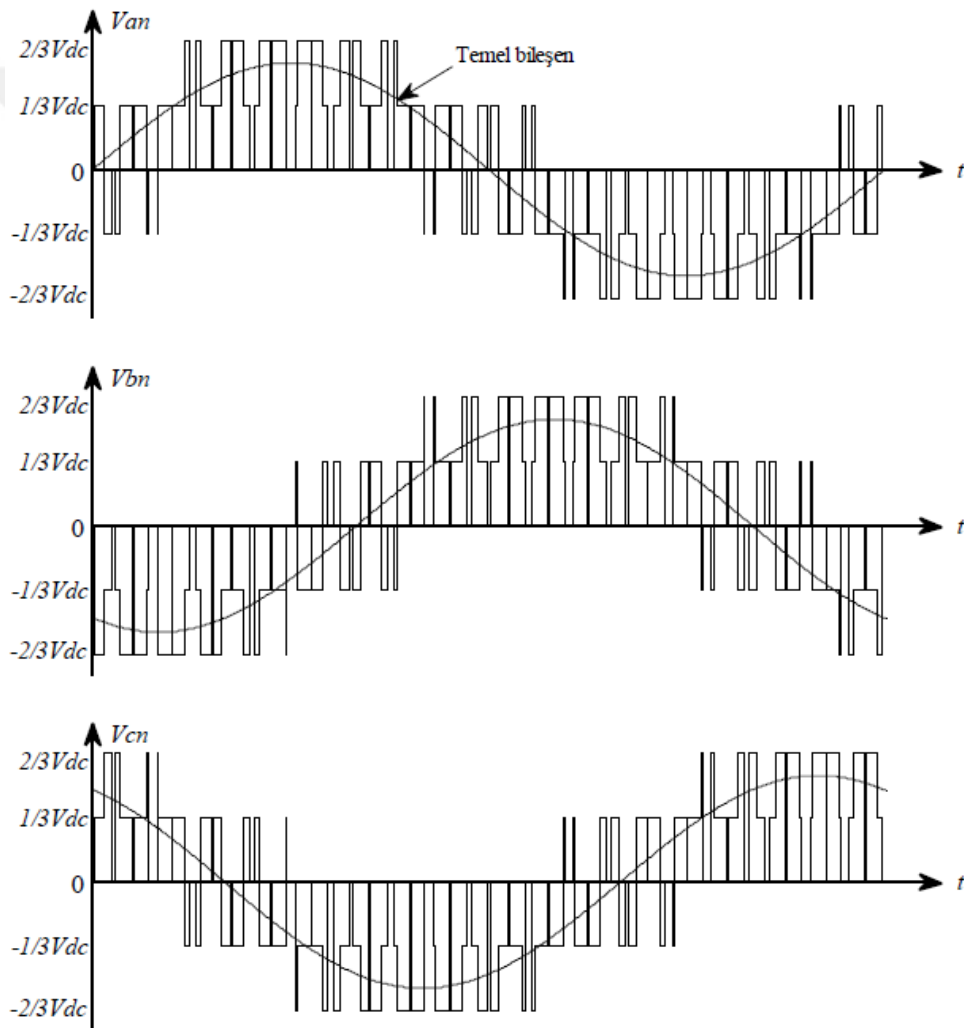
Bu tez çalışmasındaki yenilikçi önermelerden bir tanesi de motorların yüksek maliyetli vektör kontrol gibi metotlar yerine düşük maliyetli V/f kontrol metoduna sahip hız kontrol cihazları ile sürülmesidir. Akla hemen neden direk veya yıldız/üçgen gibi daha ucuz metotlar ile sürülmediği sorusu gelebilir. Bunun sebebi özellikle dişli kutusu testlerinde girişte değişken hız ihtiyacının olması ve hatta bazen giriş ve çıkış motorlarının dişli kutusu çevrim oranı düzeyinde farklı hızlara sahip olabilmesi istendiğinden, yapılan tez çalışması geniş alanda kullanılabilmesi için V/f kontrollü hız kontrol cihazı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.16. verilen AC motorun gerilim / frekans eğrisinden de görüldüğü gibi  $f_c$  ile  $f_{rated}$  arasındaki frekanslar için doğrusal(linear) bir çıkış voltaj vererek motorun istenen hızda kontrolü mümkün olmaktadır. (Usta M. A. 2013).



Şekil 2.16. Skaler kontrol edilen bir AC motorun V/f eğrisi (Usta M. A. 2013)

Hız kontrol devresinden elde edilen motorun her bir fazına uygulanan gerilim biçimi de Şekil 2.17. verilmiştir.

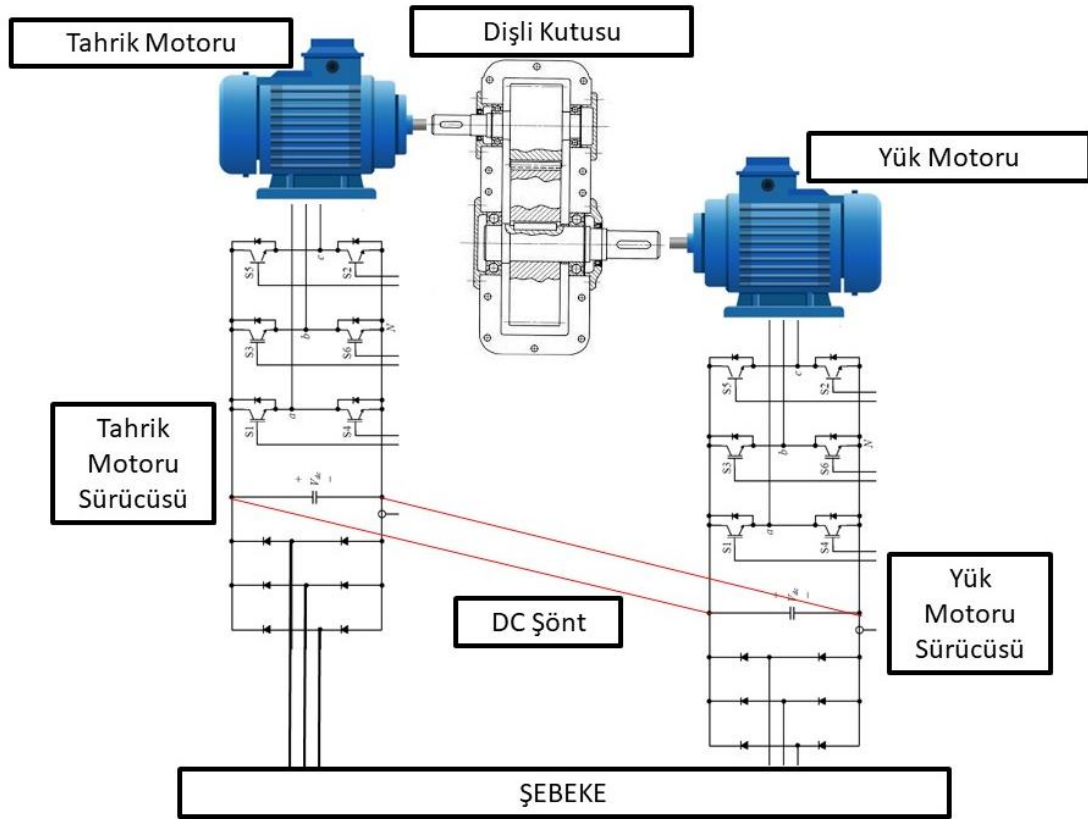
Enerji tasarrufu konusu ise bu tez çalışmasındaki en önemli yenilikçi noktalardan birisidir. Enerji kazanımı tasarlanan tez çalışmasında, örneğin 10 kW güç aktarması yapan bir dişli kutusunun testi yapılırken klasik frenli yöntemlerde şebekeden 10 kW dan daha fazla güç çekilmesi durumu yaşanırken, tasarlanan tez çalışması metodunda ise dişli kutusu yine 10 kW enerji aktardığı durumda şebekeden sadece 2-3 kW mertebesinde güç çekilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 2.17. Skaler kontrol edilen bir sürücünün çıkış dalga şekilleri (Usta M. A. 2013)

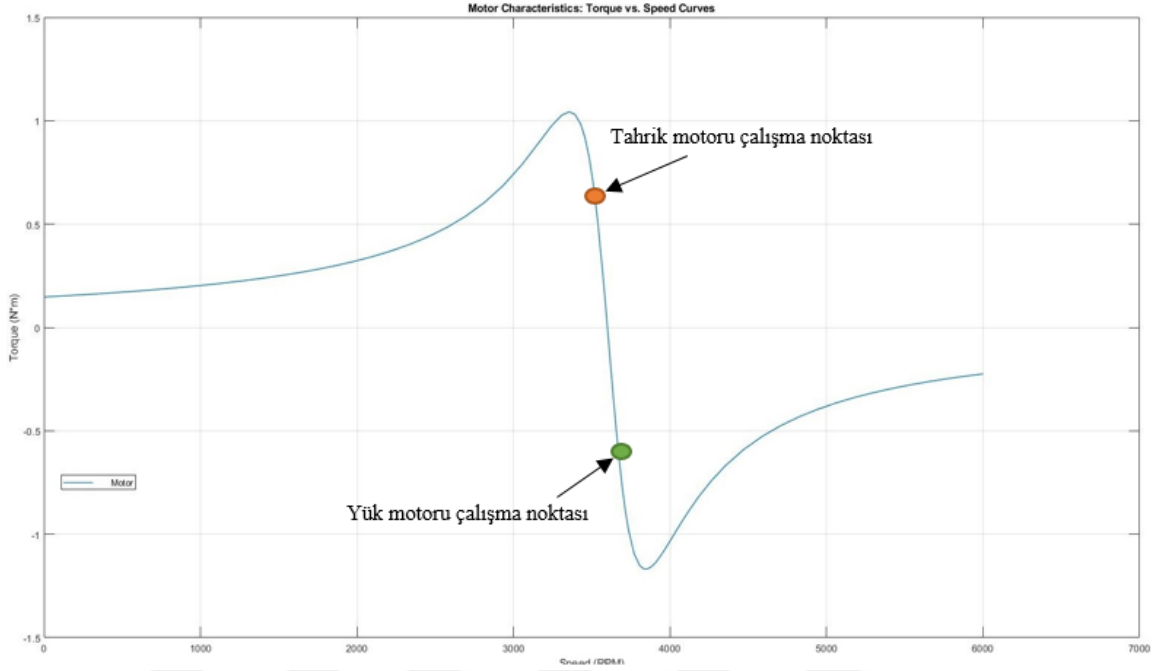
Tez çalışmasında enerji kazanımı yük olarak çalışan motorun ürettiği enerjinin, testte kullanılan tahrik motorunda tekrar kullanılması sayesinde şebekeden daha az güç çekilmektedir. V/f teknikli hız kontrol cihazlarının genel yapısı incelendiğinde enerjinin

şebekeden alındıktan sonra bir köprü doğrultucudan geçip bir kapasitör bankasına DC olarak depolanmasından sonra yine 6 elemanlı bir köprü devresi üzerinden tekrar alternatif akıma çevrilmesi temeline dayalıdır. İşte tam bu noktada tahrik motorunu süren cihazın kapasitör bankası ile yük motorunu süren cihazın kapasitör bankaları paralel bağlanarak enerjinin, şebekeye daha az ihtiyaç duyularak yük motorundan geri gelen atık enerjiden temin edilmesi sayesinde enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Şekil 2.18. de DC şönt üzerinden kazanılan enerji alınır ve tahrik motorunda tekrar kullanılır.



Şekil 2.18. Kontrol sistemi blok şeması ve enerji geri kazanım yolu

Enerji kazanımı olabilmesi için tahrik motorunun sürüldüğü alternatif akım frekansına karşılık gelen açısal hızın bir miktar altında olacak şekilde ve yük motorunun sürüldüğü frekansa karşılık gelen açısal hızın bir miktar üzerinde konumlandırılması gerekmektedir. Bu durumda tahrik motoru enerji harcamaktadır. Yük motoru ise enerji üretmektedir. Yoldaki bütün ekipmanların bu denge noktasındaki verimsizlikleri sistem kaybı olarak değerlendirilmektedir. Sistem kaybını en aza indirmek maksadı ile ilgili organların hepsi yaklaşık tasarım hızlarında çalışmalıdır. Şekil 2.19. Karakteristik eğri üzerinde tahrik ve yük motorlarının çalışma noktaları verilmiştir.



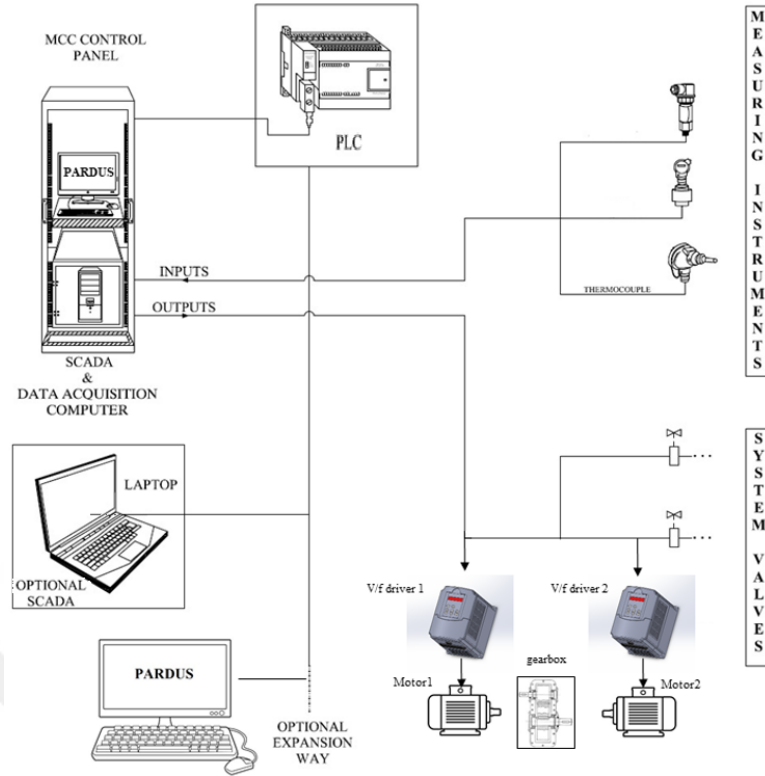
Şekil 2.19. Karakteristik üzerinde tahrik ve yük motorlarının çalışma noktaları

Yol boyunca enerji tasarrufunu ters yönde etkileyen sistem bileşenleri tahrik motoru sürücüsü verimsizliği, tahrik motoru verimsizliği, dişli kutusu verimsizliği, yük motoru rejeneratif bölge verimsizliği ve yük motoru sürücüsü rejeneratif bölge verimsizliğidir. Bunların en aza indirilebilmesi için motor ve sürücünün tasarlandıkları frekansa yakın çalıştırılması ve dişli kutusunun en az iç sürtünme verdiği noktalarda test edilmesi gerekmektedir.

#### 2.4. Test Sistemi Kontrol Merkezi ve PLC Ünitesi

Bölüm 2.2 de anlatılan test makinesini bir vücut gibi hayal edersek kemikler ve kaslar olarak tanımlayabileceğimiz bu güçlü organları kumanda etmek başlı başına bir beyin gerektirmektedir. Bu çalışmada bu görev PLC olarak tanınan ve küçük bir endüstriyel bilgisayar olarak da bilinen donanım ile karşılaştırılması tasarlanmıştır. Bu yetenekli otomasyon ekipmanı piyasada çokça kullanılmaktadır.

PLC diğer bir deyişle programlanabilir mantık denetleyicisi kendisine verilen özgün dilinde yazılmış programları aylarca ve hatta yıllarca işletme kapasitesine ve dayanıklılığına sahip bir kontrol sistemi elemanıdır. Şekil 2.20a. da genel bir kontrol sistemi mimarisi ve kontrol bağlantıları şematik olarak verilmiştir. Şekil 2.20b. de ise bir PLC sistemi mimarisinin monte edilmiş hali mevcuttur.



Şekil 2.20a. Kontrol sistemi mimarisi ve kontrol bağlantıları

İlk örnekleri yaklaşık 60'lı yıllarda karşımıza çıkmaya başlayan bu akıllı cihazlar temelde dayanıklılığı ve yazılım özellikleri ile bu tür işler için özelleştirilmiş endüstriyel bir bilgisayardır. Temel işlevi, fiziksel ortamdan aldığı verileri, daha önce verilmiş bir algoritmik programa göre işleyip bir takım çıkışlar üretmek ve bunlarla yine fiziksel ortama bazı kumanda sinyalleri göndermektir.

Günümüzde çok çeşitli varyantları bulunan bu temel denetleyici artık otomatik kontrol dünyasında vaz geçilmez bir donanım olarak yerini almıştır. Bu çalışmada ise ladder lojik dilinde programlanması yapılmış bir PLC ünitesi bütün test sistemini kumanda etmektedir. Özen F. 2019 tarihli tez çalışmasında benzer bir yapıyı tarif etmektedir.

PLC denetleyici programlamak için genellikle üç programlama dili kullanılır. Bunlar Ladder- basamak tip programlama (LAD), komut satırı programlama (STL) ve fonksiyon diyagramı programlama (FBD) dilleridir. PLC programlanırken bu yöntemlerden uygun olan seçilmelidir. Genellikle ladder programlama kullanılmaktadır.

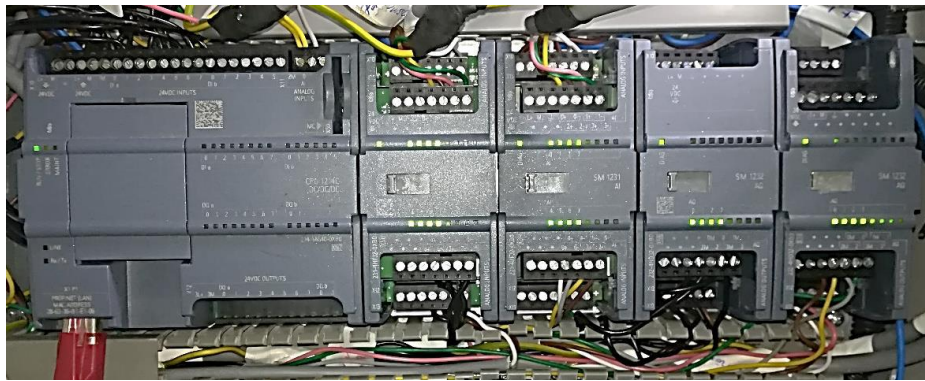
Ladder (basamak) program: Ladder programlama, kumanda devresinin şematik çizimine benzer semboller kullanılarak yazılan bloklar halinde temel lojik elemanlar, kontak, bobin

ve kutular olarak temsil edilir. Ladder programı grafik ve çizim tabanlı bir programlama olduğu için programlama kolaylığı sağlar. Bunun yanında büyük devreler programlanırken ladder diyagramının karmaşıklaşması istenmeyen bir durumdur

**Komut Listesi (STL) Programlama:** Komut listesi programları isminden de anlaşılacağı üzere, istenilen işlevleri yerine getiren bir dizi komut satırından oluşur. Ladder programındaki grafik gösterimler yerine lojik komutlar kullanılır. STL programlama komutları AND, OR gibi lojik mantık komutları kullanılarak program yazılımı gerçekleştirilir.

**Fonksiyon blok diyagramı (FBD) programlama:** Bu programlama dilinde ise program lojik kapı sembolleri ile yazılır. Temel mantık kapıları kullanılarak programlama gerçekleştirilir. Devre lojik kapılar ile kurulmak isteniyorsa bu programlama yöntemi kullanışlıdır.

Şekil 2.20 deki genel PLC projesi incelenirse, en solda bir CPU ünitesi ve onun sağına takılmış genişleme modüllerinden oluştuğu görülmektedir. Genişleme modülleri sahadan gelen verilerin dijital giriş, çıkış ve analog giriş/çıkış kanalları üzerinden elektriksel iç haberleşme yoluna aktaran ve buradan da CPU üzerinde koşturulan yazılıma aktarılmasını sağlayan donanımlardır.

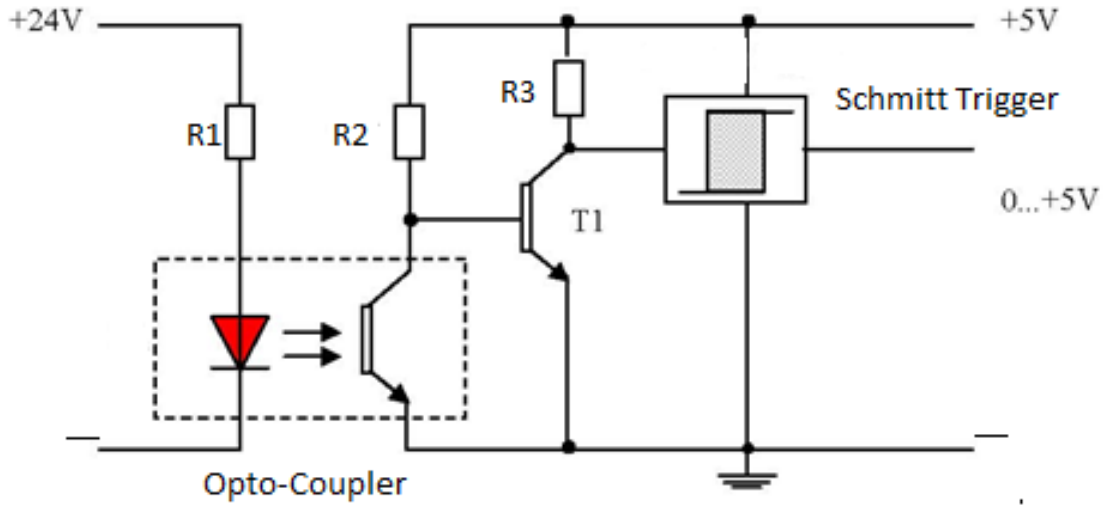


Şekil 2.20b. Genel bir PLC kurulumu ve ek kartları (Ulu F.M.,2019)

Örneğin bir analog giriş kartı sahada bir sensörden aldığı 0-10 VDC aralığındaki sensör bilgisini ADC ile sayısal veriye dönüştürerek bir kayıtlayıcıya (register) yazan CPU ya iletir. Şekil 2.20b. de genel yapı gösterilmiştir.

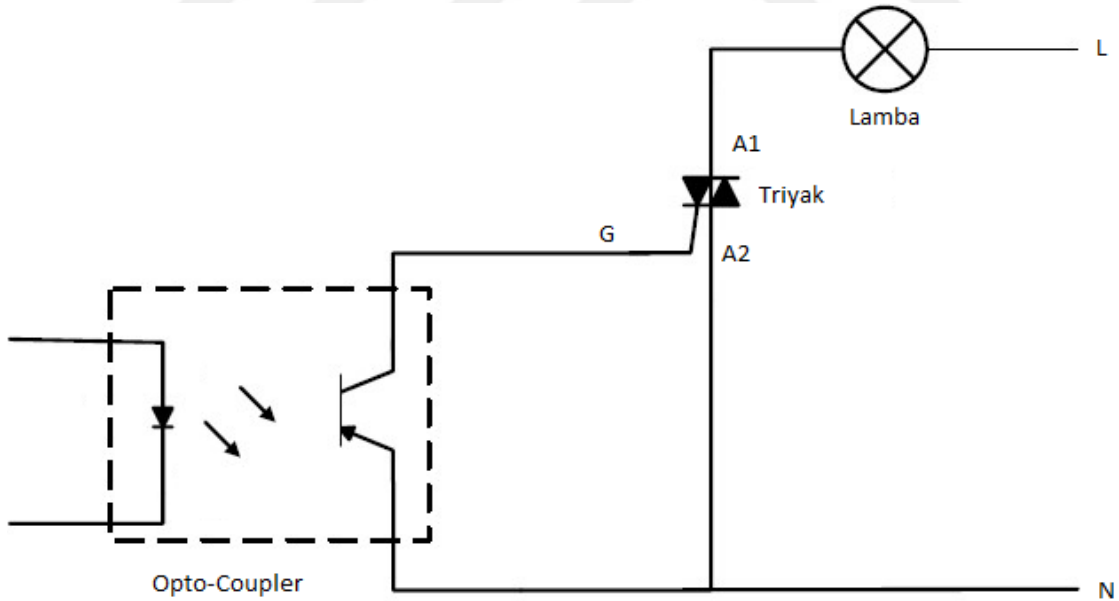
PLC, dijital girişinin devre yapısı olarak Şekil 2.21 de görüldüğü gibi bir optokuplör

üzerinden gelen 24VDC sinyal, bir karşılaştırıcı devresi üzerinden veri yoluna iletilir.



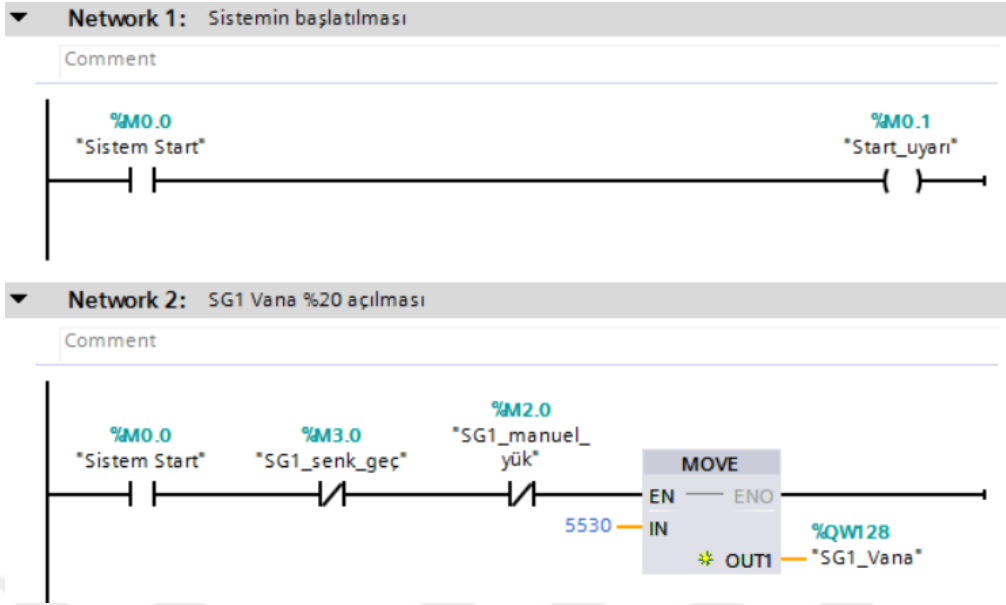
Şekil 2.21. Genel bir PLC dijital giriş katı devresi (Özen F.,2019)

Aynı şekilde, PLC çıkış devresi örneği de Şekil 2.22 verilmiştir. Veri yolundan gelen sinyal bir triyak devresini kontrol ederek bir lambayı sürebildiği gibi bir röle veya kontaktör devresini de sürebilir.



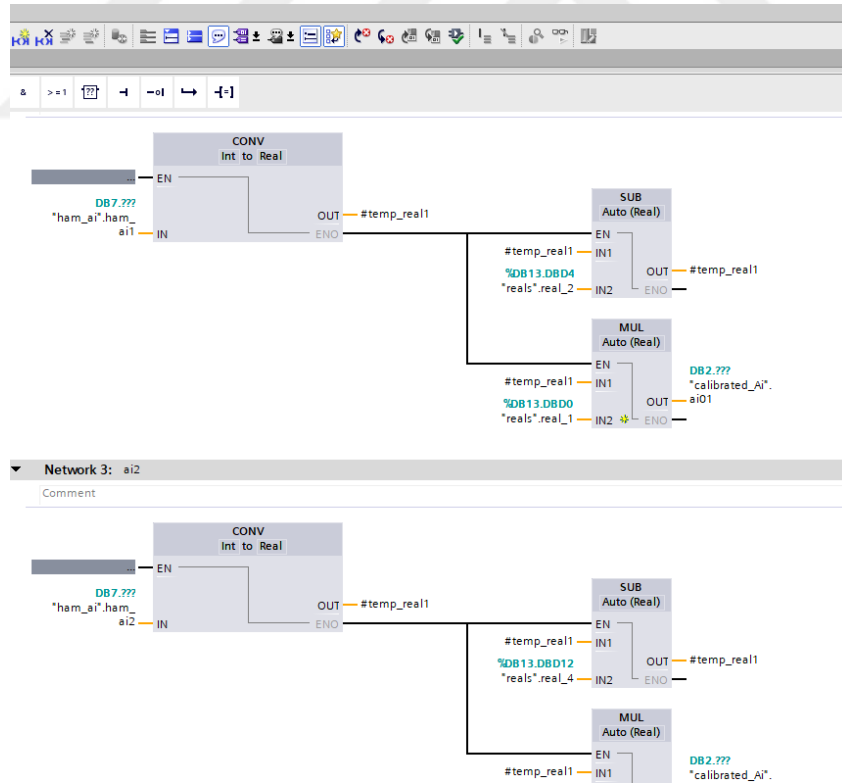
Şekil 2.22. Genel bir PLC dijital çıkış katı devresi (Özen F.,2019)

PLC programlamada önceden kullanılan ladder lojik programlama metodunun en yaygın metot olduğu daha önce ifade edilmişti. Bu programlama metodu da tez çalışmasında kontrol sistemi üzerinde kullanılan temel programlama dili olarak tercih edilmiştir. Şekil 2.23. bir Ladder lojik programlama örneği verilmiştir.



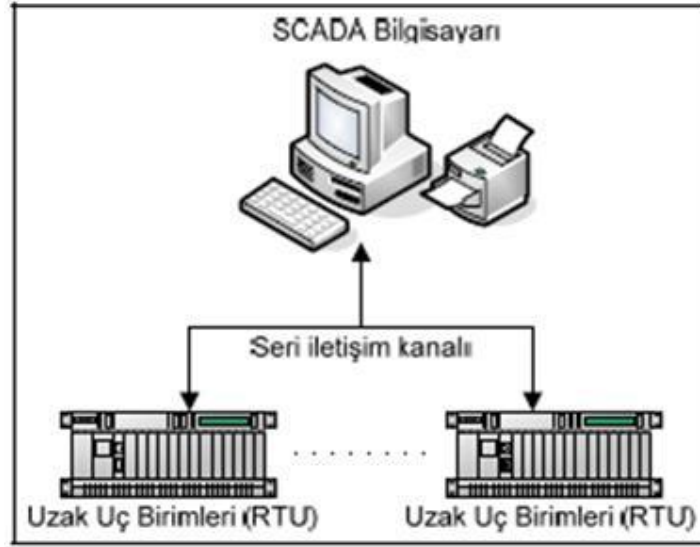
Şekil 2.23. Genel bir Ladder lojik programlama örneği (Ulu F.M.,2019)

FBD programlama yöntemi de günümüzde hızlıca gelişen programlama yöntemlerinden birisidir. Şekil 2.24 genel bir FBD lojik programlama örneği verilmiştir.



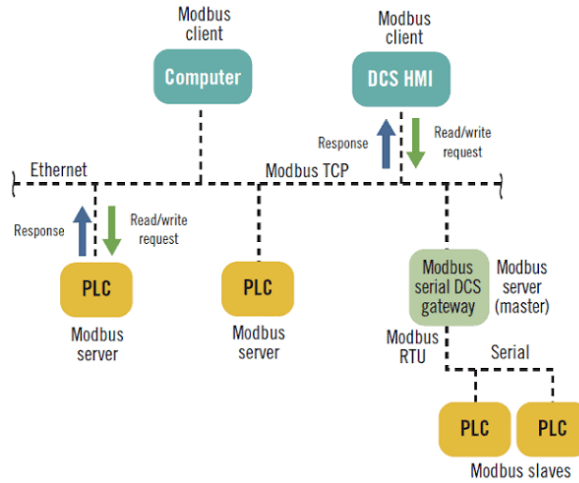
Şekil 2.24. Genel bir FBD lojik programlama örneği (Ulu F.M.,2019)

PLC ünitesi genel anlamda bir uzak terminal ünitesi olarak modellendiği durumlarda haberleşme için Şekil 2.25 deki gibi bir mimariye ihtiyaç duyulur.



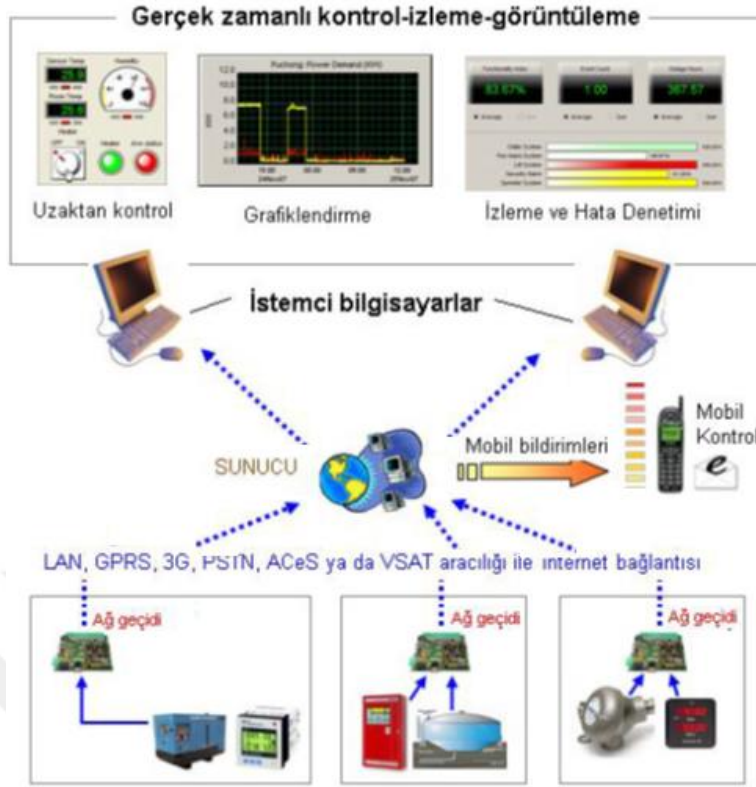
Şekil 2.25. Genel bir haberleşme mimarisi (Karayel M.,2013)

Bu tez çalışmada hedeflenen mimaride SCADA bilgisayarı ile temsil edilen yerde TÜBİTAK ULAKBİM tarafından geliştirilen PARDUS işletim sistemi yüklenmiş bir bilgisayar ve seri iletişim kanalı için ise 100 M.bit Ethernet hattı bulunmaktadır. Ethernet üzerinde ise Şekil 2.26 da genel yapısı verilen veri toplama mimarisi protokolü MODBUS TCP kullanılmıştır.



Şekil 2.26. MODBUS TCP haberleşme mimarisi (URL-4)

SCADA terimi özellikle otomasyon ve otomatik kontrol sistemlerinde çokça kullanılmakta olan bir terimdir. SCADA açılımı “Supervisory Control and Data Acquisition” İngilizce kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan sistem de temelde bir SCADA sistemidir. Şekil 2.27 gelişmiş bir SCADA mimarisi ve veri yolları örneği verilmiştir.



Şekil 2.27. Gelişmiş bir SCADA mimarisi ve veri yolları (Güngör Y. , 2010)

Fatih ÖZEN tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında kullanılan benzer bir çalışma da DC motorun kontrolü yapılmış ve deneyler bir SCADA sistemi üzerinden koordine edilmiştir. Veriler SCADA üzerinde toplanarak analize hazır hale getirilmiştir

Bu tez çalışmasında tasarıma geçmeden önce bazı yazılımsal denemeler yapılarak tasarımda kullanılacak bazı yapıların önceden test edilmesi de sağlanmıştır. Özellikle haberleşme ağının oluşturulması için yapılan testler önemli yer almıştır.

Şekil 2.28 de Siemens S7-1200 PLC ile yapılan haberleşme denemesi test görseli verilmiştir. Tasarımda mümkün olabilecek çeşitli olasılıkların tespiti amacıyla yapılan 24 saatlik haberleşme testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, özellikle haberleşme kalıcılığını sağlamak amacıyla, verilerin hatasız iletimi, verilerin istenen sıklıkta ve zaman aralığında iletilip iletilmediği gibi testler yapılmıştır.

Aynı PLC üzerinde bulunan TCP/IP haberleşme portu sayesinde çeşitli ortamlara bilgi alış verişi yapılması test edilmiştir. Tez çalışması kapsamında uygulamada ise haberleşme MODBUS-TCP haberleşme protokolü üzerinden yapılmıştır. Şekil 2.29 test yazılımı Siemens S7/1500 PLC test kurulumu görseli verilmiştir.

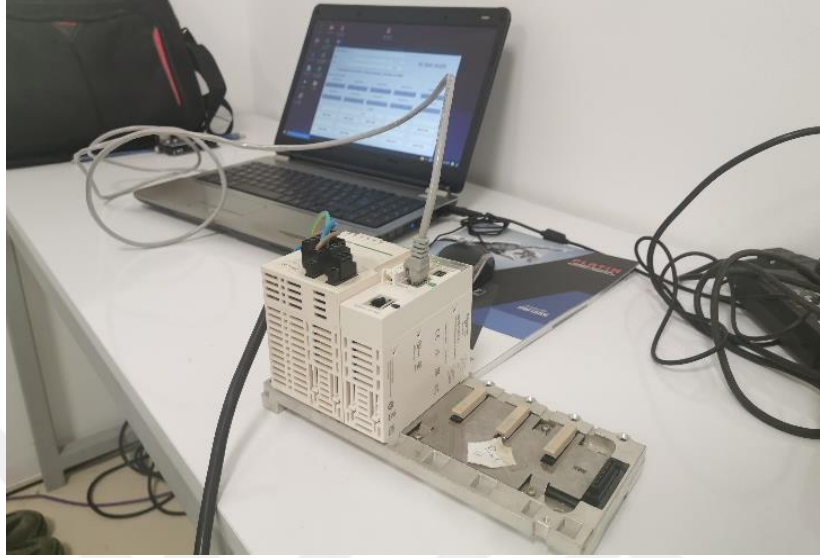


Şekil 2.28. Test yazılımını Siemens S7/1200 PLC test kurulumu



Şekil 2.29. Test yazılımını Siemens S7/1500 PLC test kurulumu

Test kurulumunda daha yüksek kapasiteli test düzeneklerinde kullanılabilmesi amacıyla Siemens S7-1500 ailesinden bir CPU ile yapılan denemeler incelenmiş ve haberleşme kuralları belirlenmiştir.



şekil 2.30. Test yazılımı MODICON M340 PLC test kurulumu

Benzer şekilde modicon serisi PLC ler ile de çalışılarak, aynı haberleşme kurallarına standart getirebilmek için haberleşme testleri de yapılmıştır.

## 2.5. Test Sistemi HMI (İnsan – Makine Arayüzü) ve PARDUS İşletim Sistemi

Eğer bir test sistemini kumanda etmek söz konusu ise karşımıza hangi parametreler girdi olacak ve hangi değerler çıktı olacak ve ara kademelerde kullanıcı hangi değişkenlere müdahale edecek ve hangilerini izleyecek gibi temel bazı soruları cevaplayacak bazı fonksiyonların tanımlanması gerekir. Bu çalışmada bu görev PLC üzerinden veri toplayan ve oldukça mütevazı bir donanıma sahip olan bir kişisel bilgisayar üzerinden gerçekleştirilmektedir.

İnsan makine arayüzü sistemleri, kumanda etmek için özel tasarlanmış buton ve ışık gruplarından başlayıp çok gelişmiş dokunmatik ekran sistemlerine kadar uzanmaktadır. Bu uygulamada bir kişisel bilgisayar ve klavye-Mouse üzerinden kumanda edilen bir grafik ara yüz kullanılması planlanmıştır.

Temel olarak yerlileşme yönünde adım atmak üzerine hedeflenmiş bu çalışmada en büyük yerlileşme adımı PARDUS yerli işletim sistemi kullanılarak, grafik ara yüzün

oluşturulmasıdır. PARDUS son yıllarda özellikle kamu işletmelerinde masaüstü işletim sistemi olarak yaygınlaşmaya başlamış bir LINUX türevinin TÜBİTAK tarafından dağıtımını yapılan bir işletim sistemidir.

PARDUS TÜBİTAK tarafından uzun yıllardır üzerinde çalışılan ve özellikle kamu kurumlarında masaüstü ve bazı sunucu uygulamalarında kabul görmüş, oldukça makul x86 temelli sistemlerde bile çalışabilen, kullanıcı dostu bir arabirime sahip bir işletim sistemidir. LINUX tabanlı olup üzerinde geliştirilen uygulamalar yakın akrabası olan diğer LINUX sürümlerinde de sorunsuz çalışmaktadır. Sarıkaya İ. 2019 tarihli tez çalışmasında kullanımını açıklamıştır.

PARDUS üzerinde yapılan çalışmalarda özellikle masaüstü uygulamalarda çok geniş bir program dağarcığına sahip olduğu gözlenmiştir. Şekil 2.31 de PARDUS genel ekranı görülmektedir.

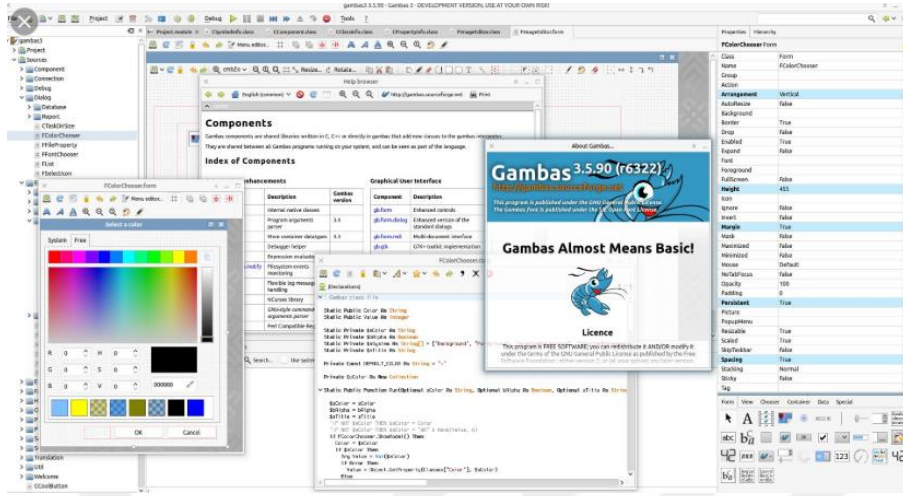


Şekil 2.31. PARDUS masaüstü genel görünümü(URL-6)

Genel güncel donanım tanıma ve sürücü dağarcığı da oldukça iyidir. WEB tarayıcı olarak kullandığı yazılımlar özellikle TCP tabanlı socketleri kullandığından amaca daha uygun olmaktadır. Yapılan geliştirmelerde özellikle dikkat edilen konu kısa sürelerde etkin ve istikrarlı bir çalışma ortamının gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla yapılan araştırma ve deneme çalışmalarında PARDUS üzerinde yazılım geliştirme ortamı olarak GAMBAS geliştirme paketinin kullanılması uygun görülmüştür.

GAMBAS paketi genel olarak LINUX ortamları için WINDOWS ortamındaki Visual BASIC görsel yazılım geliştirme ortamına benzeyen bir yazılım geliştirme aracıdır. Şekil

2.32 de genel GAMBAS arayüzü ve pencere yapısını göstermektedir.



Şekil 2.32. GAMBAS uygulama geliştirme ortamı ve arayüzü (URL-6)

Bu güne kadarki yazılım deneyimlerimizde Microsoft Visual studio paketini genel olarak kullanıldığı ve BASIC dilinin kısa sürede en hızlı ve sorunsuz yazılım geliştirme ortamı olduğu tarafımızdan kabul görmüş idi. GAMBAS dili üzerinde yaptığımız inceleme çalışmalarında özellikle Visual BASIC diline yakın pek çok özelliğinin var olduğu görüldü. Yapılan deneme amaçlı yazılım parçacıklarının kolayca ve sorunsuz derlendiği ve ayrıca yapılan en az 48 saatlik testler ile kilitlenme ve cevap vermeme sorunlarının neredeyse sıfıra yakın olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2.35 teki test düzeneği üzerinde yapılan haberleşme denemeleri, MODBUS TCP kullanılarak bir ARDUINO kartı ile haberleşme üzerine kurulmuş olup burada yakalanan başarı ile diğer denemelerde de MODBUS TCP endüstriyel haberleşme protokolünün kullanılmasının uygun olacağı öngörülmüştür.

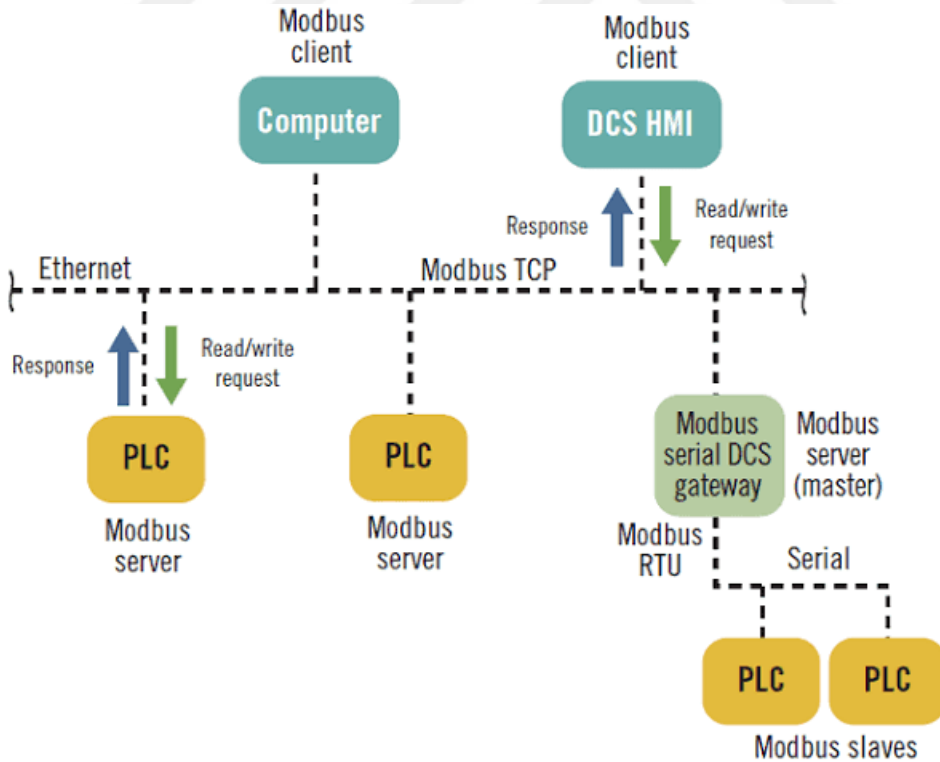
Bir PLC ünitesi ile haberleşmek söz konusu ise ilk bilinmesi gereken konu PLC'nin hangi haberleşme protokolünü kullandığı ve bu protokol ile haberleşmenin nasıl yapılacağı konusudur. MODBUS TCP bu konuda oldukça net bir çözüm sunmaktadır. Sadece birkaç byte veri ile sorulan basit sorulara yine sadece birkaç byte ile cevap vermesi ve karmaşık hata kontrol kodlarının tamamen TCP protokolü üzerinde halledilmiş olması sebebi ile olası rakipleri arasında iyi bir avantaja sahiptir. Yapılan temel denemelerde özellikle Windows ortamında, sahip olduğu freeware simülatörler ile yapılan pek çok teste çok başarılı olduğunu kanıtlamıştır. Modbus TCP küresel ölçekte kullanılan onlarca marka PLC ve yardımcı cihazda yerleşik protokol olduğu gibi, pek çok PLC içerisinde

kullanılabilen basit kontrol blokları ile de MODBUS TCP Master veya slave olarak yapılandırılabilir.



Şekil 2.33. MODBUS/TCP logosu (URL-5)

Şekil 2.33 de logosu görülen Modbus TCP genel olarak mimari açıdan client/Server özelliklere sahip, pek çok fonksiyonu kendi içerisinde basitleştirilmiş ve kullanıcı dostu bir soket tabanlı programlama metodu kullanılarak haberleşmeyi sağlayan bir protokoldür. Şekil 2.34 de verilen Modbus TCP mimarisi çoklu server ve client uygulamalara uygundur. Haberleşme alt yapısı uygun olduğu müddetçe sorunsuz haberleşme imkânı sağlamaktadır.



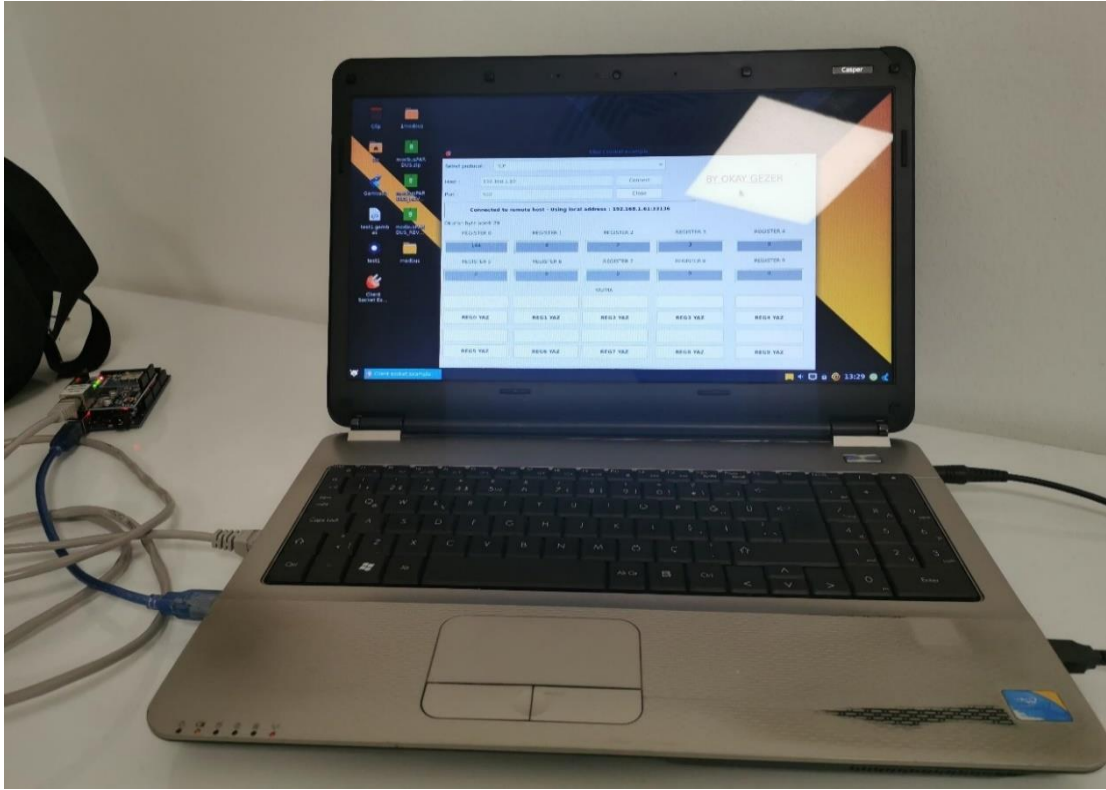
Şekil 2.34. MODBUS/TCP Haberleşme mimarisi (URL -4)

MODBUS TCP temelde iki temel node üzerinde çalışabilmektedir. Sistemde bir sunucu ve bir istemci var ise sunucu, istemcinin istediği sıklıkta kuralına uygun sorduğu her

soruya kuralına uygun bir cevap verir. Ancak sistemde onlarca sunucu ve onlarca istemci bulunan Multi node – multi master sistemlerde MODBUS TCP protokolünü işletebilir. Hatta bazı uygulamalarda ağlar parçalanarak alt ağlara bölünerek performans artırılmıştır. Ortalama cevap süresi olarak 10 milisaniye altına kadar inilmiştir. Bu değerler deterministik olmayan haberleşme ağları için çok iyi değerlerdir.

Endüstriyel kontrol alanında haberleşme için bu güne kadar özellikle seri haberleşme yöntemleri sıklıkla kullanıla gelmiştir. Bu yöntemler daha sonra mesafe ve hız konusunda yapılan iyileştirmeler sayesinde 9600 bit /sn değerlerinden 100 Mbit /sn değerlerine kadar yükselmiş ve yükselmeye devam etmektedir. Haberleşme mesafesi ise 3-5 metrelerden öncelikle RS-485 yardımı ile 1200 metrelere ve daha sonra da fiber optik Ethernet ağları ile onlarca kilometreye çıkarılmıştır.

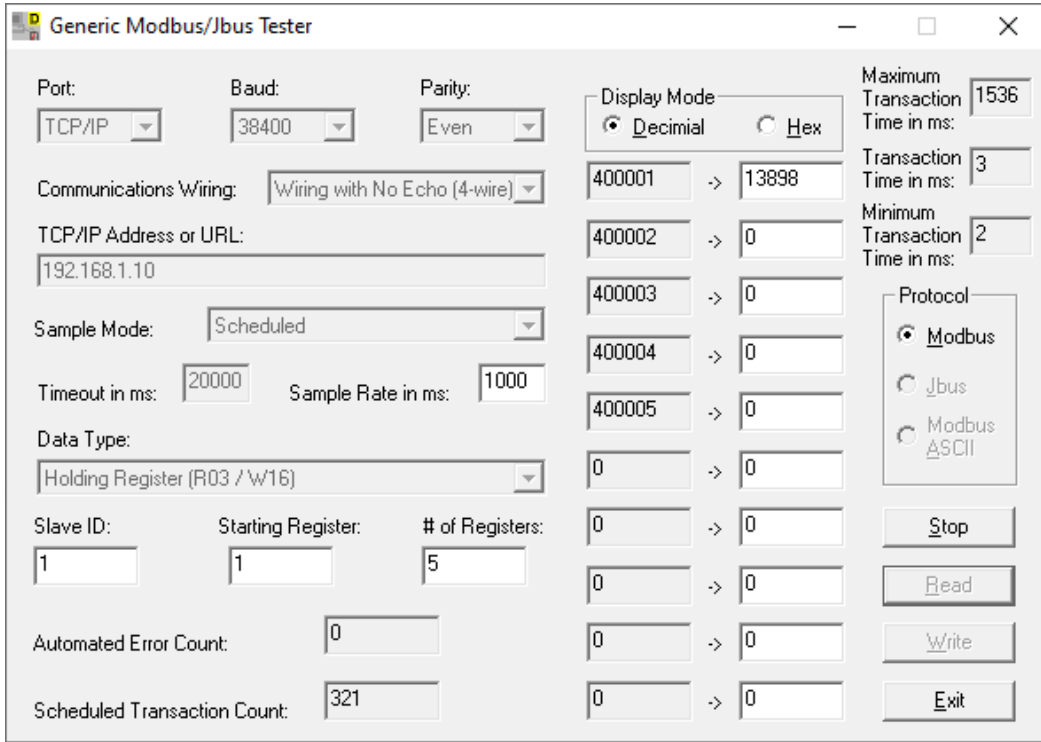
Haberleşme denemeleri için öncelikle Şekil 2.35 deki test düzeneğinde bir MODBUS TCP Server yazılımı bir Arduino Mega prototip kartına yüklenmiş ve bir Ethernet shield üzerinden Windows yüklü bir bilgisayara bağlanmıştır.



Şekil 2.35. MODBUS/TCP ile haberleşen ARDUINO MEGA test düzeneği

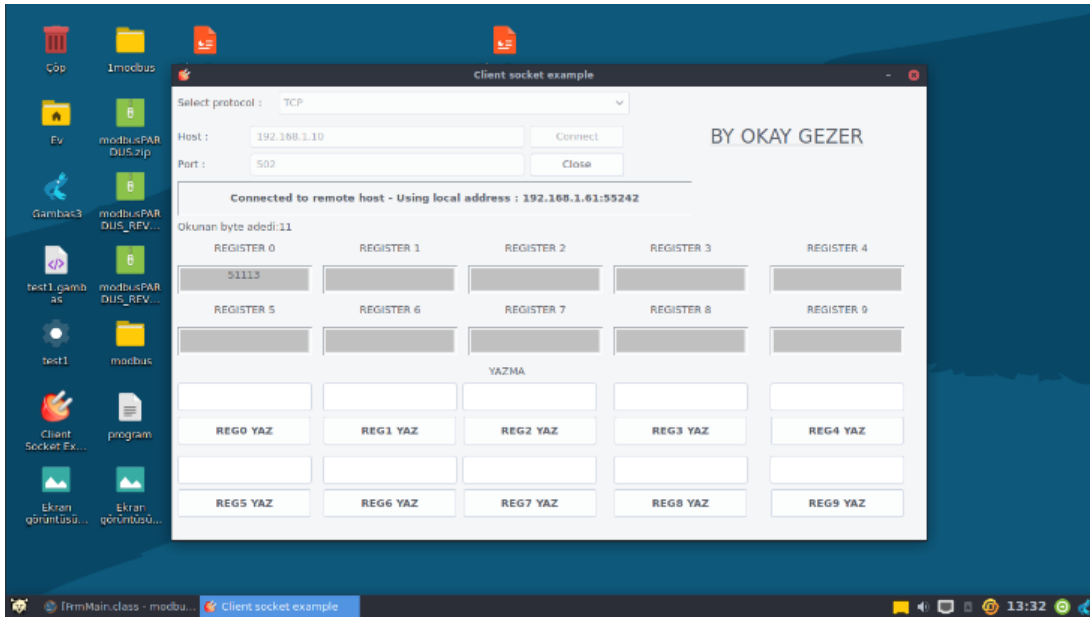
Daha sonra Şekil 2.36 daki arayüze sahip ve internet ortamında kolayca bulunan basit ve

küçük bir istemci test yazılımı ile bu kartın sağlıklı çalıştığı test edilerek gözlemlenmiştir.



Şekil 2.36. Generic MODBUS tester yazılımı ara yüzü

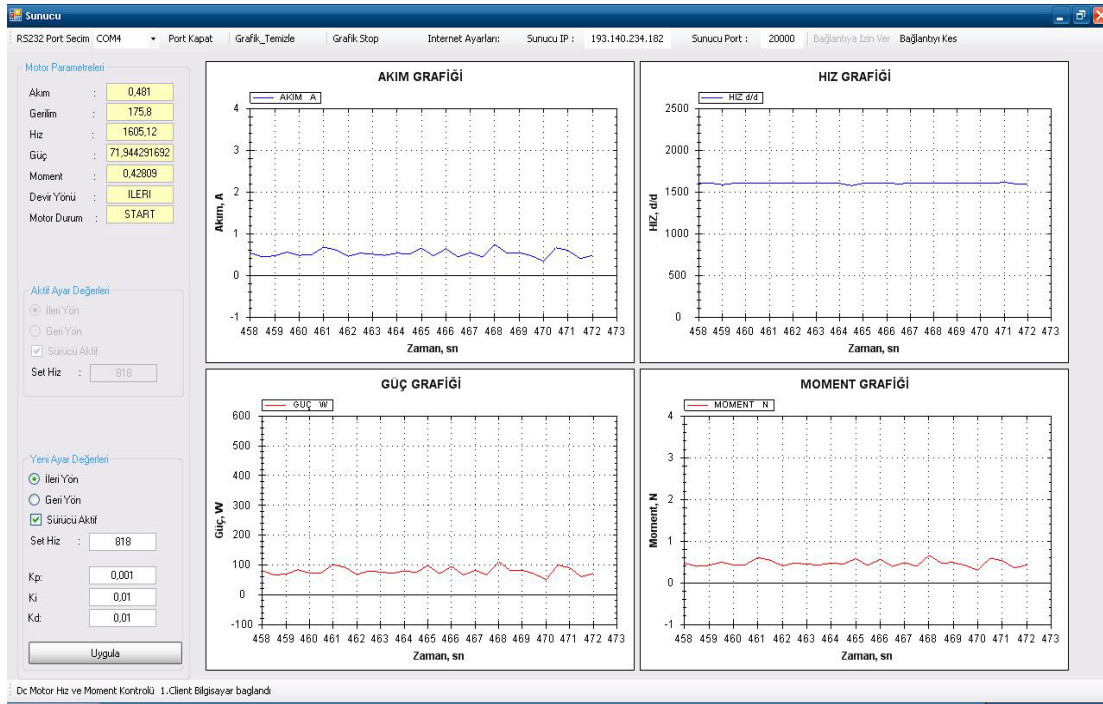
Bu yazılım sayesinde daha sonra testleri yanıtlanacak bazı hatalar önceden görülüp tespit edilebilmiş ve ilk deneme ortamı ara yüzü Şekil 2.37 de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2.37. Test amaçlı özgün haberleşme yazılımı ara yüzü

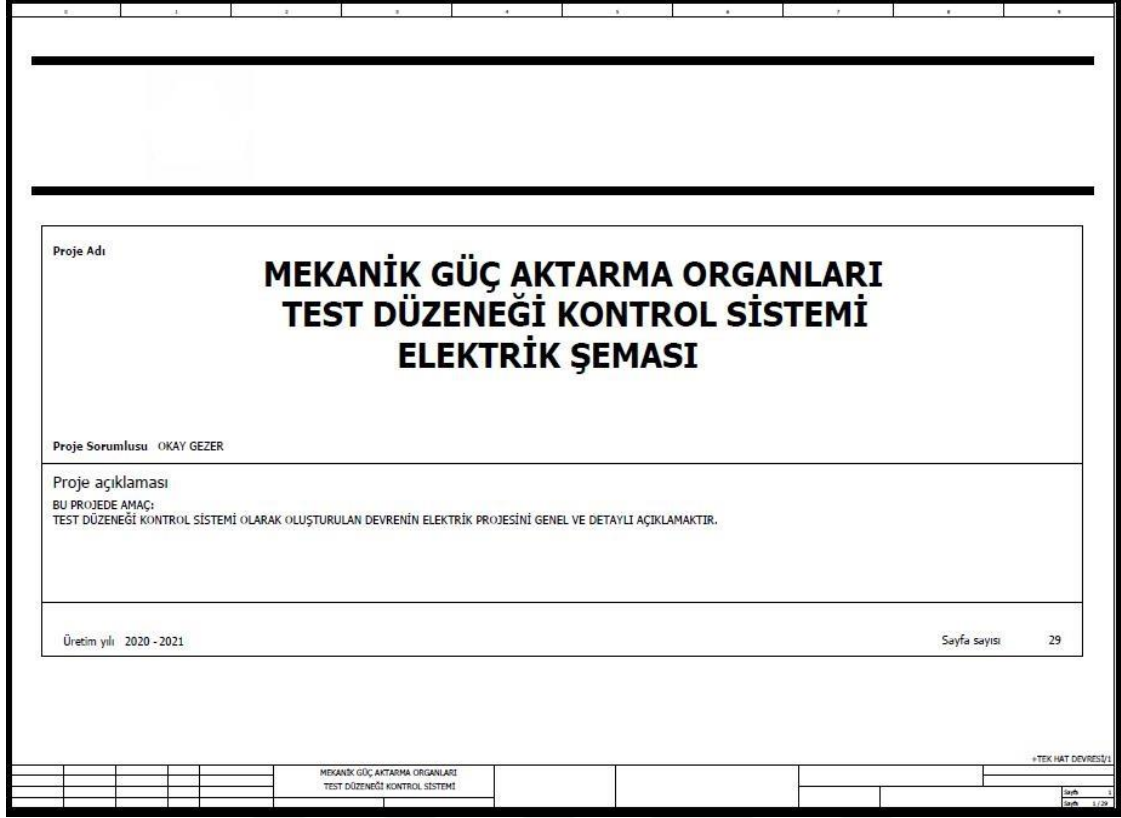
Bu test sisteminde, masaüstü bilgisayar sistemine yüklenmiş bu işletim sistemi üzerinde tamamen özgün bir yazılım çalışması yapılarak PLC ile haberleşme kurulması ve çift yönlü haberleşme sağlanarak verilerin toplanması ve komutların PLC içine yazılması tasarlanmıştır.

PARDUS işletim sistemi üzerinde gerçekleştirilecek olan yazılımda sistemin işletilmesi için gerekli buton ve girdi aygıtlarının yanı sıra Şekil 2.38 örnek resimde olduğu gibi trend ekranları da tasarlanmıştır.

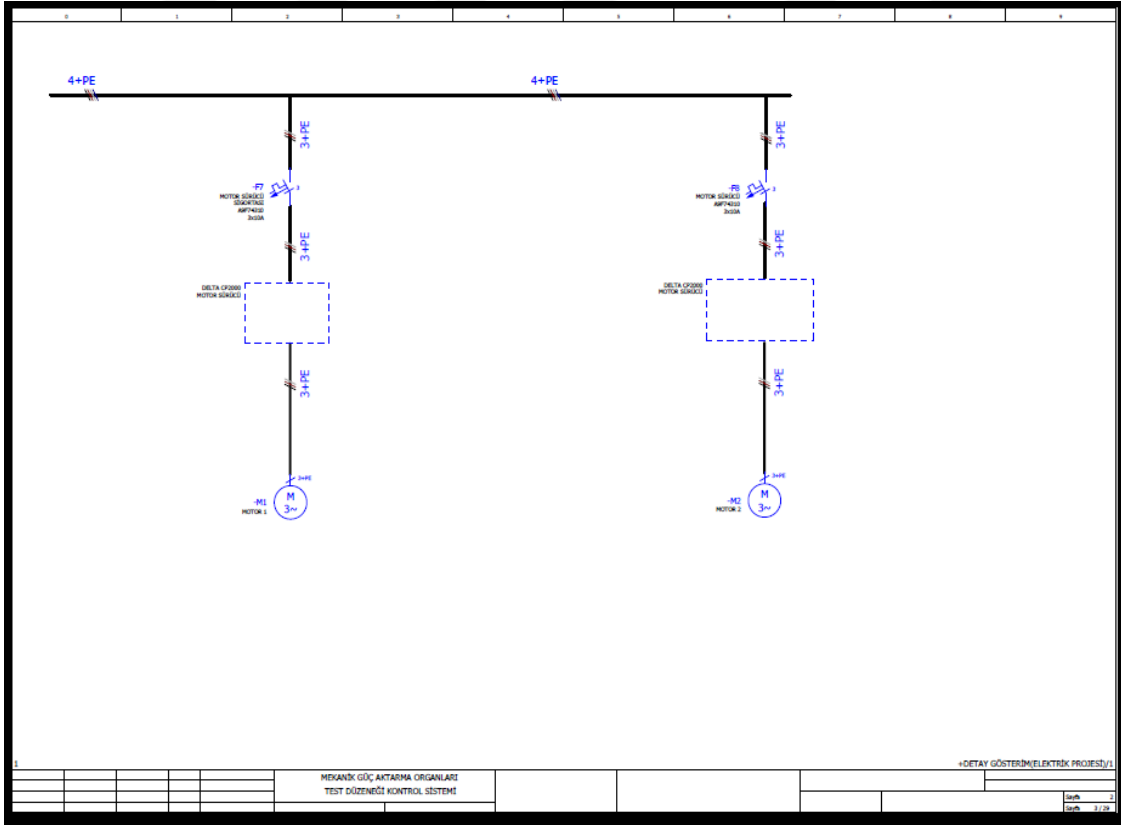


Şekil 2.38. Test amaçlı özgün haberleşme veri toplama (Güngör Y., 2010)

Ayrıca sistemde kullanılacak olan cihaz ve kabloların bağlantısını gösteren elektrik şeması da hazırlanmış olup Şekil 2.39. ve şekil 2.40. da bazı örnekler gösterilmiştir. Elektriksel tasarımda temel amaç özellikle ömür testlerinde meydana gelebilecek aşırı yüklenmelerin sisteme zarar vermeden işletme kurallarına göre alarm, stop veya trip gibi yöntemlerle yok edilmesi ve bu yüklenmelerin raporlanabilmesi işlemlerini sağlamasıdır. Bu tasarımlarda kullanılan temel kablo ve kesici türünden ekipmanlar bazen yılları bulan kesintisiz çalışmalara uygun seçilmiştir. Öyle ki bazı test düzenekleri 7/24 esasına göre ekipman testi yapmakta ve bu düzeneğin kendisi kadar kontrol sisteminin de bu yorucu şartlara dayanması sağlanmalıdır. Bir diğer hususta işletme içerisinde kontrol sistemini besleyen enerji hatlarının da bu yoğun çalışmaya uygun olmasıdır.



Şekil 2.39. Kontrol sistemi devre şeması kapak sayfası



Şekil 2.40. Kontrol sistemi devre şeması tek hat şeması

### 3. TEST SİSTEMİ İÇİN TASARLANAN KONTROL SİSTEMİ BİLEŞENLERİNİN TEMEL DAVRANIŞLARININ BENZETİMLERİ VE ÇIKTILARI

Tasarlanan kontrol sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

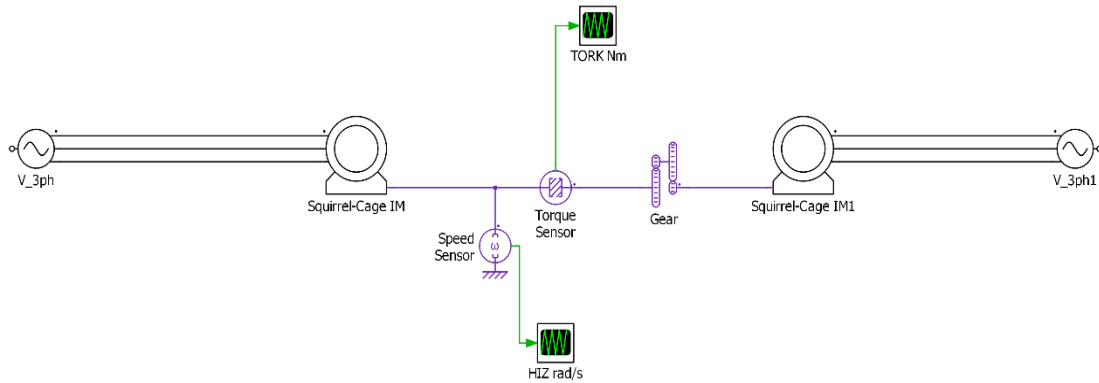
- Alternatif akım asenkron indüksiyon motorları
- V/f karakteristikli hız kontrol cihazı
- Kontrol merkezi ve PLC ünitesi
- Kullanıcı ara yüzü ve Endüstriyel haberleşme yapısı

Yapılan tasarımın doğrulanması amacıyla bazı benzetimler yapılmış ve tasarım uygulamaya geçmeden önce olabildiğince deneyler yapılarak eksik bulunan aşamalarda düzeltmeler yapılması sağlanmıştır.

Benzetimlerde MATLAB/Simulink benzetim ortamı ve PLECS benzetim ortamlarının öğrenci versiyonları kullanılmış olup sonuçlar grafikler halinde paylaşılmıştır.

#### 3.1 Test Sistemi Tahrik ve Yük Motorlarının Elektrik ve Mekanik Karakteristiklerinin Benzetimleri ve Çıktıları

İkinci bölümde de bahsedildiği gibi tez çalışmasında tasarlanan temel test düzeneği için tahrik motoru ve yük motoru olarak Asenkron alternatif akım indüksiyon motorları kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Test düzeneği temel benzetim modeli

Şekil 3.1. de asenkron motor temelli test düzeneği için kullanılan PLECS şeması incelenirse Tahrik-IM motoru çıkış milini bir hız sensörü ve tork sensörü üzerinden Yük

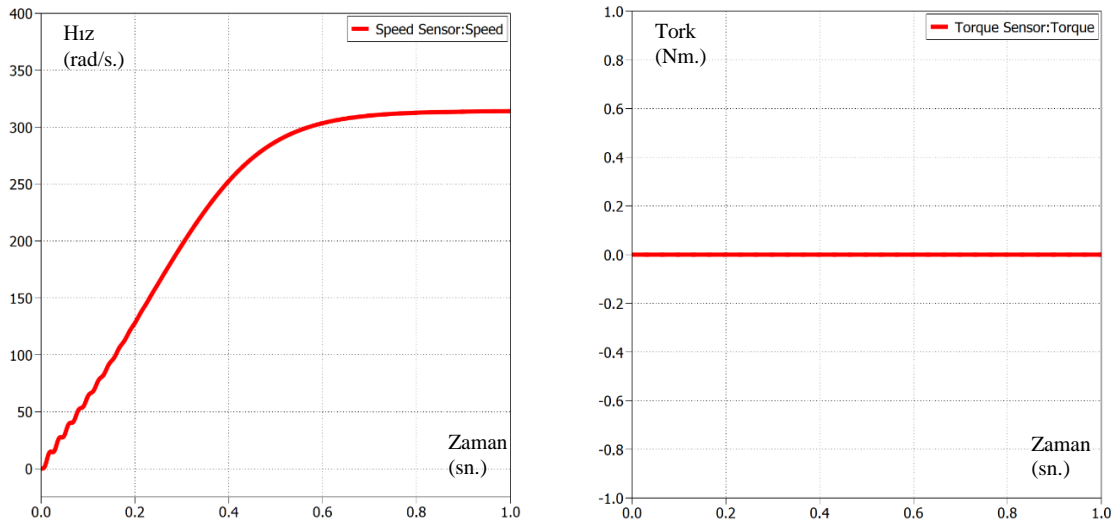
IM1 motoruna bağlayarak benzetimi çalıştırdıktan sonra alınan sonuçlar Şekil 3.2 - Şekil 3.6 grafiklerde verilmiştir. Benzetim 5 farklı şekilde çalıştırılarak testler yapılmıştır.

Bunlar:

1. Tahrik-IM ve Yük-IM1 motorları 50 Hz ile aynı yönde çalıştırılması,
2. Tahrik-IM motorunun 50 Hz, Yük-IM1 motorunun 49 Hz ile çalıştırılması,
3. Tahrik-IM motorunun 50 Hz, Yük-IM1 motorunun 48 Hz ile çalıştırılması,
4. Tahrik-IM motorunun 50 Hz, Yük-IM1 motorunun 51 Hz ile çalıştırılması,
5. Tahrik-IM motorunun 50 Hz, Yük-IM1 motorunun 52 Hz ile çalıştırılması,

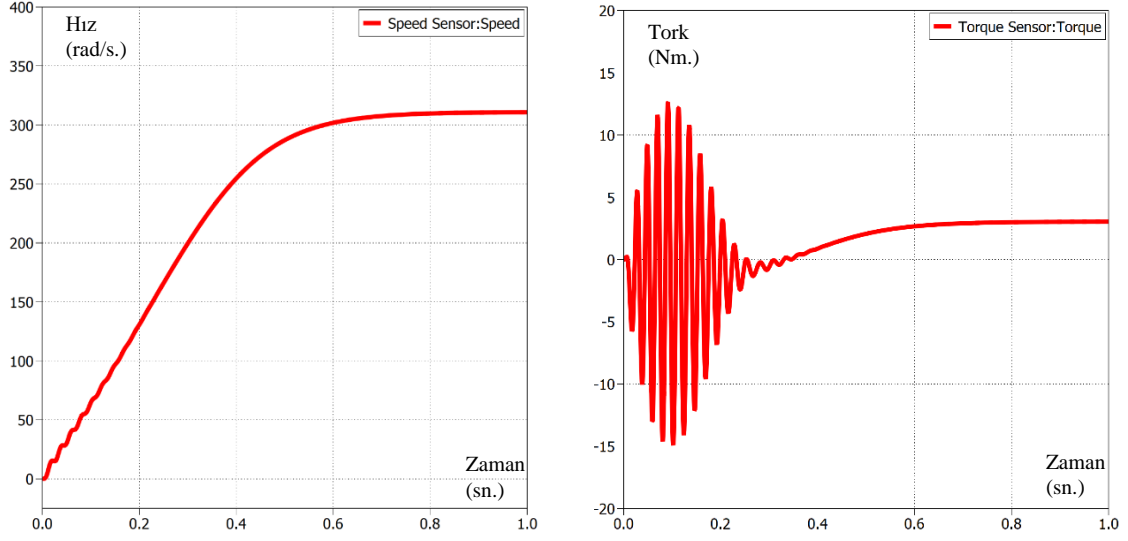
Bu 5 adımlık test çalışma şartları sonucunda test düzeneğinin temel davranışı görülmüş ve tasarım hakkında bilgi sağlanmıştır. Benzetim esnasında 2. ve 3. test adımlarında tahrik motoru enerji harcamakta ve yük motoru enerji üretmektedir. 4. ve 5. Test adımlarında ise tahrik motoru enerji üretmekte, yük motoru ise enerji harcamaktadır.

Benzetim test çıktıları Şekil 3.2. de grafiklerde görüldüğü gibi alınmıştır. Burada her iki motorun da 50 Hz ile aynı yönde çalıştırılması sonucu ortaya çıkan hız ve tork eğrileri görülmektedir.



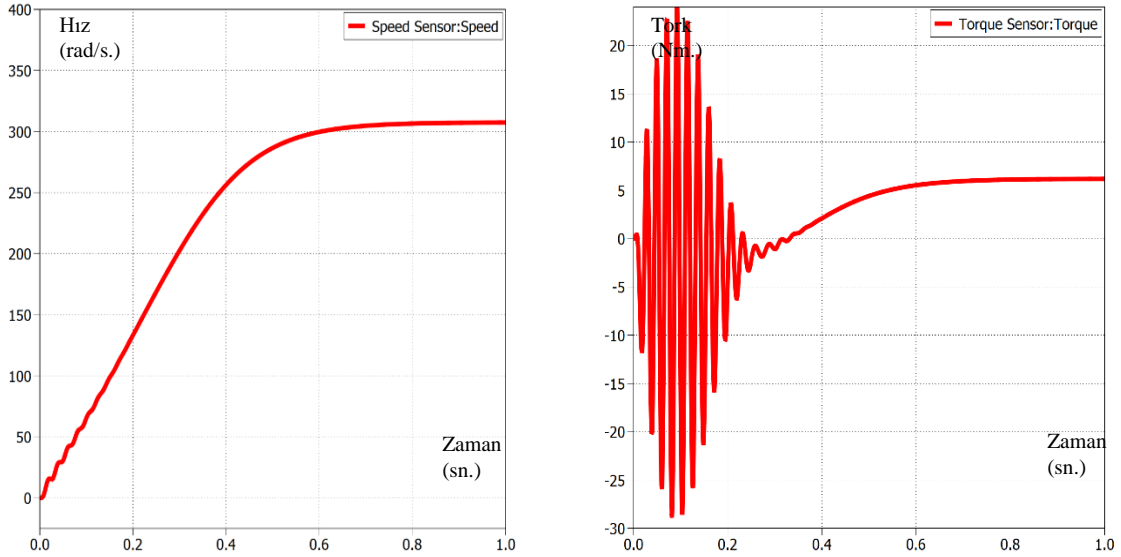
Şekil 3.2. Motorların 50-50 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri

Bu teste göre dişli kutusu yaklaşık 314 rad/s açısal hızla (3000 rpm) dönerken 0 Nm torka maruz kalmaktadır. Çünkü her iki motorda aynı frekans ile sürülmekte ve birbirlerine tork uygulamamaktadırlar.



Şekil 3.3. Motorların 50-49 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri

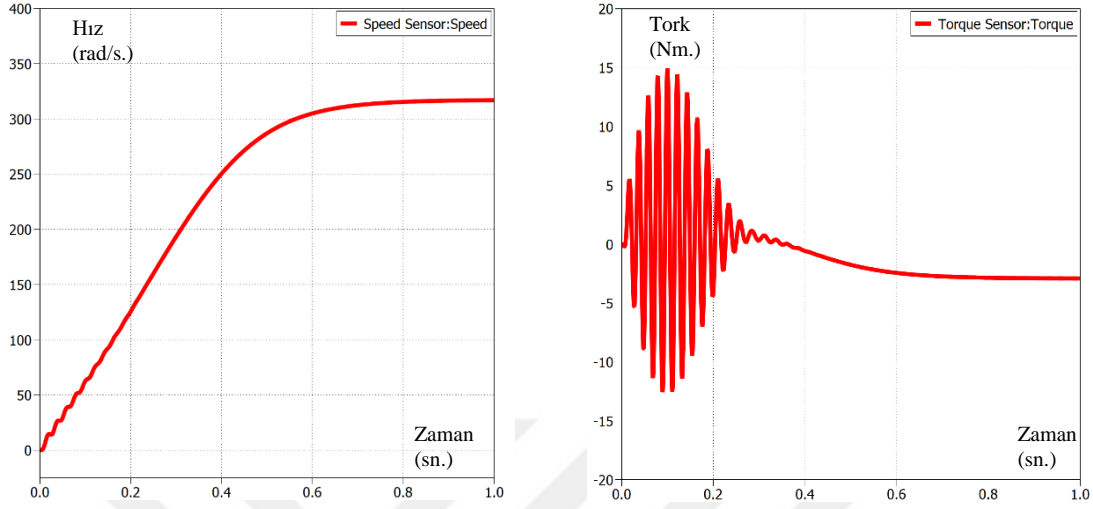
Şekil 3.3 de eğrilerde tahrik motorunun 50 Hz, yük motorunun 49 Hz ile çalıştırılması sonucu oluşan hız ve tork eğrileri görülmektedir. Bu teste göre dişli kutusu yaklaşık 310 rad/s açısal hızla (2962 rpm) dönerken 3.1 Nm torka maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, her iki motor farklı frekans ile sürülürken ve yük motoru tahrik motoruna direnmektedir. Tork grafiğinin ilk 0.3 sn lik kısmında görülen sönümlü osilasyon rejime girme süreci sonunda sabit halde devam ettiği görülmektedir.



Şekil 3.4. Motorların 50-48 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri

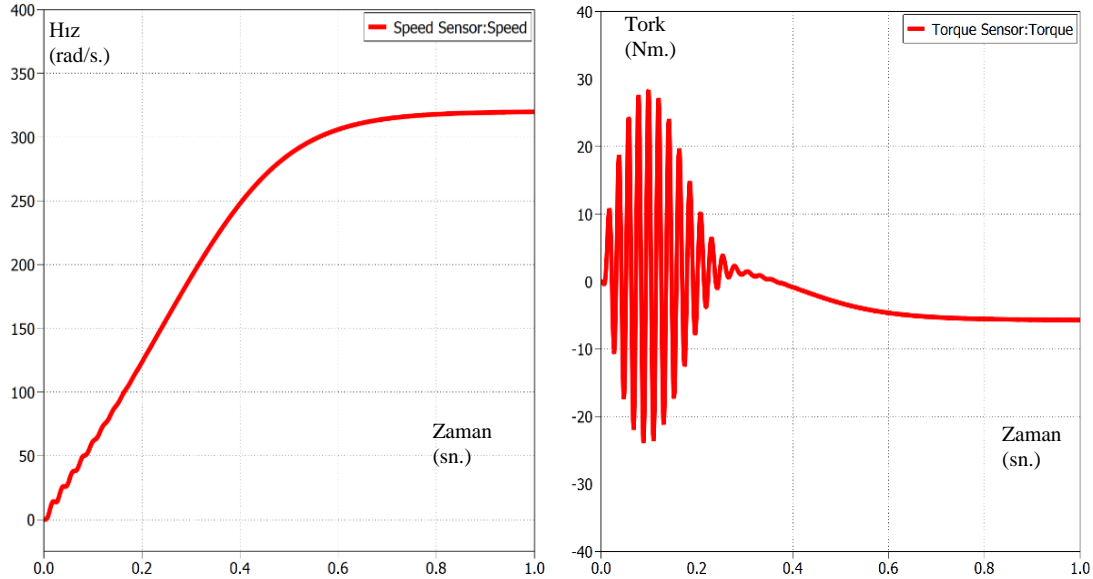
Şekil 3.4 de grafiklerde tahrik motorunun 50 Hz, yük motorunun 48 Hz ile çalıştırılması sonucu oluşan hız ve tork eğrileri görülmektedir. Bu teste göre dişli kutusu yaklaşık 307 rad/s açısal hızla (2933 rpm) dönerken 6.2 Nm torka maruz kalmaktadır. Bununla birlikte en

önemli nedeni, bir önceki testte olduğu gibi her iki motorda farklı frekans ile sürülmekte ve yük motoru tahrik motoruna direnmektedir.



Şekil 3.5. Motorların 50-51 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri

Şekil 3.5 deki eğrilerde verilen testte, yük motoru tahrik motorunu sürüklemeye çalışmakta ve negatif tork oluşmaktadır. Bu test dişli kutusunun rampa aşağı maruz kalacağı koşulları temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar frekans farkı 1 Hz için olan değerlerle yaklaşık olarak aynıdır.



Şekil 3.6. Motorların 50-52 Hz. çalışmadaki hız ve tork eğrileri

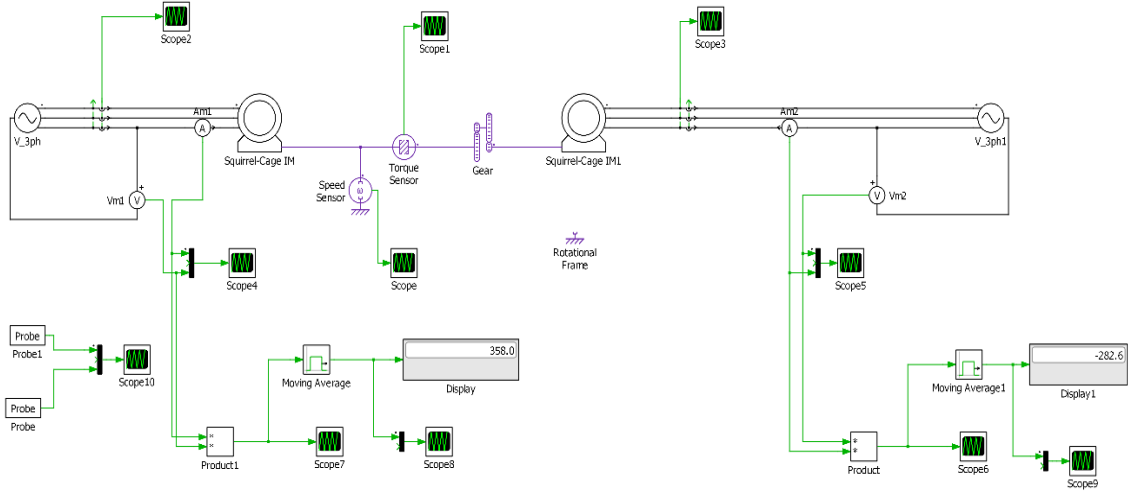
Şekil 3.6 daki eğrilerde verilen testte ise, yük motoru tahrik motorunu daha fazla sürüklemeye çalışmakta ve negatif tork oluşmaktadır. Bu test dişli kutusunun daha dik bir

rampa aşağı maruz kalacağı koşulları temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar frekans farkı 2 Hz için olan değerlerle yaklaşık olarak aynıdır.

Bu en temel tip benzetim sonuçları özellikle asenkron motorların elektromekanik karakteristikleri hakkında oldukça yeterli bilgi sağlamaktadır. Tasarıma temel alınan test düzeneği göz önüne alınırsa bu benzetim sonuçları gereğince kullanılacak olan kontrol sistemi tahrik motoru ve yük motoru arasında sadece frekans değiştirerek ilgili yüklenme ve zorlanma torku elde edilebileceği görülmüştür.

Bu durumdan elektriksel parametreler nasıl etkilenecektir sorusu aklımıza gelebilir. Normal şartlarda yukardaki mekanizmada enerjinin korunumu kanunu gereği tahrik motorunda harcanan güç ve verimsizlikler kadar enerji şebekeden çekilmeli ve harcanmalıdır.

Bu sonuçları daha iyi yorumlamak ve gözlemler yapmak üzere, Şekil 3.1 verilen temel benzetim modelinin daha gelişmiş hali, PLECS benzetim ortamında Şekil 3.7 deki gibi tasarlanmıştır.

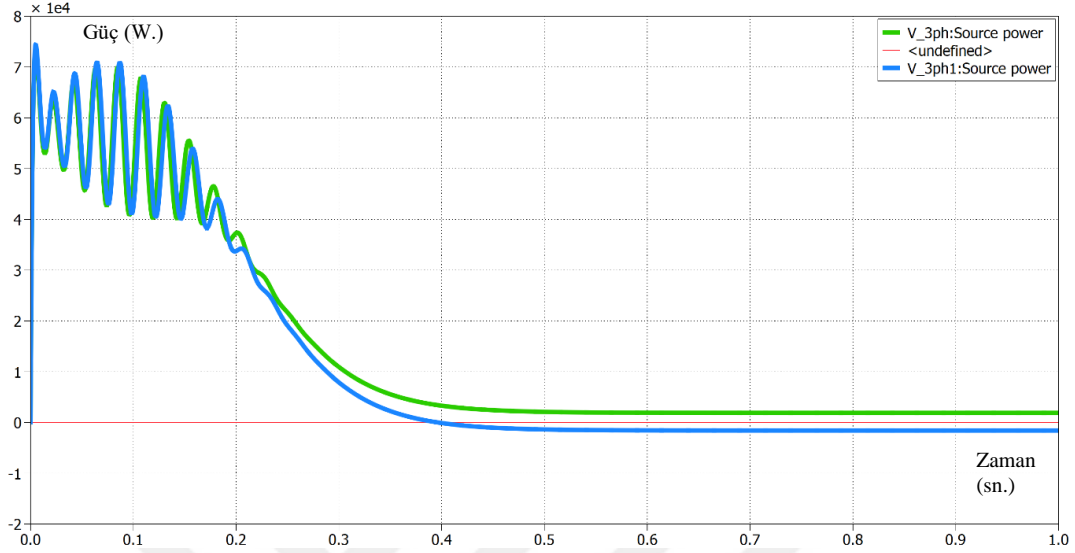


Şekil 3.7. Test düzeneği Elektriksel parametreler eklenmiş benzetim modeli

Şekil 3.7 deki benzetim modelinde ilk modele göre özellikle şebekeden çekilen güç miktarını ölçebilmek için birkaç farklı metotla akım temelli güç hesaplaması yapabilen bazı bloklar eklenmiş ve güç dengesi ölçülmeye çalışılmıştır.

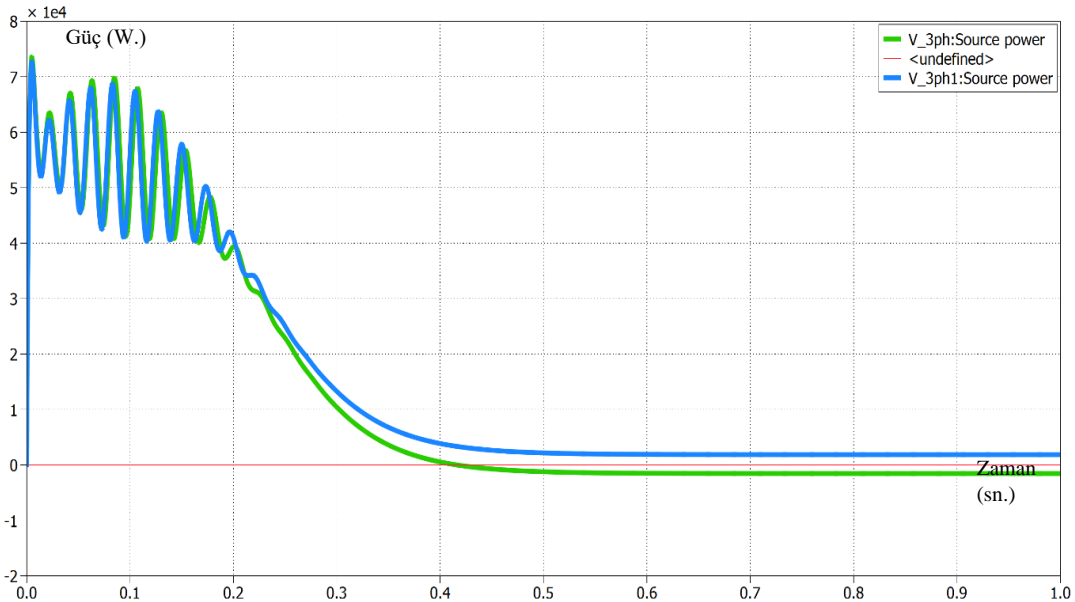
Şekil 3.7 deki plecs modelini incelersek bir önceki benzetimde kullanılan motor sürme yöntemi kullanılmış ve bu kez elektriksel parametreler de ölçülmüştür. Özellikle güç

aktarımı incelendiğinde tahrik motorunun şebekeden güç aldığı (çektığı), yük motorunun ise negatif güce sahip olduğu ve şebekeye güç verdiği görülmüştür.



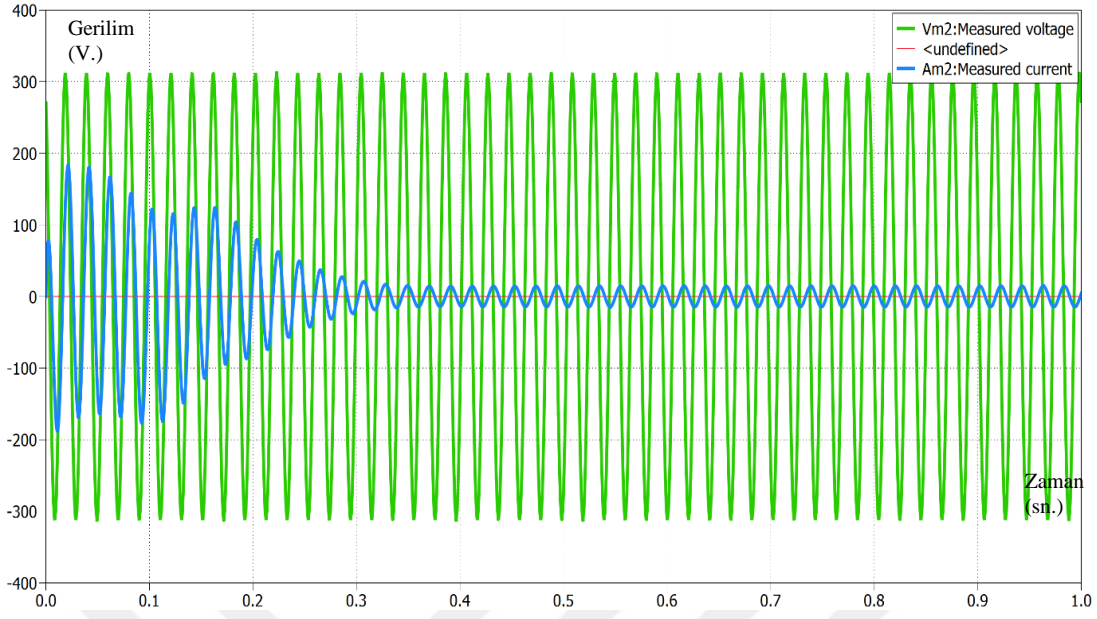
Şekil 3.8. Düzenekte motorların çektiği güçler( 50Hz-49Hz)

Şekil 3.7 deki plecs modelinde elde edilen Şekil 3.8 deki grafikteki yeşil renkli eğri tahrik motorunun harcadığı enerjiyi, mavi renkli eğri ise yük motorunun harcadığı gücü göstermektedir. Görüldüğü üzere sistem yük motorunda enerji üretmektedir.



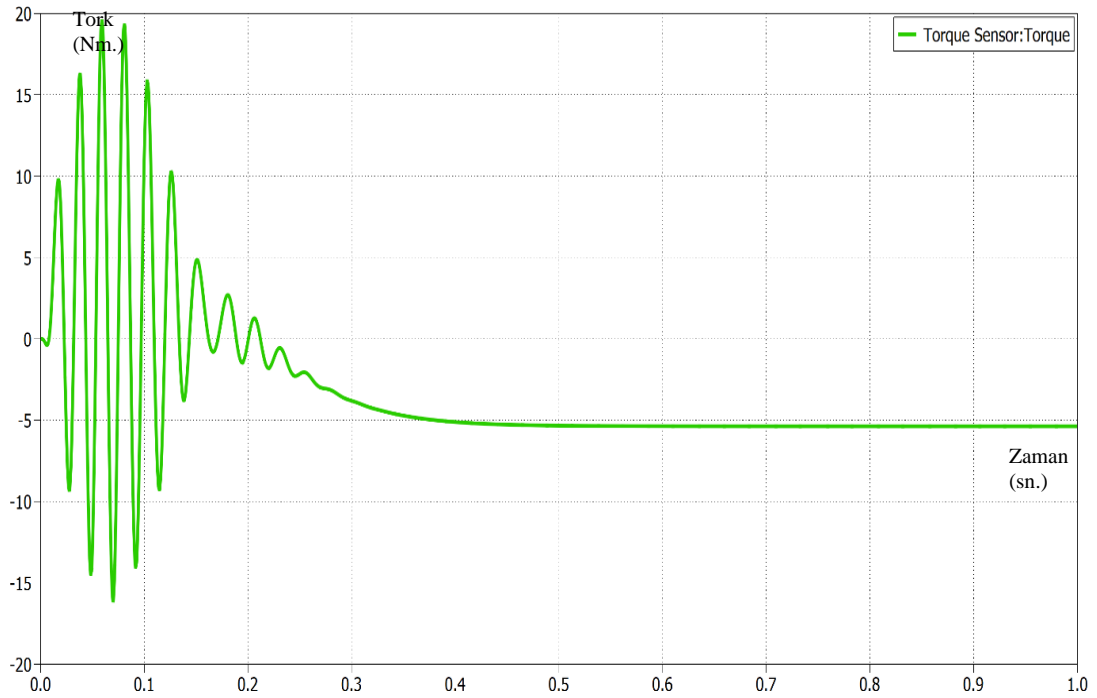
Şekil 3.9. Düzenekte motorların çektiği güçler ( 50Hz-51Hz)

Şekil 3.9 daki grafikte ise bu kez tahrik motoru enerji üretmekte ve yük motoru enerji harcamaktadır.

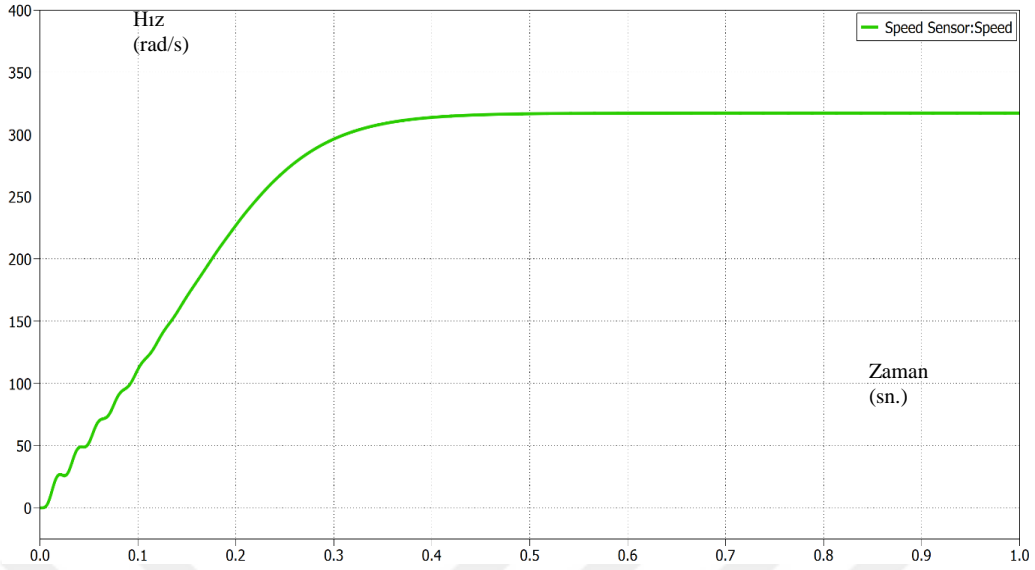


Şekil 3.10. Düzenekte 50-49 Hz çalışmada motorun çektiği akım ve gerilim

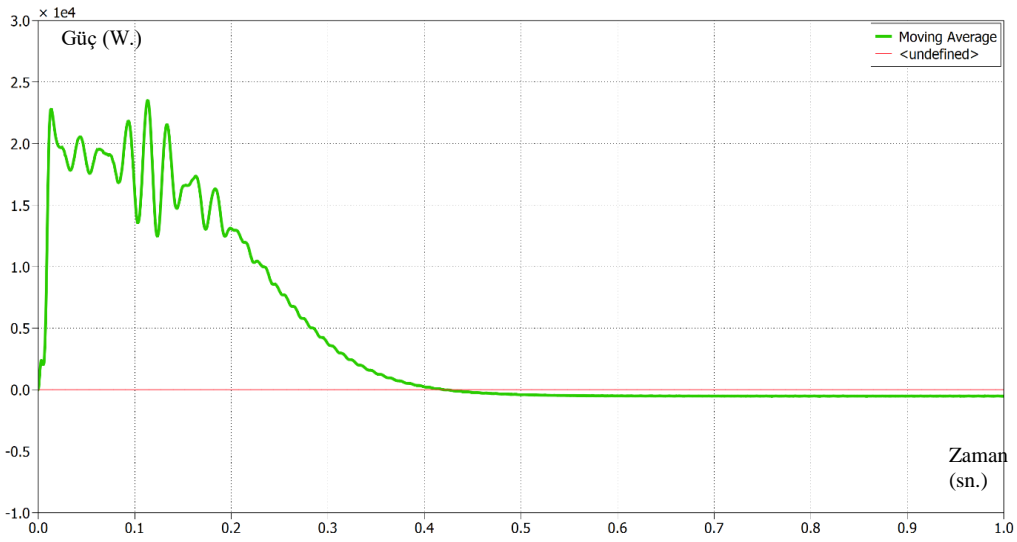
Şekil 3.10'daki benzetim modeli şartlarındaki akım ve gerilimden görülmektedir ki daha önce mekanik enerji halinde benzetimi yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen verilerin bu benzetimde elektriksel parametrelere benzer sonuçları verdiği görülmektedir. Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 deki benzetimlerde, elde edilmiş bazı tork , devir ve güç gibi sonuçlar verilmiştir.



Şekil 3.11. Düzenekte motorlara 50-51 Hz. uygulama ve tork ölçümü



Şekil 3.12. Düzenekte motorlara 50-51 Hz. uygulama ve hız ölçümü



Şekil 3.13. Düzenekte motorlara 50-51 Hz. uygulama ve güç ölçümü

### 3.2 Test Sistemi Tahrik ve Yük Motorlarının V/f Sürücü ile Sürülmesi Halinde Modellenmesi ve Benzetim Sonuçları

İlgili yük ve tahrik motorlarının V/f karakteristikli hız kontrol metodu ile sürülmesi ile kurgulanan kontrol sistemi için modelleme çalışmaları ve bunların çıktıları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Şekil 3.14 deki benzetim modeli tasarımı yapılan kontrol sisteminin motor ve sürücü elemanlarını içeren önemli bir alt yapı sağlamaktadır. Bu model üzerinde motorlara uygulanan frekans değiştirilerek hem test şartları benzetilmeye çalışılmış hem de DC

baraların şönt kolu üzerinden akım ölçülerek enerji kazanımı simüle edilmiştir. Motorlardan geçen akımın çok küçük bir kısmının şebekeden çekildiği gözlenmiştir.

Ayrıca Şekil 3.14 deki modelde, mekanik sistem üzerine koyulan atalet ve yay gibi bazı ekipmanlar ile gerçek test ortamındaki dişli ataletleri ve şaft, kayış vb. esnek aktarım elemanlarının gerçek prosese olan etkisi görülmeye çalışılmıştır.

Bu model aynı zamanda yumuşak kalkış için de bir alt yapı içermekte olup, yapılan deneylerde özellikle kalkışta meydana gelen bazı kararsızlıkları ortadan kaldırma için bir fırsat sağlamış, tasarımın gerçekleşmesinde kullanılacak olan VFD cihazların parametre girişlerinin ayarlanmasına ışık tutacak niteliktedir. Burada yeri gelmişken VFD cihazların voltaj – frekans eğrilerinin ayarlanması konusuna da değinmek gerekir. Her bir güçteki motorun farklı V/f eğrisine sahip olabileceği unutulmamalıdır. Ancak bizim testlerimizde yumuşak kalkış ve duruşların sisteme faydalı olduğu ve test düzeneğinde kullanılan mekanik yardımcı elemanların ömrünü uzatacağı öngörülmekte olduğundan bu eğrinin ayarlanması çok kritik değildir.

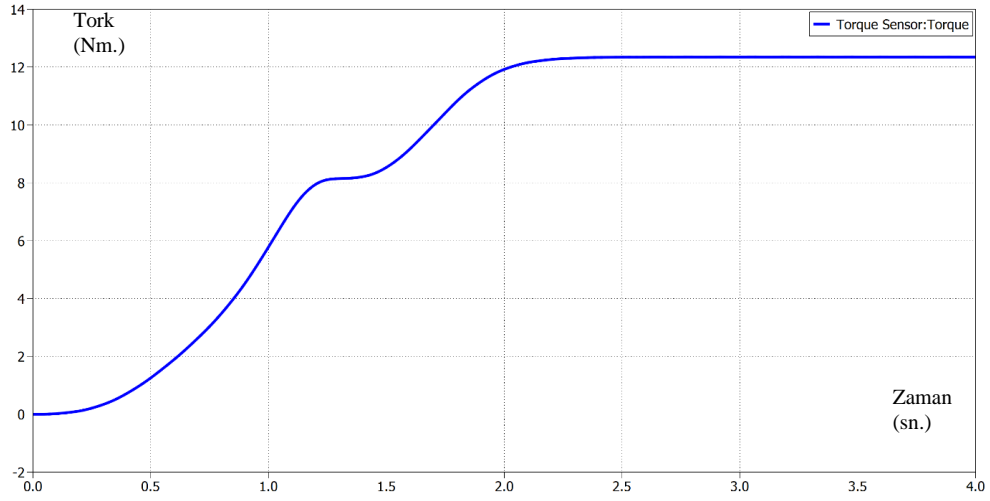
Şekil 3.14. deki model üzerinde 6 lı igbt köprüleri üzerinden uygulanan temel benzetim yaklaşımı için VFD cihazların analog girişleri kullanılacak olup hangi motorun hangi Hz. değerinde olacağı PLC üzerinden VFD cihazlara iletilecektir. VFD cihazların iç yapısında bulunan aşırı akım , aşırı gerilim gibi bazı alarm değerleri PLC tarafından algılanıp gerekli alarm prosedürü çalıştırılacaktır.

İlgili model detaylı incelenirse kapasitörlere paralel bağlı bir direnç ve açık devre anahtar olduğu gözlenecektir. Bu devre istenirse kapasitör gerilimini takip eden bir devre yardımı ile oluşan yüksek gerilimi acil durumlarda deşarj etmek amacıyla kullanılabilir. Ancak bu durumun enerji tasarrufu yeteneklerimizi azaltacağı ve gereksiz yere enerjinin ısı enerjisine çevrilerek havaya atılması gibi istenmeyen sonuçlar doğuracağı unutulmamalıdır.

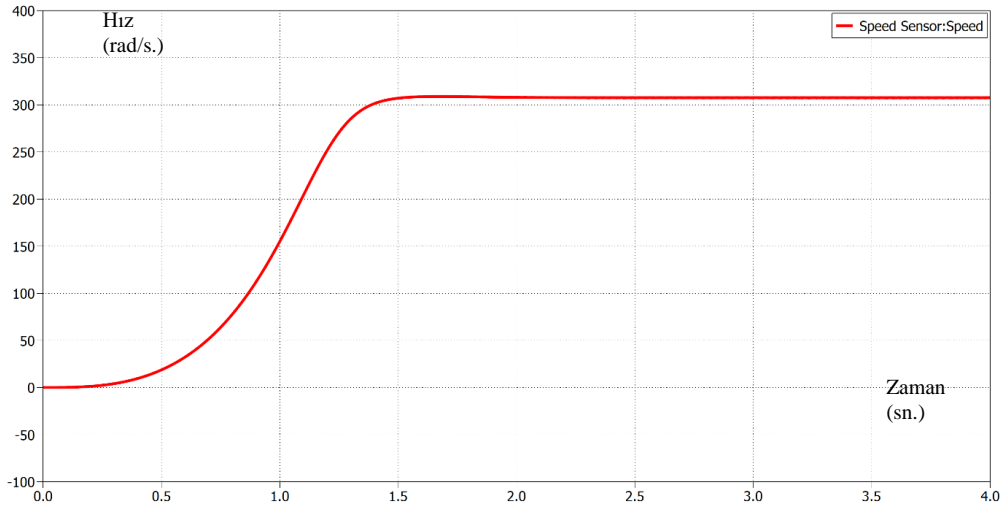
Ayrıca sistem üzerinde bulunan kapasitörlerin birbirine şönt barası vasıtası ile bağlı olduğunu ve gerilimlerinin her an eşit olması gerektiğini de göz önünde olmalıdır.

Şekil 3.14 de verilen test modelin çalıştırılması sonucu aşağıdaki çıktılarına ulaşılmış ve tasarımın temel beklentileri karşıladığı görülmüştür.

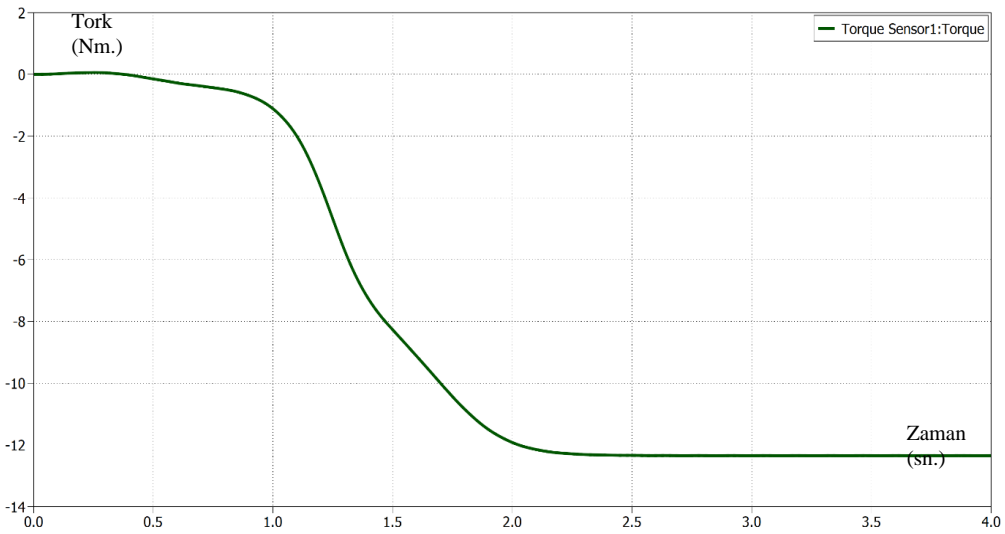




Şekil 3.15. Düzenekte Motorlara 50-48 Hz. Uygulama ve tahrik motoru torku



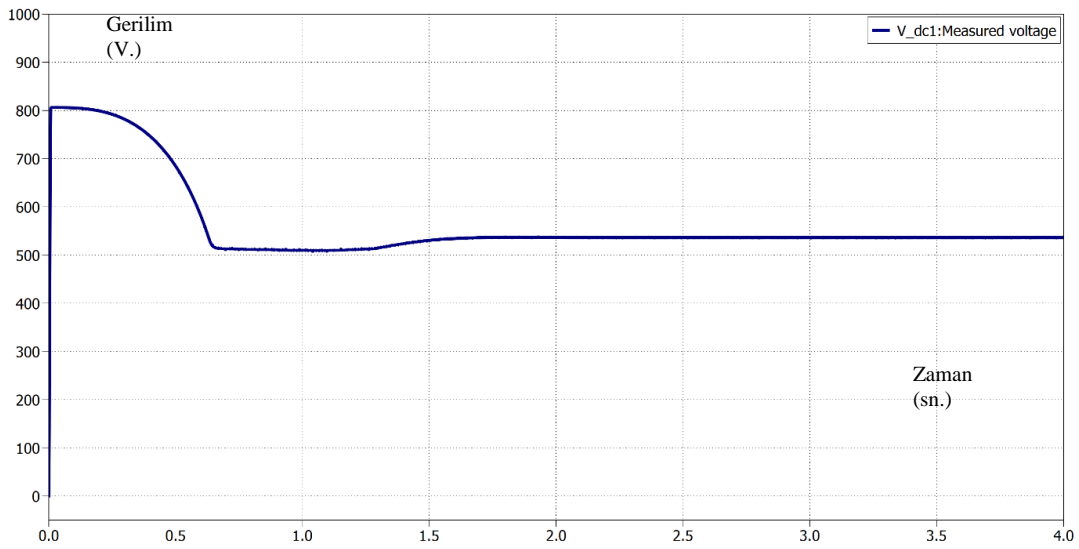
Şekil 3.16. Düzenekte motorlara 50-48 Hz. Uygulama ve yük motoru hızı



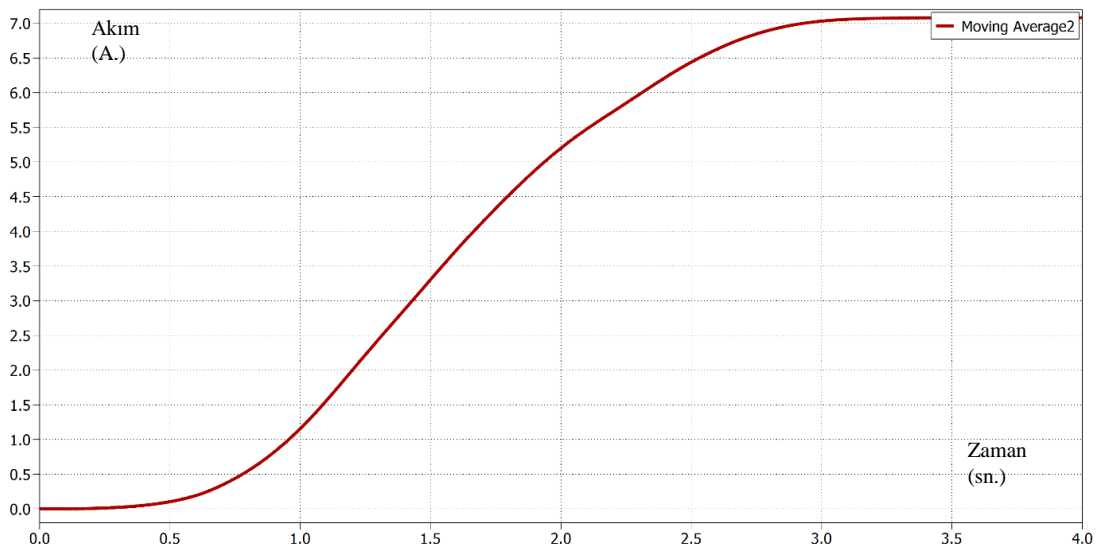
Şekil 3.17. Düzenekte motorlara 50-48 Hz uygulama ve yük motoru torku

Benzetim sonuçları Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 deki elde edilen test sonuçları açık bir şekilde yaklaşık 3000 rpm dönüş altında yük motorunun negatif torca sahip olması gerektiğini ve tahrik motorunun da, pozitif torca sahip olması sebebi ile sistemdeki dişli kutusunun zorlandığını ve yük motorunun sürüklendiğini, aynı zamanda da sürüklenirken karşı torca verebildiğini göstermektedir.

Burada bahsi geçen enerji 3000 rpm dönüş ve 12,5 Nm torca olduğu göz önüne alınırsa, yaklaşık 3920 Watt civarı olmalıdır. Şimdi benzetim üzerinde ölçülen bazı değerler ile bu büyüklüğü teyit etmeye çalışalım.

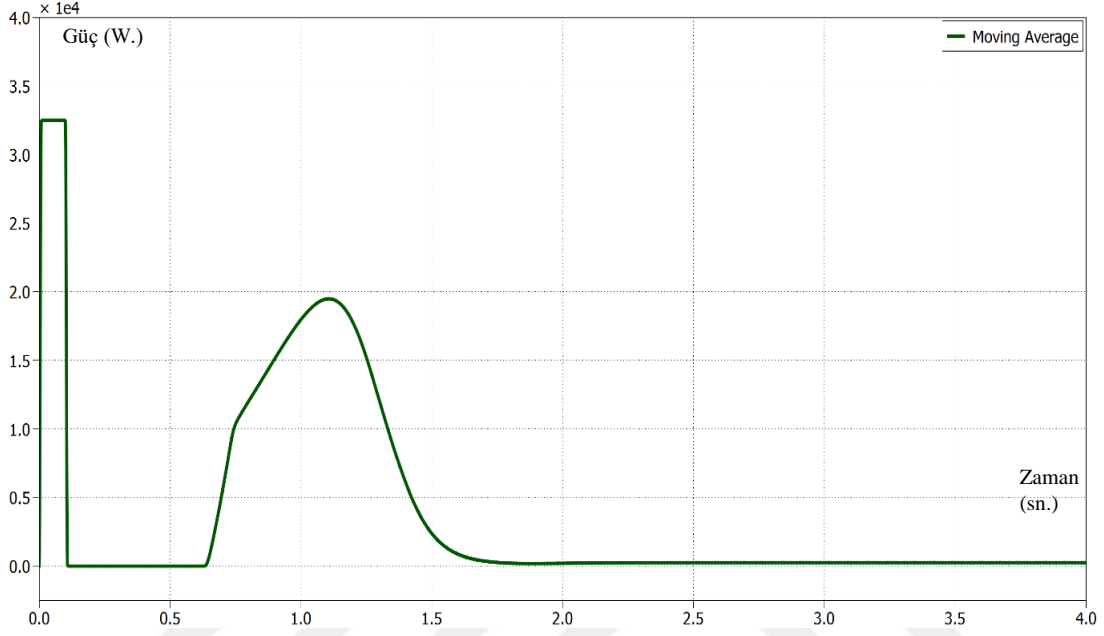


Şekil 3.18. Düzenekte motorlara 50-48 Hz. uygulama ve DC baranın gerilimi



Şekil 3.19. Düzenekte motorlara 50-48 Hz uygulama ve DC baralar arası akım

Şekil 3.18 ve Şekil 3.19 daki akım ve gerilim grafikleri incelendiğinde, bir önceki aşamada hesaplanan yaklaşık 3900 Watt lık mekanik enerjinin 540 volt altında 7 ampere karşılığı olan 3780 Watt kısmının geri kazanılarak yük motorunu süren sürücünden, tahrik motorunu süren sürücüye doğru akmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 3.20. Düzenekte motorlara 50-48 Hz uygulama ve şebekeden çekilen güç

Aynı zamanda şebekeden çekilen Şekil 3.20 deki güç grafiği de incelendiğinde, sistem kalıcı rejime geçtikten sonra 225 Watt mertebesinde güç çektiği ancak 2 ayrı koldan çekildiği için toplamda 450 Watt çekildiği anlaşılmaktadır. Bu aradaki fark sistemdeki verimsizlik noktalarında harcanmaktadır. Gerçek uygulamada bu değer daha yüksek olacaktır.

#### **4. TEST DÜZENEĞİ KONTROL SİSTEMİ İÇİN KULLANILACAK YAZILIMLAR VE GENEL PROGRAMLAMA ALGORİTMALARI**

Bu çalışmada, tasarımı yapılan test düzeneği üzerinde bulunan kontrol ünitesi ve kullanıcı ara yüzü gibi temel elemanlar yazılım tabanlı denetleyicilerdir. PLC ünitesi temel test senaryolarını işlettiği gibi HMI kullanıcı bilgisayarı da kullanıcının sistemi izlemesine, bazı ayarlar yapmasına ve müdahalelerde bulunabilmesine imkân tanımaktadır.

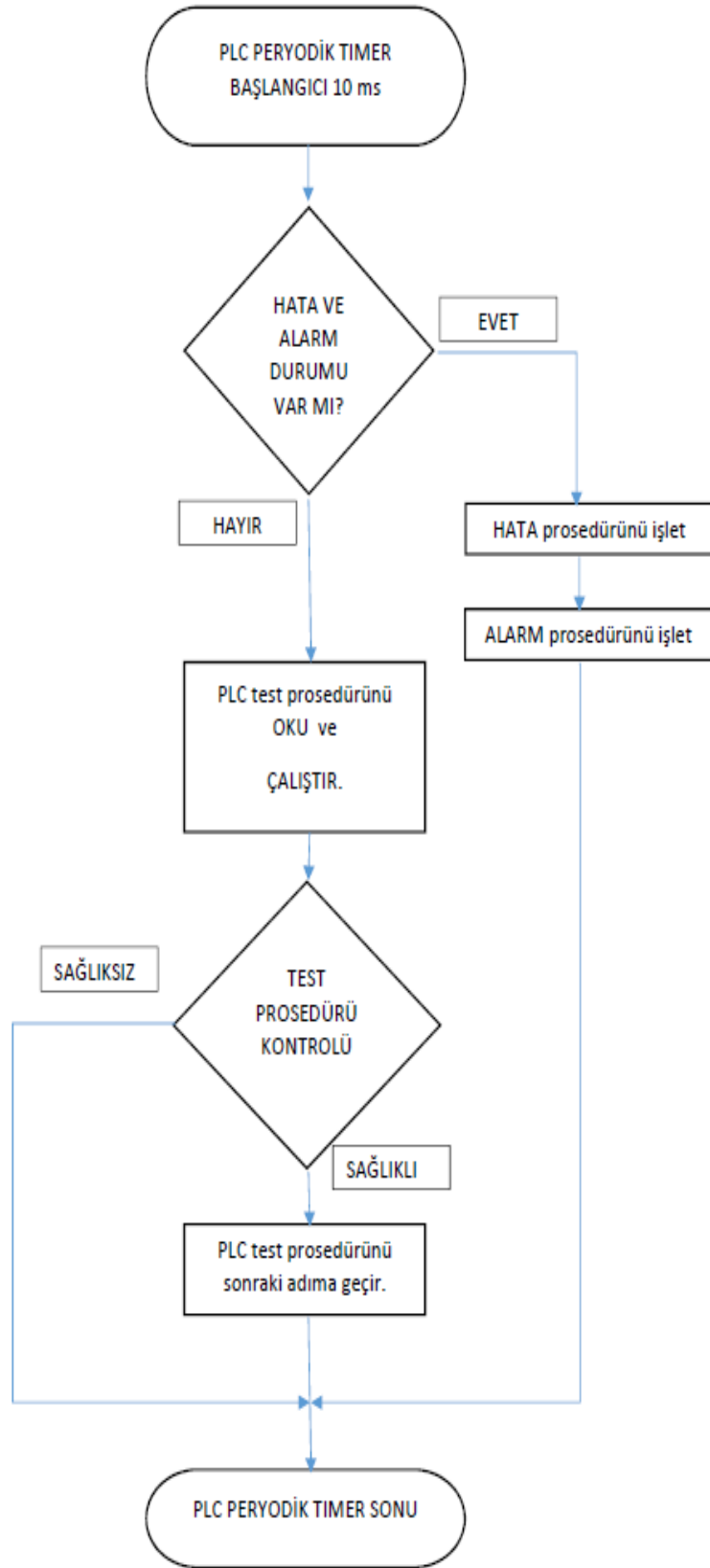
##### **4.1 Test Düzeneği Kontrol Sistemi için Kullanılacak PLC Ünitesinin Programlanması ve Genel Yazılım Algoritmaları**

Kontrol sisteminde, kullanılacak olan temel bileşenin PLC adı verilen bir lojik kontrolcü olacağından daha önce bahsedilmişti. PLC üniteleri temelde Ladder lojik adı verilen yarı grafik bir metotla programlanırlar. Her PLC ünitesi kendine verilen LADDER lojik tabanlı programı tarama zamanı adı verilen birkaç ms aralıklarla işletir. Dış ortamdan aldığı sensör verilerini bu programın emrettiği şekilde işler ve bu işlemler sonucunda hesapladığı çıkış bilgilerini dış ortama çeşitli sinyaller olarak iletir. Bu iletim ortamı bazen paralel bazende seri haberleşme yöntemleri ile olabilmektedir.

PLC sistemleri kompakt dediğimiz bütün giriş çıkışların aynı kasada olduğu temel modellerde bulunabildiği gibi , modüler adı verilen bir yapıda giriş çıkışların üzerinde soket bulunan bir rack üzerine monte edildiği genel bir yapıda da bulunabilmektedir. Bizim tasarımıımız genellikle kompakt yapıyı tariflese de kolaylıkla modüler yapıya adapte edilebilir.

PLC ünitesi üzerinde çalışmakta olan temel işletim sistemi tamamen üretici firmaya özgü çok katı kurallarla çalışan bir donanım tabanlı yazılımsal denetleyici olarak kabul edilebilir. Bizim ürettiğimiz ladder lojik yazılımlar bu işletim sistemi üzerinde çok kesin bazı kurallara riayet ederek çalışmak zorundadır.

PLC ünitesi üzerinde çalışacak olan yazılımlar genellikle Windows üzerinde çalışan program geliştirme ortamlarında hazırlanırlar. Daha yazılım geliştirme zamanında bile bu ortamlar yazılım personelinin yapacağı bazı hataları bularak düzeltme imkânı sağlamaktadır. Şekil 4.1 de bu yazılım kısmının genel algoritması görülmektedir.



Şekil 4.1. Test düzeneğinde kullanılacak PLC yazılımı temel algoritması

## 4.2 Test Düzeneği Kontrol Sistemi İçin Kullanılacak Kullanıcı Arayüzü HMI Ünitesinin Programlanması Ve Genel Yazılım Algoritmaları

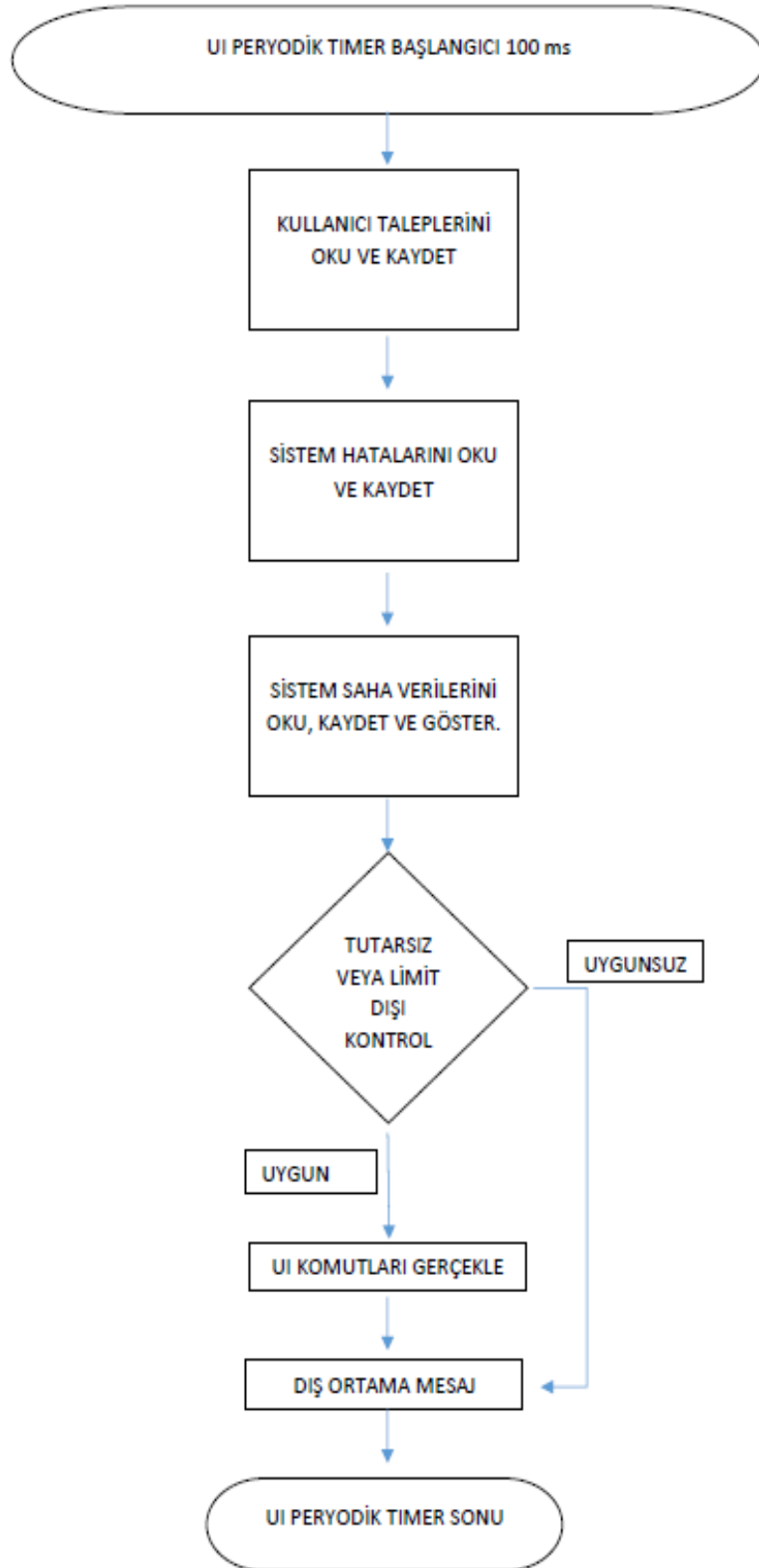
Kontrol sistemi kullanıcı ara yüzü olarak, bu tasarımda kişisel bir masaüstü bilgisayar kullanılmıştır. İşletim sistemi olarak PARDUS isimli TÜBİTAK tarafından geliştirilen yerli işletim sistemi tercih edilmiştir. PARDUS işletim sistemi üzerinde GAMBAS isimli yazılım geliştirme paketi kullanılarak sisteme özgün bir kullanıcı arayüzü geliştirilmesi planlanmıştır. İlgili yazılım geliştirme paketleri PARDUS masaüstü ortamına kurulduktan sonra yazılım arabirimi vasıtası ile görsel kullanıcı paneli sürükle bırak yöntemi ve çizim aparatları kullanılarak hazırlanabilmektedir. Kod geliştirme işlemi yine aynı kodlama ara biriminde istenen fonksiyonları gerçeklemek için kullanılabilir.

PLC ile haberleşme, daha önce yaptığımız çalışmalar ışığında kişisel bilgisayarın ve PLC ünitesinin Ethernet portu kullanılarak tasarlanmıştır. Bu haberleşme türü günümüzde en yaygın haberleşme ara yüzlerinden birisi olarak kabul görmektedir. Ethernet ağı üzerinde yine günümüzün en yaygın haberleşme protokollerinden birisi olarak kabul edilen MODBUS TCP protokolü özgün yazılım içerisine yerleştirilerek kullanılacaktır. Ethernet arabirimi bakır kablolar üzerinde 100 Mbit hızlarda 200-300 metre mesafelere kadar haberleşebilmektedir. Daha uzun mesafeler söz konusu olduğunda fiberoptik hatlar kullanılarak onlarca kilometrelere kadar iletişim sağlanabilecektir.

Alınan veriler ekran üzerinde nümerik ve grafik veriler olarak temsil edilerek kullanıcı ara yüzü gerçekleştirilecektir. Sistem Mouse ve klavye yardımı ile devreye alınabilecek ve PC üzerinde bulunan disk sürücü üzerinde belirli aralıklarla log alınabilecektir.

Disk üzerine alınan loglar daha sonra. csv formatı sayesinde açık kaynak kodlu olarak pek çok yazılım( open Office, Excel , Word , vb) yazılımlar ile analiz edilerek test hakkında daha derin araştırmalar yapılmasına imkan sağlayabilecektir. Bu veriler daha ileri uygulamalarda veri tabanı uygulamaları ile paylaşılabilirdiği gibi çeşitli yöntemlerle uzak ağlarda bulunan sunucu ve istemci sistemlerine aktarılabilir.

Şekil 4.2 de bu yazılım parçasının genel algoritması görülmektedir. Algoritmik yaklaşımda işlerin paralel işlemlerden ziyade seri geçişli ve karşılaştırmalı – şartlı geçişler ve atlamalar yolu ile gerçekleştirilmiştir.



Őekil 4.2. Test dűzeneđinde kullanılacak Kullanıcı arabirimi yazılımı temel algoritması

### **4.3 Test Düzeneği Kontrol Sisteminde Enerji Kazanımı Sağlayan Yazılım Ve Uygulama Prensipleri**

Tezde temel alınan enerji kazanımı sağlayan çalışma prensibi, uygulama bölgesine bağlı olarak, bir elektrik motorunun bazen jeneratör olarak çalışıp enerji üretmesi temel prensibine dayanmaktadır.

Test esnasında tahrik motoru enerji harcayarak belirli bir devir altında tork üretirken, yük motoruna ileri yönde tork uygulamakta ve motora mekanik enerji girdisi sağlanmaktadır. Bu mekanik enerji girdisi asenkron motorun karakteristik eğrisi üzerinden de görülebileceği gibi enerji üretimini sağlamaktadır. Üretilen enerji V/f hız kontrol cihazı köprü devresi üzerinden DC gerilime dönüşerek, köprü öncesi kapasitör bloklarına geri şarj sağlamaktadır.

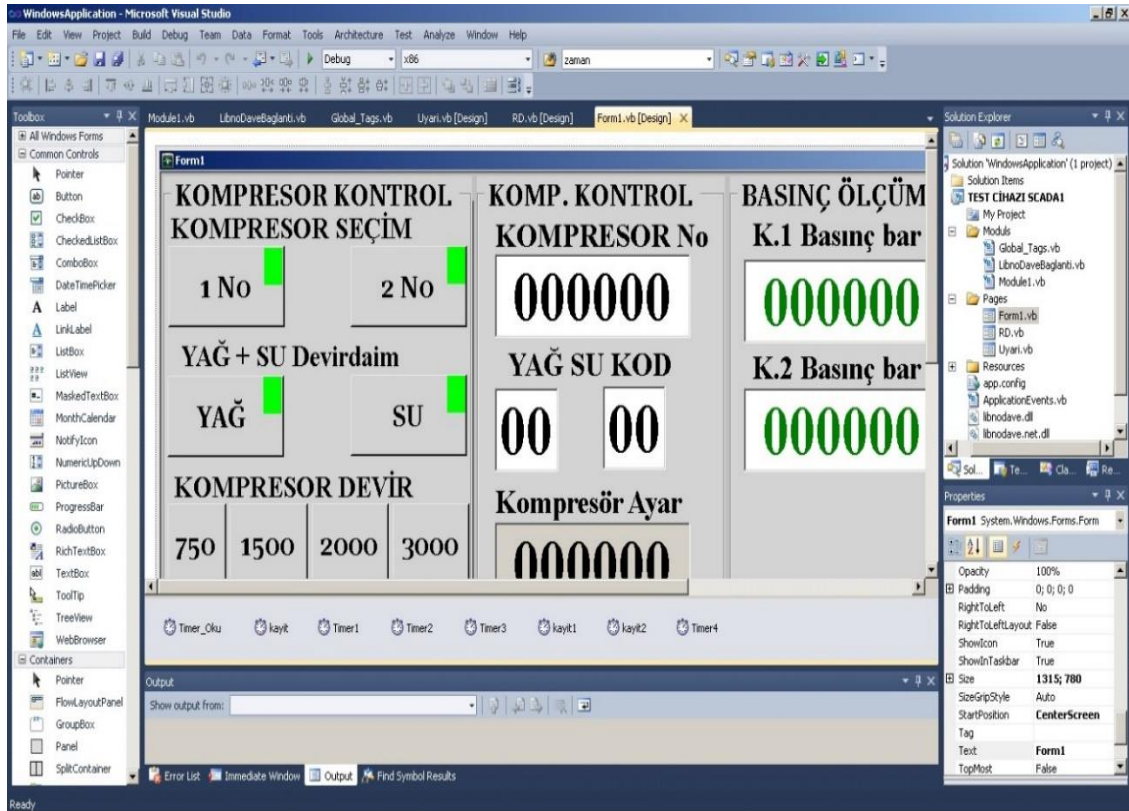
Tahrik motoru kapasitör blokları ile yük motoru kapasitör blokları paralel bağlandığı için yük motoru kapasitör bloklarında oluşan ilave şarj edilmiş enerji, tahrik motorları kapasitör bloklarına doğru akmakta ve şebekeden çekilen enerji miktarını önemli ölçüde engellemektedir.

Bu kısımda enerji kazanımını sağlayan temel yazılım V/f AC invertör üzerinde bulunan yazılımdır. Bu yazılım sürekli olarak kapasitör grupları üzerindeki şarj durumunu ve gerilim seviyesini kontrol ederek bir aşırı gerilim durumunda bir grup direnci yük olarak kullanmakta ve bunların üzerine kapasitörleri deşarj edebilmektedir. Ayrıca gerilim seviyesi belli bir değerin altına düşerse şebekeden bir miktar akımı kapasitörlere vererek gerilimin düşmesine engel olacak temel bir çalışma prensibine sahiptir.

Bizim çalışmamızda ise Yük motoru enerji üreterek, tahrik motorunun kapasitör grubunu da şarj etmekte ve enerji kazanımını bu yolla yapmaktadır. Bu enerji akışı kapasitörleri birbirine bağlayan güç barası üzerinden gerçekleşmektedir. Sistemin ilk çalışması esnasında test sistemine ait toplam ataletin belli bir hıza çıkarılması için şebekeden bir miktar güç çekilmesi gerekse de sistem rejime oturduktan sonra yük motorunu ürettiği enerji Dc bara üzerinden tahrik motoruna verilmekte ve buradan yine yükü çevirmek için kullanılmaktadır. Genel amaç örneğin 100 kW lık bir test için , 15-20 kW enerji harcayarak enerji kazanımı yapmaktır. Bu değer ise aylar sürebilen bir test için oldukça büyük değerlere ulaşabilmektedir.

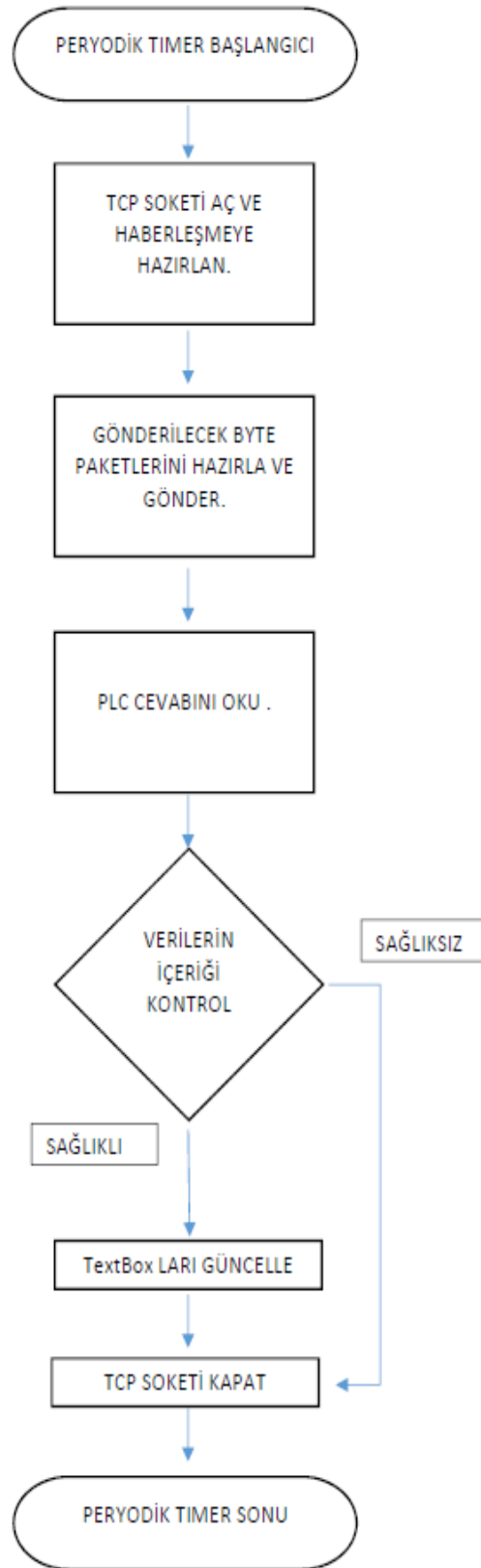
#### 4.4 Test Düzeneği Kontrol Sisteminde MODBUS-TCP Haberleşme Bağlantısını Sağlayan Yazılım Ve Algoritması.

Bu yazılım parçacığı PLC içinde olan verileri okuyarak, kullanıcı arayüzünde bulunan grafik öğelere veri sağlamaktadır. Bu yazılımın temel çekirdeği MODBUS adını verdiğimiz açık kaynaklı haberleşme protokolü üzerinde bulunan TCP paketlerinin oluşturulması ve Ethernet portu üzerinden PLC ye gönderilmesi üzerine kuruludur. Şekil 4.3 te yazılımın Windows altında çalışan bir arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Windows altında çalışan haberleşme test yazılım çalışması ve uygulaması

Haberleşme esnasında Modbus kurallarına göre düzenlenmiş paketler PLC ünitesine ulaştığında, PLC bu paketleri çözümler ve içeriğine göre cevap verir. Bu cevaplar sonrasında yine kurallara uygun ise dahili registerlerin set-reset işleri gibi temel denetleme işlemlerini de uygulamakta kullanır. Kullanılan bu registerler Dijital bit işlemleri olduğu gibi byte veya word şeklinde organize edilmiş dijital veriler olabilmektedir. Ayrıca Analog bazı verilerde dijitalle çevrilerek yine bu protokol üzerinden iletilebilmektedir. Şekil 4.4 te bu yazılımın temel algoritmasına bir örnek verilmektedir.



Şekil 4.4 Test düzeneğinde kullanılacak haberleşme yazılımı temel algoritması

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle mekanik güç aktarma organlarının nasıl test edildiği ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiş ve piyasanın ihtiyaçları doğrultusunda enerji kazanımı konusunda kullanılan yük motoru kavramı ortaya koyulmuştur. Daha sonra bu motorun kontrol yöntemi ve enerji kazanımı mekanizması gözden geçirilmiş ve ilgili PLC kontrollü devre buna göre tasarlanmıştır. Bu devreler PLECS ortamında modellenerek tasarımın doğruluğu ortaya koyulmaya çalışılmıştır. İlgili PLC devresi ile PARDUS işletim sistemi altında geliştirilen yazılım haberleştirilerek kullanıcı arabirimi tasarlanmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında gerçekleştirilen tasarım sonucunda günümüz sanayi kollarında oldukça önemli bir yere sahip olan test amaçlı kontrol düzenekleri alanında aşağıdaki konularda katkı sağlandığı söylenebilir.

- a. Geleneksel metotlara göre daha iyileştirilmiş ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.
- b. Test düzeneğine uygun olan görece daha maliyet etkin bir tasarım sağlanmıştır.
- c. Yerli işletim sistemimiz olan PARDUS için endüstriyel kontrol alanlarında bir uygulama yöntemi önerilmiştir.
- d. Geleneksel metotlara göre daha yazılım tabanlı bir çözüm tasarıma temel alınmış ve esneklik sağlanmıştır.

Ülkemizde yapılacak bu tür çalışmaların yaygınlaşması ile beraber, özellikle yerlileşme konusunda atılımlar sağlanabilmesi mümkün olacaktır. Hali hazırda yurt dışından ithal edilerek kullanıma sunulan test düzenekleri ve bunların kontrol sistemlerinin yerli olarak başarılmasının yanı sıra yerli yazılım kullanıcı arabirimleri, yerli yazılım tabanlı kontrol sistemleri ve asenkron motorların yerli ve basit temelli V/f hız kontrol cihazları ile kontrolünün yapılabilmesinin gelecek adına umut verici olduğu söylenebilir.

Bu çalışmanın hemen sonrasında yapılabilecek ilave çalışmalar şunlar olabilir.

- a. Halen ithal edilen PLC ünitesi yerine PARDUS tabanlı bir SOFT-PLC ünitesinin geliştirilmesi. SOFT-PLC kavramı işletim sistemlerine gömülü olarak çalışan ve PLC komutlarını arka planda işleterek işletim sistemi fonksiyonlarına da engel olmayan özel bir yazılım türüdür.

- b. Halen çoğunluk kısmı ithal edilen V/f karakteristikli hız kontrol cihazları yerine yerli tasarımların artırılması ve güç mosfetleri ile temel mikroişlemci yapılarının yerli olarak gerçekleştirilmesinin sağlanması.
- c. Bu tezde gerçekleştirilen enerji kazanım yapısının daha da geliştirilerek kazanılan enerjinin uygun kalitede şebekeye geri gönderilmesini sağlayan bir tasarımın gerçekleştirilmesi.
- d. PARDUS temelli endüstriyel çalışmaların artırılması ve bu uygulamaların çalıştırılabileceği yerli bir kişisel bilgisayar platformunun oluşturulmaya başlanması.

Bu tez çalışmasında yapılan tasarımın daha sonra fiziken de gerçekleştirilmesi ve ilk prototipin bir eğitim seti olarak eğitim alanında hizmete sunulması bir sonraki hedefimiz olarak belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abafogi M., (2016) . Modbus Endüstriyel Protokol Tabanlı Dizel Jeneratör Sürücü Kartı Tasarımı Ve İnsan Makine Arayüzü Tasarımı , Yüksek Lisans Tezi , Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Sakarya , 442642 .
- Akın B. , Garg N. (2013) , *Scalar (V/f) Control of 3-Phase Induction Motors* , TI application report , TI press .
- Akın S. (2019) , Endüstriyel alanlarda kullanılan kardan şaftların statik yorulma testleri için hidrolik test düzeneği tasarımı , Yüksek Lisans Tezi , Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Tekirdağ , 575759.
- Akyıldız F., (2012) . Kamu Yönetiminde Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar , *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 13 (1) , 17-41 ,
- Bai Q., Jin B. , Wang D ., Wang Y., LiuX. , (2018). Compact Modbus TCP/IP protocol for data acquisition systems based on limited hardware resources , *Journal of Instrumentation* , 13 (4) , T04004.
- Dalbiçer C. (2017) , Experimental analysis of gearbox housing design ,Yüksek Lisans Tezi , İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , İzmir , 455615.
- Demir B., (2012). Endüstriyel Uygulamalar İçin Linux Tabanlı 3g Haberleşme Özellikli Akıllı Modbus Mesaj Önceliklendirme Mekanizmalı Modbus Gateway Tasarımı , Yüksek Lisans Tezi , Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü , Gebze , 323198.
- Gezer O. , Tangel A., (2020) . Pardus işletim sisteminde endüstriyel kontrol sahasından veri toplama ve görselleştirme , Bildiri , *19 Mayıs Yenilikçi Yaklaşımlar Kongresi* , Samsun , 21-22 eylül 2020.
- Güngör Y. (2010) , İnternet ve gprs tabanlı scada sistemi ile dc motorun hız ve moment kontrolü , Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü , Ankara , 269117.
- Hız O. (2019) , Cisimleri renklerine göre seçen plc kontrollü robot kol tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi , Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Kütahya ,558408.
- Irmak E.,Erkek İ , (2018) Endüstriyel Kontrol Sistemleri ve SCADA Uygulamalarının Siber Güvenliği: Modbus TCP Protokolü Örneği , *Gazi Ü. Fen bilimleri dergisi* , *GU J Sci, Part C*, 6(1), 1-16 , DOI: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.364411.
- Karakoç M., Varol A., (2016) . National Distribution Project and Pardus Operating System. *Turkish Journal of Science & Technology* , 11 (2), 25-34,

- Karayel M. (2013) , Mikrotip hidroelektrik santraller için plc tabanlı scada sistem otomasyonu ve rtu/plc ile frekans ve gerilim regülasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara , 342819.
- Kızılaslan K. (2007) , Dişliler için yüzey yorulması test cihazı geliştirilmesi ve yağ viskozitesinin etkisinin araştırılması , Yüksek Lisans Tezi , Afyon Kocatepe Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , Afyon , 199557.
- Makis V , Marchesiello S. , Garibaldi L. (2018) , Condition monitoring and state classification of gearboxes using stochastic resonance and hidden Markov models , *Measurement Journal* , 126 (1) , 76-95 ,DOI: 10.1016/j.measurement.2018.05.038.
- Özen F. (2019) , PLC ve scada kullanarak bir bina otomasyon sisteminin gerçekleştirilmesi, uzaktan kontrolü ve izlenmesi , Yüksek Lisans Tezi , Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi , Fen bilimleri Enstitüsü , Tekirdağ , 575455
- Qi F. , Scharfenstein D. , Weiss C. , Dr. Müller C., Dr. Schwarzer U. , (2019) , *Motor Handbook Version:2.1* , Infineon Technologies AG press .
- Sarıkaya İ., (2019) . İşletmelerde Milli Ve Açık Kaynak Kodlu Bir İşletim Sistemi Uygulama Süreci; Pardus Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 583314.
- Sayed M. ,Wessam M. A., Hussein M. (2017) , Monitoring of automotive multistage mechanical transmissions using multi - class support vector machine , *Journal of Engineering Science and Military Technologies* , 1(1) , 38-43 , DOI: 10.21608/ejmtc.2017.526.1026.
- Soodi H. A. (2014) , Design of a photovoltaic power converter for driving and controlling ac motors , Yüksek Lisans Tezi , Çankaya Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara , 386071.
- Swales A., (1999) . *Open Modbus/tcp Specification* , *Open Spec. Documentation* , Schneider electric press.
- Şengül, Ö., Öztürk, S., & Kuncan. M. (2020). Color Based Object Separation in Conveyor Belt Using PLC. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*,0(18), 401-412, DOI : 10.31590/ejosat.685936.
- Uçtu Ö. (2015) , Design and Construction of A Parallel Axes Gear Research Test Rig , Yüksek Lisans Tezi , Gaziantep Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , Gaziantep , 398918.
- Ulu F. M. (2019) , Senkronize çalışan bir mikro hes'in plc ve scada tabanlı otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , Karabük , 571600.

URL-1: <https://www.google.com.tr/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.thomasnet.com%2Farticles%2Fmachinery-tools-supplies%2Funderstanding-gears%2F&psig=AOvVaw2wv28W8xPIAIQOpCcP6yQe&ust=1618736089524000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCICqw5z0hPACFQAAAAAdAAAAABAE>, (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2021).

URL-2: <https://www.google.com.tr/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.indiamart.com%2Fproddetail%2Fworm-gear-speed-reducer-12896424012.html&psig=AOvVaw2KDLZSb373ODjUIGIA3rtA&ust=1618602046255000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOiptrqBgfACFQAAAAAdAAAAABAD>, (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2021).

URL-3: <https://www.google.com.tr/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.theengineerspost.com%2Ftorque-converter%2F&psig=AOvVaw23ssvbCBBO13N0xPNadxPE&ust=1618602100596000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOiPw4GBgfACFQAAAAAdAAAAABAS>, (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2021).

URL-4: <https://www.controlglobal.com/assets/Uploads/1812-Feat3-Fig2-650-compressor.png>, (Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2021).

URL-5: <https://modbus.org/>, (Ziyaret Tarihi: 24 Şubat 2021).

URL-6: <https://www.pardus.org.tr/>, (Ziyaret Tarihi: 24 Şubat 2021).

Usta M. A. (2013), Doğrusal hareketli asenkron motor hız kontrolünün bulanık mantık tabanlı skalar kontrol yöntemi ile gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 351928.

Yavuz E., Sarıca S., Artuç E., (2018). Kontrol Alan Ağları İçin Optimum Statik Mesaj Zamanlaması. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 532 – 540, DOI: 10.21923/jesd.442915.

Yusuf M., Rohman A. (2019). Implementation of communication system between Siemens PLC S7-1200 with Omron PLC CP1L-EL20DT1-D for induction motor speed controller, *Proceeding of The 2nd International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)* Bali, Indonesia, 24-25 October 2019.

Zontul M., (2009). Ulusal İşletim Sistemimiz Pardus'un Eğitim Sistemimizde Yaygınlaştırılması Üzerine Bir Öneri. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 0(13), 61-66

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

**Gezer O.** , Tangel A. , (2020). Pardus işletim sisteminde endüstriyel kontrol sahasından veri toplama ve görselleştirme, Bildiri, *19 Mayıs Yenilikçi Yaklaşımlar Kongresi*, 2020 Samsun.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini Mersin ili Mut ilçesinde tamamladı. 1988 yılında kazandığı Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden 1992 yılında mezun oldu. Mezun olduktan kısa bir süre sonra özel sektörde Mühendis olarak çalışmaya başladı. 1996 yılında askerlik görevini yedek subay olarak tamamladı. 1998 yılında Ankara’da kendi otomasyon firmasını kurarak özel sektöre yönelik proje çalışmaları yaptı. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı ve 2022 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime devam etmektedir. Yüksek lisans eğitimi boyunca “ Mekanik Güç Aktarma Organları Test Düzenegi İçin Enerji Kazanımlı Bir Kontrol Sistemi Tasarımı ” adında bir çalışma yapmıştır. Özellikle PARDUS işletim sisteminin endüstriyel sahada kullanımını yaygınlaştırmak üzere çalışmalar yapmaktadır.

