DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FIRÇASIZ DOĞRU AKIM ELEKTRİK MOTORU KARAKTERİSTİĞİ ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULANMASI

Yalçın ŞAHİN

Şubat, 2017
İZMİR

FIRÇASIZ DOĞRU AKIM ELEKTRİK MOTORU KARAKTERİSTİĞİ ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULANMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekatronik Mühendisliği

Yalçın ŞAHİN

Şubat, 2017

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SONUÇ FORMU

YALÇIN ŞAHİN, tarafından **YRD. DOÇ. DR. AYTAÇ GÖREN** yönetiminde hazırlanan **"FIRÇASIZ DOĞRU AKIM ELEKTRİK MOTORU KARAKTERİSTİĞİ ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULANMASI"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Yrd. Doç. Dr. Aytaç GÖREN

Yönetici

.....

Prof. Dr. Hayati Olgun

Jüri Üyesi

.....

Yrd. Doç. Dr. Özgür Tamer

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Fırçasız doğru akım elektrik motoru karakteristiği ölçüm sistemi tasarımı ve uygulaması hakkında hazırladığım Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü lisansüstü tez çalışmamda, değerli bilgilerini benden esirgemeyen proje danışmanım Sayın Yrd. Doç Dr. Aytaç GÖREN' e tezimin her aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen Destek Otomasyon firmasına ve Dokuz Eylül Üniversitesi Solaris üyelerine teşekkür ederim.

Tez hazırlama sürecinde benden manevi desteklerini ve sabırlarını esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Yalçın ŞAHİN

FIRÇASIZ DOĞRU AKIM ELEKTRİK MOTORU KARAKTERİSTİĞİ ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULANMASI

ÖZ

Bu çalışmada, FDAM tekerlek motorlarda hata analizi ve motor sürme parametrelerinin iyileştirilmesi için bir ölçüm sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir.

Bahsi geçen sistem, biri tek kişilik bir güneş arabası diğeri ise iki kişilik bir elektrikli taşıt olan iki taşıtın tork ve güç ihtiyaçlarına göre hesaplama ve katı modelleme yazılımları kullanılarak boyutlandırılmıştır. Her iki taşıtta da tekerlek motor kullanıldığı varsayılmıştır. Üretim aşamasının ardından, bir tekerlek motor sistem kullanılarak test edilmiş ve motora ait karakteristik eğriler üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fırçasız doğru akım elektrik motorları, dinamometre ile performans ölçümü, elektrikli araçlar

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MEASUREMENT SYSTEM FOR CHRACTERIZATION DC BRUSHLESS ELECTRIC MOTORS

ABSTRACT

In this study, a measurement system for BLDC hub motors is designed and manufactured for problem analyzing of hub motors and optimizing the motor driving parameters.

Designated system is dimensioned for torque and power needs of two vehicles which are a one person solar car and a two person electric vehicle using calculations and solid modeling softwares. Both vehicles are assumed as to be used hub motors. After manufacturing phase, a hub motor is tested using the system and the characteristic curves of the motor are generated.

Keywords: Brushless dc electric motors, performance measurement dynamometre**,** electric vehicles

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR ii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xii

BÖLÜM BİR-GİRİŞ 1

1.1 Giriş 1
1.2 Elektrikli Araçların Tarihçesi 1
1.3 Elektrik Motoru Tarihçesi ve Kullanım Alanları 2

BÖLÜM İKİ-TEMEL KAVRAMLAR 5

2.1 Genel Araç Dinamiğinin İncelenmesi 5
2.2 Hareket Dirençleri 5
2.2.1 Yuvarlanma Direnci 6
2.2.2 Hava Direnci 8
2.2.3 Yokuş Direnci 9
2.3 Elektrikli ve İçten Yanmalı Motorlu Araçlarda Çekiş Karakteristiği 12
2.4 Fırçasız Doğru Akım Elektrik Motoru Temel Yapısı 15
2.4.1 Fırçasız Doğru Akım Motoru Temel Yapısı 15
2.4.2 FDAEM Sınıflandırması 17
2.4.2.1 Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım rotoru: 17
2.4.2.2 Disk Tipi Fırçasız Doğru Akım Motoru: 18
2.4.2.3 İç Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru: 18
2.4.3 FDAEM Temel Sürme Prensibi 19
2.4.4 FDAEM Performans Analizi 22

BÖLÜM ÜÇ-YÖNTEM..... 23

3.1 Motor Performans Ölçüm Sistemleri 23
3.2 Karakteristik Özellikleri Belirleme Parametreleri..... 25
3.3 Tork Sensörü ile Çizgisel Tork Ölçümü..... 26
3.3.1 Kontak Halkası 29
3.3.2 Rotary Transformatör ile Veri Aktarımı..... 30
3.3.3 Kablosuz Veri Aktarımı..... 30
3.4. Atalet Momentine Bağlı Tork Ölçümü 31
3.4.1 Kararlı Hal Dinamoları ve Atalet Dinamometrelerinin Karşılaştırılması ve Deney Düzeneği Seçimi..... 32
3.4.1.1 Atalet Dinamometresi 33
3.4.1.2 Kararlı Hal Dinamometresi..... 33
3.4.1.3 Kararlı Hal Dinamometresi ve Atalet Momenti Dinamometresi Karşılaştırılması 34
3.4.2 Atalet Dinamometresi Kararlılığı 35

BÖLÜM DÖRT-TASARIM..... 36

4.1 Deney Düzeneği Mekanik Tasarımı..... 36
4.1.1 Tambur Tasarımı 36
4.1.2 Şase Tasarımı..... 40
4.2 Elektriksel Sistem Tasarımı..... 44
4.2.1 Data Okuyucular..... 45
4.2.2 Analog Gerilim Ölçümü 48
4.2.3 Akım Ölçümü 51
4.2.4 Devir Ölçümü 53
4.2.5 Motor Sürücü..... 54
4.2.4.1 Motor Sürücü Haberleşme RS 232 Bağlantısı..... 56
4.2.4.2 Paket Şalter 57

4.2.4.3 Ac/Dc Dönüştürücü 58
4.2.4.4 Otomatik Sigorta 59
4.2.4.5 Potansiyometre 60
4.2.4.6 Motor Sürücü Önemli Parametreleri 61
4.2.4 Bataryalar 64
4.2.5 Fırçasız Kalıcı Mıknatıslı Doğru Akım Motoru ve Sürüş Yapısı 65

BÖLÜM BEŞ-DENEY SONUÇLARI 68

5.1 Fırçasız Doğru Akım Motoru Performans Eğrileri 68
5.2 Kalıcı Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motoru Matematik Modeli 70
5.2.1 Stator referans düzleminde (3-Faz model) modeli 70
5.2.2 Sinüsoidal Dalga Biçimli Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlar 73
5.3 Fırçasız Doğru Akım Motoru Manyetik Güç Oluşum Eğrileri 77

BÖLÜM ALTI-SONUÇLAR 80

KAYNAKLAR 82

EKLER 85

EK-1: Alınan Veriler ve Hesaplamalar 85
EK-2: Motor Sürüş Faz Sıralaması 98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Araç üzerinde oluşan kuvvetler 5
Şekil 2.2 Lastik sehimi ve yuvarlanma direnci 6
Şekil 2.3 Standart bir binek araç üzerindeki hava akışı. 8
Şekil 2.4 Yokuş direnci 9
Şekil 2.5 Aerodinamik sürtünme katsayısı 10
Şekil 2.6 Elektrikli araçlarda motor yerleşimi 11
Şekil 2.7 Elektrikli araç güç aktarımı 11
Şekil 2.8 İçten yanmalı motor karakteristikleri 13
Şekil 2.9 İçten yanmalı motor çekiş kuvveti hız grafiği 13
Şekil 2.10 Elektrik motoru karakteristikleri 14
Şekil 2.11 Motor tipine bağlı eşik hız katsayıları 15
Şekil 2.12 Dış rotorlu FDAEM 17
Şekil 2.13 Disk tipi fırçasız doğru akım motoru 18
Şekil 2.14 İç rotorlu fırçasız doğru akım motorunun mekanik yapısı 19
Şekil 2.15 Fırçasız doğru akım elektrik motoru. 20
Şekil 2.16 (a) 3 fazlı motor bağlantısı (b) faz akımı, EMK oluşumunun ve sensör sinyalinin zamana bağlı gösterimi. 21
Şekil 2.17 FDAEM basit gösterimi 23
Şekil 3.1 Debiye bağlı tork ölçüm sistemi 23
Şekil 3.2 CSIRO fırçasız doğru akım motoru test düzeneği 24
Şekil 3.3 İvmelenmeye bağlı tork ölçümü 24
Şekil 3.4 Nümerik motor karakteristik ölçümü Ansys maxwell modülü 25
Şekil 3.5 Tork-hız oransal grafiği 26
Şekil 3.6 Çizgisel tork ölçüm cihazı 27
Şekil 3.7 FDAEM için tork ölçüm düzeneği tasarımı 27
Şekil 3.8 Tork iletimi yapan milde oluşan kayma gerilmeleri 28
Şekil 3.9 Mil üzerindeki gerinim ölçerler 28

Şekil 3.10 Wheatstone köprüsü 29
Şekil 3.11 Kontak bileziği uygulaması 29
Şekil 3.12 Rotary transformatör ile veri aktarımı 30
Şekil 3.13 Kablosuz veri aktarımı 31
Şekil 3.14 Atalet momenti ölçümü 32
Şekil 3.15 Deney düzeneği 3 boyutlu tasarımı 33
Şekil 4.1 Deney düzeneği imalat fotoğrafları 38
Şekil 4.2 Tambur kalınlıkve yarıçap ölçüleri 39
Şekil 4.3 UCP rulmanlı yatak 40
Şekil 4.4 Konik sıkma burcu 41
Şekil 4.5 Hidrolik fren sistemi 41
Şekil 4.6 Titreşim takozu ve avare tekerlek 42
Şekil 4.7 Deney düzeneği 43
Şekil 4.8 Elektriksel sistem diyagramı 44
Şekil 4.9 Arduino mega 2560 45
Şekil 4.10 NI usb-6008 46
Şekil 4.11 Advantech PCI 1711 47
Şekil 4.12 Proteus gerilim bölücü simülasyonu 100 V 49
Şekil 4.13 Proteus gerilim bölücü simülasyonu 99 V 50
Şekil 4.14 ACS 709 akımölçer 51
Şekil 4.15 LA-100P akımölçer 53
Şekil 4.16 Yakınlık algılayıcı sensör 54
Şekil 4.17 Motor sürücü bağlantı diyagramı 55
Şekil 4.18 RS 232 bağlantı kablosu 56
Şekil 4.19 RS 232 çıkış pinleri 57
Şekil 4.20 Kullanıcı paneli 58
Şekil 4.21 Paket şartel bağlantı şeması 58
Şekil 4.22 Ac/Dc dönüştürücü 59
Şekil 4.23 Otomatik sigorta iç yapısı 60
Şekil 4.24 Potansiyometre 60
Şekil 4.25 Konfigürasyon ayarlama sayfası 1 62

Şekil 4.26 Konfigürasyon ayarlama sayfası 2 62
Şekil 4.27 Konfigürasyon ayarlama sayfası 3 63
Şekil 4.28 Konfigürasyon ayarlama sayfası 4 63
Şekil 4.29 Konfigürasyon ayarlama sayfası 5 64
Şekil 4.30 Batarya gerilim kapasite eğrisi 65
Şekil 4.32 Motor sürücü blok diyagramı 66
Şekil 5.1 Mitsuba 2096 motor performans eğrisi 68
Şekil 5.2 Kelly 72,V 4,5 KW high speed modeli performans eğrileri 69
Şekil 5.3 Des-tech 2 motor performans eğrileri 69
Şekil 5.4 Üç faz yıldız bağlı motor gösterimi 70
Şekil 5.5 Üç fazlı yıldız bağlı motor güç grafikleri 74
Şekil 5.6 Hız verim eğrisi 74
Şekil 5.7 Motor performans grafiği-1 77
Şekil 5.8 Motor performans grafiği-2 77
Şekil 5.9 Labview programı data alım blok diyagramı 77
Şekil 5.10 Motor faz ve akım grafikleri-1 78
Şekil 5.11 Motor faz ve akım grafikleri-2 79

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Ortalama yuvarlanma dirençleri. 7
Tablo 3.1 Motor momentleri 25
Tablo 4.1 Tambur tasarım ölçüleri 39
Tablo 4.2 Arduinomege 2650 özellikleri 45
Tablo 4.3 National Instruments usb-6008 özellikleri 46
Tablo 4.4 Advantech 1711 data okuyucu özellikleri 47
Tablo 4.5 ACS 709 akım ölçer çalışma değerleri 52
Tablo 4.6 LA 100 P çalışma değerleri 53
Tablo 4.7 Batarya özellikleri 64
Tablo 5.1 Motor temel özellikleri 78

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

1.1 Giriş

Elektrikli araç bir veya birden fazla elektrik motoru ile hareket edilen, bu hareketi sırasında bataryalarda depoladığı elektrik enerjisini kullanan cihazlardır. Elektrikli araçların yaygınlaşması enerjinin verimli kullanılması, hava kirliliğinin azaltılması, fosil yakıtlara duyulan ihtiyacın en aza indirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Yapılan bu çalışmada elektrikli araçlar için üretilen fırçasız doğru akım motorunun karakteristik eğrileri oluşturularak, motor sürüş yöntemlerini incelemek için deney düzeneği oluşturulmuştur.

Fırçasız doğru akım motorları diğer elektrik motorlarına göre geniş yüksek verim aralığına sahip olması, yüksek torklarla sürülebilmeleri açısından diğer motorlara göre daha avantajlıdırlar. Ancak sürüş mantığının karmaşık olması sebebiyle sürücüye ihtiyaç duyarlar. Bu sebeple sürüş tekniğinin incelenmesi arıza tespiti ve karakteristik ölçümleri için önemlidir.

1.2 Elektrikli Araçların Tarihçesi

Elektrikli otomobiller 19. yüzyılın sonlarında ve 20.yy'ın başlarında oldukça revaçtaydı, fakat içten yanmalı motor teknolojisindeki ilerlemeler ve petrol kullanan araçların ucuz olarak toplu üretimi elektrikli araçların sonunu getirdi. 1970 ve 1980'lerdeki enerji krizleri elektrikli otomobillere kısa süreli bir ilgi oluşturdu, fakat günümüzdeki gibi büyük kitlesel bir pazara ulaşılamamıştı. 2000'li yılların ortalarından beri batarya ve güç yönetimi teknolojilerindeki ilerlemeler, değişken petrol sebep olduğu endişeler ve sera gazı azaltma gereksinimi elektrikli otomobilleri yeniden gündeme getirmiştir.

Elektrikli otomobiller içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir; bunlar yerel hava kirliğini azaltır, petrol ve petrol ithali yapılan ülkelere bağımlılığı azaltır.

Potansiyel faydalarına rağmen, elektrikli otomobillerin geniş ölçüde benimsenmemesinin bazı sebepleri engel ve sınırlamalar ile karşılaşmalarıdır. 2010 itibariyle elektrikli arabalar lityum-iyon bataryaların ek masrafları sebebiyle, sıradan bir içten yanmalı motorlu araca ve hibrit elektrikli araçlara göre önemli ölçüde daha pahalıdır. Bununla birlikte batarya fiyatları toplu üretim ile azalmaktadır ve daha da azalması beklenmektedir. Elektrikli arabaların yaygınlaşmasını engelleyen diğer faktörler; özel veya kamuya ait bir girişim olarak şarj istasyonlarının eksikliği ve kısıtlı menzil sebebiyle sürücülerin hedeflerine varamadan bataryalarının tükenip yolda kalacakları şeklindeki endişeleridir. Bazı hükümetler var olan engelleri aşmak için politikalar geliştirmekte, ekonomik teşvik paketleri sunmaktalar. Böylece elektrikli otomobillerin satışını artırmak için, elektrikli araç ve batarya teknolojisindeki gelişmeleri desteklemektedirler. Bazı kaynaklara göre dünya üzerinde dört milyar elektrikli arabayı enerjisi kapasitesini karşılayacak yeterli lityum rezervi bulunmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile elektrikli araçların yaygınlaşması kaçınılmazdır.

1.3 Elektrik Motoru Tarihçesi ve Kullanım Alanları

Elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinedir. Elektrik kaynağına bağlandığı zaman bir mili döndürerek hareket meydana getirir. Günlük hayatımızda milyonlarca motor kullanılmaktadır. Evde bulunan elektrik süpürgesi, çamaşır makinesi, dikiş makinesi ve karıştırıcıları hep motorlar çalıştırır. Modern bir fabrikada ise, bantların çalıştırılmasında, baskı makinelerinde, değirmenlerde hep elektrik motoru vardır. Motorlar genellikle tüm yüklendikleri zaman tam verimlidirler. Büyük motorlar, küçük motorlardan, yüksek hız motorları düşük hız motorlarından daha verimlidir. Beygir gücünün küçük bir kesiminden, 5000 beygir

gücüne veya daha büyük güçlere sahip elektrik motorları mevcuttur.

Motorlar kabaca, doğru akım ve alternatif akım motorları diye ikiye ayrılabilir. 1880'lerde ilk olarak doğru akım bulunduğundan ilk motorlar da bu akımla çalışanlar olmuştur. 1890'larda alternatif akımın bulunmasıyla indüksiyon motoru adıyla bilinen bir alternatif akım motoru basitliğinden dolayı yaygınlaşmıştır. Daha sonra, özellikle senkron ve üniversal motor olmak üzere, diğer tür alternatif akım motorları kullanılmıştır. Günümüzde alternatif akım yaygın olmasına karşılık, doğru akım motorlarının uygulamada önemli yeri vardır. Özellikle değişik hızların gerekli olduğu sensör, el aleti ve konveyörlerde doğru akım motoru kullanılır.

İlk ticari motor 1880'lerde, elektrik ve manyetizmada 1820'lerin başlarında yapılan temel keşiflerden yarım asır sonra ortaya çıkmıştır. İlk defa 1821'de Michael Faraday, bir mıknatıs ve hareketli telden sürekli bir dönme hareketi elde edebileceğini göstermiştir. Bir Amerikalı demirci olan Thomas Davenport 1837'de elektrik motoru için ilk patenti almıştır. Ancak her buluş gibi bunun da uzun bir gelişme devresine ihtiyacı vardı. 1860 ve 1870'lerde çok çalışmalar yapılmıştır. Hatta bu sırada doğru akım jeneratörünün tersine çalışabileceği, yani başka bir doğru akım jeneratörü tarafından bir doğru akım motoru gibi çalıştırılabileceği anlaşılmıştır. 1888'lerin sonuna doğru akım motorları büyük miktarlarda imal edilmeye başlanmıştır. Büyük şehirlerdeki ulaşım ihtiyacı motorlar için yeni imkânlar ortaya koymuştur. At ile çekilen arabaların elektrik motorlarıyla da hareket ettirilebileceği fikri ortaya çıktı.

Bu arada elektrik motorlarının teorisinde de gelişmeler kaydedildi. Bütün bunlara rağmen, 1880 ortalarında, doğru akımın ancak birkaç kilometrelik mesafeye dağıtılabilmesi ve elektrik motorunun pahalı olması, kullanımın gelişmesini engelleyen en önemli faktörlerdi. Bu sırada alternatif akımın uzak mesafeli yerler için de ekonomik olacağı anlaşıldı.

1888'de İtalyan Galileo Ferrari birbirinden 90° faz farkı olan iki alternatif manyetik alanının sabit dönen bir manyetik alan olarak görülebileceğini gösterdi.

Ayrıca, bir tek akımın, fazları farklı iki manyetik alan doğuran fazları farklı iki akıma ayrılabileceğini gösterdi. Dönen tek bir manyetik alanın motorun rotasında bir dönme meydana getirdiğini belirtti. Böylece ilk indüksiyon motoru doğmuşsa da bunun sanayideki uygulamasını Ferrari devam etmemiştir. 1888-1896 arasında Nikola Tesla bağımsız olarak geliştirdiği indüksiyon motorunun patentlerini aldı. George Westinghouse, Tesla'nın patentlerini alarak ileri çalışmalar yaptırdı ise de, ekonomik kriz ve elektrik akım tekniğinin gelişmeleri bu çalışmaları engelledi. 1980'lerden itibaren çeşitli ülkelerde alternatif akım motorları ortaya çıktı. Çok fazlı elektrik motorları geliştirildi. Böylece elektrik motorunun temelleri atılmış oldu. Bundan sonraki gelişmeler genel esası değiştirmeden yapılan gelişmeler oldu.

Doğru akım motorlarında karşılaşılan işletme zorlukları ve düzenli bakım gereksinimleri, güç elektroniği elemanlarının ve elektronik kontrol düzeneklerinin gelişimi uygulamalarda ihtiyaçları çözümleyecek farklı motorların sunumunun yolunu açmıştır. Gerek maliyet gerekse teknolojik zorluklarla tercih edilmeyen motor uygulamaları, günümüzde tercih edilir hale gelmiştir. Özellikle fırça-kollektör düzeninin sık arıza yapmaya açık olması, sürekli bakım gereksinimi ve oluşan güç kayıpları sebebiyle fırçalı doğru akım motorlarına yönelik talebi azaltmıştır. Bu ihtiyaca cevap verecek fırça düzeneği gerektirmeyen, ancak doğru akım motoru karakteristiklerine sahip fırçasız doğru akım motoru giderek piyasada kullanılır hale gelmiştir.

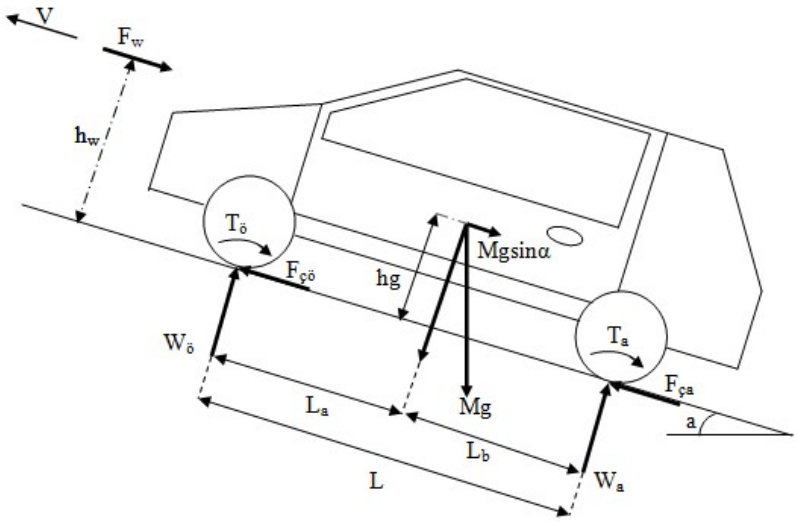
Malzeme biliminin gelişmesiyle yüksek enerji kapasiteli ve stabil mıknatısların yaygınlaşması, rotor sargı yerine bu mıknatısların kullanımını beraberinde getirmiştir. Bu durum doğru akım motorlarındaki fırça düzeneğinden kurtulmayı mümkün kılmıştır. Bununla beraber stator sargısında doğru gerilim ile döner alan oluşturma problemi, güç elektroniğin yardımıyla aşılmıştır.

BÖLÜM İKİ
TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Genel Araç Dinamiğinin İncelenmesi

Şekilde, eğimli bir düzlemde yukarı yönde hareket eden bir araca etki eden kuvvetler gösterilmiştir. Aracın hareket sınırlarını motorun gücü ve harekete engel olmaya çalışan direnç kuvvetleri belirler. Burada F_t olarak gösterilen çekiş kuvveti aracın hareket etmesini sağlayan, tahrik tekeri ve yol yüzeyi arasında meydana gelen kuvvettir. Bu kuvvet aracın güç kaynağında meydana getirilen torkun tahrik tekerine aktarılması ile oluşur. Araç hareket halindeyken aracın hareketine engel olmaya çalışan direnç kuvvetleri vardır. Bu dirençler yuvarlanma direnci, aerodinamik direnç ve yokuş direncidir. Newton yasalarına göre aracın ivmelenmesi;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\sum Fç - \sum Fs}{\delta Mt} \tag{2.1}$$



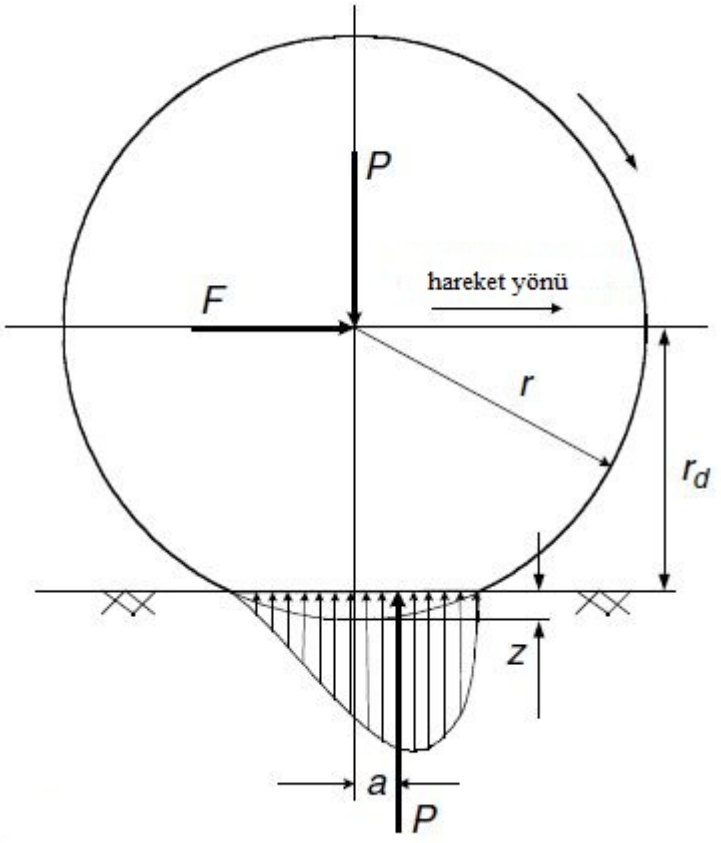
Şekil 2.1 Araç üzerinde oluşan kuvvetler

2.2 Hareket Dirençleri

Şekil 2.1'de de gösterilen dirençlerdir. Yuvarlanma direnci $T_ö$ ve $T_{a,}$ hava direnci F_w ve yokuş direnci mgsinα olarak tayin edilmiştir.

2.2.1 Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direncinin başlıca sebebi sert zemin üzerinde yuvarlanan lastiğin yük altında sürekli Şekil değiştirmesi ile oluşan histerisiz kayıplarıdır. Bu kayıplar lastik karkası üzerinde sehim oluşmasına sebep olur.



Şekil 2.2 Lastik sehimi ve yuvarlanma direnci (Ehsani ve diğer.,2005).

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi ileri yönde hareket eden bir lastik üzerine etki eden tepki kuvveti lastikte oluşan sehim nedeniyle tepki kuvveti ile ağırlık eksenlerin çakışmamasına sebep olmaktadır. Bu durum lastiğin hareketine ters yönde moment oluşturur.

$$T_a = P.a \tag{2.2}$$

Oluşan bu moment aracın hareketine ters yönde kuvvet meydana getirir.

$$F_a = \frac{T_a}{r} = \frac{Pa}{r} = P.f_r \tag{2.3}$$

Bu formül sonucu ortaya çıkan $\boldsymbol{f_r}$, yuvarlanma direnç katsayısıdır. Bu katsayı lastik cinsine, malzemesine, basıncına, sıcaklığına, yol yapısına, malzemesine ıslaklık durumuna göre değişiklik gösterir. Tablo 2.1'de yol yapılarına göre direnç katsayıları verilmiştir

Tablo 2.1 Ortalama yuvarlanma dirençleri (Kuralay, 2008).

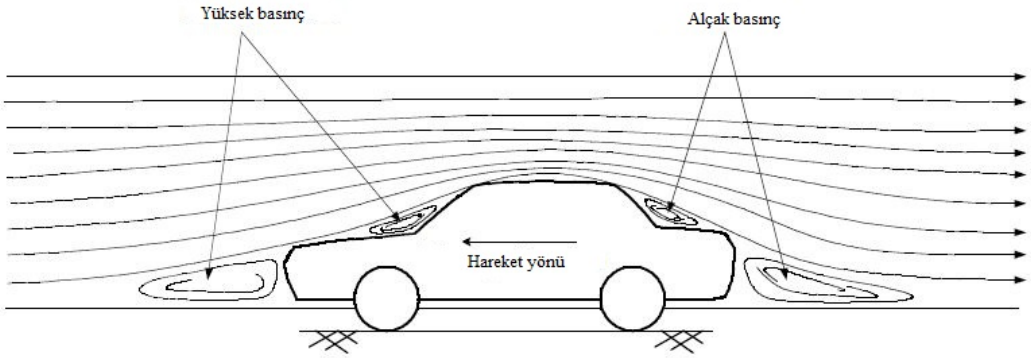
Yol durumu	Yuvarlanma direnç katsayısı
Araba tekerleği beton veya asfalt yol	0.013
Mıcırlı-ziftli yol	0.02
Mıcırlı yol	0.025
Toprak yol	0.05
Tarla yolu	0.1-0.35
Kamyon tekerleği beton veya asfalt yol	0.006-0.001
Tren yolu	0.001-0.002

2.2.2 Hava Direnci

Hava içerisinde bir araç, belirli bir hızda hareket ederken hızına bağlı olarak hareketine engel olacak bir dirençle karşılaşır. Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu direnç aerodinamik direnç denir. Bu direnç oluşumu iki sebebe bağlıdır:

Yüzey basıncı; aracın hareketi yönündeki yüzey alanına bağlıdır. Hız arttıkça bu basınç da artmaktadır.

Yüzey sürtünmesi; araç hava moleküllerinin içerisinden geçerken yüzeyinde düşük basınç oluşturur hava moleküllerini beraberinde sürüklemek ister. Araçla birlikte hareket eden moleküller ve hızı sabit olan moleküller kendi aralarında sürtünürler bunun sonucunda kayıp oluşur.



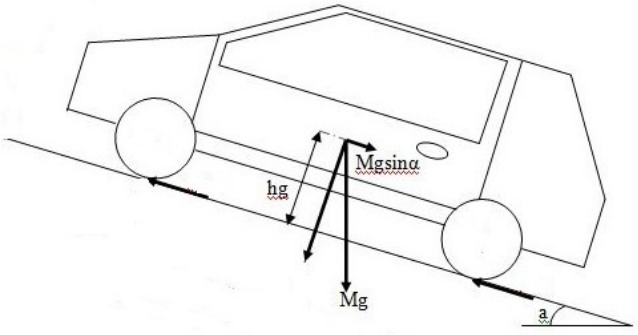
Şekil 2.3 Standart bir binek araç üzerindeki hava akışı (Ehsani ve diğer.,2005).

Aerodinamik direnç araç hızı V, araç ön yüzey alanı A, hava yoğunluğu ρ, araç aerodinamik sürtünme katsayısı C_d, rüzgar direnci V_w, parametrelerine bağlıdır.

$$F_w = \frac{1}{2}\rho A C_d (V + V_w)^2 \qquad (2.4)$$

Örnek C_d değerleri Şekil 2.5'te yer almaktadır.

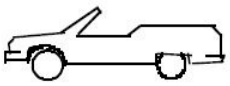
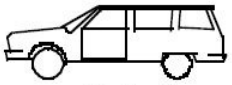
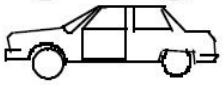
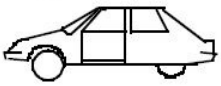
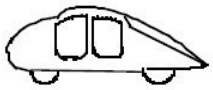
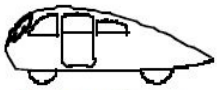
2.2.3 Yokuş Direnci



Şekil 2.4 Yokuş direnci

Yokuş direnci araç yokuş yukarı yönde hareket ederken ağırlık merkezinden yer alan ağırlık eksenindeki açı değişimi sebebiyle aracın hareketine ters yönde oluşan dirençtir. Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Aracın ağırlığı ve yokuşun açısına bağlıdır.

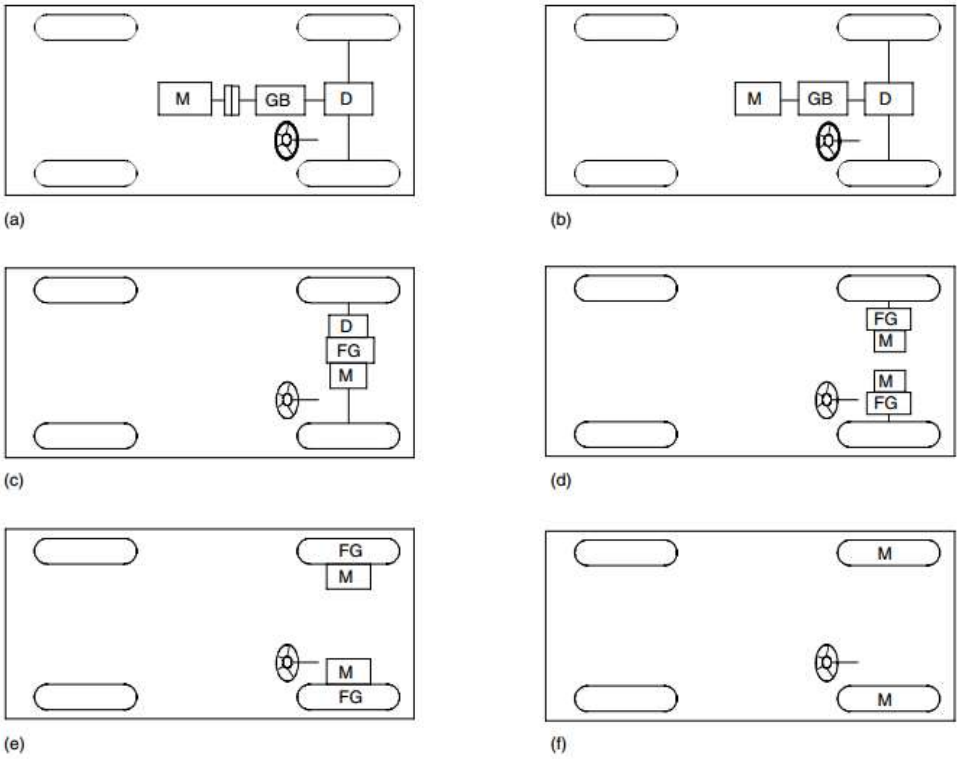
$$F_g = mgsina \tag{2.5}$$

Araç Tipi	Aerodinamik sürtünme katsayısı
 Üzeri açık araç	0.5–0.7
 Van	0.5–0.7
 Binek araç	0.4–0.55
 Köşeli ve optimize edilmiş	0.3–0.4
 Yağmur damlası modeli tüm tekerlekler içeride	0.2–0.25
 Küçük sürtünme yüzeyi	0.23
 Optimum yağmur damlası modeli	0.15–0.20
Tır, Kamyon	0.8–1.5
Otobüs	0.6–0.7
Minibüs, Midibüs	0.3–0.4
Motorbisiklet	0.6–0.7

Şekil 2.5 Aerodinamik sürtünme katsayısı (Ehsani ve diğer.,2005)

Elektrikli araçlar hareket edebilmek için elektrik motoru kullanan güç kaynağı olarak da kimyasal bataryalar kullanan araçlardır. Bu araçların, içten yanmalı motora sahip olan araçlara göre pek çok avantajı vardır; sessiz çalışırlar, çevreyi kirletmezler, hareket etmeleri için petrole ihtiyaç duymazlar, en önemlisi yüksek verimlidirler. Mekanik yapıları bakımından da temel farklılıklar bulunur; yakıt deposu yerine bataryalar, vites kutusu yerine motor sürücü vardır bu farklılıklar araç konstrüksiyonundan, aerodinamik tasarıma kadar pek çok değişikliğe sebebiyet verir.

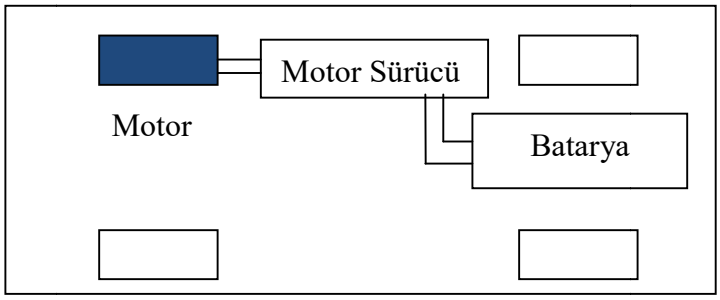
Kuşkusuz bu durum alışılmışın dışında araç tasarımlarının ortaya çıkmasına otomotiv sektöründe yeni ürünlerin meydana getirilmesine sebep verecektir. Bu durum elektrik motorlarının araç içerisindeki yerleşimi için de geçerlidir.



Şekil 2.6 Elektrikli araçlarda motor yerleşimi (Ehsani ve diğer.,2005)

Şekil 2.6'da resimlerde de görüldüğü üzere motor yerleşimi çok farklı konumlarda yapılmış ancak içten yanmalı motora sahip araçların tasarımı örnek alınmıştır.

Motor karakteristikleri belirlenirken dikkat edilmesi gereken önemli noktalar motor yerleşimi, çevrim oranı, araç maksimum hızı ve verimli bir Şekilde hızlanması için gerekli tork değeridir. Şekil 2.7' de hesaplamalarda örnek alacağımız elektrikli bir aracın motor yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Elektrikli araç güç aktarımı

Güneş enerjili yarış aracının 80 km/saat sabit hızla yol alması durumunda denklem 2.2, 2.3'ten ve denklem 2.4'ten yararlanılarak aşağıda yer alan hesaplamalar yapılmıştır;

$$\mathrm{F_a} = 250.0{,}015 = 3{,}75\ \mathrm{N}$$

$$F_w = \frac{1}{2}.\,1{,}225.0{,}11(22{,}22)^2 = 33{,}26\ \mathrm{N}$$

$$F_t = 37{,}01\ \mathrm{N}$$

$$T_m = 37{,}01.0{,}275 = 10{,}17\ Nm$$

Demobil elektrikli aracın 80 km/saat sabit hızla yol alması durumunda;

$$\mathrm{F_a} = 300.0{,}015 = 4{,}50\ \mathrm{N}$$

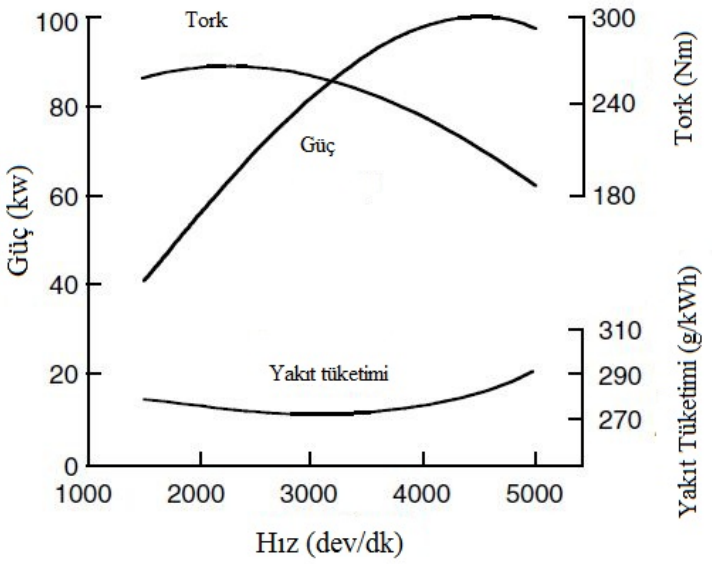
$$F_w = \frac{1}{2}.\,1{,}225.0{,}22(22{,}22)^2 = 132{,}52\ \mathrm{N}$$

$$F_t = 138{,}02\ \mathrm{N}$$

$$T_m = 138{,}02.0{,}275 = 37{,}955\ Nm$$

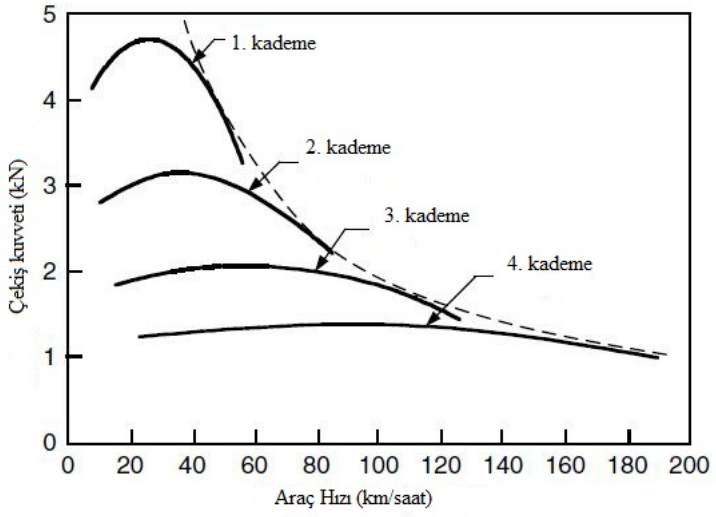
2.3 Elektrikli ve İçten Yanmalı Motorlu Araçlarda Çekiş Karakteristiği

Araç uygulamaları için, ideal motor karakteristiği için bir güç kaynağının belirli bir hız aralığında sabit güç çıkışı sağlamasıdır. Bu durumun sonucunda tork hiperbolik bir şekilde değişim göstermektedir (Şekil 2.8). Yavaş hızlarda tork tekerleğin zemine tutunmasına bağlı olarak sabit bir değerde kısıtlanır.



Şekil 2.8 İçten yanmalı motor karakteristikleri (Ehsani ve diğer.,2005)

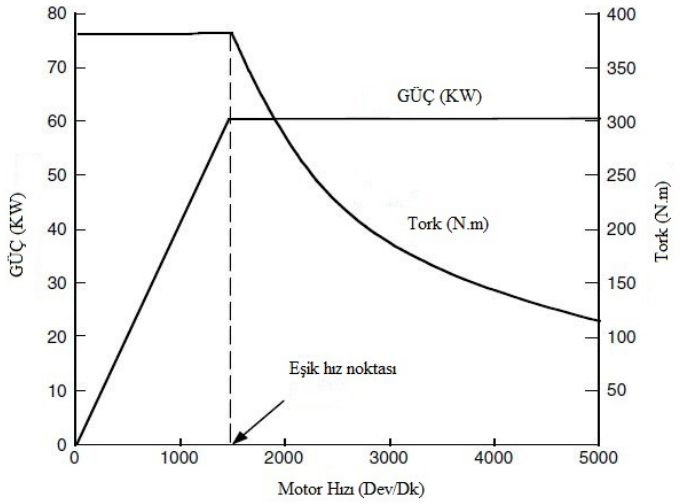
Geçmişten günümüze elektrik motoru ve içten yanmalı motorlar araçlarda güç kaynağı olarak kullanılmıştır. İçten yanmalı ve elektrik motorunun karakteristikleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da sunulmuştur. İçten yanmalı motor tork ve hız karakteristiği ideal çekiş karakteristiklerinden uzaktır. Rölantide çalışmaya başlarlar. Yanma kalitesi ara hızda fazladır ve bu noktadan sonra tork azalır termodinamik çevrimin tamamlamasıyla ilgili olarak belirli bir hızdan sonra tork düşer.



Şekil 2.9 İçten yanmalı motor çekiş kuvveti hız grafiği (Ehsani ve diğer.,2005)

Bir aracın sürüş performansı değerlendirilirken ivmelenme, maksimum hız, yokuş tırmanabilme kabiliyeti gibi özellikleri kullanılır. Bu özellikler motorun hız ve tork karakteristiklerine doğrudan bağlıdır.

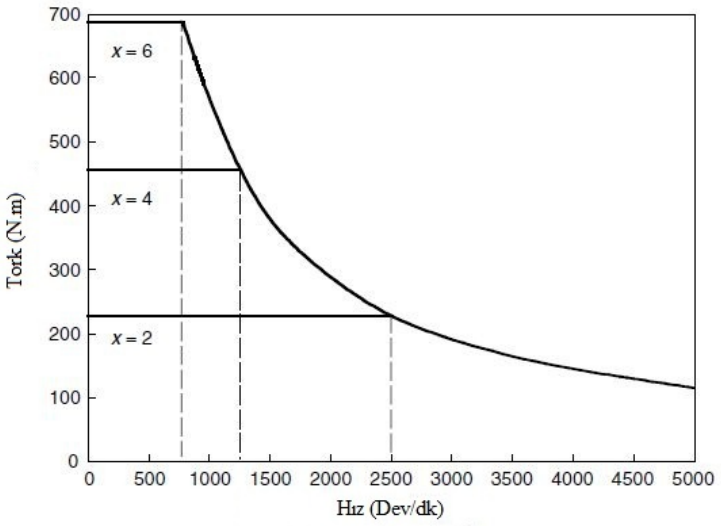
Değişken hıza bağlı olarak çıkarılan motor verilerinde (Şekil 2.10), eşik hızdan önceki bölge düşük hız bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgede tork sabit, güç artmaktadır. Yüksek hız bölgesinde ise güç sabit kalarak tork değişmektedir. Eşik hız noktası motor yapısına göre değişiklik gösterir. Bu karakteristik özellik eşik hızın maksimum hıza oranıdır x olarak gösterilir.



Şekil 2.10 Elektrik motoru karakteristikleri (Ehsani ve diğer.,2005)

Düşük hız aralığında bobinlere gerilim uygulanırsa akım, motor sürücü tarafından sabitlenir. Gerilim eşik hız değerine gelene kadar düşer. Bu noktadan sonra gerilim sabitlenerek hiperbolik bir şekilde akım azalır. Buna bağlı olarak tork da aynı şekilde azalır. Açısal hız hiperbolik şekilde artar.

Şekil 2.11 de 60 kw'lık bir elektrik motorunun eğrisi verilmiştir. Motor tipine göre x'in değişikliği gözlemlenebilir. İçten yanmalı motorlarla kıyaslandığında düşük devirde sabit tork uygulamaları büyük avantaj sağlar transmisyona ihtiyaç duymazlar.



Şekil 2.11 Motor tipine bağlı eşik hız katsayıları (Ehsani ve diğer.,2005)

Her motor hızının bir sınırı olduğu gibi her motor tipine bağlı olarak maksimum hızın eşik hıza oranında bir sınır vardır. Sürekli mıknatıslı motorlarda bu oran düşüktür (x<2). Bunun sebebi sürekli mıknatıslar manyetik akının düşmesini zorlaştırır. Alan uyarımlı motor x<6 ve indüksiyon motorlarında x=4 tür.

2.4 Fırçasız Doğru Akım Elektrik Motoru Temel Yapısı

2.4.1 Fırçasız Doğru Akım Motoru Temel Yapısı

Rotor kısmında yüksek enerji yoğunluğuna sahip mıknatıslar bulunmaktadır. Yüksek güç, yüksek sürat ve verimli kullanım için sürücü tasarımı yapılabilir. Bu durum motorun elektrikli araçlarda kullanımı için büyük avantaj sağlamaktadır.

FDAEM başlıca avantajları;

- Yüksek verimlidir: Elektrik motorları arasında en verimlisidir. Tahrik için kalıcı mıknatıslar kullanılır ve güç tüketmezler. Sargılara aktarılan elektriksel güçte herhangi bir fırça veya aktarma mekanizması olmaması mekaniksel kayıpları düşürür ve verim artışı sağlar.
- Kompakttır: Kullanılan mıknatıslar yüksek akı yoğunluğuna sahiptirler. Bu durum daha küçük boyutlarda yüksek torka ve güce sahip motorların üretilmesine olanak sağlar.
- Kontrolü kolaydır: Bir doğru akım motoru kadar kolay kontrol edilebilir. Kontrol değişkenleri ile ilgili bilgi almak kolaydır.
- Kolay soğutulur: Rotor kısmında akım değişimi olmadığından sıcaklık oluşmaz. Sadece stator kısmında sıcaklık meydana gelir. Sabit bir kısım olması sebebiyle soğutma için motorun en uygun bölümüdür.
- Bakımı kolay, uzun ömürlü ve güvenilirdir: Fırça ve kommutatör bulunmaması sebebiyle sürekli bakıma ihtiyaç duymazlar ve bu parçaların arızası gibi bir durum söz konusu değildir. Motorun ömrü ve bakımı sargı kalitesi, yataklama ve kalıcı mıknatısların ömrüne bağlıdır.
- Sessiz çalışırlar: Komütasyon mekanik olarak değil elektronik olarak gerçekleşir. Yüksek frekansta anahtarlama yapılır ve oldukça sessizdir.

FDAEM başlıca dezavantajları;

- Pahalıdırlar: Kullanılan daimi mıknatısların fiyatlarından dolayı diğer elektrik motorlarına göre daha pahalıdır.
- Güvenlik: Kalıcı mıknatıslar etrafındaki ferro manyetik malzemeleri üzerilerine doğru çekerler. Bir kaza durumunda eğer motor boşta hareketine devam ederse elektrik üretir bu durum yolcular ve yardım ekibi için tehlikelidir.
- Demagnetizasyon: Yüksek manyetik alan altında veya yüksek sıcaklıkta mıknatıslar demagnetize olur ve bu durum neticesinde motor çalışmaz hale gelir.

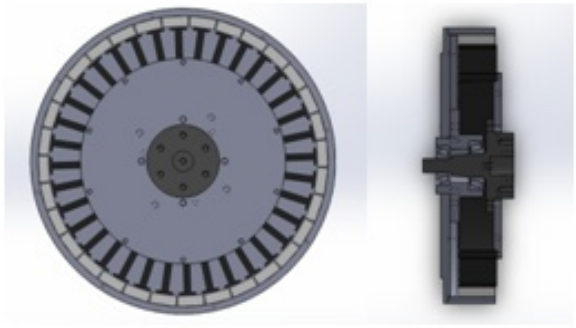
- Sürücü arızası: Eğer sürücü veya elektrik sisteminde bir kısa devre olursa kalıcı mıknatıslardan dolayı sorun oluşur. Motorun hareket halindeyken rotor sürekli olarak sargılarda EMK indükler. Kısa devre halinde oluşan yüksek akım değişimi yüksek tork oluşturur ve motorun kilitlenmesine sebep olabilir. Birbirinden bağımsız tahrik sistemlerinde bu durum oldukça tehlikelidir. Eğer tekerleğin biri kilitlenir diğeri de tahrik etmeye devam ederse araç yüksek hızla giderken kontrol çıkarak kendi etrafında dönmeye başlayabilir.

2.4.2 FDAEM Sınıflandırması

Sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları, rotorun yapısı dikkate alınarak üç tipte incelenebilir. Deney düzeneğinde dış rotorlu fırçasız doğru akım motoru kullanılacaktır.

2.4.2.1 Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Rotoru

Dış rotor tipinde, mıknatıslar stator sargısının dışında bulunan rotor yuvarlağının içine yerleştirilir (Şekil 2.12). Bu durum, dönen kısmın kütlesinin artmasına ve atalet momentinin yükselmesine sebep olur. Artan atalet momenti ile hız değişimi azalır.



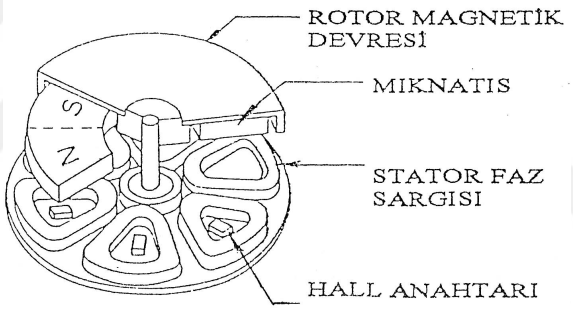
Şekil 2.12 Dış rotorlu FDAEM

Mıknatısların rotor yuvası içine yapıştırılarak birleştirilmesi üretimi kolaylaştırır. Tek rulman ve tek mil yatak kullanımı sistemi basitleştirir. Mıknatıslar geniş bir yüzeye yerleştirilebilir. Bu açıdan düşük kaliteli mıknatıs kullanma imkânı verir.

2.4.2.2 Disk Tipi Fırçasız Doğru Akım Motoru

Sürekli mıknatıslar, disk şeklindeki rotorun bir yüzeyine yerleştirilmiştir. Stator satıları, mıknatıslara karşılıklı gelecek şekildedir (Şekil 2.13).

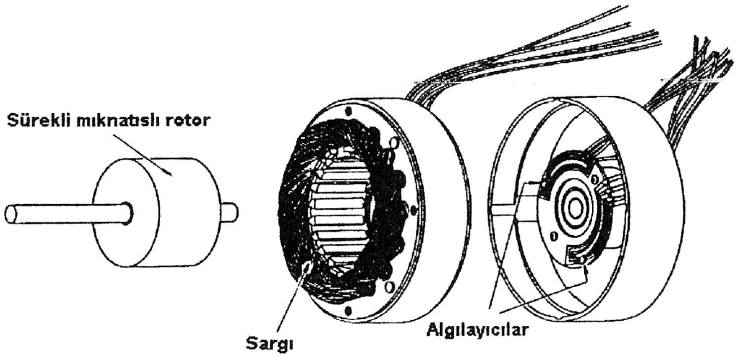
Bu tür makineler düşük hızlar için uygundur. 1000 d/d'nin üzerindeki hızlarda stator veya rotor disk çeliğinde ısı problemleri çıkabilir.



Şekil 2.13 Disk tipi fırçasız doğru akım motoru

2.4.2.3 İç Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru

Kullanım alanı en fazla olan tip iç fırçasız doğru akım motorudur. Rotor statorun içinde yer alır. Sürekli mıknatıslar rotor içine çeşitli Şekillerde yerleştirilmiştir (Şekil 2.14).

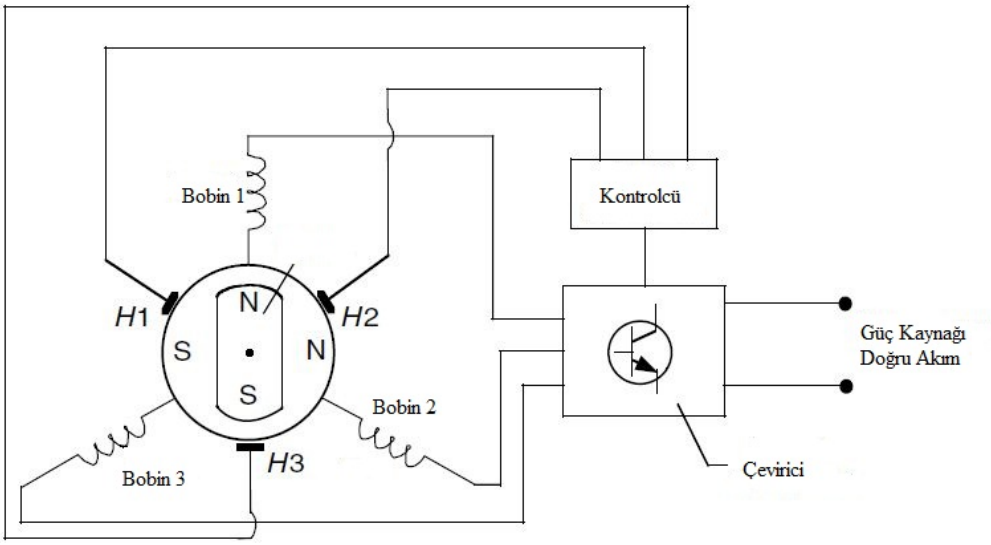


Şekil 2.14 İç rotorlu fırçasız doğru akım motorunun mekanik yapısı

Statordaki oluklara sargıların yerleştirilmesi bakımından, SM senkron motorla fırçasız DA motoru arasında farklılıklar vardır. SM senkron motorda sargılar stator boyunca sinüzoidal olarak dağıtılırlar. Böylece sinüzoidal formda EMK indüklenmesi sağlanır. Buna karşın, fırçasız DA motorunda indüklenen EMK trapezoidal formda olmalıdır. Bunu sağlamak için stator sargılan kutup ayaklarının altına yığılmış biçimde yerleştirilir.

2.4.3 FDAEM Temel Sürme Prensibi

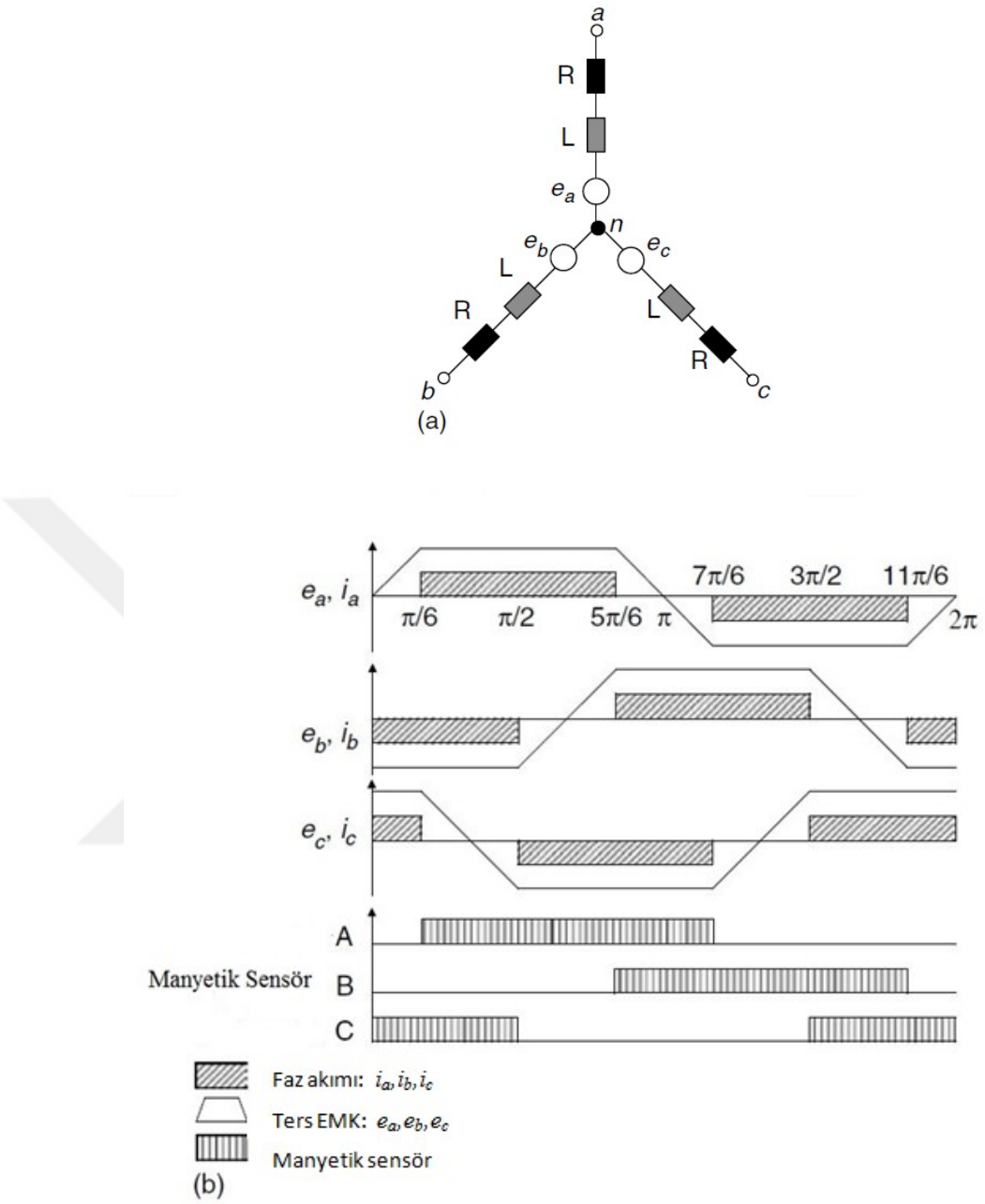
FDAE motorların sürme işlemi güç elektroniği ve sinyal işleme teknolojisinin birleşmesi ile gerçekleşir. Motoru elektronik olarak incelediğimizde Şekil 2.15'de gösterildiği gibi bir sinyal işleyen kontrolcü, bir çevirici, H1,H2,H3 olarak gösterilen sensorlar ve sargılardan oluşur. Kontrolcü sensorlar yardımıyla rotor pozisyonunu algılar ve çeviriciye sinyal gönderir. İstenilen hareket doğrultusunda bobinlere akım ulaşması sağlanır. Motor tork kontrolü ve hız kontrolü ile sürülebilir.



Şekil 2.15 Fırçasız doğru akım elektrik motoru (Ehsani ve diğer.,2005).

Fırçasız doğru akım makineleri, stator sargılarının beslenme şekline göre iki grupta incelenir. Sürekli mıknatıslı senkron motorlar, sabit moment üretimi için sinüzoidal formda stator akımına gereksinim duyar ve sinüzoidal zıt EMK'ya sahiptir. FDAEM'ler ise sabit moment üretimi için dikdörtgen biçiminde stator akımlarına gereksinim duyar ve trapezoidal formda zıt EMK'ya sahiptir.

Motor genel yapı itibariyle rotor, stator ve motor sürücüsünden oluşmaktadır. Motor kontrol devresi olmadan FDAEM'lerin verimli çalışması mümkün değildir. Pozisyon bilgisi ve motor dönüş yönü tayin edilmesi için ise manyetik alan değişiminden faydalanılır, genelde manyetik sensorlar kullanılmaktadır. Sensörlerin yerleşimine göre motor karakteristiği değişebilir. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi fazların indüklenmesi sensör pozisyonuna bağlıdır.



Şekil 2.16 (a) 3 fazlı motor bağlantısı (b) faz akımı, EMK oluşumunun ve sensör sinyalinin zamana bağlı gösterimi (Ehsani ve diğer.,2005).

2.4.4 FDAEM Performans Analizi

Hız ve tork performansı araç çekişi için oldukça önemlidir. Bu motorlarda manyetik alan oluşumu rotorda bulunan mıknatıslara ve güç kaynağı, kontrol, elektro motor kuvvete bağlıdır.

Bu motorların performans analizi aşağıda yer alan kabullerle analitik olarak gerçekleştirilebilir:

1. Motor rezonans halinde değil,
2. Tüm sargıların statorda oluşturduğu direnç eşit ve sabit indüktansa sahip,
3. Motor sürücü ve çevirici ideal şekilde çalışmakta,
4. Demir kayıpları ihmal edilmiş,

Şekil 2.17'de motorun bir fazının basit gösterimi yer almaktadır. Bu gösterimde; V_t gerilim, R_s sargı direnci, L_s indüktans kaçağıdır (L_s=L-M, L sargıların oluşturduğu öz indüktans M ise buna karşı olan kayıptır), E_s motor halindeyken meydana gelen zıt elektromotor kuvvettir. Motorun performansında bir faza etki eden katsayılar aşağıdaki gibi yazılabilir.

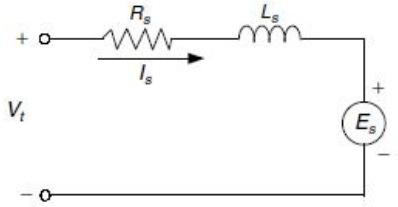
$$V_t = R_s + L_s \frac{dI_s}{dt} + E_s \tag{2.6}$$

$$E_s = k_e w_r \tag{2.7}$$

$$T_e = k_t I_s \tag{2.8}$$

$$T_e = T_L + j\frac{dw_r}{dt} + Bw_r \tag{2.9}$$

$$k_e = \frac{T_e R_s}{k_t} - \frac{V_t}{w_r} \tag{2.10}$$



Şekil 2.17 FDAEM basit gösterimi

BÖLÜM ÜÇ
YÖNTEM

3.1 Motor Performans Ölçüm Sistemleri

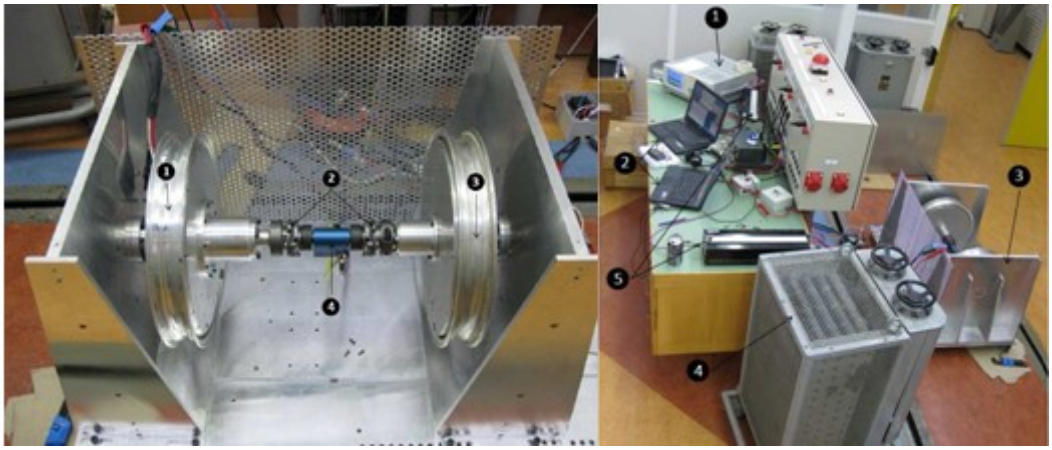
Motor parametrelerini belirlerken açısal hız ve tork ölçümü yapabilecek sistemler geliştirilmiştir.

Tork parametresine hidrolik sistemler kullanılarak da ulaşılabilir. Test edilecek motorla bir hidrolik pompa tahrik edilir ve akışkanın debisi ölçülerek tork verisine ulaşılır sistem oldukça kararlıdır ve hassasiyeti yüksektir.

Şekil 3.1'de yer alan sistemde ise motor freni ile tork ölçümü yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde karakteristiği daha önceden belirlenmiş motorlar kullanılır. Verileri bilinen motor referans alınarak motor karakteristiği çıkarılır. Şekil 3.2'de yer alan 4 numaralı cihaz tork ölçüm cihazı olarak tanımlanan cihazdır. İçerisinde bulunan gerinim ölçer yardımıyla milin burulmasına dayalı ölçüm yapmaktadır.



Şekil 3.1 Debiye bağlı tork ölçüm sistemi



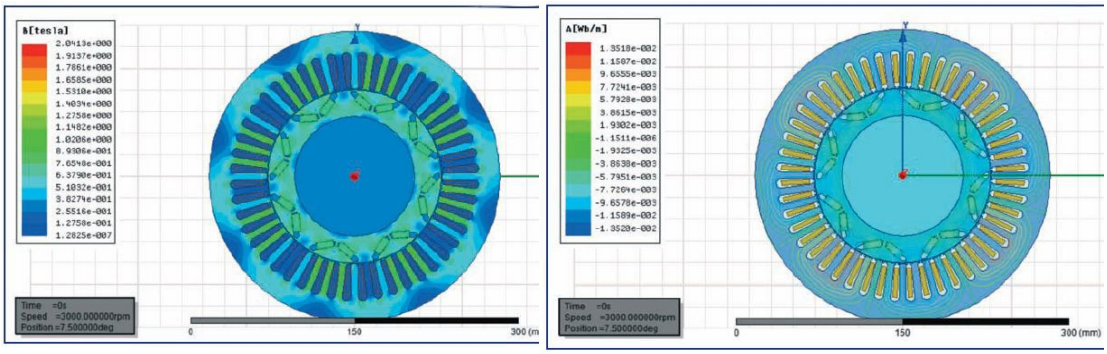
Şekil 3.2 CSIRO fırçasız doğru akım motoru test düzeneği (Al Zaher, 2010)

Günümüzde de araç performans sistemlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Bu sistemlerde bir silindirin ivmelenmesi ile oluşan atalet momentine bağlı tork ölçümü yapılır. Testin sonunda araç yakıt tüketimi, tork-zaman eğrisi ve silindire aktarılan güç hesap edilir. Kullanılan sistemler Şekil 3.3'te örneklendirilmiştir.



Şekil 3.3 İvmelenmeye bağlı tork ölçümü

Nümerik yol ile de elektrik motor karakteristiği belirlenebilir. Bu yöntemle ilgili olarak FEMM, Quick Machine, Ansys Maxwell gibi programlar bulunmaktadır. Şekil 3.4'te Ansys Maxwell modülü ile yapılmış bir çalışma gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Nümerik motor karakteristik ölçümü Ansys maxwell modülü (Möküççü. ve Beyazoğlu,2014).

3.2 Karakteristik Özellikleri Belirleme Parametreleri

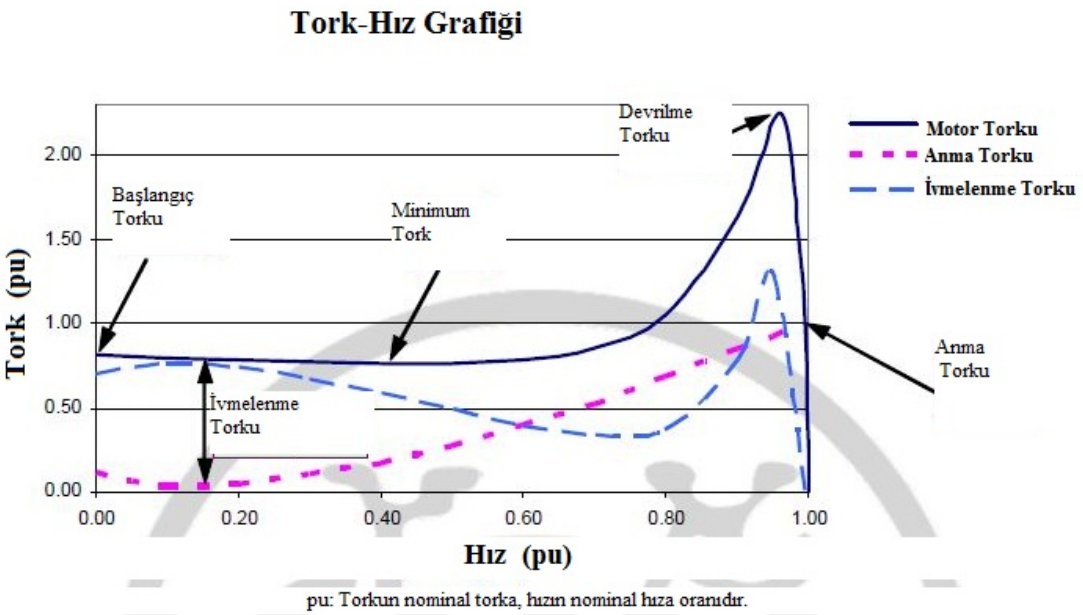
Motor karakteristikleri belirlenirken çeşitli katsayılara ulaşılmak için deney düzenekleri kurulur ve bu düzeneklerde ölçümler yapılarak çeşitli katsayılar elde edilir. Motorların kullanım alanlarına yönelik ihtiyaç duyulan torka bağlı karakteristik özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3. 1 Motor momentleri (Swardt, 2007)

İsim	Tanım	Karakteristik Değerler
Kalkış Torku	Motora elektriksel güç uygulandığında meydana gelen başlama tork değeridir.	0,3-1,2 pu
Minimum Tork	Başlangıç değerinden sonra oluşan minimum tork değeridir.	0,8-1,2 pu
Devrilme Torku	Çevrim sırasında oluşan en yüksek tork değeridir.	1,8-3,0 pu
Anma Torku	Nominal güç ve hızda meydana gelen kararlı tork değeridir.	1,0 pu
İvmelenme Torku	Motorun belirli bir yükün ataletini yenmesiyle zamana bağlı ölçülen değerdir.	değişken

Tork-hız grafiği her motor için özeldir ve motorun performansını belirlemede önemlidir. Örnek tork-hız grafiği Şekil 3.5'te verilmiştir.

İvmelenme, torku atalet momenti bilinen bir silindir ile birlikte hız ve zamana bağlı olarak ölçülebilir. Diğer torkların ölçülmesi için ise eş zamanlı tork ölçümü alınacak bir düzeneğe de ihtiyaç vardır.

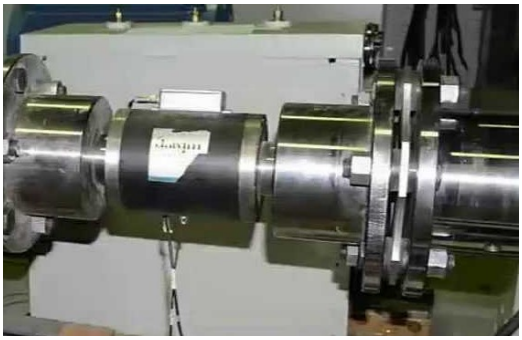


Şekil 3.5 Tork-hız oransal grafiği (Swardt, 2007)

3.3 Tork Sensörü İle Çizgisel Tork Ölçümü

Kuvvet dinamik ve statik olarak ikiye ayrılır, dinamik kuvvet ivmeye sahip olan kuvvettir. Bu durum Newton'un 2. Yasası ile tanımlanmıştır. Aracınızı durdurmaya çalışırsanız, aracınızın kütlesini durdurmak için bir dinamik kuvvete ihtiyacınız vardır. Frene bastığınızda kaliper sabit olduğundan üzerinde oluşan kuvvet statiktir ancak aracın durması için uygulanan kuvvet dinamik kuvvettir.

Bir otoyolda sabit hızla giden bir aracın tork ileten şaftında oluşan tork, rotasyonel statik torka örnektir. Bu durumda şaft sabit hızla hareket etmekte ve ivme oluşmamaktadır. Eğer ölçüm krank milinden alınmış olsaydı, her silindir hareketinde mil üzerinde büyük tork değişimleri oluşacaktı. Bu durum dinamik torka örnek olabilir. Tork ölçümü yapılırken kullanılacak yöntem ölçülen torkun statik veya dinamik olmasına göre belirlenir.

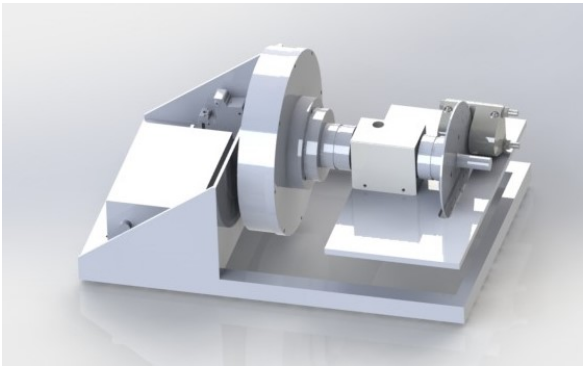


Şekil 3.6 Çizgisel tork ölçüm cihazı

Tork, iletimi yapan iki parçanın arasına bağlanır ve bağlanan bu parçanın uzaması ve burkulmasına bağlı olarak tork ölçümü yapılır, Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu yöntemde oldukça hassas ölçüm alınabilir ancak parazite neden olacak tork değişimlerine, ikincil yüklere, ani yük değişimlerine dikkat edilmelidir.

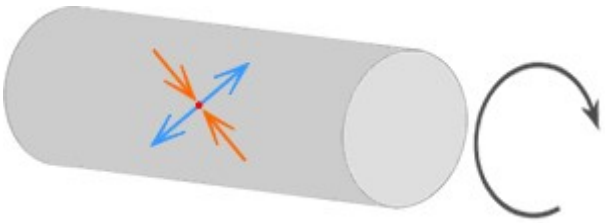
Çizgisel tork ölçümüne bir örnek vermek gerekirse, dinamik tork üreten bir motorun çıkışına sensör bağlanır ve sensör çıkışında da bir volan olursa dinamik tork ölçülebilir. Newtonun üçüncü yasası gereği volan sahip olduğu atalet momentinden dolayı harekete karşı bir tepki kuvveti oluşturacaktır.

Bu yöntemde özellikler dairesel hareketin olduğu ölçümlerde, sensörlerin bağlantısı ile ilgili problemler söz konusudur. Bu sensörler ve frenleme sisteminin bulunduğu düzenek ile Şekil 3.5'te yer alan ölçümlerin hepsi gerçekleştirilebilir grafikler çizilebilir. Şekil 3.7'de bu ölçüm yöntemine uygun bir tasarım yapılmıştır.



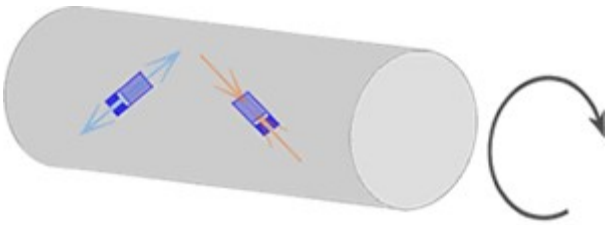
Şekil 3.7 FDAEM için tork ölçüm düzeneği tasarımı

Bu sistemlerde en genel tork ölçümü gerinim ölçer yardımıyla yapılır. Mekanik özellikleri bilinen silindirik bir mil üzerine 45'er derece açı ile gerinim ölçerler yapıştırılır. En uygun ölçümü almak için mil tasarımları ve gerinim ölçer açıları değiştirilebilir.



Şekil 3.8 Tork iletimi yapan milde oluşan kayma gerilmeleri

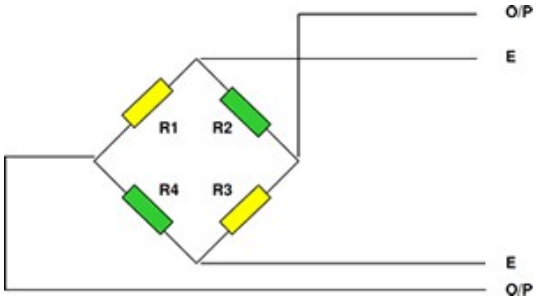
Burkulma meydana geldiğinde kayma gerilmelerinin oluştuğu noktada bükülme meydana gelir. Tork eksenine 45 derece yapıştırılmış gerinim ölçerler ile ölçülür, Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Mil boyunca oluşan gerilim aynıdır. Bu yüzden mil eksenin istenilen noktaya gerinim ölçerler yerleştirilebilir, Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Ancak eksen kaçıklığından doğacak olan sahte gerilimlerden kaçınılması için genellikle merkeze yerleştirilir.



Şekil 3.9 Mil üzerindeki gerinim ölçerler

Dört gerinim ölçer sıcaklık değişimlerinden etkilenmemeleri için wheatstone köprüsü konfigürasyonuna göre köprü devresi oluşturulur, Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Besleme voltajı devreye verildiğinde, mile tork uygulanmasıyla

birlikte çıkış voltajı lineer olarak değişir. Gerinim ölçerlerle oluşturulan sensör tork ölçümü için en uygun kombinasyon olsa da sistemin kalibrasyonu çok önemlidir.

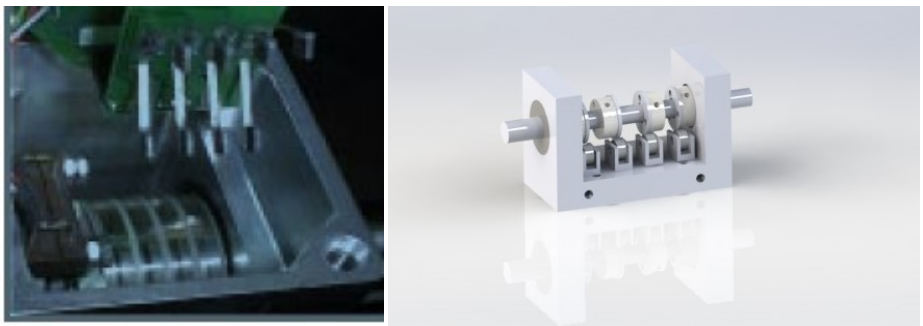


Şekil 3.10 Wheatstone köprüsü (Torque transducers & torque sensors explained, b.t.)

Hareketli ölçüm alınması sebebiyle veri aktarımı için çeşitli yöntemler uygulanmıştır.

3.3.1 Kontak Halkası

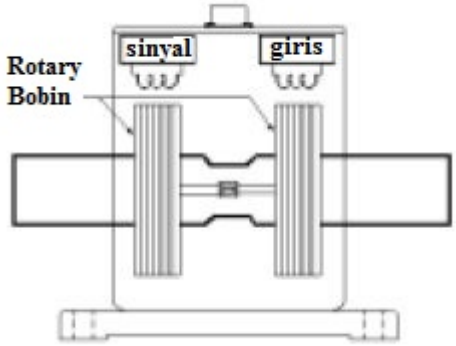
En genel yöntem kontak bileziği ile ölçüm yapmaktır. Bilezikler mil üzerine sabitlenir ve fırçalara temas ederler, Şekil 3.1'de oluşturulan tasarım ve örnek fotoğraf gösterilmiştir. Bu Şekilde sinyal taşınmış olur. Sinyalin temiz taşıması için bu bağlantıda kullanılan malzemeler standartlara uygun ve dikkatli seçilmelidir. Bu uygulamada normal standartlarda halka malzemesi madeni gümüş, halkalara temas eden fırçalar ise gümüş grafit seçilir. Temas eden fırçaların tasarımında yay kullanılmalıdır. 5,000 Dev/dk hıza kadar kararlı ölçüm yapılabilir.



Şekil 3.11 Kontak bileziği uygulaması

3.3.2 Rotary Transformatör ile Veri Aktarımı

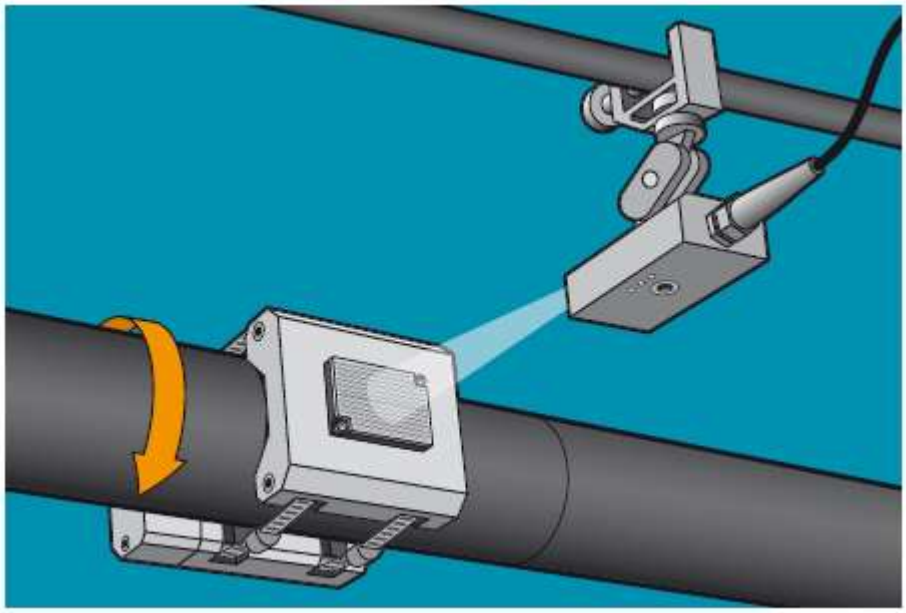
Yüksek hızlı uygulamalarda kullanılır. Sistem iki adet bobin içermektedir, bir bobin gövde üzerinde sabit dururken diğer bobin, mil üzerine yerleştirilir, Şekil 3.12 de gösterilmiştir. Bu tip iletimde -,+ 0.2 % sapmalar meydana gelir ve 50000 dev/dak hıza kadar ölçüm alınabilir.



Şekil 3.12 Rotary transformatör ile veri aktarımı (Torque transducers & torque sensors explained, b.t.)

3.3.3 Kablosuz Veri Aktarımı

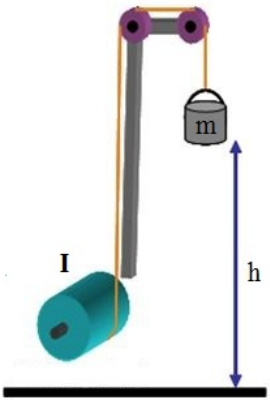
Günümüzde doğrudan şaft üzerine montaj edilebilen kablosuz modüller bulunmaktadır. Bu sensörler radyo frekansı ile gerinim ölçer üzerindeki verileri gönderirler. 120 m ye kadar veri aktarım özelliği olan bu sensörler teknolojinin gelişimiyle oldukça ufak boyutlarda üretilebilirler, Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Bakım gerektirmezler ancak üzerilerinde batarya bulunmaktadır ve bu batarya belirli aralıklarla değiştirilmelidir.



Şekil 3.13 Kablosuz veri aktarımı

3.4 Atalet Momentine Bağlı Tork Ölçümü

Doğada bulunan her varlık kendi sahip olduğu minimum enerjiyi koruma eğilimindedir. Bir cisime hareket etmesi için kuvvet uygulandığında doğası gereği tepki kuvveti meydana getirir. Dönme hareketinde bu durum atalet momentini oluşturmaktadır. Rijit cisimlerde kütlesel atalet momenti sabit kabul edilir. Tepki kuvvetinin değişimi zamana bağlı hız değişiminin ölçümü ile hesaplanabilir.



Şekil 3.14 Atalet momenti ölçümü

Deney düzeneğini kurabilmemiz için atalet momentini bildiğimiz bir tambura ihtiyacımız vardır. Tambur 3 boyutlu modelleme programı ile oluşturularak nümerik analiz yöntemi ile atalet momenti hesaplanacağı gibi deneysel olarak da hesaplanabilir. Şekil 3.14'te örnek deney düzeneği gösterilmiştir.

3.4.1 Kararlı Hal Dinamoları ve Atalet Dinamometrelerinin Karşılaştırılması ve Deney Düzeneği Seçimi

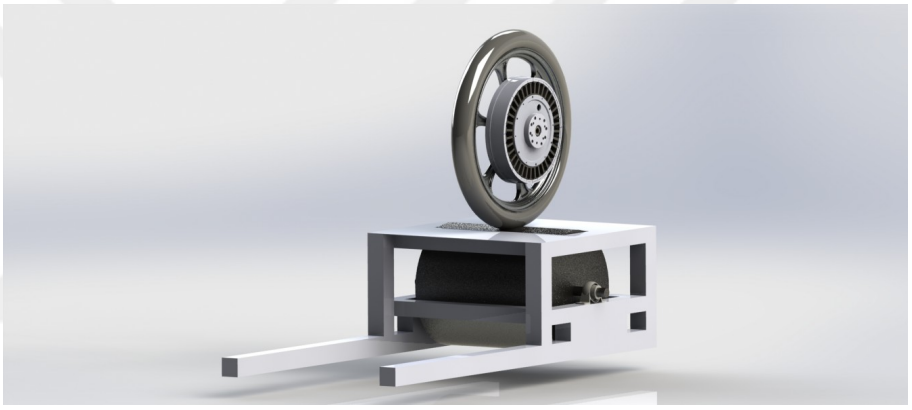
Temel olarak, dinamometre bir motorun çıkış gücünü ve torkunu ölçmek için kullanılır. İki tip dinamo yaygın olarak kullanılır motor dinamosu motora direk akuple veya dişli/zincir/kayış gibi araçlarla motora bağlıdır, diğer dinamo tipi ise şase dinamosudur bunda sürülen bir tekerlek vasıtasıyla güç ve tork, atalet momenti bilinen bir silindire veya iki silindir çiftine aktarılır.

Bu iki dinamo da kendi içlerinde ikiye ayrılır.

3.4.1.1 Atalet Dinamometresi

Atalet dinamometresi bir kütleyi ivmelendirmek için motor kullanılır. Bu kütle genellikle atalet momenti bilinen bir tamburdur, deneye düzeneği tasarımı Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Tamburun ivmelenmesini ölçebilirsek tamburunun dönüşü için ortaya çıkan gücü hesap edebiliriz.

Eğer bu işleme kısa aralıklarla tekrar ederek güç hesaplarını yaparsak alınan verileri bilgisayara aktardığımızda motorun kesin güç karakteristik eğrisini oluştururuz.



Şekil 3.15 Deney düzeneği üç boyutlu tasarımı

3.4.1.2 Kararlı Hal Dinamometresi

Motora yük olarak uygulanan ve genellikle fren, sönümleyici veya hız kesici diye adlandırılan açık gaz pedalına karşı onu sabit hızda tutan bir cihaz olarak kullanılır. Dönen bir elektronik yük hücresi tarafından kısıtlanan fren gövdesine tork uygulanır. Tork, bu nedenle bu sensör tarafından okunan bir güce çevrilir. Hem mekanik hem de elektronik olarak yükü önlemek için birçok yöntem vardır. Su, girdap akımı ve hidrolik frenleri yaygın örneklerdir.

3.4.1.3 Kararlı Hal Dinamometresi ve Atalet Momenti Dinamometresi Karşılaştırılması

Kararlı hal dinamolarının iyi noktaları: Bu ölçümler yapılırken motor sabit devirde tutulur bu durum yükleme noktalarının seçimini ve zamanlamasını kullanıcıya bırakılır. Çeşitli yükleme bölgeleri seçilerek belirli bir programa bağlı karakteristik eğriler oluşturulabilir.

Kararlı hal dinamolarının kötü noktaları:

- Pahalıdırlar. Frenler, yük-hücresi, kontrol ünitelerinin fiyatları yüksektir.
- Komplekstirler. Motoru sabit devirde tutmak için yükü kapalı çevrimle uygulamak gerekir. Bu durumda hassas bir kontrol sistemine sahip olmak gerekir.
- Yük-hücresinin kalibrasyonun sürekli yapılması gerekir.
- Fren mekanizması dinamometre üzerinde yüksek ısı açığa çıkarır ölçüm sırasında bu ısıyı bertaraf etmek gerekir. Su ve hidrolik frenler soğutma kulelerine sahiptirler. Ölçümler yapılırken motor ısısına dikkat edilmelidir.
- Su ve hidrolik frenler yük hücresi ile çalışmazlar. Güç akışkanın basıncına göre hesaplanır. Bu durumda kullanılan sıvının viskozitesinin değişimi ile sonuçlar değişir.
- İyi bir bilgisayarlı kontrol sistemi olsa dahi her ölçüm noktası uzun zaman alır. Bu durum yüksek hızlarda ve yüklerde problem teşkil eder.
- Rampa testi hızlı ivmelenmenin olduğu yerde zaman ayarı olmadan güç grafiği hızlıca oluşturulur. Bu test hızlanma oranına oldukça duyarlıdır eğer kontrolcüler ideal davranmazsa tekrarlamalarda sapmalar görülür. Bu durumda kararlı hal dinamolarının atalet dinamolarından daha iyi olduğu söylenemez.

Atalet momenti dinamometresinin avantajları aşağıdaki gibidir;

- Atalet momenti dinamometresi en ucuz ve en basit ölçüm sistemidir. Bu dinamometreler bir tambur, sensör ve bilgisayardan oluşur. Her motor büyüklüğüne ve araç büyüklüğüne uygundur.
- Bu basitliği ve çeşitli boyutlarda kullanım kolaylığı olması sebebiyle taşınabilir yapılır. Bir güç kaynağı ve bilgisayarla ölçüm yapılabilir. Eddy akımı freni ve büyük soğutuculara ihtiyaç duyulmaz.
- Ölçümler minimum aşınma ve yıpranma olacak Şekilde genelde 10 saniyeden kısa sürmektedir.
- Motor durumları sürekli değişir, hızlanma ve yavaşlama dinamiktir. Atalet dinamometreleri gerçek durumları gösterse de yol durumuna göre karakteristikler değişiklik gösterir.

3.4.2 Atalet Dinamometresi Kararlılığı

Kararlılıktan ziyade tekrar edilebilirlik önemlidir. Bir bisiklet ele alalım karakteristiği farklı olan 6 farklı dinamoda yapılan ölçümde, 6 farklı sonuç elde edebiliriz. Eğer bisikleti daha önce test yapılmış bir dinamoya tekrar yerleştirirsek ortaya çıkan grafik önceki testte oluşan grafik ile aynı olacaktır. Tekrar edilebilirlik bu noktada önemlidir. Her testte ayar yapmaya ihtiyaç yoktur. Dinamometrenin basit olması bu noktada avantaj sağlar, sürüş için yük sensörleri gerekmemesi tekrar edilebilir deneyler yapmanızı ve sonuçların değişmemesini sağlar.

Motor dinamoları ile şase dinamolarına göre daha tekrar edilebilir bir uygulamalar yapılabilir. Tekerlek sıcaklığı, basıncı, tambur üzerine uygulanan kuvvet değişkenlik gösterebilir. Ancak kullanım kolaylığı şase dinamolarının güçlü yanıdır.

Tambur ataleti motor gücü için uygun olması önemlidir bu yüzden ilk hesaplamalar yapılırken motor verilerine göre atalet momenti hesaplanarak sistem dizaynı yapılmalıdır. Ancak bu Şekilde kararlı sonuçlar alınabilir ve tekrarlanabilir.

BÖLÜM DÖRT
TASARIM

4.1 Deney Düzeneği Mekanik Tasarımı

4.1.1 Tambur Tasarımı

Doğada bulunan her varlık kendi sahip olduğu minimum enerjiyi koruma eğilimindedir. Bir cisme hareket etmesi için kuvvet uygulandığında doğası gereği tepki kuvveti meydana getirir. Dönme hareketinde bu durum atalet momentini oluşturmaktadır. Rijit cisimlerde kütlesel atalet momenti sabit kabul edilir. Tepki kuvvetinin değişimi zamana bağlı hız değişiminin ölçümü ile hesaplanabilir.

Tambur tasarımı mekanik olarak deney düzeneğinin en önemli noktasıdır. Tamburun geometrisine bağlı olarak atalet momenti hesabı yapılır.

Hesaplanan atalet momenti büyüklüğü ivmelenme süresinin 7 saniyede tamamlanması üzerine hesap edilmiştir. Eğer atalet momenti daha büyük olursa, ivmelenme zamanı artar motorda zorlanmalar ve ısınmalar olacağından kararlı sonuçlar alınmaz onun için ihtiyaç duyulan atalet momenti ile test etilen motorun ivmelenme süresi ile paralel seçilmelidir. Süre ne kadar kısa olursa sistemde o kadar gerçek veriler meydana gelir.

Bölüm ikide iki farklı tasarıma sahip elektrikli aracın ihtiyaç duyduğu tork ve hız değerlerini ortaya koymuştuk. Bu değerlere bağlı kalarak ilk hesaplalar yapılmıştır. Tasarımda atalet momentini arttırabilmek için mil başları uzun bırakılmıştır.

I: atalet momenti ($kg.m^2$)
n: Devir sayısı (devir/dakika)
w: Açısal hız (dev/(dak.60).2.π.) (rad/sn)
t: zaman (saniye)
P: Güç (kilowatt)

E: Enerji (joules)

T: Tork (N.m)

L: Açısal Momentum(kg.m/saniye)

ρ : yoğunluk (kg/mm^3)

$$E_{kin} = I.\frac{w^2}{2} \text{ (Joules)} \quad (4.1)$$

$$\Delta E = I.\frac{w_s^2}{2} - I.\frac{w_i^2}{2} \text{ (joules)} \quad (4.2)$$

$$P = \frac{\Delta E}{t} \text{ (watt)} \quad (4.3)$$

$$T = \frac{9549{,}305.P}{n} \text{ N.m} \quad (4.4)$$

"P= 5 kw" "n_i=0 dev/dak" "n_s= 2000 dev/dak" "t= 7 sn"

n_m=1200 dev/dak (motor maksimum devri)

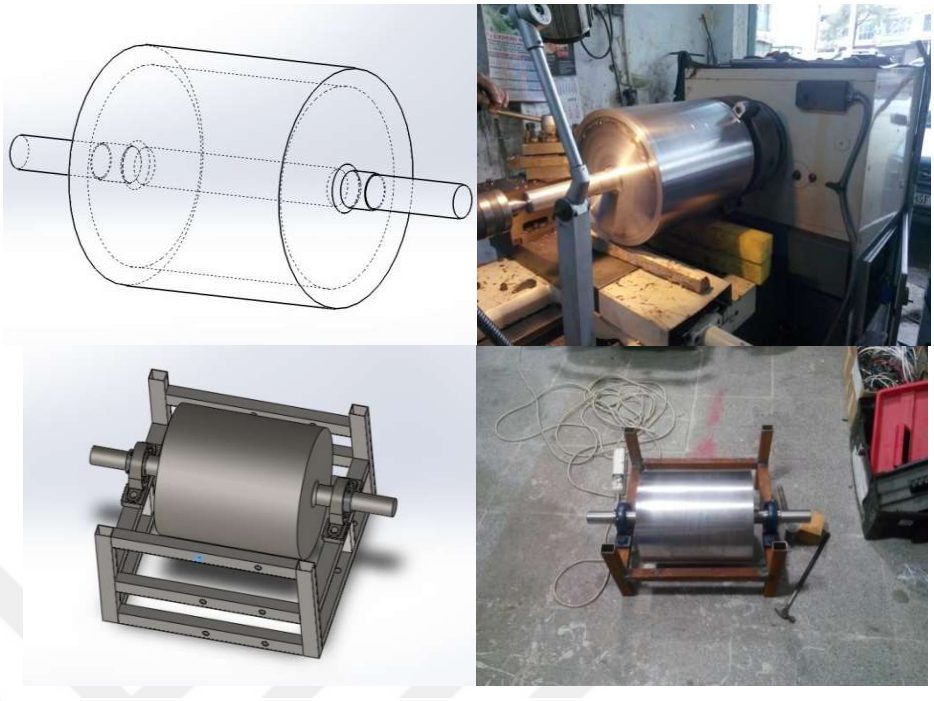
ΔE =7.5000

ΔE =35000 (Joules)

$$I = \frac{2.35000}{209{,}33^2}$$

I=1,5975 kg.m^2

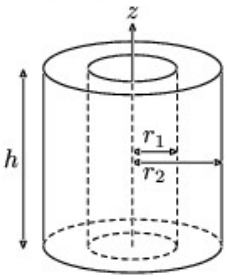
T=39,79 N.m



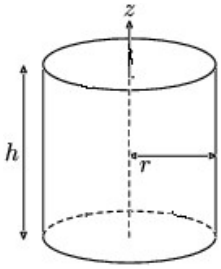
Şekil 4.1 Deney düzeneği imalat fotoğrafları

$$L = I\omega \tag{4.5}$$

$$T = I\alpha \tag{4.6}$$



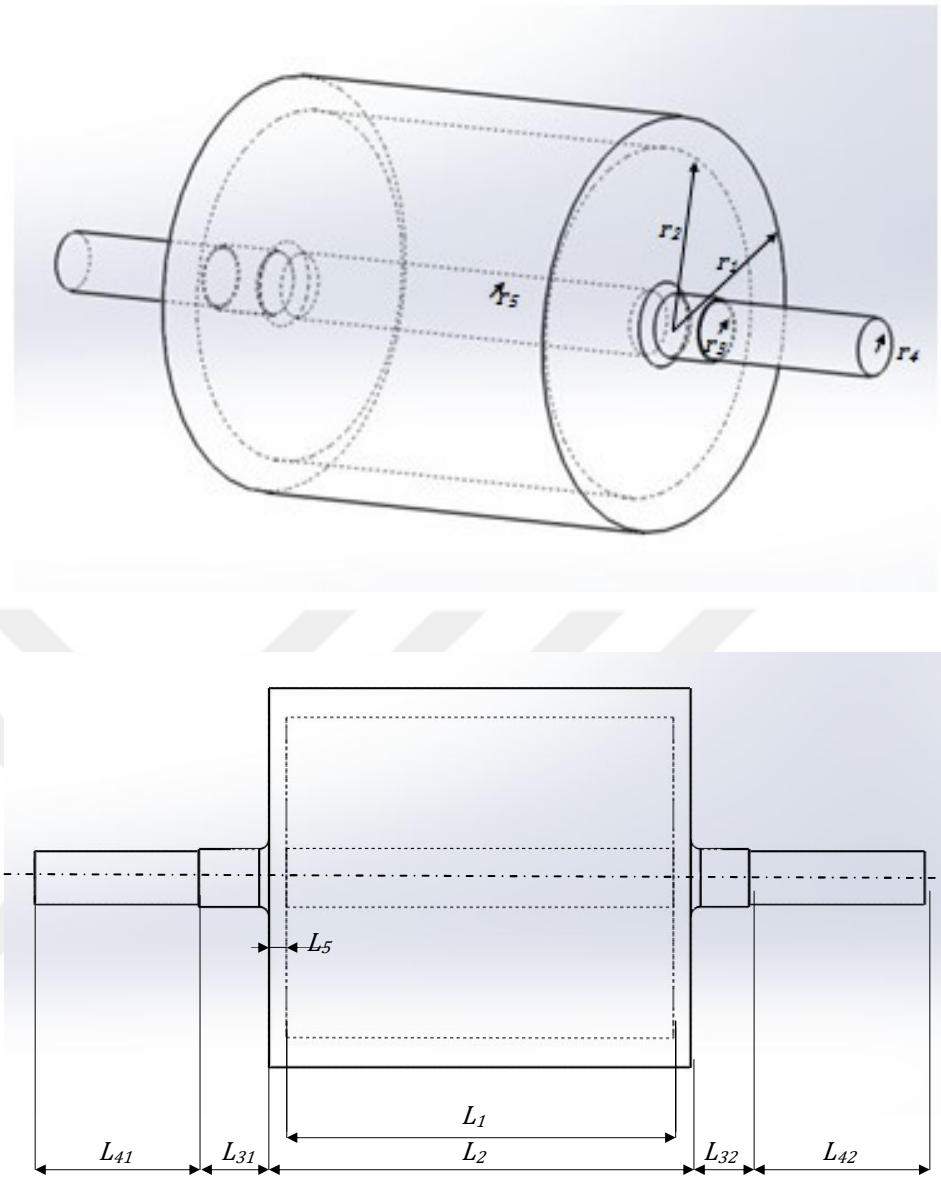
$$I_z = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2) \tag{4.7}$$



$$I_z = \frac{1}{2}mr^2 \tag{4.8}$$

$$m = \rho V_{hacim} \tag{4.9}$$

$$I_{tambur} = \frac{1}{2}\rho\pi[(r_1^2 - r_2^2)(r_1^2 + r_2^2)L_1 + r_5^4 L_1 + r_3^4 L_3 + 2r_1^4 L_5 + r_4^4 L_4] \tag{4.10}$$



Şekil 4.2 Tambur kalınlık ve yarıçap ölçüleri

Tablo 4. 2 Tambur tasarım ölçüleri

	L_1	L_2	L_{31}	L_{32}	L_{41}	L_{42}	L_5	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
mm	161,25	330,5	55	55	145	145	14,75	161,25	136,5	24,5	22,5	25

$$I_{tambur} = \frac{1}{2}\rho\pi[(161{,}25^2 - 136{,}5^2)(161{,}25^2 + 136{,}5^2)x330{,}5 + 25^4x161{,}25 + 24{,}5^4x110 + 2x161{,}25^4x14{,}75 + 22{,}5^4x290]$$

I_{tambur}=1.5918 kgm^2

Geometrisi hesaplanarak oluşturulan tasarım mil üzerine geçirilen flanşların, boru alnına kaynatılarak, tornada işlenmesi ile tambur üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek torklarda atalet momentini arttırmaya olanak sağlamak için mil başları uzun olarak tasarlanmıştır. Şekil4.1'de üretim resimleri, Şekil4.2'de tasarım değerleri gösterilmiştir.

4.1.2 Şase Tasarımı

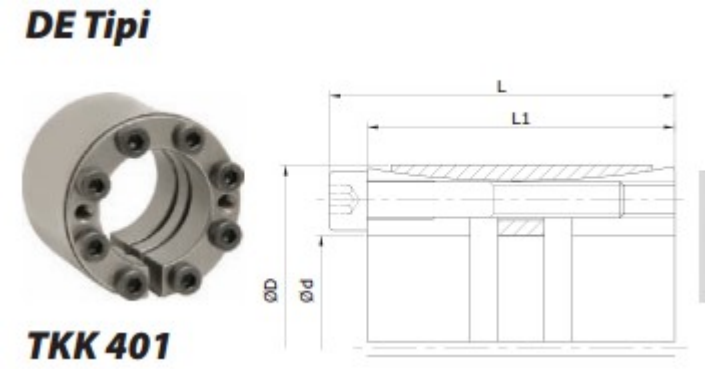
Gövde tasarımında araç üzeri ölçüm yapılabilecek ve bağımsız ölçümler yapılabilmesine olanak sağlayacak bir tasarım yapılmıştır. 40x40x2 mm profillerden kaynaklı olarak imal edilmiştir.

UCP 209 dik yataklı rulman kullanılmıştır. Rulman tipi Şekil4.3'te gösterilmiştir. Detaylı bilgi ve farklı rulman tipleri ile ilgili bilgi edinmek için Özevren firması web sayfası incelenebilir.



Şekil 4.3 UCP rulmanlı yatak

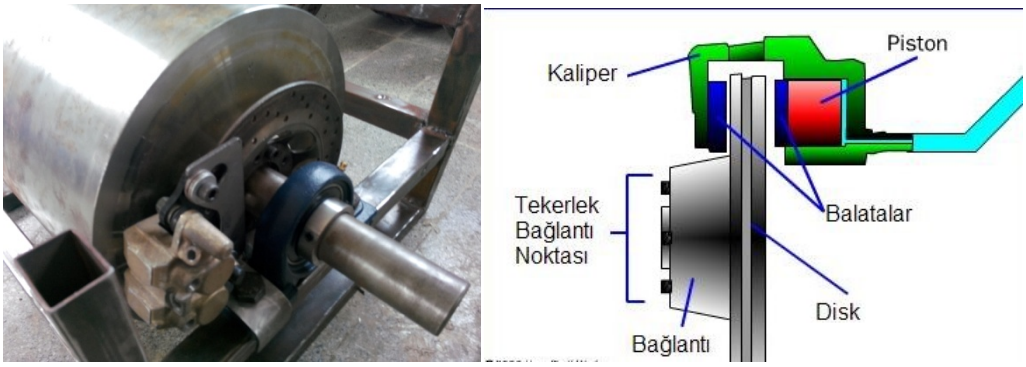
Yataklı rulman üniteleri, genel üretim endüstrisi, gıda işleme, malzeme işleme ve tarım uygulamaları gibi pek çok endüstri için aynı faydaları sunmaktadır. Yerine cıvatalanarak takılmaya hazır birimler sağlaması ile tasarımcılara aksam karmaşıklığı, montaj ve ayrıca zorlu ortamlarda rulman bakımı ve kullanım ömrü konularıyla ilişkili özel rulman problemlerinin kolay ve ekonomik olarak çözmelerini mümkün kılmaktadır.



Şekil 4.4 Konik sıkma burcu (Semerci, 2015)

Atalet momentini arttırmak için konik kilit kullanılarak uzun miller üzerine ekleme yapılabilir. Bu kilit sistemi montaj kolaylığının yanı sıra güvenilir bir bağlantı sağlayacaktır. Konik sıkma burçları ile ilgili detaylı bilgi Tosyali Makine web sayfasından incelenebilir. TKK - 401; bir dış çember, iki konik yanak ve DIN 912 normlarına uygun bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Çok yüksek tork gerektiren yerlerde uygulanması önerilir.

Düzeneği acil ve gerekli durumlarda durdurabilmek için sisteme disk fren yerleştirilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Hidrolik fren sistemi

Disk frenler kaliper, piston, balatalar, disk ve bağlantı noktalarından oluşur. Fren pedalına basıldığında sistemdeki hidrolik sıvı boruya iletilir.

Sıvıların sıkıştırılamaz oluşu ve bulundukları kabın her noktasına aynı basıncı uygulamaları prensibinden yararlanılarak boru içerisindeki sıvı ince bir geçitten

kaliperlerin arasındaki balata pistonuna gönderilir. Detaylı bilgi için MEGEP sürekli öğrenme dokümanı motorlu araç teknolojileri fren sistemi modülü incelenebilir.

Fren pedalına uygulanan 2 kg bir kuvvet ile daracık kesitli olan kanal ağzından sıvının pistona genişleyerek iletilmesini sağlar ve bunun neticesinde 2 tonluk bir basınç meydana getirilebilir.

Pistonun ucunda ve diskin arka tarafında bulunan balatalar ile disk sanki mengene ile sıkıştırılıyormuş gibi basınca maruz kalır. Bu süre zarfı içersinde kinetik enerji sürtünmeden kaynaklı ısı enerjisine dönüşür ve tamburumuz durur.

Deney yaparken deney düzeneğinin hareketini engellemek için kauçuk titreşim sönümleyici takozlar kullanılmıştır. Deney düzeneğinin taşınmasını kolaylaştırmak için düzeneğe 4 adet tekerlek yerleştirilmiştir (Şekil 4.6). Tekerleklerin seçiminde yük endeksine dikkat edilmiştir.



Şekil 4.6 Titreşim takozu ve avare tekerlek

Kauçuk, bazı tropikal bitkilerin özsuyundan (lateks) ya da petrol ve doğal gazdan imal edilen esnek bir maddedir. Ağaçların özsuyundan elde edilen türe doğal kauçuk, petrol ürünlerinden elde edilen türe ise sentetik kauçuk denir. Her iki tür de çok yönlü maddelerdir. Kauçuktan yapılan eşyalar genellikle lastik olarak adlandırılır. PhpCR - Kloropren Kauçuk (Chlorine Butadiene Rubber) titreşim takozu yapımında kullanılır.

Yapısındaki klor atomundan dolayı polar özelliği iyileşir. Bundan dolayı da birçok yağa ve yanmaya karşı direnç kazanır.

Polar özellik: Aynı malzeme üzerinde hem negatif , hem de pozitif yük özelliğinin görülmesidir. Örneğin su polar özellik gösterir. Yani sudaki hidrojen atomlarından dolayı pozitif yük, oksijen atomlarından dolayı negatif yük özellik (polar özellik) görülür. Böylelikle polar özellikte malzemeler daha güçlü moleküler bağlar kurarlar.

Hava ve ozona karşı dayanıklıdır. Su ve kimyasallara, asitlere dayanıklıdır. Düşük gaz geçirgenlik özelliği gösterir. Tekstil ve metal malzemelere yapışma özelliği kuvvetlidir. Yanmazlık özelliğinden dolayı, yanma riski taşıyan sistemlerde kullanılacak muhtelif parçaların üretimlerinde kullanılır. Mükemmel aşınma direnci ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle taşıyıcı - götürücü bantlarda (konveyor), V kayışlarda, körük, titreşim ve darbe takozu, dalgıç elbisesi, yüksek basınçlı hidrolik ve fren hortumları, conta, tampon, cam silecek lastikleri, membran, elektrik kablo izolasyon malzemesi, silindir kaplaması kimyasal madde tank kaplama imalatlarında kullanılır. Soğutucu gazlarıyla temasın olduğu sistemlerde, fren sistemlerinde ve orta dereceli asitlerin bulunduğu ortamlarda sızdırmazlık elemanı olarak kullanılır. Detaylı bilgiye Oklas firması web sayfasından ulaşılabilir. Çalışma sıcaklığı -20 °C ile 120 °C arasındadır.

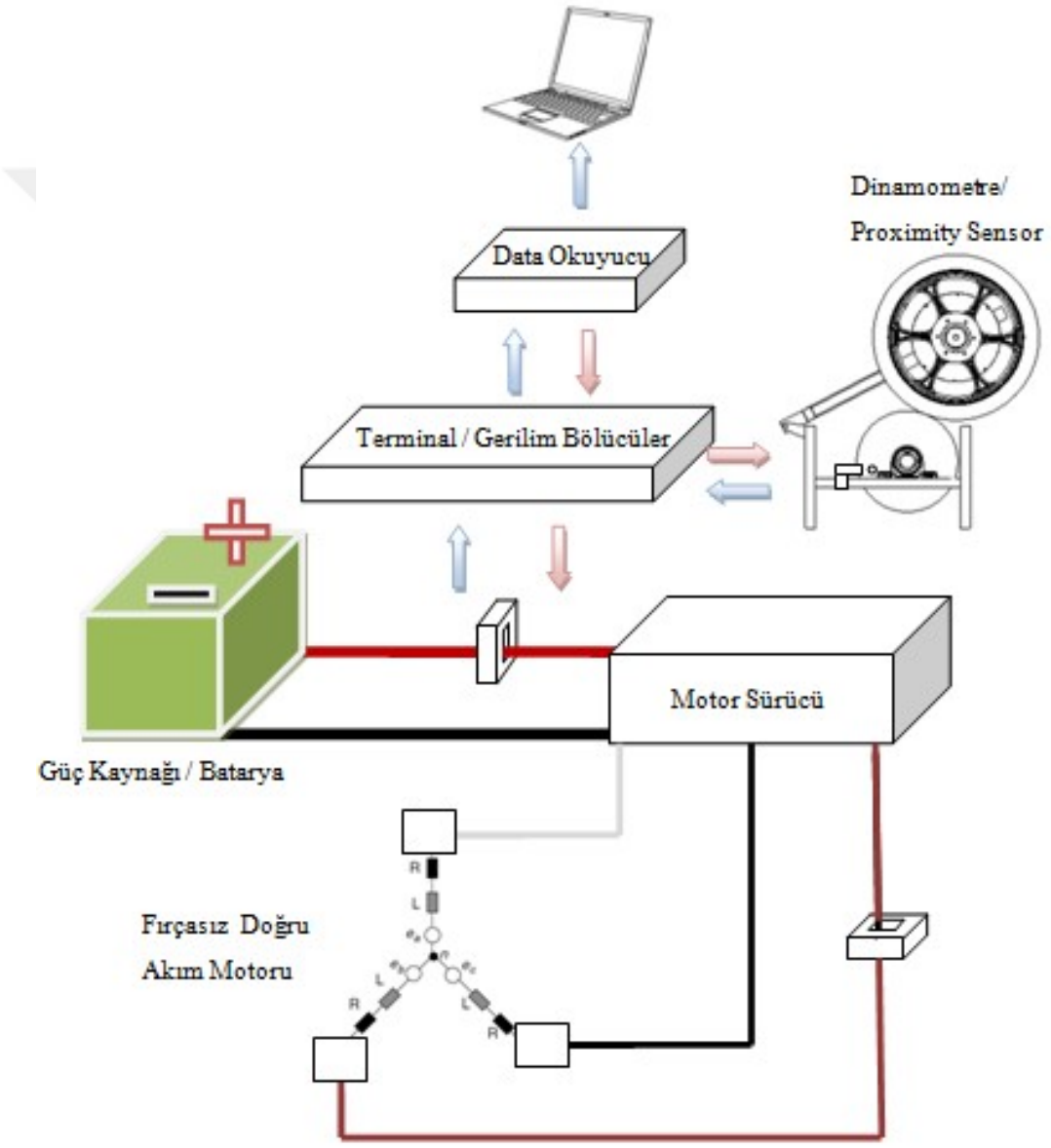
Oluşturulan deney düzeneğinin görseli Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Deney düzeneği

4.2 Elektriksel Sistem Tasarımı

Elektriksel sistem tasarımı Şekil 4.8'de ki gibidir. Motor, motor sürücü, güç kaynağı, gerilim bölücülerinde bulunduğu bir terminal data okuyucu, sensörler ve bilgisayardan oluşmaktadır.



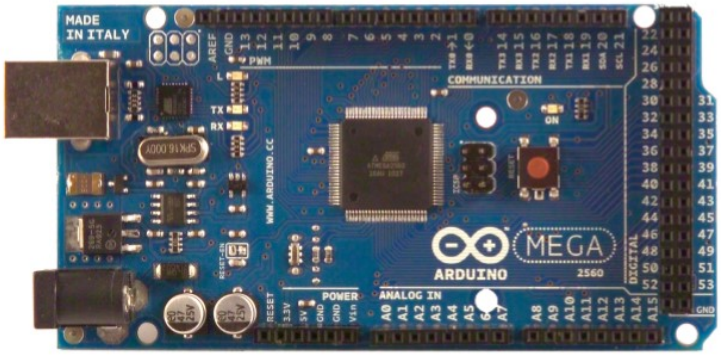
Şekil 4.8 Elektriksel sistem diyagramı

4.2.1 Data Okuyucular

Kart okuyucuya gelen analog giriş voltajının maksimum değeri ile minimum değer arasındaki farkın işlemci çözünürlüğe bölünmesi bize sinyal çözünürlüğünü verecektir. Ölçüm yapılırken güç kaynağından yüksek akım çekilecektir bu durum güç kaynağının geriliminin bir miktar düşmesine sebep olacaktır. Tasarım yapılırken işlemci çözünürlüğüne dikkat edilmelidir.

Motor devri faz voltajlarının frekansları ile doğrudan ilişkilidir. Motor maksimum devri göz önünde bulundurulmalıdır. Tasarım yapılırken okuma hızına dikkat edilmelidir.

- ARDUINO MEGA 2560



Şekil 4.9 Arduino mega 2560

Tablo 4.2 Arduinomege 2560 özellikleri

Arduino mega 2560 özellikleri	
Mikrokontrolcü: ATmega2560	Çalışma Gerilimi: 5V
Besleme Voltajı 7-12V	Giriş voltaj limitleri: 6-20V
Dijital G/Ç Pinleri: 54 (14 ü PWM çıkış sağlar)	Analog giriş pinleri: 16
Doğru akım G/Ç Pin : 40 mA	Doğru akım 3.3V Pin : 50 mA
Hafıza 256 KB ön yükleme 8 KB	SRAM 8 KB
EEPROM 4 KB	Örnekleme hızı:9600 Hz

Arduino yeni teknoloji üzerinde kontrolcüsü bulunan kart veri aktarımı, otomatik kontrol için kullanılır. Kartın Sinyal işlemesi için bilgisayara ihtiyaç duymaz. Ürün Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Özellikleri Tablo 4.1' de mevcuttur. Detaylı bilgiye ve kart ile yapılan pek çok uygulamaya kartın kullanımı arttırmak için oluşturulan hazırlanan bilgi paylaşımlarının yapıldığı web sayfasından ulaşabilir.

- NI USB-6008



Şekil 4.10 NI usb-6008 (*User Guide NI Usb-6008/6009*, b.t.)

Tablo 4.3 National Instruments usb-6008 özellikleri

NI usb-6008 özellikleri	
Besleme Gerilimi: 5 V / 200 mA	Analog Giriş : ±10 V
Analog Giriş : 8 adet	Analog Çıkış: 2 adet
Dijital Çıkış : 12 adet	Örnekleme Hızı : 10 kHZ
Analog Giriş Çözünürlüğü :12 bit	

National instrument firmasının üretimi olan kart bilgisayara veri aktarımı için aynı zamanda bilgisayar üzerinden sinyal kontrolü için kullanılabilir. Ürün Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Ürün özellikleri tablo 4.2'de verilmiştir. Usb kablosu ile bilgisayara bağlanabilir. Detaylı bilgi için National Instruments firmasının web sayfasında bulunan NI-6008/6009 kullanım kılavuzundan ulaşılabilir.

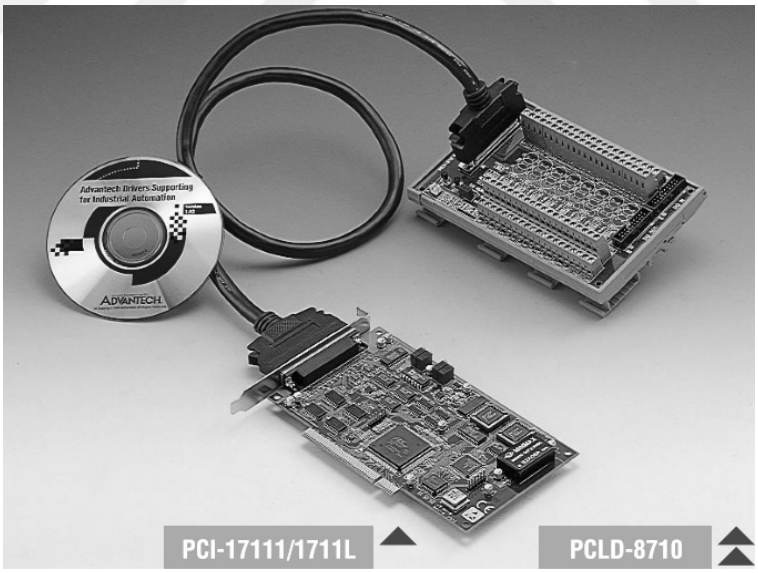
- PCI 1711

Tablo 4.4 Advantech 1711 data okuyucu özellikleri

Advantech 1711 data okuyucu kart özellikleri	
Besleme Gerilimi : 5 V / 850 mA	Analog Girişi: ±10 V
Analog giriş : 16 adet	Dijital giriş/çıkış : 16 adet
Örnekleme hızı : 100 kHz	Çözünürlük : 12 bit

PCI 1711 Advatech firmasının üretimi olan bir kart bilgisayara veri aktarımı için aynı zamanda bilgisayar işlemci üzerinden sinyal kontrolü için kullanılabilir. Detaylı bilgiye firmanın web sayfasında ürün için hazırlanan kullanım kılavuzundan ulaşılabilir. Bilgisayara anakart üzerinde bulunan konektör ile bağlanır. Ürün özellikleri tablo 4.3'te mevcuttur. Şekil 4.11'te görseli vardır.

Eğer ölçümler motor sürücü girişinde yapılacaksa bu üç kart ile de veriler okunabilir. Ancak motor fazlarından veri alınacaksa yalnızca PCI 1711 kartı kullanılabilir. Bu durum örnekleme hızına bağlıdır.



Şekil 4.11 Advantech PCI 1711 (*PCI-1711/1711L*, b.t.)

Kullanılan motor üzerinde 32 mıknatıs bulunmaktadır. Bu mıknatıslar üzerinden bilgi alan manyetik alan algılayan dijital çıkış veren sensörler bulunmaktadır. Motor

fazları bu sensörlerden okunan verilere göre tayin edilir. Bu durumda bir motor fazında oluşan gerilim bir devirde 16 kez indüklenir.

Maksimum Motor devri: n_m=1200 Devir / dak

İndüklenme sayısı : p= 16

$$Çevrim\ hızı : s = \frac{120}{60} = 320\ Hz \tag{4.10}$$

Motor fazları ölçülürken deney düzeneği üzerinden 7 analog giriş ile bilgi alınmaktadır. Eğer 10 kHz e sahip olan bir data okuma kartı kullanırsak bu hız 7'ye bölünecektir. Örnekleme hızı 1428 Hz'e düşecektir.

$$Okuma\ Adedi : \frac{1428}{320} = 4{,}46 \tag{4.11}$$

Motor 1200 devir/dakika hızda dönerken indüklenen bir fazdan yaklaşık olarak alınan 2 adet veri ile trapozidial bir dalga çizimi oluşturmak ve yaklaşık gerilimi hesaplamak mümkün değildir.

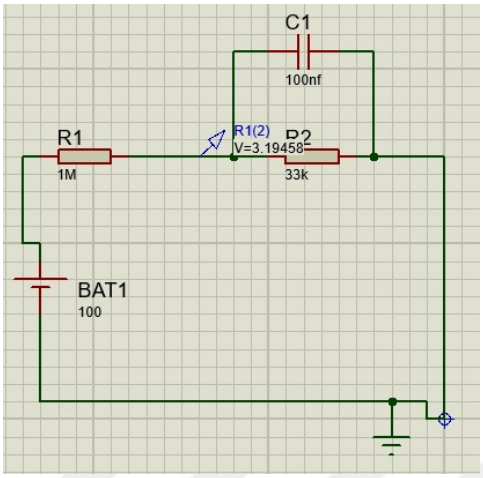
PCI 1711 data okuma kartını kullandığımızda bu rakam 10 kat fazla olmaktadır. Bu şekilde doğru forma yaklaşılabilir. Okuma hızı arttıkça daha tutarlı ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir.

Ölçümlerde PCI 1711 data okuma kartı kullanılmıştır. Bu kartta trepozial dalgayı okumak için alınan minimum veri adedi 44,6'dır.

4.2.2 Analog Gerilim Ölçümü

Analog girişi sinyal gerilimi ±10 V değer aralığında olmalıdır data okuyucu çözünürlüğü 12 bit (2^{12}=4096)'tir. Bunun anlamı 20 V'luk bir gerilimi 4096 parçaya bölerek okuma gerçekleştirmesidir. Motor tahrik edildiğinde gerilim düzenli rejime geçene kadar 10 V'luk bir değer kaybı olacağını varsayarak çözünürlüğün doğru

sonuçlar almak için yeterliliğini hesaplayabiliriz. Şekil 4.12 gerilim bölücü gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Proteus gerilim bölücü simülasyonu 100 V

Analog giriş geriliminin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$I = \frac{V_b}{R_{eş}} \tag{4.12}$$

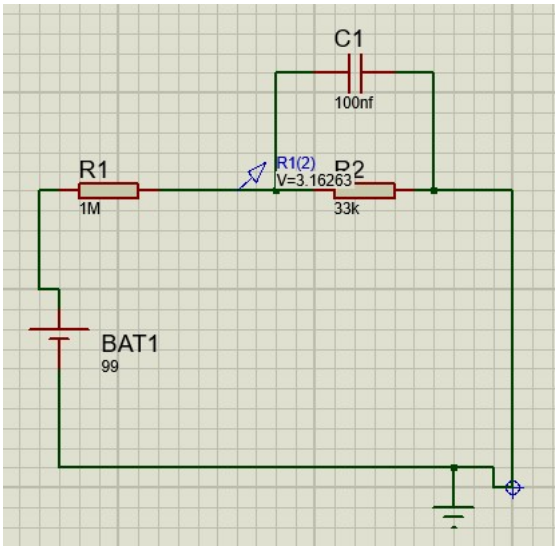
$$I = \frac{100}{10^6 + 33x10^3} = 9{,}68054x10^{-5} Amper$$

$$V_2 = IR_2 \tag{4.13}$$

$$V_{21} = 9{,}68054x10^{-5}x33x10^3 = 3{,}19458 Volt$$

Ölçüm çözünürlüğünün hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$Sinyal\ çözünürlüğü = \frac{Maksimum\ pin\ voltajı}{İşlemci\ çözünürlüğü} = \frac{20}{4096} = 4{,}887x10^{-3} Volt \tag{4.14}$$



Şekil 4.13 Proteus gerilim bölücü simülasyonu 99 V

$$I = \frac{99}{10^6 + 33x10^3} = 9{,}583x10^{-5} Amper$$

$$V_{22} = 9{,}583x10^{-5} x 33x10^3 = 3.16263\ Volt$$

$$Ölçüm\ çözünürlüğü = \frac{(V_{b1} - V_{b2}) x (Sinyal\ çözünürlüğü)}{V_{21} - V_{22}} \quad (4.15)$$

$$Ölçüm\ çözünürlüğü = \frac{(100 - 99) x 4{,}887x10^{-3}}{3{,}19458 - 3{,}16263} = 0{,}1529\ Volt$$

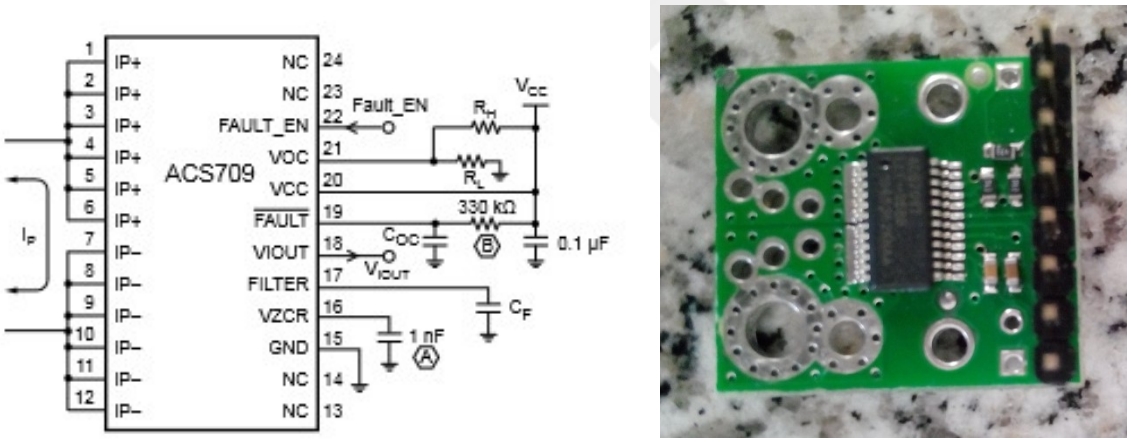
Deney düzeneğine bağlanan data okuyucu 0,1529 volt ve katlarında okuma gerçekleştirebilir bu rakam bizim sonucumuza etki edecek hatalardan bir tanesidir. Gerilim ölçümleri 100 V üzerinde yapılacağından bu hata hesaplamalarda ihmal edilebilir. Şekil 4.3 te farklı gerilim için gerilim bölücü gösterilmiştir. Yapılan hesaplamaların proteus programı aracılığıyla sağlaması yapılmıştır.

4.2.3 Akım Ölçümü

- Allegro 709

Allegro 709 akım sensörü endüstriyel, otomotiv, ticari ve iletişim sistemlerindeki akım sensörü uygulamaları ekonomik ve hassas çözümler sunar. Ufak, kullanışlı bir pakete sahip olması ve kolay uygulanabilirliği sayesinde müşteri isteklerini rahatça karşılar. Sensör bağlantı diyagramı ve görseli Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Acs 709 hassas hall sensör ve bakır bağlantı yüzeyinden oluşmaktadır. Bağlantı yüzeyi üzerinden akım akmaya başlamasıyla uygulanan akıma bağlı olarak hall sensör üzerinden analog bir çıkış alınır. Detaylı bilgi için Allegro Microsystems firması tarafından hazırlanan kullanım kılavuzu incelenmelidir, firmanın web sayfasında kılavuz mevcuttur.



Şekil 4.14 ACS 709 akımölçer

1-6 IP + akımın uygulandığı bakır levhanın bağlandığı girişlerdir. IP – yönünde bir çevrim gerçekleşir. Bu çevrim iki yönlü olabilir.

7-12 IP –akımın uygulandığı bakır levhanın bağlandığı girişlerdir. IP + yönünde bir çevrim gerçekleşir. Bu çevrim iki yönlü olabilir.

13.14.23.24: NC Bağlantı yok

15: GND Topraklama

16: VZCR Gerilim referans çıkışı. 0 amper referans Çıkış voltajı bu çıkış ile 20 numaralı çıkış arasında ölçülebilir.

17: FILTER filtre çıkışı. Terminal için bu çıkış ile topraklama arasına harici bir kapasite yerleştirilir. To set to device bandwith.

18: VIOUT analog voltaj çıkışı. Analog voltaj IP+ ve IP- bağlantıları arasında dönen akıma göre oransal olarak değişir.

19: FAULT yüksek akım hata çıkışı. IP+ ile IP- arasında dolaşan akım ın yükselmesi sonucu aktif olan çıkıştır. Devre elemanlarının zarar görmemesi için kapı görevi görür

20:VCC Besleme Voltajı 3-5,5 V aralığında beleme voltajı kullanılabilir.

21: VOC yüksek akım girişi. Analog giriş ile yüksek akım değeri belirlenir.

22: FAULT_EN yüksek akım hatası verdiğinde aktifleşir. Hata aktif değilken çalışmaz.

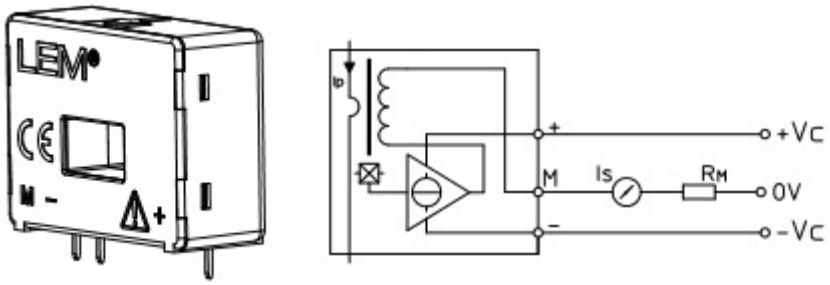
Tablo 4.5 ACS 709 akım ölçer çalışma değerleri

Model	Maksimum Akım (Amper)	Duyarlılık mV/Amper	T_A (C^0)
ACS709LLFTR-35BB-T	75	28	–40 to 150
ACS709LLFTR-20BB-T	37,5	56	–40 to 150

ACS 709 Sensörü imalatçı firma tarafından iki sürüm olarak üretilmektedir. Karşılaştırılması tablo 4.4'te yapılmıştır.

- LA-100P

Elektriksel ölçüm için kullanılır. Doğru akım, alternatif akım ve sinyallerin ölçülmesinde etkin olarak kullanılır. Elektronik devre ile yüksek akımın yer aldığı alan arasında güçlü bir yalıtım mevcuttur. Ürün bağlantı diyagramı ve görseli Şekil 4.15'te mevcuttur. Detaylı bilgi için üretici firmanın web sayfasından ürün içim oluşturulan kullanım kılavuzu incelenmelidir



Şekil 4.15 LA-100P akım ölçer

3 adet bağlantısı vardır. Besleme (+), Besleme (-), birde ölçüm terminali mevcuttur.

Besleme (+) : 12…15 V

Besleme (-) : -12…-15V

M: ölçüm çıkışıdır. Kablo üzerinden akım geçmiyorsa 0 V çıkış verir.

Tablo 4.6 LA 100 P çalışma değerleri

Besleme Gerilimi	Akım	70 C^0		85 C^0		Birim
		Rm_{min}	Rm_{max}	Rm_{min}	Rm_{max}	
±12 V	±100 A	0	50	0	42	Ω
	±120 A	0	22	0	14	Ω
±15 V	± 100 A	0	110	20	102	Ω
	±150 A	0	33	20	25	Ω

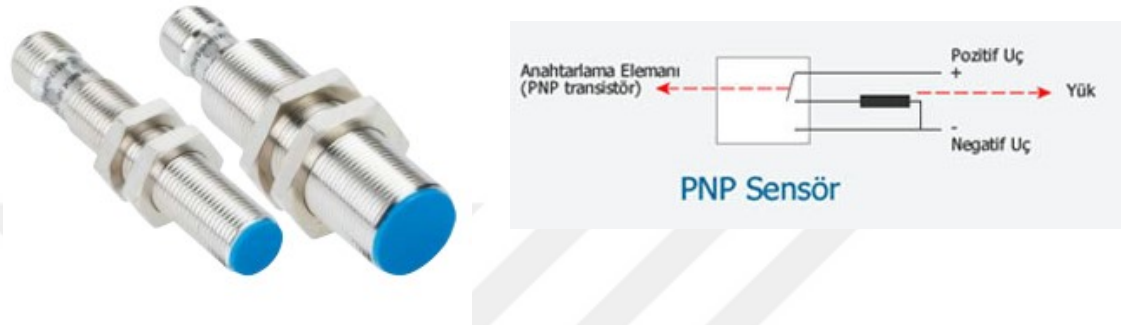
Kullanım kolaylığı ve hassasiyet yönünden LA 100 P oldukça avantajlıdır. Deney düzeneğinde bu sensör kullanılmıştır. Tablo 4.5'te ürünün farklı besleme gerilimindeki çalışma aralıkları gösterilmiştir.

4.2.4 Devir Ölçümü

Sensörlerde genel olarak üç kablo vardır. Bunardan biri pozitif, biri negatif ve diğeri de sinyal yani çıkış ucudur. Aşağıda PNP ve NPN sensörlerin kablo uçları ve yüklerinin bağlanışı şema olarak gösterilmiştir.

• NPN sensörler Negatif ucun anahtarlandığı sensörlerdir. Yani sensör önündeki cismi gördüğünde çıkış negatif olur.

• PNP sensörler Pozitif ucun anahtarlandığı sensörlerdir. Yani sensör önündeki cismi gördüğünde çıkış pozitif olur.



Şekil 4.16 Yakınlık algılayıcı sensör

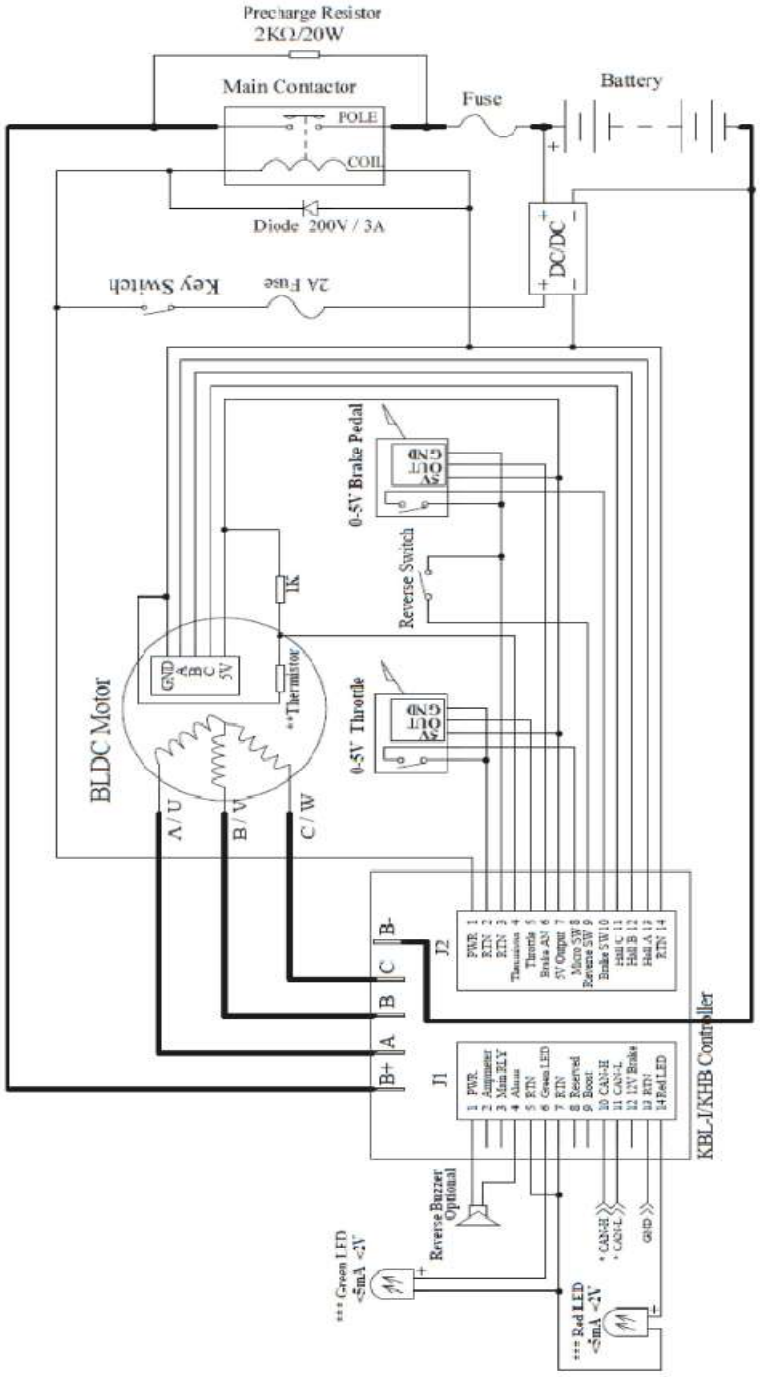
Tambur devrini ölçmek için endüktif yakınlık sensörleri kullanılmıştır. Endüstride kullanılan metalleri algılayan yakınlık sensörüdür. 1,5 mm-38 mm aralığında algılama yapabilir. Besleme gerilimi 10 V-30V aralığındadır doğru akım ile çalışır. SICK sensör kataloğunda IME12-04NPOZWS2S seçilmesi uygundur. 4mm işlem mesafesi ve 2,000 Hz anahtarlama frekansına sahiptir. Dijital çıkış verir. PNP tercih edilmiştir. Bağlantı şeması ve sensör gösterimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Detaylı bilgi için üretici firmanın web sayfasında bulunan yakınlık sensörü kullanım kılavuzu incelenmelidir.

Fren diski üzerine yerleştirilmiş civatayı bu sensör vasıtasıyla algılayarak devir ölçümü yapılır. Aynı zamanda motor üzerinde bulunan manyetik alan ölçümü yapan sensörlerden alınan verilerle de devir ölçümü yapılabilir.

4.2.5 Motor Sürücü

Kelly KHB 12151 fırçasız doğru akım motor sürücüsü kullanılmıştır. Motor sürücüsü yüksek verimli, düzgün ve sessiz çalışma için elektrikli motor bisiklet, forklift, hibrit araçlar, elektrikli araçlar ve elektrikli botların yanı sıra endüstriyel

motor hız ve tork sürücüsü olarak kullanılmak üzere tasarlanmış yüksek güçte mosfetler kullanılmıştır. Güçlü bir mikro işlemciye sahiptir bu durum kapsamlı ve hassas kontrol getirir. Ayrıca kullanıcıların parametreler üzerinde değişiklik yapmasına olanak verir bu durum çeşitli testler sonucunda en doğru ve verimli sürme yönteminin bulunmasını sağlar. Motor sürücü bağlantı şeması Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 Motor sürücü bağlantı diyagramı

4.2.4.1 Motor Sürücü Haberleşme RS 232 Bağlantısı

Konfigürasyon atamak için motor sürücünün bilgisayarla bağlantası için RS 232 bağlantısı kullanılır.

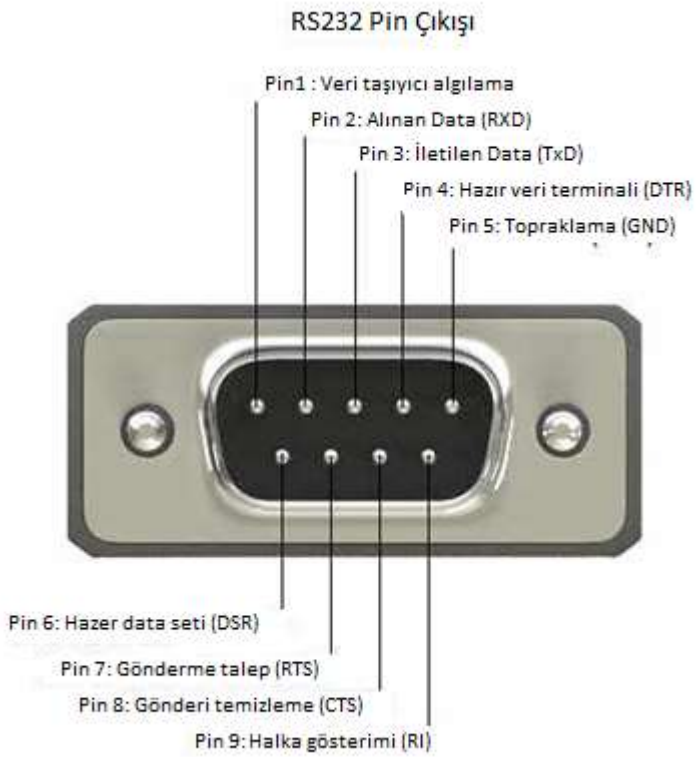
RS-232, Electronic Industries Association tarafından geliştirilmiş ve standart hale getirilmiş bir konektördür. -15 V ile +15 Voltluk iki voltaj seviyesi arasında bir değer belirleyerek 15 metreyi bulan bir haberleşme olanağı sunmaktadır. Ayrıca modem, klavye ve fare gibi kısa mesafeli araçlar için de sayısal veri aktarımı olanağı sunmaktadır. Şekil 4.18'de görseli mevcuttur.



Şekil 4.18 RS 232 bağlantı kablosu

RS-232 konektöründe veriler ASCII karakterlerinin 8 bitlik tanımlanmaları nedeniyle 8 bitlik karakterler halinde iletilmektedir. Bu iletim birbiri ardına seri olarak gönderilir. İletim standart olarak hem senkron hem de asenkron olarak tanımlanmıştır. Gönderici RS-232 konektörü aracılığıyla gönderilecek olan veriyi belirli bir formatta hazırlar, bu sırada alıcı devamlı olarak hattı dinlemektedir. Verinin geleceğini belirten bir işaret ile alıcı veriyi depolar ve karakterlere dönüştürür.

RS-232 konektöründe eksi voltaj birimi '1', artı voltaj birimi ise '0' olarak standart hale getirilmiştir. Ayrıca hattın boş olması durumu da '1' ile ifade edilir. Voltajın artı haline geçmesi veri gönderileceğinin işaretidir. Bu durum başlangıç biti olarak ifade edilir. Ardından gönderilen karakter dizilimi alıcı tarafından depolanır ve yorumlanarak karakter setleri haline dökülür. Her karakterin sonuna ise bir bitiş biti olan '0' eklenir. Konnektör gösterimi Şekil 4.19'da ki gibidir.



Şekil 4.19 RS 232 çıkış pinleri

RS-232 konektörleri DTE (Data Terminal Equipment) veya DCE (Data Communication Equipment) olacak Şekilde iki sınıfa ayrılır. Her iki konektör de hem veri alma hem de verme özelliğine sahiptir. Günümüzde en fazla kullanılan konektör tipi DB9 olarak bilinen tek haberleşme kanallı konektörlerdir. Detaylı bilgiye elektrik, elektronik parça araştırmaların yer aldığı web sayfalarından ulaşılabilir.

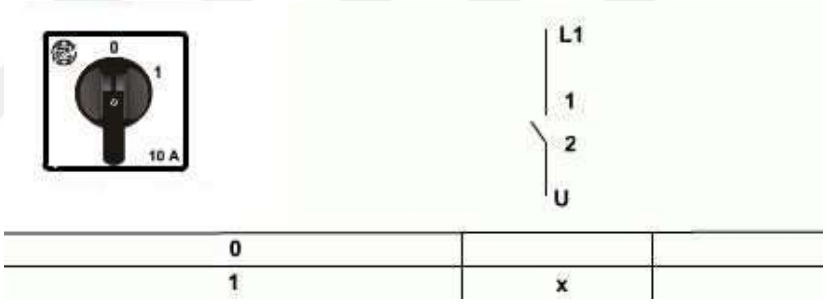
4.2.4.2 Paket Şalter

Çok konumlu, bir eksen etrafında döndürülebilen, arka arkaya dizilmiş bakalitten yapılmış disk şeklindeki birçok dilimden oluşur. Dilimlerde kontaklar bulunur. İstenen kontak sayısını elde edebilmek için uygun sayıdaki dilim arka arkaya dizilir.



Şekil 4.20 Kullanıcı paneli

Paket şalter üzerindeki kolun çevrilmesi ile çalışır. Kolun çevrilmesi ile bakalit dilimler döner. Üzerlerindeki kontaklar konum değiştirir. 16-25-32-63-125-200 amper akım kapasitelerinde üretilirler. 63 Amper kapasiteli pako şartel seçmemiz uygulamamız için uygundur. Şekil 4.20'de kullanıcı panelinde yer alan paket şartel görülmektedir. Şekil 4.21'de bağlantı şeması verilmiştir. Detaylı bilgi megep elektrik elektronik teknolojisi butonlar modülünden ulaşılabilir.



Şekil 4.21 Paket şartel bağlantı şeması (MEGEP, 2013)

4.2.4.3 Ac/Dc Dönüştürücü

Motor Sürücü harici beslemesi için ac/dc dönüştürücüler kullanılabilir. Sürücü kullanım klavuzunda 24 V besleme gerilimi önerilmiştir. Meanwell marka NES-25-24 modeli kullanım için uygundur. Harici Besleme Gerilimi : 8V-30 V arasında uygulanmalıdır. Şekil 4.22'de ürünün görseli mevcuttur. Detaylı bilgiye ürün web sayfasından ulaşılabilir.



Şekil 4.22 Ac/Dc dönüştürücü

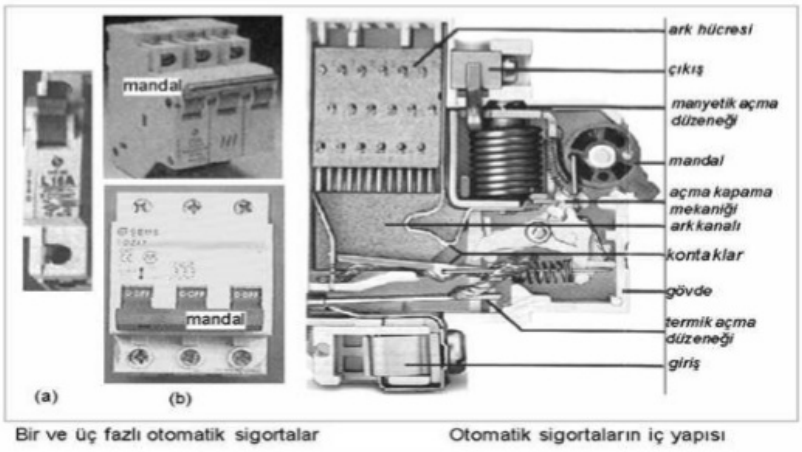
4.2.4.4 Otomatik Sigorta

Motor sürücü devre şemasında da gösterildiği gibi elektriksel bir sistemde güvenlik için sigorta kullanılması şarttır.

Alıcıyı besleyen hatları, cihazları aşırı yüklenme ve kısa devrelere karşı korumada kullanılan elemandır. Sigorta, devreye seri bağlanır ve üzerinden anma akımından çok akım geçtiğinde devreyi açar.

Otomatik sigortalar, bağlı bulunduğu elektrik devresini aşırı akım ve kısa devrelere karşı korur. Devrenin kolayca açılıp kapatılmasına imkân sağlar. Herhangi bir arıza durumunda devreyi açan cihaz, kol yukarı kaldırılarak devreye sokulur. Koldan bağımsız açtırma düzeni, arıza devam ettiği sürece devreyi yeniden açacaktır. Uygulamada kullanılan otomatik sigortalar L (B) ve G (C) tipi olmak üzere iki tipte üretilir. L tipi sigortalar, aydınlatma ve priz tesislerinde; G tipi sigortalar ise motor koruma devrelerinde kullanılır. Uygulamada kullanılan otomatik sigortalar 6, 10, 16, 20, 25, 35, 40, 45, 50,63 amperlik değerlerde üretilmektedir.

Üç fazlı motorların korunmasında kullanılan otomatik sigortaların mandalları birbirine akuple edilir. Bu sayede fazın birisinin bağlı olduğu sigorta attığında üç fazın akımı da kesilir.



Şekil 4.23 Otomatik sigorta iç yapısı (MEGEP, 2013)

L tipi sigortalar aydınlatma ve priz tesislerinde kullanılır. L tipi sigortalar aşırı akım durumunda hemen atar. Şekil 4.23' sigorta iç yapısı gösterilmiştir.

G tipi sigortalar motor koruma devrelerinde kullanılır. G tipi sigortalar gecikmeli olarak devreyi açar. Motorlar kalkış anında normal akımlarının birkaç katı değerde aşırı akım çekerek çalışmaya başladıklarından bu tip alıcılarda gecikmeli atan otomatik sigortalar tercih edilir. Detaylı bilgiye megep elektrik elektronik teknolojisi koruyucu elemanlar modülünden ulaşılabilir.

4.2.4.5 Potansiyometre

Potansiyometreler devre direncinin çok sık değiştirilmesi gerektiği yerlerde kullanılır. Direnç değerinin değişimi el ile değiştirilmeye müsait ince ayar çubuğu sayesinde yapılır. Düşük güce sahiptirler, bu bakımdan elektronik devrelerde kullanılmaya müsaittir. Genellikle cihazların ön paneline monte edilir. Motor devirini ayarlamak için kullanılır.



Şekil 4.24 Potansiyometre

4.2.4.6 Motor Sürücü Önemli Parametreleri

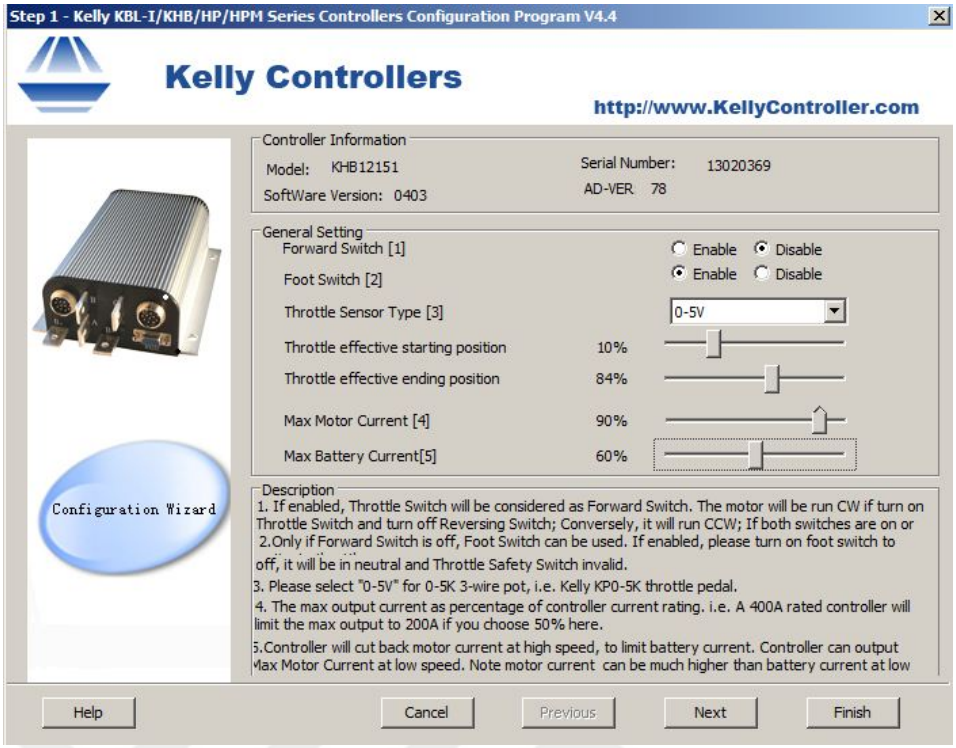
Motor sürücü konfigürasyon ayarları 5 sayfa üzerinden yapılmaktadır. Şekil 4.25-4.29 aralığında verilen Şekillerde ayar yapılarak deneyler gerçekleşmiştir.

Operasyon hızı 16,6 kHz dir. Operasyon hızı önemli bir parametredir. Motor devrine doğrudan etki eder. Motor maksimum hızının arttırılması istenirse yüksek operasyon hızlarına sahip işlemcilerin kullanıldığı motor sürücüler tercih edilmelidir. Yapılan ölçümlerde 16,6kHz'e yakın değerlere veya yüksek değerli okuma hızlarına sahip okuyucular kullanılması gerekmektedir.

Motor akım limiti: 150 Amper bu değer 1 dakika süre ile geçerlidir. Sürekli bu akımı karşılaması gerektiği uygulamalarda sürücü yetersiz kalacaktır. Ancak motoru kalkışta yüksek akım çekmesi normaldir bir emniyet olarak verilen bu değerin üzerinde çalışma yapılması veya 1 dakikalık süreden fazla bu akımın motor tarafından çekilmesi motor sürücü içersinde bulunan mosfetlerin ve devre kartı üzerinde bulunan yolların zarar görmesine neden olacaktır. Sürekli emniyet akım 75 Amper olmalıdır.

Bataryadan alınabilecek maksimum akım değerine göre ayarlanabilir. Kullanılan bataryanın zarar görmesi engellenir. Motor sürücü ayarlarından batarya akımı %60 seçilmiştir. Motor sürücüsünün sürekli emniyet akımının % 60'ını ifade eder. Bataryadan maksimum 45 Amper akım çekilmesine izin verilmiştir. Detaylı bilgi için üretici firmanın web sayfasında mevcuttur.

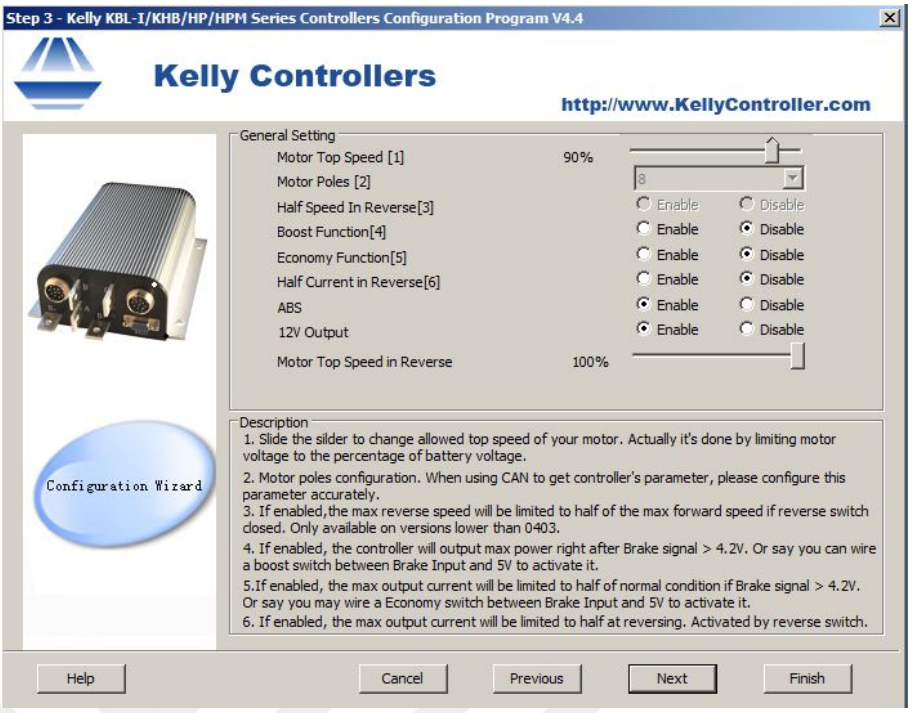
Şekil 4.25…Şekil 4.29 aralığında motor sürücü ayarlama sayfaları yer almaktadır. Kullanıcı arayüzü ingilizce olduğu için görseller bu dilde verilmiştir. Motor sürücü bilgisayara RS-232 bağlantı kablosu ile bağlanır. Programı çalıştırabilmek için tüm bağlantıların eksiksiz olması ve motor sürücüye besleme gerilimi verilmelidir.



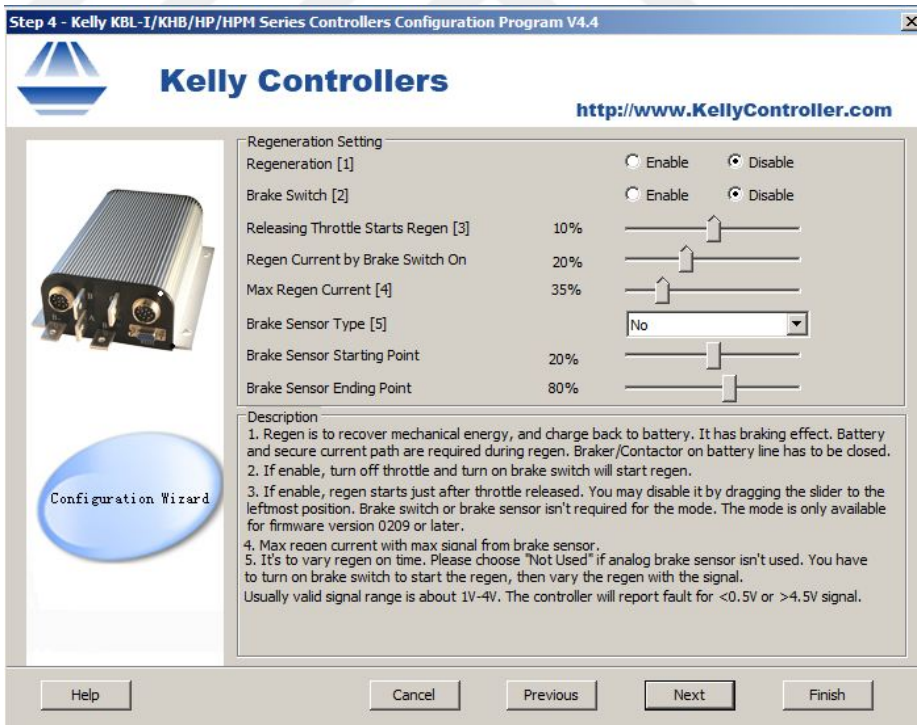
Şekil 4.25 Konfigürasyon ayarlama sayfası 1



Şekil 4.26 Konfigürasyon ayarlama sayfası 2



Şekil 4.27 Konfigürasyon ayarlama sayfası 3



Şekil 4.28 Konfigürasyon ayarlama sayfası 4



Şekil 4.29 Konfigürasyon ayarlama sayfası 5

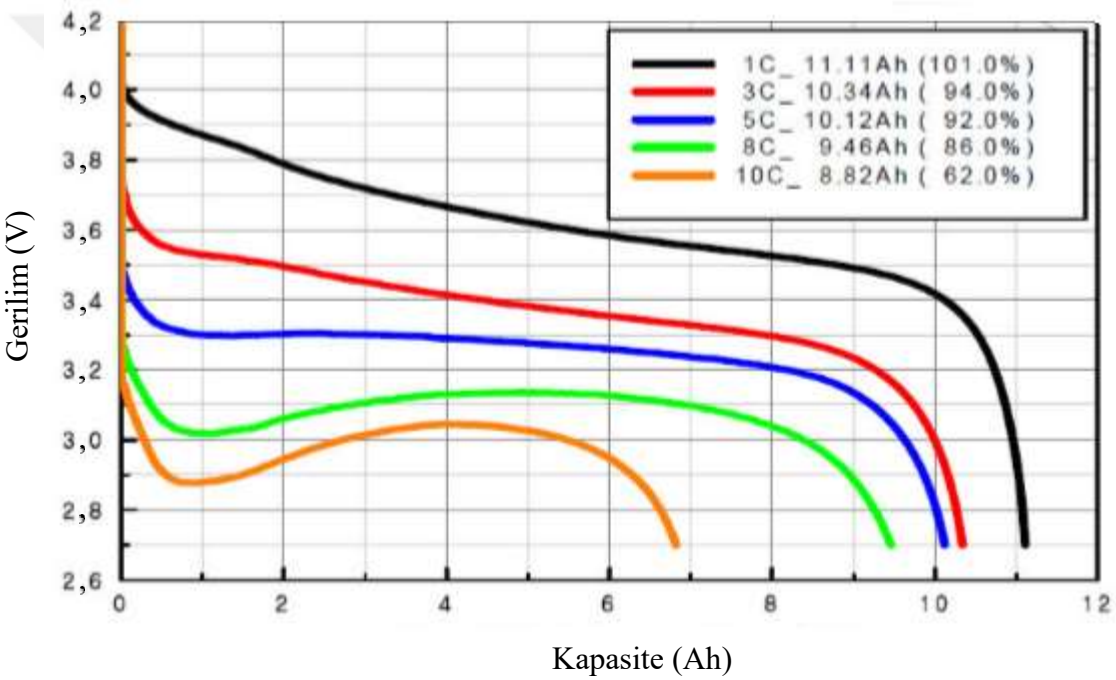
4.2.4 Bataryalar

KOKAM batarya ürerticinin yüksek güçlü batarya hücreleri serisinden SLPB 55205130 11Ah Lithium- polymer bataryalar seri bağlanarak kullanılmıştır.

Tablo 4.7 Batarya Özellikleri

NO	BAŞLIK		ÖZELLİK
1	Nominal Kapasite		11 Ah, Min. 10,5 Ah
2	Nominal Gerilim		3,7 V
3	Besleme Durumu	Mak. Akım	2.0C (22A)
		Gerilim	4.20 ±0.03 V
4	Boşaltma Durumu	Anlık Mak. Akım	10.0C (110 A)
		Kesme Gerilimi	2.7 V
5	AC-Empedans(m Ω)		Maksimum 3.5 V
6	Operasyon Sıcaklığı	Besleme	0 ^{0}C ~ 45 ^{0}C
		Boşaltma	-20 ^{0}C ~ 60 ^{0}C
7	Ağırlık (maksimum)		328.0 gr
8	Enerji Yoğunluğu	Hacimcel	278 Wh/l
		Ağırlık	124 Wh/kg

Bu verilen tabloda deney düzeneğimiz için anlık maksimum akım değeri önemlidir. Batarya bu değerin yarısı kadar sürekli akım sağlayabilir. Bu durum batarya grubumuzu sürekli olarak 55 Amper akım sağlayabilieceğini gösterir. Bataryalalar uygun çalışma gerilimini yakalamak için seri bağlanmıştır. 28 adet hücre kullanılmıştır. Batarya karakteristikleri de incelendiğinde batarya çıkış geriliminin sabit olmadığı gözlemlenir. Güç hesaplamalarında batarya çıkışında gerilimi doğru okumak oldukça önemlidir. Tablo 4.6'da kullanılan bataryanın elektriksel özellikleri verilmektedir. Şekil 4.30 batarya yük kapasitelerine göre performans eğrileri verilmiştir.



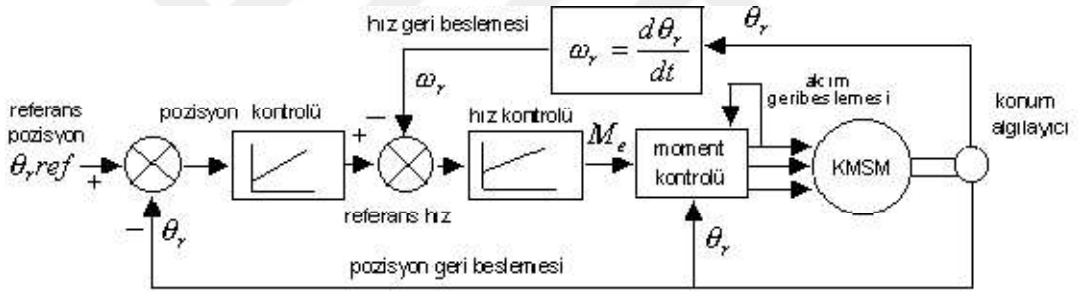
Şekil 4.30 Batarya gerilim kapasite eğrisi

4.2.5 Fırçasız Kalıcı Mıknatıslı Doğru Akım Motoru ve Sürüş Yapısı

Elektrik motorları; endüstriyel takım tezgâhları, ev ve ofis makineleri, bilgisayar disk sürücüleri, robotik uygulamalar, otomotiv endüstrisi, uzay uygulamaları gibi birçok alanda kullanılan endüstriyel ürünlerin en önemli kısımlarını oluşturmaktadır. Elektrik motorunun kullanım yerine göre, hassas bir denetime ihtiyaç duyulmayabilir. Fakat robotik, servo, askeri ve uzay uygulamaları, bilgisayar disk sürücüleri gibi uygulamalarda motorun çok hassas bir denetiminin yapılması gerekir.

Motorun çok hassas denetimi ise motoru süren sürme sistemleri ile yapılır. Sürme sitemleri motorların performansını doğrudan etkilemektedir.

Doğru akım motorları, hız ve konum kontrolü gerektiren uygulamalarda, hız denetim yeteneklerinin iyi, kontrolünün kolay olması yüzünden çok kullanılmaktadır. Ancak doğru akım motorları periyodik bakım gerektirirler, fırça ve kollektör düzeneği yüzünden yanıcı ve patlayıcı ortamlarda kullanılması sakıncalıdır. Yapıları sağlam olan ve bakım gerektirmeyen endüksiyon motorlarının ise verimleri ve güç faktörleri düşüktür. Servo uygulamalarda istenilen performansı sağlayamadıkları gibi karmaşık bir denetim sistemine ihtiyaç duyarlar. Şekil 4.31'de motor sürücü blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.29 Motor sürücü blok diyagramı (Özgenel, 2003)

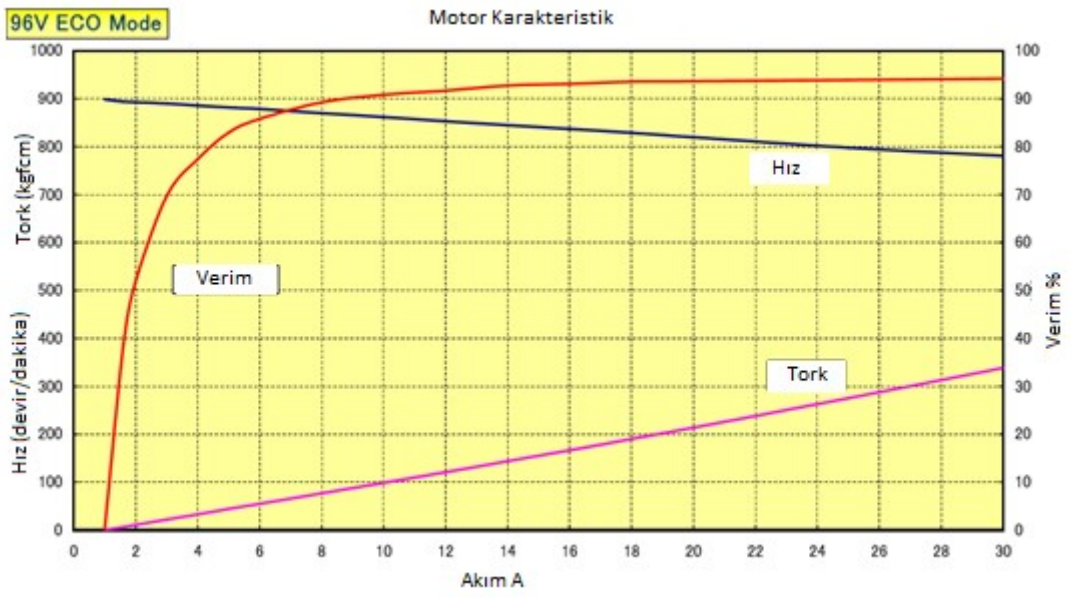
Senkron motorlar, statorunda ve rotorunda sargıları olan yükten bağımsız olarak sabit hız istenen yerlerde tercih edilirler. Senkron motor, evirici veya ayarlı gerilim ve frekans kaynağı ile beslenirse hız ayarı yapılabilir. Doğru akım motorlarına göre motor boyutları ve atalet momentleri daha küçüktür. Endüksiyon motorlarına göre ise verimleri ve güç faktörleri daha yüksektir. Senkron motorun rotorunda bulunan doğru akım uyartım sargısı kalıcı mıknatısla yer değiştirilerek rotorda meydana gelen manyetik akı mıknatıs tarafından sağlanır. Böylece kalıcı mıknatıslı senkron motor (KMSM) elde edilmiş olur. Rotoru sargılı senkron motora göre dinamik performansı daha da artmış olur. Senkron motorların statorunda indüksiyon motorundaki gibi üç

fazlı sargı bulunur. Rotorda sargı yerine kalıcı mıknatısın kullanılmasıyla fırça ve kollektörden kaynaklanan mahsurlar da giderilmiş olur. Rotorda yüksek enerjili kalıcı mıknatıs kullanılması, rotor sargılarında meydana gelen bakır kayıplarını ortadan kaldırarak aynı güçteki senkron motordan veriminin daha yüksek olmasını sağlamıştır. KMSM'lerin bu üstünlüklerine rağmen moment ve hız kontrolünde konum algılayıcı kullanılarak ek bir sürücü sisteme ihtiyaç duyarlar.

BÖLÜM BEŞ
DENEY SONUÇLARI

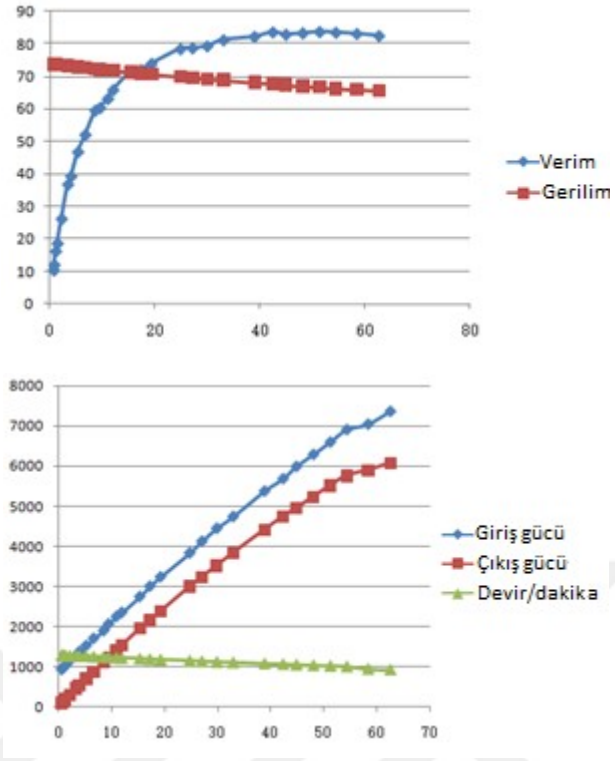
5.1 Fırçasız Doğru Akım Motoru Performans Eğrileri

Motor performans eğrileri oluşturulurken örnek fırçasız doğru akım motorları grafikleri incelenmiştir. Motor sürücü besleme akımı, gerilim, hız gibi değerler ölçülmüş, atalet momenti nümerik olarak hesaplanmıştır. 10 saniye süresince farklı data okuyucuları ile ölçümler yapılmış daha sonra veriler ayıklanarak ve düzenlenerek performans eğrileri oluşturulmuştur.



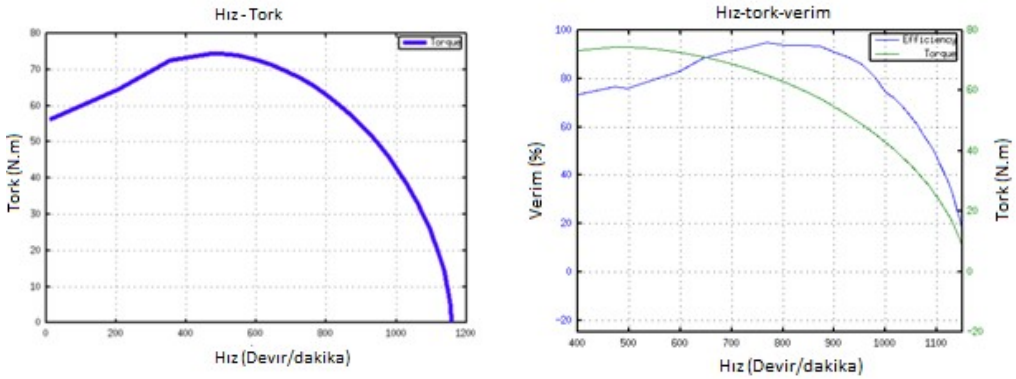
Şekil 5.1 Mitsuba 2096 motor performans eğrisi

Şekil 5.1'de Mitsuba 2096 fırçasız doğru akım elektrik motorunun eğrisi verilmiştir. Verilen grafikte hız, verim, tork, akım değerleri okunabilir. Veriler incelendiğinde motor belirli bir hızda döndürülürken ölçülebilir bir yük uygulandığı görülmektedir. 900 devir/dakika hız ile motor dönerken bir kuvvet vasıtasıyla 34,3 kgfcm tork oluşturulduğunda akım artışı ve hızı düşümü gözlemlenmektedir.



Şekil 5.2 Kelly 72 V 4,5 KW high speed modeli performans eğrileri

Şekil 5.2'de Kelly 72 V high speed motor modelinin performans eğrileri verilmiştir. Mitsuba motorda olduğu gibi belirli bir hızda motora moment oluşturacak bir kuvvet uygulanmıştır. Giriş çıkış güçleri verim eğrileri grafiğe dökülmüştür.



Şekil 5.3 Des-tech 2 motor performans eğrileri

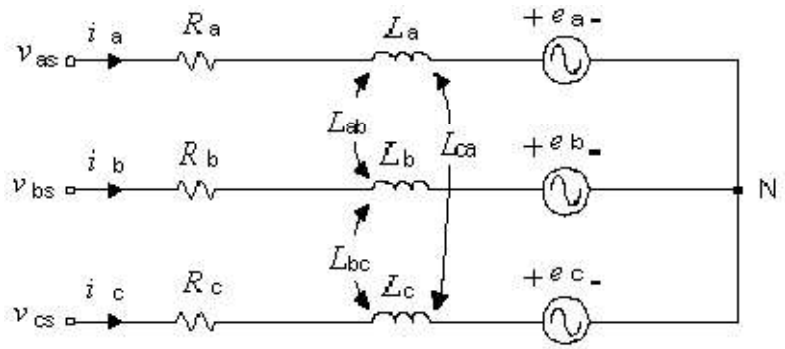
Şekil 5.3'te Des-tech 2 motoru performans eğrileri verilmiştir. Maksimum verimin 800 devir/dakika – 900 devir/dakika da olduğu gözlemlenmiştir.

5.2 Kalıcı Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motoru Matematik Modeli

Bir elektrik motorunun kontrolüne başlamadan önce o motorun matematik modelinin çıkartılması gerekir. KMSM'nin matematik modeli ise; stator referans düzlemi, sabit referans düzlemi ve rotor referans düzlemi olmak üzere üç düzlemde ifade edilebilir.

5.2.1 Stator referans düzleminde (3-Faz model) modeli

Motorun stator referans düzlemindeki matematik modeli sinüzoidal ve kare dalga akım beslemeli motorlarda da aynıdır. Uygulamada en çok üç fazlı KMSM kullanıldığından üç fazlı motorun matematik modeli çıkartılıp motorun yıldız bağlı olduğu kabul edilecektir.



Şekil 5. 4 Üç faz yıldız bağlı motor gösterimi (Özgenel, 2003)

Motorun faz sargılarına vas, bs ve vcs gerilimleri uygulanmakta faz sargılarından ia, ib ve ic akımları geçmektedir. Ra, Rb, Rc stator faz sargısı dirençlerini, La, Lb, Lc stator faz sargıları endüktanslarını, Lab, Lba, Lbc, Lcb, Lac, Lca stator fazları arasındaki ortak endüktanslar ve ea, eb, ec stator sargılarında meydana gelen zıt emk'i göstermektedir. Şekil 5.4'te ki stator gerilimleri Eşitlik 5.1'deki gibi yazılabilir.

$$v_{as} = i_a.R_a + L_a.\frac{d_{ia}}{dt} + L_{ab}.\frac{d_{ib}}{dt} + L_a.\frac{d_{ic}}{dt} + e_a$$

$$v_{bs} = i_b.R_b + L_{ba}.\frac{d_{ia}}{dt} + L_b.\frac{d_{ib}}{dt} + L_{bc}.\frac{d_{ic}}{dt} + e_b$$

$$v_{cs} = i_c.R_c + L_{ca}.\frac{d_{ia}}{dt} + L_{cb}.\frac{d_{ib}}{dt} + L_c.\frac{d_{ic}}{dt} + e_c \quad (5.1)$$

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_a & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_b & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = -\omega_r \Psi_m \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Zıt elektro motor kuvvet, rotor mıknatısının manyetik akısı ile rotor hızına bağlıdır ve eşitlik 5.3 ile ifade edilir. Motor yıldız bağlı ve sargılar aralarında birbirine eşit dengeli olduğundan, aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$R_a=R_b=R_c=R$; $L_a=L_b=L_c=L$; $L_{ab}=L_{ac}=L_{ba}=L_{ca}=L_{cb}=M$

Tanımlara göre eşitlik 5.2 yeniden yazılılırsa, Eşitlik 5.4 elde edilir.

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \omega_r \Psi_m \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.4'ü durum-uzay formunda yazmak gerekir. Bunun için eşitlik 3.4'te düzenleme yapılırsa durum uzay formunda yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & M \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \omega_r \Psi_{\mathrm{m}} \begin{bmatrix} \sin(\theta_{\mathrm{R}}) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \tag{5.5}$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \frac{1}{(L-M)} \left\{ \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \omega_r \Psi_{\mathrm{m}} \begin{bmatrix} \sin(\theta_{\mathrm{R}}) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\left(\theta_r - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \right\} \tag{5.6}$$

Eşitlik 5.6 elde edilir. Motordan alnan güç zıt emk cinsinden ifade edilir.

$$P_a = e_a . i_a + e_b . i_b + e_c . i_c \tag{5.7}$$

Elektromanyetik moment, motordan alınan gücün açısal hıza oranı ile bulunur.

$$T_e = \frac{e_a . i_a + e_b . i_b + e_c . i_c}{\omega_m} = \frac{P_a}{\omega_m} \tag{5.8}$$

Mekanik açısal hızı elektrik açısal hız cinsinden denklem 5.9'daki gibi yazılabilir.

$$\omega_m = \omega_r \left(\frac{2}{P}\right)$$

(5.9)

$$T_e = \left(\frac{P}{2}\right) \Psi_m \left[i_a \sin(\theta_r) + i_b \sin\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \right]$$

(5.10)

Motor dinamik eşitlikleri cinsinden elektromanyetik moment, konum, hız ifadeleri;

$$T_e = J_m \left[\frac{2}{P}\right] \frac{d\omega_r}{dt} + B_m \left[\frac{2}{P}\right] \omega_r + T_t$$

(5.11)

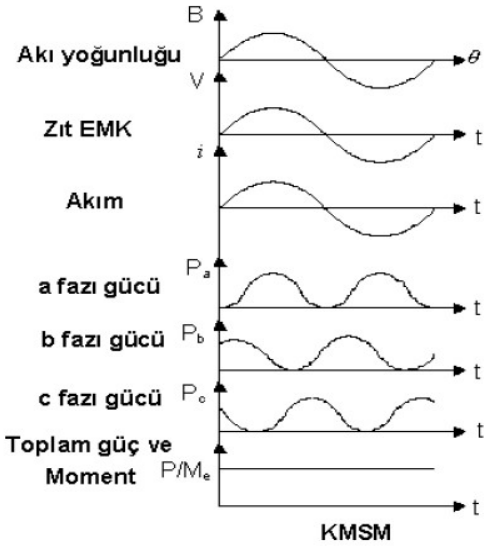
Konum ;

$$\theta_r = \int \omega_r dt$$

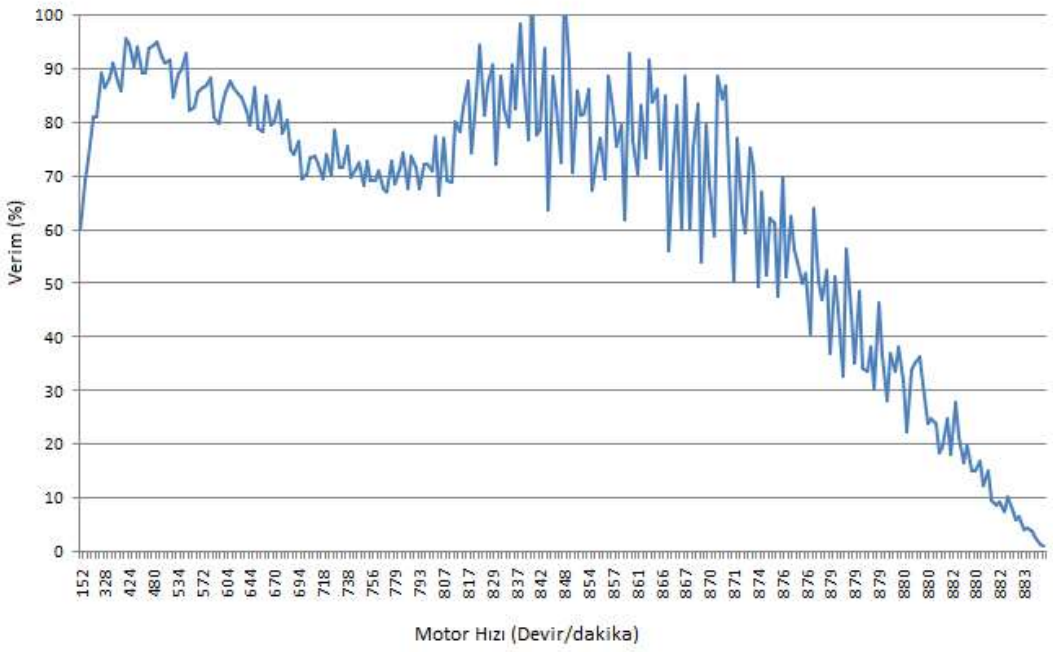
(5.12)

5.2.2 Sinüsoidal Dalga Biçimli Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlar

Stator sargılarında meydana gelen zıt emk sinüsoidal dalga biçimli olan KMSM'ler düzgün moment üretebilmesi için sinüsoidal akım beslemesine ihtiyaç duyarlar. Bu motorlara sinüsoidal akım beslemeli KMSM veya sadece KMSM denilir. Statordaki sargılar indüksiyon motoru statoru gibi genellikle üç fazlıdır. Üç fazlı sinüsoidal akım ile beslendiğinde çok düzgün moment üretirler. KMSM'lere gelişmiş kontrol teknikleri uygulanarak çok yüksek performans alınabilmektedir. Şekil 5.5'te KMSM'un manyetik akı, zıt emk, akım, faz güçleri ve toplam güç-moment büyüklükleri fırçasız doğru akım motoru ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sinüsoidal kaynaktan beslenen kalıcı mıknatıslı senkron motorlar üç fazlı şebekeden beslenebildikleri gibi eviriciden de beslenebilmektedirler. Şebekeden beslenen KMSM'ların rotoruna kendiliğinden yol alabilmesi için kafes sargısı yerleştirilir. Böylece motora yol verme düzeneğine ihtiyaç kalmaz.



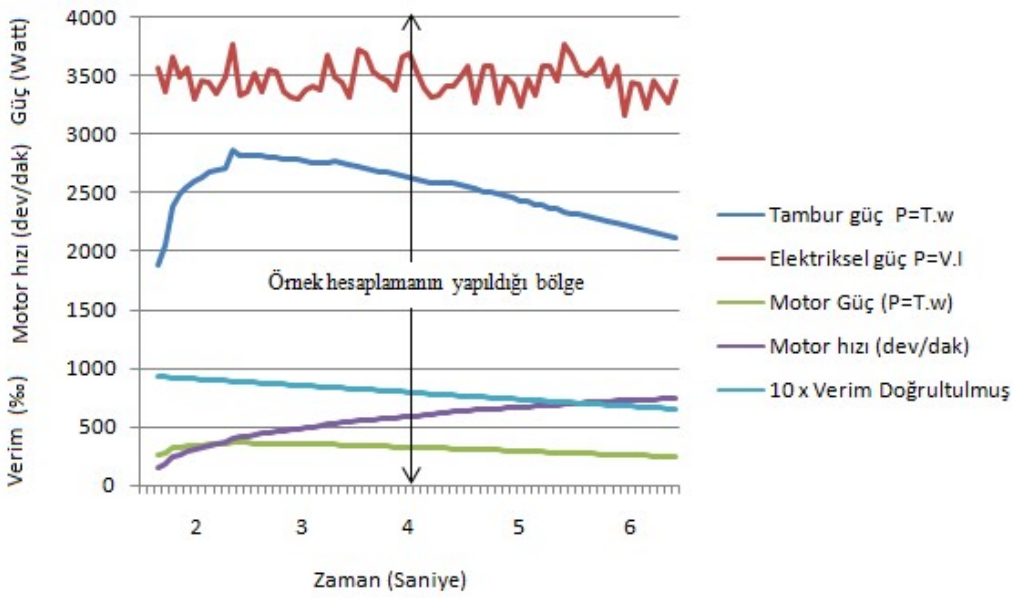
Şekil 5.5 Üç fazlı yıldız bağlı motor güç grafikleri



Şekil 5.6 Hız verim eğrisi

Şekil 5.6'da motor 152 devir/dakika hız ile 880 devir/dakika hız aralığında ölçüm düzeneğinden alınan verim gösterilmiştir. Verimin belirli bir devirden sonra düştüğünün gözlemlenmesi test düzeneğinden kaynaklanmaktadır. Motor döndürülen tamburun ataletini yenmiştir. Bu nedenle ivmeli hareketi bitmiş sabit devirle hareket devam etmektedir. Böylece ivme oluşmamış ve tork ölçümü mümkün olmamıştır. Mekanik güç sıfıra yaklaşmıştır. Eğrideki dalgalanma motor sürücü

akım sınırlanmasından kaynaklanmaktadır. Bu eğriden iki bölge seçilerek detaylı grafikler gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Motor performans grafiği-1

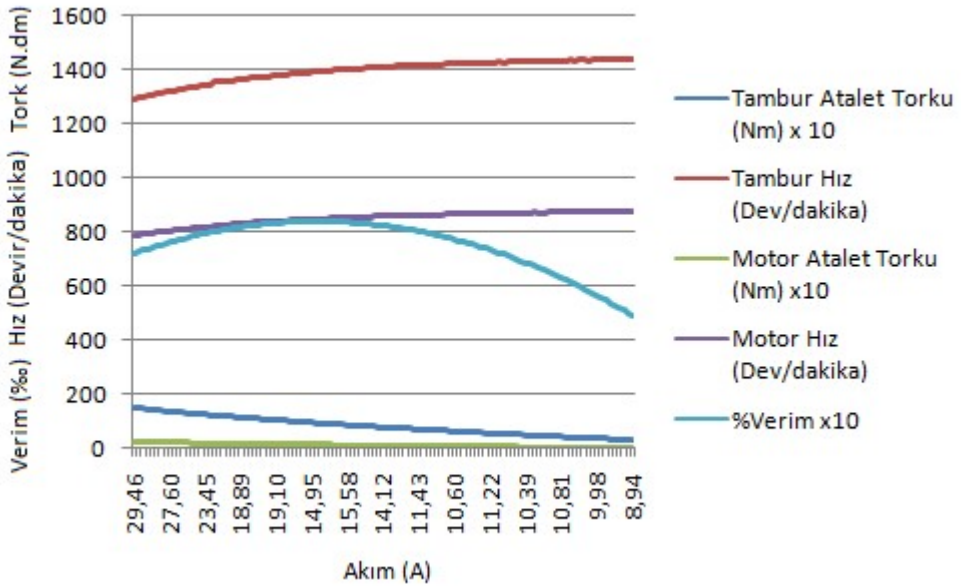
Şekil 5.7'da Destech 1 motor performans eğrileri alınan veriler neticesinde zamana bağlı grafik oluşturulmuştur. Diğer motorlarda yapılan testlerden farklı bir yöntem uygulanmıştır. Motor maksimum torku kalkış anında 90 Nm olarak ölçülür. Grafikler 900 devir/dakika hızına kadar yorumlanabilmektedir. Daha yüksek hızlar için test süresi ve düzeneğin dayanımı arttırılmalıdır.

$$P_m = T.\omega \tag{5.1}$$

$$P_e = I.V \tag{5.2}$$

$$T_t = I.\frac{d\omega}{dt} \tag{5.3}$$

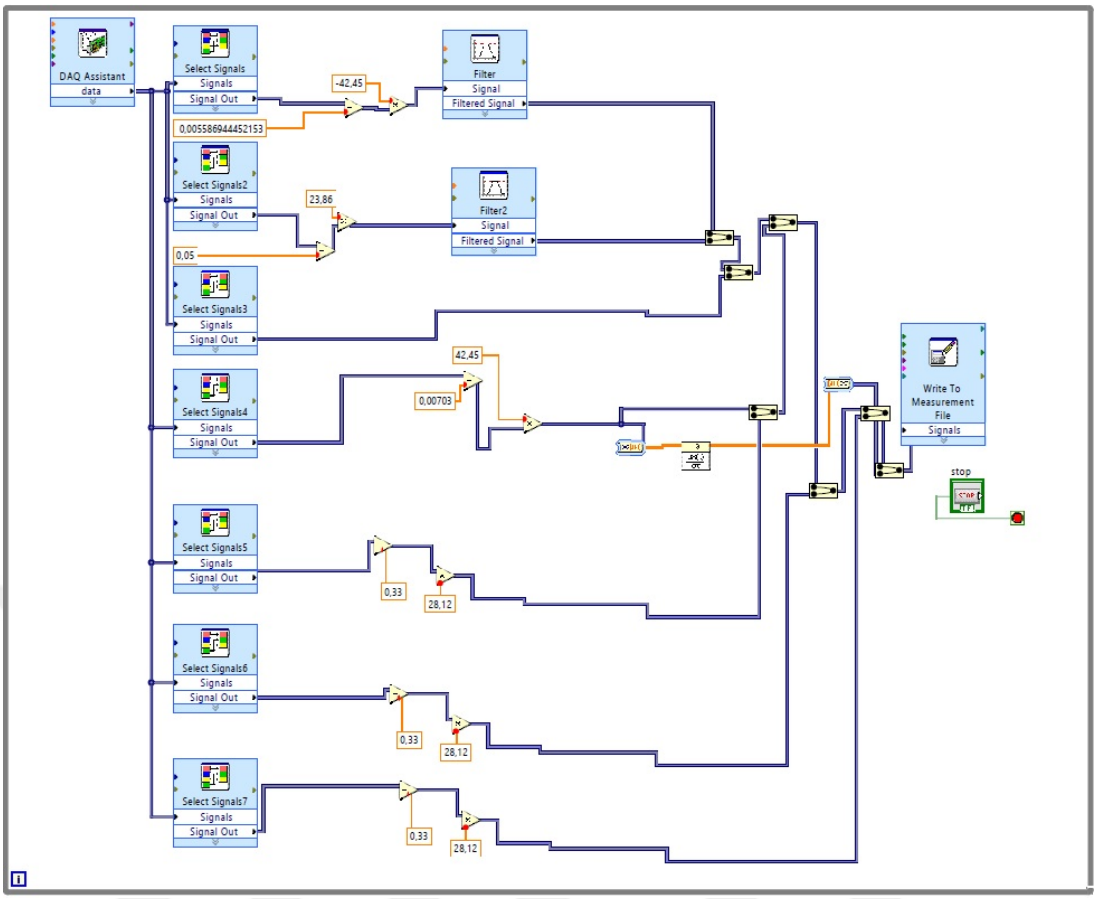
Yukarıda yer alan formüller ile yapılan hesaplamalar ve Bölüm 4 de ulaşılmış sabitlere dayalı oluşturulan veri tablosu Ek-1'de verilmiştir.



Şekil 5.8 Motor performans grafiği-2

Şekil 5.8'de motorun 800 devir/dakika ile 900 devir/dakika arasında tambur ve motora ait atalet torkları, hızları, motor akım ve verim grafikleri gösterilmektedir. Akımın ile tork arasında bir paralellik olduğu grafikten gözlemlenmektedir. Verim hesaplanırken motor, lastik ve jantın atalet momentinden kaynaklanan tork ve motor açısal hızı çarpımı, tamburun atalet momentinden kaynaklanan tork ve tambur açısal hızı çarpımı toplanarak mekanik güç elde edilmiş, motor giriş gücü ile oranlanmıştır. Motor giriş gücü ise motor batarya çıkışında gerilim ve akımın çarpılması ile elde edilmiştir.

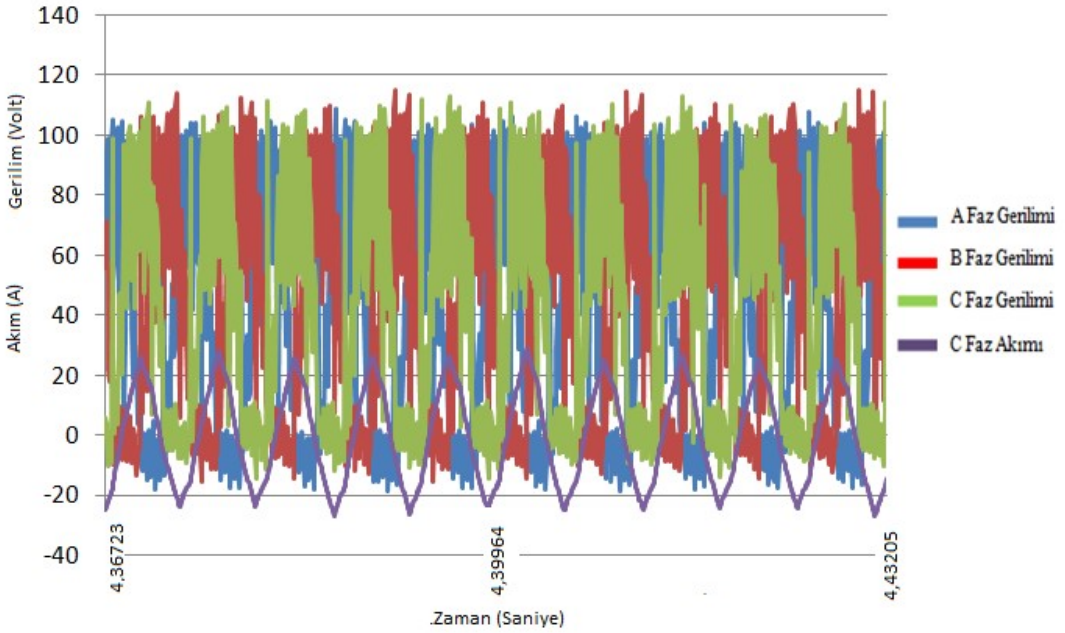
Bilgileri data alma kartından bilgisayara aktarırken labview programı kullanılmıştır. Bu programda oluşturulan blok diyagramı Şekil 5.9'da verilmiştir. Belirlenen katsayılar kalibrasyonu bulunan 100 kHz okuma hızına sahip bir osiloskop ile karşılaştırma yapılarak belirlenmiştir. Alınan veriler Excel tablosuna aktarılmış incelemeler tablolar üzerinden yapılmıştır.



Şekil 5.9 Labview programı data alım blok diyagramı

5.3 Fırçasız Doğru Akım Motoru Manyetik Güç Oluşum Eğrileri

Motor sürücü ile motor arasında ölçümler gerçekleşmiştir. Ölçümler sürerken sürekli olarak A,B,C fazlarındaki gerilimler ve bir faz üzerinden geçen akım ölçülmüştür. Grafik üzerinde 4,36723… sn de başlayarak alınan ölçümler değerlendirilmiştir. Şekil 5.10'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Motor faz ve akım grafikleri-1

Tablo 5.1 Motor temel özellikleri

Faz Dirençleri	R_{sb}=0,07452 Ω	R_{kb}=0,07501 Ω	R_{ks}=0,07452 Ω
Faz İndüktansları	L_{sb}=0,663 Ω	L_{kb}=0,624 Ω	L_{ks}=0,641 Ω
Slot Özellikleri	33 Spir	Ø 1,4 mm Bakır Tel	// 4 mm paralel
Mıknatıs	N42	40x25x10	32 adet
Stator	Ø256,9	36 Kutup	0,5mm sac kalınlığı
Rotor	Ø259,28	Ø281	Boşluk 1,09mm

T_t=28,19 N.m w_t=96,2 rad/saniye P_t=2711,88 Watt

T_m=5 ,87N.m w_m=58,68 rad/saniye P_m=344,45 Watt

Toplam Kayıp: 633,72 Watt

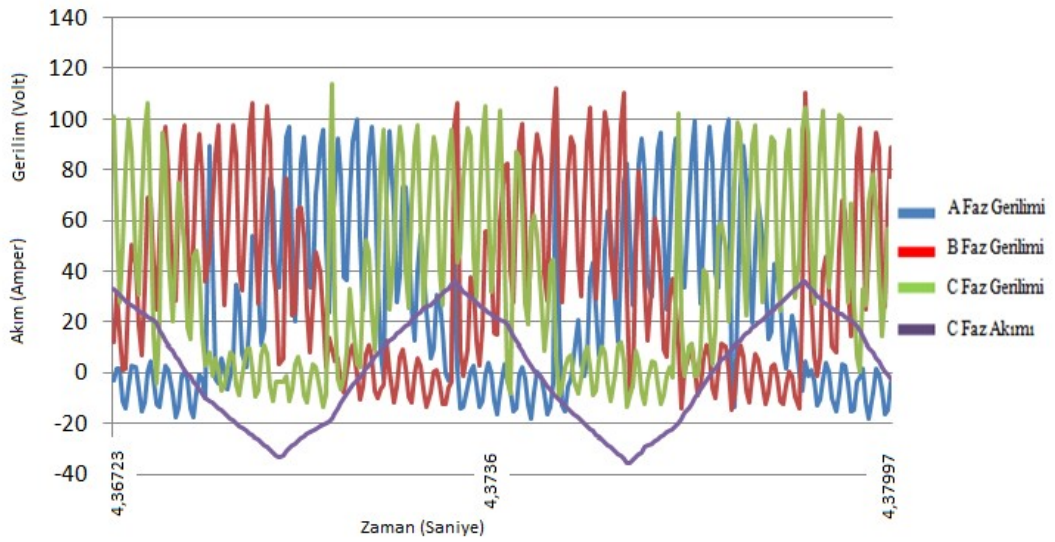
P_m=3056,33 Watt

P_e=3689 Watt

Verim:%82,8

633,72 watt bir kayıp olduğu gözlemlenmiştir. Bu kayıpların içerisinde mekanik kayıplar, histerisiz kayıpları, rüzgar kayıpları, ısıl kayıplar, işçilikten dolayı oluşan kayıplar mevcuttur. Bu kayıplara mevcut test düzeneğinde ulaşmak mümkün

değildir. Ancak birden fazla tasarımı karşılaştırmak mümkün olacaktır. Motor arızası tespiti mümkün olacaktır. Aşağıdaki grafik incelendiğinde motor sürüşü ile ilgili detaylar vermektedir. Motor sürücü üzerinde yapılan değişiklikler rahatça gözlemlenebilir. Şekil 5.10'da fazların ve akımın detaylı görünümleri yer almakladır.



Şekil 5.11 Motor faz ve akım grafikleri-2

Şekil 5.11'de motor faz gerilim eğrileri ve c fazı akımı gösterilmiştir. Ek-2 de sürüş sıralaması gösterilmiştir.

BÖLÜM ALTI
SONUÇLAR

Bu çalışmada elektrikli araçlar için üretilen fırçasız doğru akım motorunun karakteristik eğrileri oluşturularak, motor sürüş yöntemlerini incelemek için deney düzeneği oluşturulmuştur.

Deney düzeneği oluşturmadan önce motor ve araç performans ölçüm yöntemleri incelenmiş. İşlevsel olması açısından en uygun olan sistem seçilmiştir. Sistem tasarımı yapılırken farklı güçler için değişiklik yapılmasını sağlayacak bir konstrüksiyon oluşturulmuştur. Aynı zamanda işlevselliği arttırmak için sistem tasarımında, araç üzerinde performans ölçümü yapılması ve motorun bağımsız olarak test edilmesine olanak sağlanmıştır.

Motor performans eğrileri oluşturulurken örnek fırçasız doğru akım motorları grafikleri incelenmiştir. Motor sürücü besleme akımı, gerilim, hız gibi değerler ölçülmüş, atalet momenti nümerik olarak hesaplanmıştır. 10 saniye süresince farklı data okuyucuları ile ölçümler alınmış daha sonra veriler ayıklanarak ve düzenlenerek performans eğrileri oluşturulmuştur.

İkinci bölümde referans olarak aldığımız araçlar için Dokuz Eylül Üniversitesi Solaris güneş enerjili araç ekibi tarafından tasarlanmış ve üretilmiş motor deney düzeneğinde test edilmiştir. Eğriler oluşturulurken motor sürücüde ki kayıplar, deney düzeneğindeki kayıplar ölçüm yöntemi mevcut olmadığından hesaba katılamamıştır. Oluşan verim eğrileri doğrudan motor verim eğrisini değil sistemin verimini göstermektedir. Deney düzeneğinde kayıplar fazladır. Bu durumdan dolayı yapılan nümerik hesaplamalar, alınan ölçümlerde gerçekten sapmalar görülebilir, ancak farklı zamanlarda tekrarlanan testlerde, karşılaştırma için oluşturulan eğrilerde bir değişim gözlenmemiştir. Deney düzeneğinde iki motorun karşılaştırılması, verimli olduğu aralık tespiti, arıza tespiti yapılabilir.

Diğer motor üreticilerinin vermiş olduğu eğriler ile deney düzeneğinde oluşan eğrileri karşılaştıracak olursak, tork ölçümü yapılan motorlarda farklı yöntemler de izlenildiği gözlemlenmiştir. Motorlu taşıtların performans ölçümlerinin yapıldığı sistem ile deney düzeneği benzerlik göstermektedir. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile arıza tespiti, performans değerlendirme gibi çalışmalarda diğer motorlu taşıtlarda olduğu gibi dinamometre ile ölçüm yapılması; teknik, ekonomik ve tekrar edilebilirlik açısından değerlendirildiğinde uygun görülmektedir. Ancak bu deney düzeneğinde sistem kayıplarının (motor ve tambur eksenlerinin paralelliklerinin sağlanamamasından gelen kayıplar, tekerlekten gelen kuvvetin lastik basıncının farklı olması nedeni ile tam olarak eksen doğrultusunda uygulanamamasından gelen kayıp, motor sürücü verimi, sürtünmelerden gelen kayıplar) tam olarak tespit edilmesiyle motor veriminin hassas ölçülmesi mümkün olabilir. Motor torkunun motor çıkış milinden ölçülmesi durumunda yukarıda bahsedilen kayıp ve verimler dikkate alınmadan direkt olarak motor verimi hassas olarak belirlenebilir.

KAYNAKLAR

ACS709 high bandwidth, fast fault response current sensor IC in thermally enhanced package. (b.t). 16 Ocak 2016, https://www.allegro.com.

Al Zaher, R. (2010). *Axial flux permanent magnet motor Csiro new frame design, analysis, steady state model and comparison to radial flux permanent magnet motor.* Yüksek Lisans Tezi, Delft University Of Technology, Holland.

Arduino Mega 2560 user manual.(b.t). 13 Mart 2016, http://www.arduino.cc.

Bosch, R.(2000). *Automotive handbook.* Stuttgart: John Wiley & Sons.

Current Transducer LA 100. (2015). 3 Aralık 2015, https://www.lem.com.

Ehsani, M. ve Gao, Y.(2005). *Modern electic, hybrid electric, and fuel cell vehicles fundamentals, theory and design* (1.baskı). New York: CRC Yayınevi

Hoffman K. (2012). *An introduction to stress analysis and transducer design using strain gauges* (1. Baskı). Almanya: HBM.

Inertia dyno design guide. (b.t). 6 Haziran 2016, http://www.dtec.net.au/.

Kelly KHB high power brushless motor controller user's manual. (2016). 5 Mart 2016, http://kellycontroller.com/mot/downloads/KellyKHBUserManual.pdf.

Kuralay, N. S.(2008). *Motorlu taşıtlar I-II temel ve tasarım esasları yapı elemanları.* İzmir: Makine Mühendisleri Odası.

Malzeme özellikleri. (b.t). 5 Nisan 2016, http://www.ok-las.com/malzeme.php.

MEGEP, (2011). *Elektrik elektronik teknolojisi kontaktör, röle, koruyucu elemanlar ve montajı*. 28 Kasım 2016, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kontakt%C3%B6r,%20R%C3%B6le,%20Koruyucu%20Elemanlar%20Ve%20Montaj%C4%B1.pdf

MEGEP, (2013). ***E****lektrik elektronik teknolojisi butonlar, ölçüm cihazları ve montajı.* 18 Ekim 2016, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Butonlar,%20%C3%96l%C3%A7%C3%BCm%20Cihazlar%C4%B1%20Ve%20Montaj%C4%B1.pdf.

MEGEP, (2013). *Motorlu araçlar teknolojisi fren sistemleri.* 15 Ekim 2016, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Fren%20Sistemleri.pdf.

Mizutani, S.(1988). *Car electronics.* Tokyo: Alca

Möküççü, M. S. ve Beyazoğlu, E. (2014). Elektrikli araç motoru için elektromanyetik ve ısıl tümleşik analizleri. *Figes İleri Mühendislik ve Arge Teknolojileri Dergisi, 2* (5), 22-28.

Özdemir, A. (2014). *Elektrik motorları ve sürücüleri* (1.baskı).İstanbul: Birsen Yayınevi.

Özgenel, M. C. (2003). *Kalıcı mıknatıslı senkron motorun vektörel kontrol tekniği ile denetimi.* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

PCI-1711/1711L 100 KS/s, 12-bit, 16-ch S.E. Inputs low-cost multifunction card. (b.t). 22 Aralık 2015, https://www.advantech.com/products.

Proximity Sensors. (b.t). 05 Kasım 2015, https://www.sick.com/media/dox/8/18/618/Product_catalog_Proximity_Sensors_en_IM0048618.PDF

RS232 ve RS485 nedir, nasıl çalışır? (2012). 04 Kasım 2015, http://www.tekniktrend.com/rs232-rs485-nasil-calisir/

Sandalow D. B.(2009). *Plug-in electic vehicles.* Washington: Brooking Institution Yayınevi

Semerci, S.(2015). *Tosyalı makine teknik bilgi kataloğu.* 05 Şubat 2016, http://www.tosyalimakina.com/pdf/a4-k2.pdf

Swardt, H. (2007). *The locked rotor test explained.*15 Mart 2016, http://www.mandc.co.za/pdfs/Locked_rotor_test_explained.pdf

Torque transducers & torque sensors explained. (b.t). 11 Nisan 2015, http://www.appmeas.co.uk/torque-transducers-and-torque-sensors.html

User Guide NI Usb-6008/6009 Bus-Powered Multifunction DAQ Usb Device (b.t). 22 Aralık 2015**,** https://www.ni.com/manuals

Wong, J.Y.(1978). *Theory of Ground Vehicles.* New York: John Wiley & Sons

Yataklı rulmanlar. (b.t). 16 Şubat 2016, http://www.ozevren.com//urun.asp?id=142&tr-yatakli-rulmanlar

25W single output switching power supply NES-25 series. (b.t). 03 Ocak 2016, https://www.meanwell.com

EKLER

EK-1: Alınan Veriler ve Hesaplamalar

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/ Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
1	1,07919	111,487	16,405							
2	1,46097	108,723	37,132	16,458	157,159		95,867		0,000	
3	1,7024	108,822	32,779	26,025	248,519	39,627	151,597	45,230	72,368	15,875
4	1,89637	109,612	30,707	32,393	309,326	32,828	188,689	39,546	63,274	19,759
5	2,13647	109,217	33,609	41,000	391,521	35,849	238,828	36,221	57,954	25,010
6	2,27304	107,934	32,365	46,007	439,335	36,663	267,994	33,862	54,180	28,064
7	2,39932	106,750	33,401	49,756	475,135	29,687	289,832	32,033	51,252	30,351
8	2,51741	108,921	30,292	53,207	508,087	29,222	309,933	30,538	48,860	32,456
9	2,62899	106,849	32,365	56,311	537,731	27,821	328,016	29,274	46,838	34,350
10	2,73476	109,118	31,536	59,404	567,269	29,245	346,034	28,179	45,086	36,237
11	2,8364	108,427	30,914	61,818	590,319	23,749	360,094	27,213	43,540	37,709
12	2,93405	106,750	32,779	64,344	614,439	25,867	374,808	26,349	42,158	39,250
13	3,02148	108,921	34,645	70,000	668,451	64,692	407,755	25,567	40,908	42,700
14	3,11031	109,217	30,499	70,733	675,447	8,248	412,023	24,854	39,766	43,147
15	3,19669	106,849	31,536	72,739	694,605	23,225	423,709	24,197	38,716	44,371
16	3,28111	106,651	32,987	74,428	710,732	20,005	433,547	23,590	37,744	45,401
17	3,3635	108,329	31,121	76,262	728,244	22,258	444,229	23,024	36,838	46,520
18	3,44407	109,316	32,572	77,984	744,694	21,381	454,263	22,495	35,992	47,570
19	3,5231	109,414	32,365	79,504	759,205	19,228	463,115	21,998	35,196	48,497
20	3,60059	108,921	30,914	81,084	774,293	20,390	472,319	21,529	34,446	49,461
21	3,67682	107,539	30,914	82,424	787,092	17,581	480,126	21,086	33,737	50,279
22	3,75158	106,947	30,914	84,045	802,568	21,679	489,567	20,665	33,064	51,267
23	3,82522	106,651	31,743	85,323	814,775	17,358	497,012	20,265	32,424	52,047
24	3,89767	107,638	31,743	86,724	828,157	19,344	505,176	19,883	31,814	52,902
25	3,96907	109,414	30,914	88,000	840,336	17,862	512,605	19,519	31,230	53,680
26	4,0327	109,612	33,609	90,000	859,437	31,435	524,256	19,170	30,672	54,900
27	4,10123	109,513	31,950	91,685	875,529	24,590	534,073	18,835	30,136	55,928
28	4,16892	108,723	31,743	92,823	886,394	16,809	540,700	18,514	29,622	56,622
29	4,23577	107,441	30,914	93,989	897,532	17,447	547,494	18,204	29,127	57,333
30	4,30192	106,355	35,059	94,984	907,029	15,035	553,288	17,906	28,649	57,940
31	4,36723	105,862	34,852	96,206	918,695	18,706	560,404	17,618	28,189	58,685
32	4,43205	107,243	32,987	96,933	925,640	11,220	564,641	17,340	27,744	59,129
33	4,49603	107,145	32,572	98,205	937,793	19,891	572,054	17,071	27,314	59,905
34	4,55931	107,638	32,158	99,292	948,167	17,167	578,382	16,811	26,898	60,568

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
35	4,62203	108,822	31,121	100,178	956,633	14,135	583,546	16,559	26,494	61,109
36	4,68419	109,020	33,609	101,081	965,251	14,519	588,803	16,314	26,102	61,659
37	4,74572	109,414	33,816	102,116	975,134	16,820	594,832	16,076	25,722	62,291
38	4,80669	110,006	32,158	103,054	984,091	15,383	600,295	15,845	25,352	62,863
39	4,86724	110,204	30,914	103,769	990,917	11,806	604,459	15,620	24,993	63,299
40	4,92709	110,302	30,085	104,982	1002,506	20,278	611,529	15,402	24,643	64,039
41	5,02397	108,131	30,914	106,000	1012,225	10,506	617,458	15,189	24,302	64,660
42	5,08214	107,638	31,743	108,014	1031,460	34,626	629,190	14,981	23,970	65,889
43	5,13982	107,046	31,950	108,932	1040,222	15,908	634,535	14,779	23,646	66,448
44	5,19694	106,750	32,779	110,000	1050,420	18,697	640,756	14,581	23,330	67,100
45	5,25378	106,256	33,816	110,542	1055,595	9,533	643,913	14,388	23,021	67,430
46	5,3102	106,849	30,707	111,365	1063,453	14,585	648,706	14,200	22,719	67,932
47	5,36627	105,862	33,816	112,060	1070,091	12,398	652,755	14,015	22,425	68,356
48	5,42192	106,750	33,609	112,905	1078,167	15,197	657,682	13,835	22,136	68,872
49	5,47722	106,750	30,707	113,620	1084,991	12,922	661,844	13,659	21,854	69,308
50	5,53217	107,046	32,572	114,344	1091,902	13,170	666,060	13,486	21,578	69,750
51	5,58677	107,539	31,950	115,077	1098,901	13,424	670,330	13,317	21,307	70,197
52	5,64109	108,822	29,878	115,670	1104,566	10,920	673,785	13,151	21,042	70,559
53	5,69499	108,822	31,950	116,571	1113,173	16,722	679,035	12,989	20,782	71,108
54	5,74868	109,612	30,499	117,027	1117,527	8,492	681,691	12,830	20,528	71,387
55	5,80188	109,217	32,779	118,105	1127,820	20,261	687,970	12,674	20,278	72,044
56	5,85501	109,513	32,779	118,261	1129,305	2,929	688,876	12,520	20,033	72,139
57	5,90772	109,710	31,536	119,203	1138,304	17,877	694,365	12,370	19,792	72,714
58	5,96022	109,513	34,438	119,680	1142,857	9,082	697,143	12,222	19,555	73,005
59	5,98829	109,710	33,609	120,000	1145,916	11,410	699,009	12,077	19,323	73,200
60	6,03995	110,105	32,158	121,626	1161,440	31,470	708,479	11,934	19,095	74,192
61	6,09133	110,500	31,743	122,289	1167,770	12,900	712,339	11,794	18,871	74,596
62	6,14243	109,710	32,365	122,959	1174,168	13,113	716,243	11,656	18,650	75,005
63	6,19339	110,006	33,194	123,296	1177,394	6,629	718,210	11,521	18,433	75,211
64	6,244	109,908	31,121	124,149	1185,536	16,848	723,177	11,387	18,220	75,731
65	6,29433	110,105	32,572	124,840	1192,132	13,723	727,200	11,256	18,010	76,152
66	6,34459	110,598	28,634	125,014	1193,792	3,459	728,213	11,127	17,803	76,258
67	6,39457	110,006	31,328	125,714	1200,480	14,013	732,293	11,000	17,600	76,686
68	6,44427	110,204	31,121	126,422	1207,243	14,250	736,419	10,875	17,400	77,118
69	6,49383	110,302	29,256	126,779	1210,654	7,206	738,499	10,752	17,202	77,335
70	6,54318	109,908	31,536	127,319	1215,805	10,932	741,641	10,630	17,008	77,664
71	6,59232	109,710	30,707	127,863	1221,001	11,072	744,811	10,510	16,817	77,996
72	6,64125	109,710	29,878	128,412	1226,242	11,215	748,007	10,392	16,628	78,331
73	6,69004	109,118	31,743	128,780	1229,760	7,552	750,154	10,276	16,442	78,556
74	6,73855	109,513	29,463	129,524	1236,858	15,323	754,484	10,161	16,258	79,009

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
75	6,78699	108,723	30,914	129,711	1238,646	3,864	755,574	10,048	16,077	79,124
76	6,83508	108,822	30,707	130,655	1247,661	19,631	761,073	9,937	15,899	79,699
77	6,8831	108,921	29,670	130,845	1249,479	3,966	762,182	9,827	15,723	79,816
78	6,93098	108,625	30,914	131,228	1253,133	7,991	764,411	9,718	15,549	80,049
79	6,99713	108,329	31,121	132,000	1260,507	11,674	768,909	9,611	15,377	80,520
80	7,04424	109,020	28,427	133,373	1273,615	29,137	776,905	9,505	15,208	81,357
81	7,09121	109,020	29,878	133,770	1277,411	8,464	779,221	9,401	15,041	81,600
82	7,13804	109,414	28,427	134,170	1281,230	8,540	781,550	9,297	14,876	81,844
83	7,18466	109,710	26,976	134,774	1287,001	12,964	785,071	9,196	14,713	82,212
84	7,23121	109,414	29,463	134,977	1288,937	4,354	786,251	9,095	14,552	82,336
85	7,27755	110,697	26,561	135,589	1294,778	13,200	789,814	8,996	14,393	82,709
86	7,32375	110,500	27,183	136,000	1298,701	8,893	792,208	8,897	14,236	82,960
87	7,36988	110,697	28,427	136,206	1300,672	4,474	793,410	8,800	14,080	83,086
88	7,4158	111,191	26,354	136,829	1306,620	13,565	797,038	8,704	13,927	83,466
89	7,46165	111,684	25,939	137,038	1308,615	4,556	798,255	8,610	13,775	83,593
90	7,50736	111,092	26,354	137,458	1312,623	9,182	800,700	8,516	13,625	83,849
91	7,55286	111,585	23,867	138,092	1318,681	13,943	804,396	8,423	13,477	84,236
92	7,59836	111,487	27,598	138,092	1318,681	0,000	804,396	8,332	13,330	84,236
93	7,64372	112,177	23,452	138,518	1322,751	9,396	806,878	8,241	13,186	84,496
94	7,68901	111,585	25,939	138,732	1324,796	4,727	808,125	8,151	13,042	84,627
95	7,73416	111,388	25,939	139,162	1328,904	9,528	810,631	8,063	12,900	84,889
96	7,77917	111,881	22,001	139,595	1333,037	9,617	813,153	7,975	12,760	85,153
97	7,82411	111,289	22,416	139,813	1335,113	4,838	814,419	7,888	12,621	85,286
98	7,86898	111,191	20,965	140,031	1337,196	4,861	815,690	7,802	12,484	85,419
99	7,91378	110,796	19,721	140,250	1339,286	4,884	816,964	7,717	12,348	85,552
100	7,95844	108,921	23,452	140,689	1343,484	9,844	819,525	7,633	12,213	85,820
101	8,01458	109,217	20,136	140,700	1343,586	0,190	819,587	7,550	12,080	85,827
102	8,05889	109,710	18,063	141,801	1354,096	24,839	825,999	7,468	11,948	86,498
103	8,1032	109,612	20,757	141,801	1354,096	0,000	825,999	7,386	11,818	86,498
104	8,14737	110,302	19,099	142,250	1358,388	10,175	828,617	7,305	11,688	86,773
105	8,19154	111,783	17,856	142,250	1358,388	0,000	828,617	7,225	11,560	86,773
106	8,23564	112,177	22,208	142,476	1360,544	5,120	829,932	7,146	11,434	86,910
107	8,27967	113,559	17,648	142,702	1362,707	5,144	831,251	7,068	11,308	87,048
108	8,32356	113,263	18,892	143,158	1367,054	10,371	833,903	6,990	11,184	87,326
109	8,36745	112,967	19,514	143,158	1367,054	0,000	833,903	6,913	11,060	87,326
110	8,41127	112,967	16,819	143,386	1369,238	5,219	835,235	6,837	10,938	87,466
111	8,45502	112,079	18,477	143,616	1371,429	5,244	836,571	6,761	10,818	87,606
112	8,49877	111,980	15,368	143,616	1371,429	0,000	836,571	6,686	10,698	87,606
113	8,54245	110,598	17,234	143,846	1373,626	5,269	837,912	6,612	10,579	87,746
114	8,58606	109,316	19,721	144,077	1375,831	5,294	839,257	6,538	10,461	87,887

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
115	8,6296	110,204	14,125	144,308	1378,043	5,320	840,606	6,465	10,345	88,028
116	8,67307	109,612	19,099	144,541	1380,262	5,346	841,960	6,393	10,229	88,170
117	8,71654	110,302	18,477	144,541	1380,262	0,000	841,960	6,322	10,114	88,170
118	8,75994	111,684	15,161	144,774	1382,488	5,372	843,318	6,251	10,001	88,312
119	8,80327	111,980	22,001	145,008	1384,722	5,398	844,680	6,180	9,888	88,455
120	8,8466	114,250	15,368	145,008	1384,722	0,000	844,680	6,110	9,777	88,455
121	8,88986	114,052	16,197	145,242	1386,963	5,424	846,047	6,041	9,666	88,598
122	8,93305	113,362	18,477	145,478	1389,210	5,450	847,418	5,973	9,556	88,741
123	8,98639	111,684	12,881	145,500	1389,423	0,417	847,548	5,905	9,447	88,755
124	9,02944	110,006	14,954	145,951	1393,728	10,473	850,174	5,837	9,339	89,030
125	9,07242	109,316	19,099	146,189	1395,998	5,531	851,559	5,770	9,232	89,175
126	9,1154	110,401	15,368	146,189	1395,998	0,000	851,559	5,704	9,126	89,175
127	9,15838	110,894	15,990	146,189	1395,998	0,000	851,559	5,638	9,021	89,175
128	9,20129	112,079	15,576	146,427	1398,275	5,558	852,948	5,572	8,916	89,321
129	9,24413	114,052	14,332	146,666	1400,560	5,585	854,342	5,508	8,812	89,466
130	9,2869	113,559	18,270	146,906	1402,852	5,612	855,740	5,443	8,709	89,613
131	9,32974	113,756	16,405	146,666	1400,560	-5,603	854,342	5,380	8,607	89,466
132	9,37251	113,362	15,576	146,906	1402,852	5,612	855,740	5,316	8,506	89,613
133	9,41521	112,177	17,234	147,147	1405,152	5,640	857,143	5,253	8,405	89,760
134	9,45791	111,092	13,503	147,147	1405,152	0,000	857,143	5,191	8,306	89,760
135	9,50061	110,105	14,539	147,147	1405,152	0,000	857,143	5,129	8,207	89,760
136	9,54324	110,204	15,576	147,389	1407,460	5,668	858,550	5,068	8,108	89,907
137	9,58587	110,796	14,539	147,389	1407,460	0,000	858,550	5,007	8,011	89,907
138	9,62843	110,796	18,477	147,631	1409,774	5,696	859,962	4,946	7,914	90,055
139	9,67099	113,756	11,845	147,631	1409,774	0,000	859,962	4,886	7,818	90,055
140	9,71348	114,447	14,125	147,874	1412,097	5,724	861,379	4,827	7,722	90,203
141	9,75597	114,348	15,161	147,874	1412,097	0,000	861,379	4,767	7,628	90,203
142	9,79846	114,447	12,674	147,874	1412,097	0,000	861,379	4,709	7,534	90,203
143	9,84088	113,164	14,332	148,118	1414,427	5,752	862,801	4,650	7,440	90,352
144	9,8833	112,276	11,430	148,118	1414,427	0,000	862,801	4,592	7,348	90,352
145	9,92572	110,894	12,466	148,118	1414,427	0,000	862,801	4,535	7,255	90,352
146	9,97444	112,276	11,845	148,300	1416,161	3,726	863,858	4,478	7,164	90,463
147	10,01672	113,954	13,917	148,609	1419,111	7,307	865,658	4,421	7,073	90,651
148	10,059	115,236	11,430	148,609	1419,111	0,000	865,658	4,364	6,983	90,651
149	10,10128	113,954	17,234	148,609	1419,111	0,000	865,658	4,308	6,894	90,651
150	10,14349	114,052	12,881	148,855	1421,464	5,839	867,093	4,253	6,805	90,802
151	10,1857	113,164	11,430	148,855	1421,464	0,000	867,093	4,198	6,716	90,802
152	10,22791	110,500	15,990	148,855	1421,464	0,000	867,093	4,143	6,628	90,802
153	10,27012	110,993	10,601	148,855	1421,464	0,000	867,093	4,088	6,541	90,802
154	10,31226	110,401	15,576	149,103	1423,825	5,868	868,533	4,034	6,455	90,953

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
155	10,3544	111,881	12,052	149,103	1423,825	0,000	868,533	3,980	6,369	90,953
156	10,39654	113,263	10,601	149,103	1423,825	0,000	868,533	3,927	6,283	90,953
157	10,43861	114,250	15,990	149,351	1426,194	5,897	869,979	3,874	6,198	91,104
158	10,48075	115,533	10,601	149,103	1423,825	-5,887	868,533	3,821	6,114	90,953
159	10,52282	114,644	12,259	149,351	1426,194	5,897	869,979	3,769	6,030	91,104
160	10,56489	113,756	14,125	149,351	1426,194	0,000	869,979	3,717	5,947	91,104
161	10,60689	112,671	9,357	149,600	1428,571	5,927	871,429	3,665	5,864	91,256
162	10,64896	111,289	9,772	149,351	1426,194	-5,917	869,979	3,614	5,782	91,104
163	10,69096	111,585	9,357	149,600	1428,571	5,927	871,429	3,562	5,700	91,256
164	10,73296	111,783	11,223	149,600	1428,571	0,000	871,429	3,512	5,619	91,256
165	10,77496	112,079	15,576	149,600	1428,571	0,000	871,429	3,461	5,538	91,256
166	10,81689	115,138	9,772	149,849	1430,956	5,956	872,883	3,411	5,458	91,408
167	10,85889	115,335	11,637	149,600	1428,571	-5,946	871,429	3,361	5,378	91,256
168	10,90082	114,842	12,259	149,849	1430,956	5,956	872,883	3,312	5,299	91,408
169	10,94275	114,447	9,565	149,849	1430,956	0,000	872,883	3,262	5,220	91,408
170	10,99259	111,191	10,186	150,000	1432,394	3,022	873,761	3,213	5,142	91,500
171	11,03445	110,894	14,539	150,100	1433,349	2,389	874,343	3,165	5,064	91,561
172	11,07631	112,868	10,394	150,100	1433,349	0,000	874,343	3,116	4,986	91,561
173	11,11824	114,447	13,088	149,849	1430,956	-5,976	872,883	3,068	4,909	91,408
174	11,16003	115,335	10,601	150,351	1435,750	12,013	875,808	3,021	4,833	91,714
175	11,20189	114,940	10,601	150,100	1433,349	-6,006	874,343	2,973	4,757	91,561
176	11,24375	113,954	13,503	150,100	1433,349	0,000	874,343	2,926	4,681	91,561
177	11,28554	113,065	9,150	150,351	1435,750	6,016	875,808	2,879	4,606	91,714
178	11,32733	110,796	12,466	150,351	1435,750	0,000	875,808	2,832	4,531	91,714
179	11,36912	111,684	9,979	150,351	1435,750	0,000	875,808	2,786	4,457	91,714
180	11,41091	112,079	10,808	150,351	1435,750	0,000	875,808	2,739	4,383	91,714
181	11,4527	113,065	11,015	150,351	1435,750	0,000	875,808	2,693	4,309	91,714
182	11,49442	115,138	11,430	150,604	1438,159	6,047	877,277	2,648	4,236	91,868
183	11,53621	115,434	10,808	150,351	1435,750	-6,037	875,808	2,602	4,164	91,714
184	11,57793	114,348	13,710	150,604	1438,159	6,047	877,277	2,557	4,091	91,868
185	11,61965	113,954	8,528	150,604	1438,159	0,000	877,277	2,512	4,020	91,868
186	11,66144	112,177	10,808	150,351	1435,750	-6,037	875,808	2,468	3,948	91,714
187	11,70316	111,191	11,430	150,604	1438,159	6,047	877,277	2,423	3,877	91,868
188	11,74488	111,684	9,979	150,604	1438,159	0,000	877,277	2,379	3,806	91,868
189	11,78653	111,585	13,917	150,857	1440,576	6,077	878,752	2,335	3,736	92,023
190	11,82825	114,250	9,565	150,604	1438,159	-6,067	877,277	2,291	3,666	91,868
191	11,86997	115,533	10,601	150,604	1438,159	0,000	877,277	2,248	3,596	91,868
192	11,91162	114,250	14,332	150,857	1440,576	6,077	878,752	2,204	3,527	92,023
193	11,95936	111,881	8,321	150,857	1440,576	0,000	878,752	2,161	3,458	92,023
194	12,00101	111,388	10,394	150,857	1440,576	0,000	878,752	2,119	3,390	92,023

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
195	12,04266	111,487	12,881	150,857	1440,576	0,000	878,752	2,076	3,322	92,023
196	12,08431	113,164	8,943	150,857	1440,576	0,000	878,752	2,034	3,254	92,023
197	12,12596	114,546	12,259	150,857	1440,576	0,000	878,752	1,991	3,186	92,023
198	12,16761	115,236	12,052	150,857	1440,576	0,000	878,752	1,949	3,119	92,023
199	12,20926	115,236	10,394	150,857	1440,576	0,000	878,752	1,908	3,052	92,023
200	12,25084	113,658	12,881	151,111	1443,001	6,108	880,231	1,866	2,986	92,178
201	12,29249	112,671	8,321	150,857	1440,576	-6,098	878,752	1,825	2,920	92,023
202	12,33407	111,191	10,394	151,111	1443,001	6,108	880,231	1,784	2,854	92,178
203	12,37572	110,993	13,088	150,857	1440,576	-6,098	878,752	1,743	2,789	92,023
204	12,41737	112,671	9,565	150,857	1440,576	0,000	878,752	1,702	2,724	92,023
205	12,45895	113,855	10,186	151,111	1443,001	6,108	880,231	1,662	2,659	92,178
206	12,50053	116,125	8,528	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,621	2,594	92,178
207	12,54211	115,236	9,979	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,581	2,530	92,178
208	12,58376	114,151	13,917	150,857	1440,576	-6,098	878,752	1,541	2,466	92,023
209	12,62534	113,855	8,943	151,111	1443,001	6,108	880,231	1,502	2,403	92,178
210	12,66692	111,783	8,528	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,462	2,340	92,178
211	12,7085	111,980	7,906	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,423	2,277	92,178
212	12,75008	112,375	8,943	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,384	2,214	92,178
213	12,79166	112,967	11,223	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,345	2,152	92,178
214	12,83324	115,434	10,186	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,306	2,090	92,178
215	12,87475	115,434	10,186	151,366	1445,435	6,139	881,715	1,267	2,028	92,333
216	12,91633	114,348	12,881	151,111	1443,001	-6,129	880,231	1,229	1,966	92,178
217	12,96561	111,191	11,845	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,191	1,905	92,178
218	13,00719	111,980	8,943	151,111	1443,001	0,000	880,231	1,153	1,844	92,178
219	13,0487	112,375	11,637	151,366	1445,435	6,139	881,715	1,115	1,784	92,333
220	13,09028	115,335	7,077	151,111	1443,001	-6,129	880,231	1,077	1,723	92,178
221	13,13179	116,026	8,735	151,366	1445,435	6,139	881,715	1,040	1,663	92,333
222	13,1733	114,546	10,808	151,366	1445,435	0,000	881,715	1,002	1,604	92,333
223	13,21488	114,743	8,528	151,111	1443,001	-6,129	880,231	0,965	1,544	92,178
224	13,25639	112,671	11,015	151,366	1445,435	6,139	881,715	0,928	1,485	92,333
225	13,29797	111,388	10,394	151,111	1443,001	-6,129	880,231	0,891	1,426	92,178
226	13,33948	111,881	8,735	151,366	1445,435	6,139	881,715	0,855	1,367	92,333
227	13,38099	112,276	11,223	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,818	1,309	92,333
228	13,4225	114,348	8,528	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,782	1,251	92,333
229	13,46408	115,335	12,052	151,111	1443,001	-6,129	880,231	0,745	1,193	92,178
230	13,50559	115,138	12,674	151,366	1445,435	6,139	881,715	0,709	1,135	92,333
231	13,5471	114,842	10,808	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,673	1,078	92,333
232	13,58861	113,362	12,674	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,638	1,020	92,333
233	13,63012	111,783	8,321	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,602	0,963	92,333
234	13,67163	111,487	9,979	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,567	0,907	92,333

	Time*	Gerilim	Akım	Hız (rad/san)	Tambur hızı (devir/dakika)	Tambur İvmesi (rad/s^2)	Motor Hızı (Devir/ Dakika)	Tambur İvme (rad/san^2)	Tambur Tork (N.m)	Motor hızı(rad/san)
235	13,71314	112,079	11,430	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,531	0,850	92,333
236	13,75465	113,559	8,943	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,496	0,794	92,333
237	13,79609	114,940	11,637	151,621	1447,876	6,170	883,205	0,461	0,738	92,489
238	13,8376	115,533	9,565	151,366	1445,435	-6,160	881,715	0,427	0,683	92,333
239	13,87911	115,236	8,321	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,392	0,627	92,333
240	13,92062	114,644	9,150	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,357	0,572	92,333
241	13,96836	111,783	11,223	151,380	1445,573	0,302	881,799	0,323	0,517	92,342
242	14,0098	113,164	8,528	151,621	1447,876	5,822	883,205	0,289	0,462	92,489
243	14,05131	114,842	11,015	151,366	1445,435	-6,160	881,715	0,255	0,407	92,333
244	14,09282	116,125	8,943	151,366	1445,435	0,000	881,715	0,221	0,353	92,333
245	14,13426	115,335	9,772	151,621	1447,876	6,170	883,205	0,187	0,299	92,489
246	14,17577	113,954	12,881	151,366	1445,435	-6,160	881,715	0,153	0,245	92,333
247	14,21721	112,671	7,906	151,621	1447,876	6,170	883,205	0,120	0,191	92,489

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
1										
2										
3	65,755	31,250	16,250	1883,368	3567,126	257,972	60,030	886,180	151,597	938,59
4	20,025	27,140	14,113	2049,604	3365,805	278,858	69,180	773,865	188,689	934,48
5	21,868	24,735	12,862	2376,122	3670,616	321,687	73,497	708,165	238,828	930,37
6	22,364	23,029	11,975	2492,655	3493,269	336,076	80,977	661,550	267,994	926,26
7	18,109	21,706	11,287	2550,102	3565,576	342,578	81,128	625,393	289,832	922,15
8	17,825	20,625	10,725	2599,688	3299,441	348,090	89,342	595,850	309,933	918,04
9	16,971	19,711	10,250	2637,477	3458,137	352,071	86,450	570,873	328,016	913,93
10	17,839	18,919	9,838	2678,283	3441,125	356,489	88,191	549,236	346,034	909,82
11	14,487	18,220	9,475	2691,583	3351,918	357,279	90,959	530,151	360,094	905,71
12	15,779	17,596	9,150	2712,617	3499,196	359,126	87,784	513,078	374,808	901,6
13	39,462	17,030	8,856	2863,533	3773,550	378,145	85,905	497,635	407,755	897,49
14	5,031	16,515	8,588	2812,758	3331,047	370,526	95,564	483,536	412,023	893,38
15	14,167	16,040	8,341	2816,149	3369,549	370,084	94,560	470,566	423,709	889,27
16	12,203	15,600	8,112	2809,166	3518,068	368,301	90,319	458,558	433,547	885,16
17	13,577	15,191	7,899	2809,350	3371,321	367,479	94,231	447,378	444,229	881,05
18	13,042	14,809	7,700	2806,778	3560,641	366,313	89,116	436,921	454,263	876,94
19	11,729	14,449	7,514	2798,235	3541,176	364,385	89,310	427,097	463,115	872,83
20	12,438	14,110	7,337	2793,039	3367,171	362,909	93,727	417,836	472,319	868,72
21	10,725	13,789	7,171	2780,737	3324,462	360,525	94,489	409,075	480,126	864,61

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
22	13,224	13,485	7,012	2778,855	3306,158	359,505	94,925	400,764	489,567	860,5
23	10,588	13,196	6,862	2766,501	3385,431	357,142	92,267	392,858	497,012	856,39
24	11,800	12,920	6,718	2759,010	3416,755	355,419	91,152	385,320	505,176	852,28
25	10,896	12,657	6,581	2748,261	3382,424	353,288	91,696	378,117	512,605	848,17
26	19,175	12,404	6,450	2760,474	3683,883	354,113	84,546	371,221	524,256	844,06
27	15,000	12,162	6,324	2763,057	3498,971	353,704	89,076	364,606	534,073	839,95
28	10,253	11,929	6,203	2749,580	3451,212	351,245	89,847	358,251	540,700	835,84
29	10,643	11,706	6,087	2737,591	3321,411	348,986	92,930	352,136	547,494	831,73
30	9,172	11,490	5,975	2721,239	3728,750	346,182	82,264	346,243	553,288	827,62
31	11,410	11,282	5,867	2711,946	3689,509	344,284	82,836	340,557	560,404	823,51
32	6,844	11,081	5,762	2689,332	3537,599	340,705	85,652	335,064	564,641	819,4
33	12,134	10,886	5,661	2682,393	3489,927	339,122	86,578	329,750	572,054	815,29
34	10,472	10,698	5,563	2670,706	3461,377	336,943	86,892	324,606	578,382	811,18
35	8,622	10,516	5,468	2654,107	3386,676	334,153	88,236	319,620	583,546	807,07
36	8,857	10,339	5,376	2638,427	3663,983	331,488	81,057	314,783	588,803	802,96
37	10,260	10,167	5,287	2626,606	3699,928	329,314	79,891	310,086	594,832	798,85
38	9,384	10,000	5,200	2612,642	3537,537	326,878	83,095	305,521	600,295	794,74
39	7,201	9,837	5,115	2593,462	3406,829	323,797	85,630	301,081	604,459	790,63
40	12,370	9,679	5,033	2587,063	3318,428	322,318	87,673	296,760	611,529	786,52
41	6,408	9,525	4,953	2576,020	3342,766	320,264	86,643	292,551	617,458	782,41
42	21,122	9,375	4,875	2589,089	3416,755	321,205	85,177	288,449	629,190	778,3
43	9,704	9,229	4,799	2575,794	3420,149	318,874	84,636	284,448	634,535	774,19
44	11,405	9,086	4,725	2566,269	3499,196	317,015	82,398	280,543	640,756	770,08
45	5,815	8,946	4,652	2544,785	3593,144	313,684	79,553	276,730	643,913	765,97
46	8,897	8,810	4,581	2530,138	3280,960	311,203	86,601	273,005	648,706	761,86
47	7,563	8,676	4,512	2512,892	3579,796	308,409	78,812	269,364	652,755	757,75
48	9,270	8,546	4,444	2499,299	3587,703	306,069	78,194	265,802	657,682	753,64
49	7,882	8,419	4,378	2483,058	3277,930	303,409	85,007	262,317	661,844	749,53
50	8,034	8,294	4,313	2467,290	3486,713	300,814	79,390	258,906	666,060	745,42
51	8,189	8,172	4,249	2451,975	3435,913	298,279	80,044	255,565	670,330	741,31
52	6,661	8,052	4,187	2433,954	3251,339	295,421	83,946	252,291	673,785	737,2
53	10,201	7,934	4,126	2422,634	3476,901	293,381	78,116	249,083	679,035	733,09
54	5,180	7,819	4,066	2402,295	3343,086	290,254	80,541	245,936	681,691	728,98
55	12,359	7,706	4,007	2394,906	3580,064	288,695	74,960	242,850	687,970	724,87
56	1,787	7,595	3,950	2369,059	3589,769	284,918	73,932	239,821	688,876	720,76
57	10,905	7,487	3,893	2359,239	3459,797	283,074	76,372	236,848	694,365	716,65
58	5,540	7,380	3,837	2340,383	3771,363	280,150	69,485	233,928	697,143	712,54
59	6,960	7,275	3,783	2318,780	3687,199	276,904	70,397	231,060	699,009	708,43
60	19,197	7,172	3,729	2322,442	3540,711	276,677	73,407	228,242	708,479	704,32
61	7,869	7,070	3,677	2307,671	3507,596	274,253	73,609	225,472	712,339	700,21

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
62	7,999	6,971	3,625	2293,203	3550,758	271,868	72,240	222,749	716,243	696,1
63	4,044	6,873	3,574	2272,764	3651,545	268,782	69,602	220,070	718,210	691,99
64	10,277	6,776	3,524	2261,996	3420,458	266,843	73,933	217,436	723,177	687,88
65	8,371	6,681	3,474	2248,373	3586,355	264,570	70,070	214,843	727,200	683,77
66	2,110	6,588	3,426	2225,674	3166,864	261,236	78,529	212,291	728,213	679,66
67	8,548	6,496	3,378	2212,571	3446,331	259,033	71,717	209,779	732,293	675,55
68	8,693	6,405	3,331	2199,713	3429,672	256,862	71,627	207,305	736,419	671,44
69	4,396	6,316	3,284	2180,914	3226,976	254,001	75,455	204,868	738,499	667,33
70	6,668	6,228	3,239	2165,447	3466,021	251,534	69,734	202,468	741,641	663,22
71	6,754	6,142	3,194	2150,210	3368,836	249,098	71,221	200,102	744,811	659,11
72	6,841	6,056	3,149	2135,197	3277,875	246,691	72,666	197,771	748,007	655
73	4,607	5,972	3,106	2117,357	3463,742	243,963	68,173	195,472	750,154	650,89
74	9,347	5,889	3,062	2105,811	3226,579	241,964	72,764	193,206	754,484	646,78
75	2,357	5,808	3,020	2085,381	3361,069	238,948	69,154	190,971	755,574	642,67
76	11,975	5,727	2,978	2077,236	3341,564	237,344	69,266	188,767	761,073	638,56
77	2,419	5,647	2,937	2057,221	3231,711	234,386	70,910	186,591	762,182	634,45
78	4,874	5,569	2,896	2040,431	3358,019	231,802	67,666	184,445	764,411	630,34
79	7,121	5,491	2,855	2029,800	3371,321	229,920	67,028	182,327	768,909	626,23
80	17,774	5,415	2,816	2028,329	3099,057	229,074	72,842	180,236	776,905	622,12
81	5,163	5,339	2,776	2012,016	3257,236	226,551	68,726	178,172	779,221	618,01
82	5,209	5,265	2,738	1995,889	3110,277	224,054	71,374	176,134	781,550	613,9
83	7,908	5,191	2,699	1982,913	2959,511	221,914	74,500	174,121	785,071	609,79
84	2,656	5,118	2,661	1964,166	3223,672	219,132	67,727	172,133	786,251	605,68
85	8,052	5,046	2,624	1951,504	2940,242	217,034	73,754	170,169	789,814	601,57
86	5,425	4,975	2,587	1936,048	3003,711	214,628	71,601	168,228	792,208	597,46
87	2,729	4,905	2,551	1917,838	3146,745	211,922	67,681	166,311	793,410	593,35
88	8,275	4,836	2,515	1905,612	2930,300	209,881	72,194	164,415	797,038	589,24
89	2,779	4,767	2,479	1887,735	2897,005	207,221	72,315	162,542	798,255	585,13
90	5,601	4,699	2,444	1872,906	2927,699	204,901	70,971	160,690	800,700	581,02
91	8,505	4,632	2,409	1861,078	2663,156	202,911	77,502	158,859	804,396	576,91
92	0,000	4,566	2,374	1840,835	3076,753	200,009	66,331	157,049	804,396	572,8
93	5,732	4,501	2,340	1826,435	2630,784	197,747	76,942	155,258	806,878	568,69
94	2,884	4,436	2,307	1809,365	2894,445	195,201	69,256	153,487	808,125	564,58
95	5,812	4,372	2,273	1795,237	2889,325	192,976	68,812	151,736	810,631	560,47
96	5,866	4,308	2,240	1781,232	2461,510	190,768	80,113	150,003	813,153	556,36
97	2,951	4,246	2,208	1764,596	2494,618	188,282	78,284	148,288	814,419	552,25
98	2,965	4,183	2,175	1748,111	2331,077	185,818	82,963	146,591	815,690	548,14
99	2,979	4,122	2,143	1731,774	2185,010	183,375	87,649	144,912	816,964	544,03
100	6,005	4,061	2,112	1718,271	2554,413	181,235	74,362	143,250	819,525	539,92
101	0,116	4,001	2,080	1699,660	2199,148	178,562	85,407	141,605	819,587	535,81

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
102	15,152	3,941	2,049	1694,257	1981,681	177,278	94,442	139,977	825,999	531,7
103	0,000	3,882	2,019	1675,746	2275,255	174,624	81,326	138,364	825,999	527,59
104	6,207	3,824	1,988	1662,669	2106,690	172,541	87,113	136,768	828,617	523,48
105	0,000	3,766	1,958	1644,461	1995,943	169,931	90,904	135,187	828,617	519,37
106	3,123	3,709	1,929	1629,011	2491,274	167,611	72,117	133,621	829,932	515,26
107	3,138	3,652	1,899	1613,684	2004,121	165,309	88,767	132,071	831,251	511,15
108	6,326	3,596	1,870	1601,028	2139,756	163,284	82,454	130,535	833,903	507,04
109	0,000	3,540	1,841	1583,392	2204,409	160,756	79,121	129,014	833,903	502,93
110	3,183	3,485	1,812	1568,422	1900,011	158,503	90,890	127,506	835,235	498,82
111	3,199	3,430	1,784	1553,565	2070,922	156,267	82,564	126,013	836,571	494,71
112	0,000	3,376	1,756	1536,357	1720,938	153,800	98,211	124,533	836,571	490,6
113	3,214	3,322	1,728	1521,740	1906,026	151,598	87,792	123,067	837,912	486,49
114	3,230	3,269	1,700	1507,229	2155,818	149,411	76,845	121,613	839,257	482,38
115	3,245	3,217	1,673	1492,822	1556,585	147,238	105,36	120,173	840,606	478,27
116	3,261	3,164	1,645	1478,518	2093,497	145,080	77,554	118,745	841,960	474,16
117	0,000	3,113	1,619	1461,956	2038,101	142,705	78,733	117,330	841,960	470,05
118	3,277	3,061	1,592	1447,868	1693,239	140,578	93,811	115,927	843,318	465,94
119	3,293	3,010	1,565	1433,877	2463,681	138,464	63,821	114,536	844,680	461,83
120	0,000	2,960	1,539	1417,685	1755,819	136,142	88,496	113,157	844,680	457,72
121	3,309	2,910	1,513	1403,898	1847,347	134,057	83,252	111,790	846,047	453,61
122	3,325	2,860	1,487	1390,201	2094,626	131,984	72,671	110,434	847,418	449,5
123	0,254	2,811	1,462	1374,572	1438,597	129,733	104,56	109,089	847,548	445,39
124	6,389	2,762	1,436	1363,071	1645,004	127,876	90,635	107,756	850,174	441,28
125	3,374	2,714	1,411	1349,634	2087,843	125,839	70,670	106,433	851,559	437,17
126	0,000	2,666	1,386	1334,103	1696,673	123,613	85,916	105,121	851,559	433,06
127	0,000	2,618	1,361	1318,698	1773,213	121,404	81,214	103,819	851,559	428,95
128	3,390	2,571	1,337	1305,541	1745,686	119,407	81,627	102,528	852,948	424,84
129	3,407	2,524	1,312	1292,463	1634,585	117,422	86,253	101,247	854,342	420,73
130	3,424	2,477	1,288	1279,461	2074,735	115,446	67,233	99,976	855,740	416,62
131	-3,418	2,431	1,264	1262,395	1866,131	113,111	73,709	98,715	854,342	412,51
132	3,424	2,386	1,240	1249,578	1765,667	111,162	77,067	97,464	855,740	408,4
133	3,440	2,340	1,217	1236,833	1933,236	109,223	69,627	96,223	857,143	404,29
134	0,000	2,295	1,193	1222,151	1500,050	107,119	88,615	94,990	857,143	400,18
135	0,000	2,250	1,170	1207,581	1600,835	105,030	81,995	93,767	857,143	396,07
136	3,457	2,206	1,147	1195,079	1716,483	103,125	75,632	92,554	858,550	391,96
137	0,000	2,162	1,124	1180,702	1610,879	101,064	79,569	91,349	858,550	387,85
138	3,474	2,118	1,101	1168,349	2047,218	99,181	61,915	90,153	859,962	383,74
139	0,000	2,075	1,079	1154,159	1347,396	97,147	92,868	88,966	859,962	379,63
140	3,492	2,031	1,056	1141,950	1616,520	95,284	76,537	87,788	861,379	375,52
141	0,000	1,989	1,034	1127,942	1733,634	93,275	70,443	86,618	861,379	371,41

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
142	0,000	1,946	1,012	1114,035	1450,466	91,281	83,099	85,456	861,379	367,3
143	3,509	1,904	0,990	1102,041	1621,857	89,449	73,465	84,303	862,801	363,19
144	0,000	1,862	0,968	1088,308	1283,319	87,480	91,621	83,158	862,801	359,08
145	0,000	1,820	0,947	1074,670	1382,456	85,525	83,923	82,021	862,801	354,97
146	2,273	1,779	0,925	1062,429	1329,863	83,686	86,183	80,891	863,858	350,86
147	4,457	1,738	0,904	1051,149	1585,931	81,926	71,445	79,770	865,658	346,75
148	0,000	1,697	0,883	1037,748	1317,157	80,004	84,861	78,656	865,658	342,64
149	0,000	1,657	0,862	1024,439	1963,848	78,096	56,142	77,550	865,658	338,53
150	3,562	1,617	0,841	1012,898	1469,104	76,328	74,142	76,452	867,093	334,42
151	0,000	1,577	0,820	999,746	1293,471	74,442	83,047	75,361	867,093	330,31
152	0,000	1,537	0,799	986,683	1766,902	72,569	59,950	74,277	867,093	326,2
153	0,000	1,498	0,779	973,706	1176,631	70,709	88,763	73,200	867,093	322,09
154	3,579	1,458	0,758	962,411	1719,557	68,975	59,980	72,130	868,533	317,98
155	0,000	1,420	0,738	949,583	1348,378	67,136	75,403	71,068	868,533	313,87
156	0,000	1,381	0,718	936,839	1200,692	65,309	83,464	70,012	868,533	309,76
157	3,597	1,342	0,698	925,715	1826,863	63,599	54,154	68,964	869,979	305,65
158	-3,591	1,304	0,678	911,597	1224,753	61,690	79,468	67,922	868,533	301,54
159	3,597	1,266	0,659	900,593	1405,441	59,997	68,348	66,886	869,979	297,43
160	0,000	1,229	0,639	888,152	1606,763	58,214	58,899	65,857	869,979	293,32
161	3,615	1,191	0,620	877,249	1054,292	56,535	88,570	64,835	871,429	289,21
162	-3,609	1,154	0,600	863,504	1087,500	54,680	84,431	63,819	869,979	285,1
163	3,615	1,117	0,581	852,714	1044,135	53,018	86,745	62,810	871,429	280,99
164	0,000	1,081	0,562	840,561	1254,510	51,276	71,090	61,806	871,429	276,88
165	0,000	1,044	0,543	828,482	1745,686	49,544	50,297	60,809	871,429	272,77
166	3,633	1,008	0,524	817,841	1125,107	47,903	76,948	59,818	872,883	268,66
167	-3,627	0,972	0,505	804,546	1342,191	46,112	63,378	58,833	871,429	264,55
168	3,633	0,936	0,487	794,010	1407,861	44,486	59,558	57,854	872,883	260,44
169	0,000	0,900	0,468	782,202	1094,635	42,793	75,367	56,881	872,883	256,33
170	1,843	0,865	0,450	771,239	1132,629	41,152	71,726	55,913	873,761	252,22
171	1,457	0,830	0,431	760,066	1612,313	39,503	49,591	54,952	874,343	248,11
172	0,000	0,795	0,413	748,447	1173,113	37,838	67,026	53,996	874,343	244
173	-3,646	0,760	0,395	735,667	1497,910	36,121	51,524	53,045	872,883	239,89
174	7,328	0,725	0,377	726,629	1222,661	34,593	62,260	52,101	875,808	235,78
175	-3,664	0,691	0,359	713,998	1218,476	32,899	61,298	51,161	874,343	231,67
176	0,000	0,657	0,342	702,647	1538,692	31,271	47,698	50,227	874,343	227,56
177	3,670	0,623	0,324	692,520	1034,550	29,703	69,810	49,299	875,808	223,45
178	0,000	0,589	0,306	681,280	1381,226	28,092	51,358	48,375	875,808	219,34
179	0,000	0,555	0,289	670,104	1114,506	26,489	62,502	47,457	875,808	215,23
180	0,000	0,522	0,271	658,990	1211,370	24,896	56,456	46,545	875,808	211,12
181	0,000	0,489	0,254	647,939	1245,471	23,312	53,895	45,637	875,808	207,01

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
182	3,688	0,456	0,237	638,018	1316,029	21,773	50,135	44,734	877,277	202,9
183	-3,682	0,423	0,220	626,021	1247,633	20,169	51,793	43,836	875,808	198,79
184	3,688	0,390	0,203	616,185	1567,723	18,642	40,494	42,944	877,277	194,68
185	0,000	0,358	0,186	605,358	971,817	17,090	64,050	42,056	877,277	190,57
186	-3,682	0,325	0,169	593,594	1212,436	15,520	50,239	41,173	875,808	186,46
187	3,688	0,293	0,153	583,880	1270,912	14,011	47,044	40,294	877,277	182,35
188	0,000	0,261	0,136	573,228	1114,506	12,484	52,554	39,421	877,277	178,24
189	3,707	0,230	0,119	563,579	1552,970	10,983	36,998	38,552	878,752	174,13
190	-3,701	0,198	0,103	552,095	1092,748	9,454	51,389	37,688	877,277	170,02
191	0,000	0,166	0,087	541,613	1224,753	7,951	44,871	36,828	877,277	165,91
192	3,707	0,135	0,070	532,079	1637,414	6,467	32,890	35,973	878,752	161,8
193	0,000	0,104	0,054	521,689	930,954	4,977	56,573	35,123	878,752	157,69
194	0,000	0,073	0,038	511,353	1157,728	3,496	44,471	34,276	878,752	153,58
195	0,000	0,042	0,022	501,072	1436,055	2,022	35,033	33,435	878,752	149,47
196	0,000	0,012	0,006	490,843	1011,997	0,555	48,557	32,597	878,752	145,36
197	0,000	-0,019	-0,010	480,667	1404,232	-0,904	34,166	31,764	878,752	141,25
198	0,000	-0,049	-0,026	470,543	1388,814	-2,355	33,711	30,935	878,752	137,14
199	0,000	-0,079	-0,041	460,470	1197,729	-3,799	38,128	30,111	878,752	133,03
200	3,726	-0,109	-0,057	451,207	1464,019	-5,245	30,462	29,290	880,231	128,92
201	-3,720	-0,139	-0,072	440,478	937,523	-6,666	46,272	28,474	878,752	124,81
202	3,726	-0,169	-0,088	431,282	1155,677	-8,102	36,618	27,662	880,231	120,7
203	-3,720	-0,199	-0,103	420,685	1452,705	-9,503	28,305	26,854	878,752	116,59
204	0,000	-0,228	-0,119	410,863	1077,646	-10,912	37,113	26,050	878,752	112,48
205	3,726	-0,257	-0,134	401,764	1159,770	-12,334	33,578	25,249	880,231	108,37
206	0,000	-0,286	-0,149	392,021	990,332	-13,730	38,198	24,453	880,231	104,26
207	0,000	-0,315	-0,164	382,327	1149,957	-15,120	31,932	23,661	880,231	100,15
208	-3,720	-0,344	-0,179	372,053	1588,678	-16,476	22,382	22,872	878,752	96,04
209	3,726	-0,373	-0,194	363,078	1018,174	-17,880	33,904	22,088	880,231	91,93
210	0,000	-0,402	-0,209	353,524	953,302	-19,250	35,065	21,307	880,231	87,82
211	0,000	-0,430	-0,224	344,015	885,353	-20,613	36,528	20,530	880,231	83,71
212	0,000	-0,458	-0,238	334,552	1004,937	-21,970	31,105	19,756	880,231	79,6
213	0,000	-0,487	-0,253	325,133	1267,799	-23,320	23,806	18,986	880,231	75,49
214	0,000	-0,515	-0,268	315,759	1175,853	-24,664	24,756	18,220	880,231	71,38
215	3,745	-0,542	-0,282	306,946	1175,853	-26,045	23,889	17,458	881,715	67,27
216	-3,738	-0,570	-0,297	297,143	1472,917	-27,333	18,318	16,699	880,231	63,16
217	0,000	-0,598	-0,311	287,901	1317,006	-28,658	19,684	15,943	880,231	59,05
218	0,000	-0,625	-0,325	278,701	1001,407	-29,977	24,837	15,191	880,231	54,94
219	3,745	-0,653	-0,339	269,998	1307,740	-31,343	18,249	14,443	881,715	50,83
220	-3,738	-0,680	-0,354	260,428	816,256	-32,597	27,912	13,698	880,231	46,72
221	3,745	-0,707	-0,368	251,778	1013,539	-33,955	21,491	12,956	881,715	42,61

	Motor ivmesi (rad/s^2)	Doğrultulmuş ivme (rad/s^2)	Motor tork (N.m)	Tambur Güç Mekanik P=T.w	Elektriksel güç P=V.I	Motor Güç (P=Tm.wm)	Verim %	Toplam Tork (N.m)	Motor hızı (dev/dak)	Verim Doğrultulmuş
222	0,000	-0,734	-0,382	242,731	1238,034	-35,252	16,759	12,218	881,715	38,5
223	-3,738	-0,761	-0,396	233,331	978,550	-36,482	20,116	11,483	880,231	34,39
224	3,745	-0,788	-0,410	224,759	1241,123	-37,828	15,061	10,752	881,715	30,28
225	-3,738	-0,815	-0,424	215,470	1157,728	-39,042	15,239	10,024	880,231	26,17
226	3,745	-0,841	-0,437	206,948	977,334	-40,382	17,043	9,299	881,715	22,06
227	0,000	-0,867	-0,451	198,102	1260,047	-41,650	12,416	8,577	881,715	17,95
228	0,000	-0,894	-0,465	189,295	975,183	-42,913	15,011	7,858	881,715	13,84
229	-3,738	-0,920	-0,478	180,223	1390,003	-44,096	9,793	7,143	880,231	9,73
230	3,745	-0,946	-0,492	171,798	1459,221	-45,421	8,661	6,431	881,715	5,62
231	0,000	-0,972	-0,505	163,107	1241,234	-46,667	9,381	5,721	881,715	1,51
232	0,000	-0,998	-0,519	154,453	1436,709	-47,908	7,416	5,015	881,715	-2,6
233	0,000	-1,024	-0,532	145,838	930,133	-49,143	10,396	4,312	881,715	-6,71
234	0,000	-1,049	-0,546	137,259	1112,537	-50,373	7,810	3,612	881,715	-10,82
235	0,000	-1,075	-0,559	128,718	1281,063	-51,598	6,020	2,916	881,715	-14,93
236	0,000	-1,100	-0,572	120,213	1015,527	-52,817	6,637	2,222	881,715	-19,04
237	3,764	-1,125	-0,585	111,933	1337,598	-54,123	4,322	1,531	883,205	-23,15
238	-3,757	-1,151	-0,598	103,311	1105,018	-55,240	4,350	0,843	881,715	-27,26
239	0,000	-1,176	-0,611	94,914	958,872	-56,444	4,012	0,157	881,715	-31,37
240	0,000	-1,201	-0,624	86,552	1048,997	-57,643	2,756	-0,525	881,715	-35,48
241	0,184	-1,225	-0,637	78,233	1254,510	-58,842	1,546	-1,204	881,799	-39,59
242	3,551	-1,250	-0,650	70,052	965,084	-60,127	1,028	-1,881	883,205	-43,7
243	-3,757	-1,275	-0,663	61,676	1265,038	-61,209	0,037	-2,555	881,715	-47,81
244	0,000	-1,299	-0,676	53,453	1038,471	-62,388	-0,860	-3,226	881,715	-51,92
245	3,764	-1,324	-0,688	45,340	1127,036	-63,670	-1,626	-3,894	883,205	-56,03
246	-3,757	-1,348	-0,701	37,108	1467,832	-64,732	-1,882	-4,559	881,715	-60,14
247	3,764	-1,372	-0,714	29,034	890,815	-66,008	-4,150	-5,222	883,205	-64,25
248	-3,757	-1,397	-0,726	20,896	1021,909	-67,056	-4,517	-5,882	881,715	-68,36

EK-2: Motor Sürüş Faz Sıralaması

A FAZI	B FAZI	C FAZI	
1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**1**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

A FAZI	B FAZI	C FAZI	
1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**5**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**2**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**6**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**3**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**7**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**4**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

1	1	0	
1	0	0	
1	0	1	**8**
0	0	1	
0	1	1	
0	1	0	

Motor 3 Faz 8 kutuptan oluşmaktadır. Bir çevrimin tamamlanması için ardı ardına dizili 4 mıknatısa ihtiyaç vardır.