

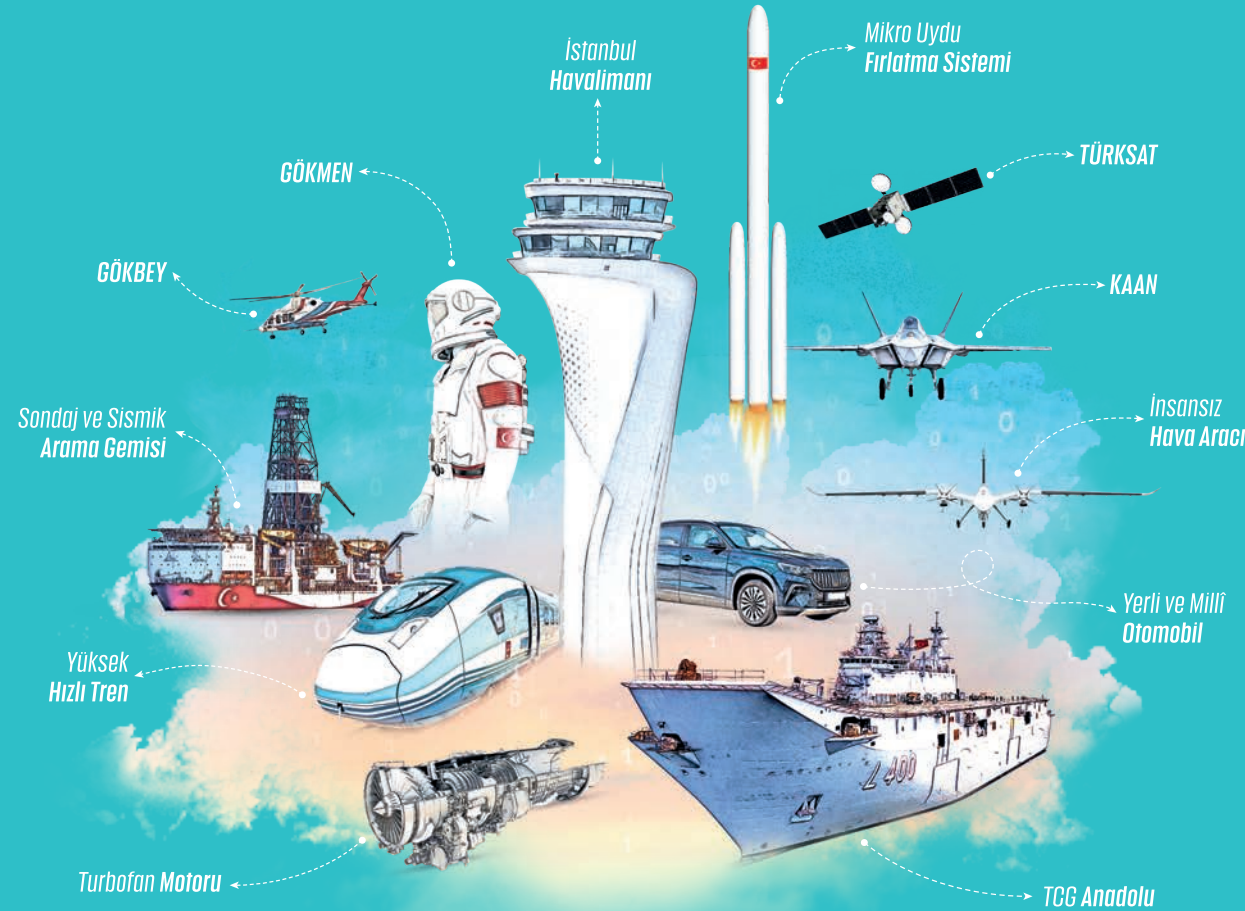
Bu kitaba sığmayan daha neler var!

eba
www.eba.gov.tr



Karekodu okut, bu kitapla
ilgili EBA içeriklerine ulaş!

Teknoloji Yolculuğumuz



**BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA
ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.**

ISBN: 978-975-11-6342-4

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin
İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşınması Zorunlu Değildir.

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ
MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ
ALANI

ELEKTRİK MAKİNELERİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



10

DERS MATERYALİ



MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ ALANI

ELEKTRİK MAKİNELERİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER DERS MATERYALİ

10

MESLEKÎ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ
MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ ALANI

ELEKTRİK MAKİNELERİ VE DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

10

Ders Materyali

Yazarlar

Doç. Dr. Fatih **ŞAHİN**

Adem **YİĞİT**

Bekir **OKUTAN**

Fatih **KÖZ**

Salih **KARA**



MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI.....:7936
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLARI DİZİSİ:1864

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Ders materyalinin metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

Dil Uzmanı

Çiğdem Eylül **ATEŞ**

Program Geliştirme Uzmanı

Ergül **SIRKINTI**

Ölçme ve Değerlendirme Uzmanı

Günay **DURUCAN**

Rehberlik Uzmanı

Vakkas **ÖZBEK**

Görsel Tasarım Uzmanı

Nevin **KURT**

ISBN: 978-975-11-6342-4

Millî Eğitim Bakanlığının 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.

BASKI

Ayrıntı Basım Yayım ve Mat. Hiz. Sanayi Ticaret A.Ş.
Saray Mahallesi 126. Cadde No: 20
Kahramankazan/Ankara
Sertifika No: 49599



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlahî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerihamdan İlahî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'sım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalar sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

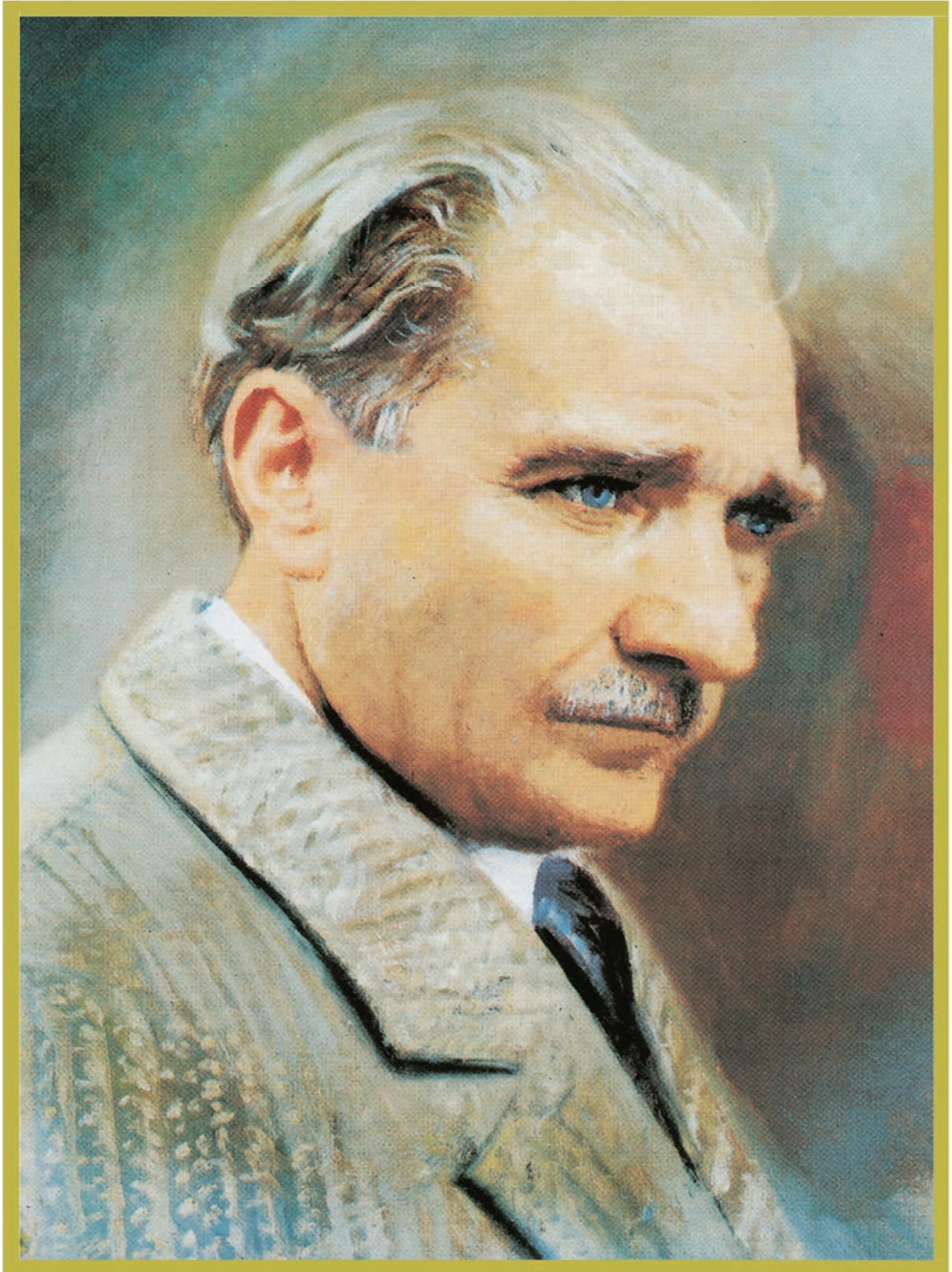
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

Ders Materyalinin Tanıtımı	13
1. DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	16
1.1. Doğrultucular	19
1.2. Doğrultucuların Çalışması	19
1.3. İnvertörler	21
1.4. İnvertörlerin Çalışması	21
1.5. DC-DC Konvertörler	25
1.6. DC-DC Konvertörlerin Çalışması	25
UYGULAMA: İnvertör, Konvertör Grubunun Araçtan Sökülmesi ve Kontrolü	29



2. DOĞRU AKIM MOTORLARI.....	34
2.1. Manyetizma	34
2.1.1. Manyetik Geçirgenlik	35
2.1.2. Prensipler ve Tanımlar	35
2.1.2.1. Amper Prensibi	35
2.1.2.2. Faraday'ın İndüksiyon Prensibi	35
2.1.2.3. Lenz Prensibi	36
2.1.2.4. Lorentz Prensibi	36
2.1.2.5. Endüktans	36
2.1.2.6. Manyetomotor Kuvvet	36
2.1.2.7. Relüktans	36
2.2. Doğru Akım Motorları	38
2.2.1. Stator (Endüktör)	38
2.2.2. Rotor (Endüvi)	38
2.2.3. Kolektör (Komütatör) ve Fırçalar (Kömürler).....	39
2.2.4. Gövde ve Kapaklar.....	39
2.2.5. Rulman ve Yataklar.....	39
2.3. Doğru Akım Motor Çeşitleri	42
2.3.1. Fırçalı Doğru Akım Motoru	42
2.3.2. Fırçasız Doğru Akım Motoru (BLDC)	42
2.3.2.1. İç Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru (İnrunner BLDC)	42
2.3.2.2. Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru (Outrunner.....	42
BLDC)	42
2.3.3. Seri Motor	43
2.3.4. Servo Motor	43
2.3.5. Step Motor	43



2.4. Doğru Akım Motorlarının Çalışması	46
2.4.1. Fırçalı DC Motorların Çalışması	46
2.4.2. Fırçasız DC Motorların Çalışması	46
UYGULAMA: Marş Motoru Ölçüm ve Kontrolleri	47



3. ASENKRON MOTORLAR	50
3.1. Asenkron Motorların Yapısı	50
3.1.1. Stator	50
3.1.2. Rotor	51
3.1.3. Asenkron Motorların Stator ve Rotor Sargılarının Elektrik Kaynağına Bağlantı Şekilleri	52
3.1.3.1. Yıldız Bağlantı	52
3.1.3.2. Üçgen Bağlantı	52
3.2. Asenkron Motorların Çeşitleri	53
3.2.1. Fazlarına Göre Asenkron Motorlar	53
3.2.1.1. Tek Fazlı Asenkron Motorlar	53
3.2.1.2. Üç Fazlı Asenkron Motorlar	53
3.2.2. Yapılarına Göre Asenkron Motorlar	53
3.2.2.1. Sincap Kafesli Asenkron Motorlar	53
3.2.2.2. Bilezikli (Rotor Sargılı) Asenkron Motorlar	53
3.3. Asenkron Motorların Çalışması	54
3.3.1. Asenkron Motorlarda Yol Verme	56
3.3.1.1. Frekans Değiştirici (İnvertör) İle Yol Verme	56
UYGULAMA: Asenkron Motorların Ölçüm ve Kontrolleri	57



4. RELÜKTANS MOTORLAR	60
4.1. Relüktans Motorların Yapısı	60
4.1.1. Stator	61
4.1.2. Rotor	61
4.2. Relüktans Motor Çeşitleri	62
4.2.1. Anahtarlama Relüktans Motor (SRM)	62
4.2.2. Senkron Relüktans Motor (SynRM)	62
4.2.3. Kalıcı Mıknatıslı Senkron Relüktans Motor (PMSynRM)	62
4.3. Relüktans Motorların Çalışması	63
4.3.1. Relüktans Motorun Çalışması	63

4.3.2. Kalıcı Mıknatıslı Relüktans Motorun Çalışması.....	64
UYGULAMA: Relüktans Motorların Ölçüm ve Kontrolleri	65

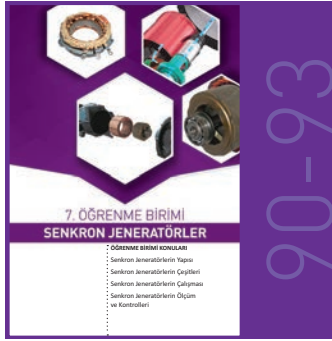


5. SENKRON MOTORLAR.....	68
5.1. Senkron Motorlar	68
5.1.1. Senkron Motorların Yapısı	68
5.1.1.1. Stator	68
5.1.1.2. Rotor	68
5.2. Senkron Motorların Çeşitleri	68
5.2.1. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Yapısı (SMSM)	69
5.2.1.1. Stator	69
5.2.1.2. Rotor	70
5.2.1.3. Rotor Konum ve Devir Sensörü	70
5.2.1.4. Stator Sargıları Sıcaklık Sensörü	70
5.2.2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Sınıflandırılması	71
5.2.2.1. Stator Sargı Düzenine Göre Sürekli Mıknatıslı Senkron ... Motorlar	71
5.2.2.2. Rotorda Kullanılan Kalıcı Mıknatısların Yerleşimine Göre Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar	71
5.3. Senkron Motorlara Yol Verme	72
5.3.1. Değişken Frekanslı İnvertör Kullanarak Yol Vermek.....	73
5.4. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Çalışması.....	73
5.5. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlarında Yapılan Kontroller	74
5.5.1. Görsel Kontroller	75
5.5.2. Elektriksel Kontroller	75
5.6. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Avantaj ve Dezavantajları.....	75
5.6.1. Avantajları	75
5.6.2. Dezavantajları.....	76
UYGULAMA: Senkron Motorların Ölçüm ve Kontrolleri.....	77



6. TEKERLEK İÇİ MOTORLAR.....	80
6.1. Tekerlek İçi Motorların Yapısı	80
6.1.1. Tekerlek İçi Motorların Tarihçesi	80
6.1.2. Tekerlek İçi Motorun Parçaları.....	81
6.1.2.1. Tekerlek içi Motorun Statoru.....	81
6.1.2.2. Tekerlek içi Motorun Rotoru	82
6.1.2.3. Tekerlek içi Motorun İnvertörü	82
6.1.3. Tekerlek İçi Bir Motorun Özellikleri	82

6.1.4. Tekerlek içi Motorların Kullanım Alanları	83
6.2. Tekerlek İçi Motorların Çeşitleri	83
6.3. Tekerlek İçi Motorların Çalışması	84
6.4. Tekerlek İçi Motorların Avantaj ve Dezavantajları	85
6.4.1. Avantajları	85
6.4.2. Dezavantajları.....	85
6.5. Tekerlek İçi Motorlarda Yapılan Kontroller	85
6.5.1. Görsel Kontroller	86
6.5.2. Elektriksel Kontroller	86
UYGULAMA: Tekerlek İçi Motorların Ölçüm ve Kontrolleri	87



7. SENKRON JENERATÖRLER	90
7.1. Senkron Jeneratörün Tanımı	90
7.2. Senkron Jeneratörün Yapısı	90
7.3. Senkron Jeneratör Çeşitleri	91
7.4. Senkron Jeneratörün Çalışması	92
7.5. Rejeneratif Fren Sisteminin Çalışma Prensibi	92
UYGULAMA: Senkron Jeneratörlerin Ölçüm ve Kontrolleri	93



8. ELEKTRİK MAKİNELERİNDE SOĞUTMA	96
8.1. Soğutma Sisteminin Görevleri.....	96
8.2. Soğutma Sisteminin Çeşitleri.....	96
8.2.1. Hava Soğutmalı Sistemler.....	96
8.2.2. Sıvı Soğutmalı Sistemler	96
8.2.2.1. Yağ Soğutmalı Sistemler	96
8.2.2.2. Su Soğutmalı Sistemler.....	97
8.3. Soğutma Sisteminin Parçaları.....	97
8.3.1. Radyatör.....	97
8.3.2. Su Pompası	98
8.3.3. Soğutma Fanı.....	98
8.3.4. Genleşme Kabı	98
8.4. Soğutma Sistemi Çalışması.....	98
UYGULAMA: Soğutma Sistemi Kontrolleri.	100
KAYNAKÇA.....	102

Öğrenme birimi numarasını gösterir.

5. ÖĞRENME BİRİMİ
SENKRON MOTORLAR

ÖĞRENME BİRİMİ KONUSLARI

- Senkron Motorların Yapısı
- Senkron Motorların Çeşitleri
- Senkron Motorlara Yol Verme
- Senkron Motorların Çalışması
- Senkron Motorların Ölçüm ve Kontrolleri

Etkileşimli ders materyali, video, ses, animasyon, uygulama, oyun, soru vb. kaynaklara ulaşabileceğiniz karekodu gösterir.

Öğrenme birimi ana konularını gösterir.

Öğrenme birimi adını gösterir.

Öğrenme birimi
numarasını
gösterir.

Öğrenme birimi
konusunu
gösterir.

Bilgi yaprağı
sayfasını gösterir.

1 ÖĞRENME BİRİMİ

ÖĞRENME BİRİMİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

BİLGİ YAPRAĞI

Hibrit ve elektrikli araçların güç sistemlerinde, dönüştürücüler önemli bir yere sahiptir. Örnek olarak seri hibrit bir araçta içten yanmalı motor tarafından tahrik edilen bir jeneratör ele alındığında jeneratör çıkışında elde edilen alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Tahrik kuvveti sağlayan elektrik motorları genellikle alternatif akımla çalıştırıldıklarından araç elektrik sisteminin alınan doğru akımın, alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Hibrit veya tamamen elektrikli bir araçta ana güç sisteminde bulunan yüksek gerilimli bileşenlerin yanı sıra geleneksel araçlarda olduğu gibi düşük gerilimli bileşenler de bulunmaktadır. Hibrit veya tamamen elektrikli araçın yüksek gerilimli DC elektrik sisteminin söz konusu alıcılara çalışması için gerekli düşük seviyeli DC gerilimin (14V) elde edilmesi de ayrı bir ihtiyaçtır. Benzer şekilde klima sisteminin motorunun çalıştırılması için DC sistem gerilimi AC'ye dönüştürülmelidir. Araçlarda yer alan dönüştürücülerin tamamı bu örneklerle sınırlı olmamakla birlikte açıklanan bu örnekler dönüştürücülerin hibrit ve elektrikli araçların elektronik sistemindeki önemini ortaya koymaktadır.

Temel olarak güç dönüştürücüler doğru akım-alternatif akım, alternatif akım-doğru akım, doğru akım-doğru akım, alternatif akım-alternatif akım şeklinde dönüşüm yapan sistemlerdir. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücülerini ile otomotiv alanı dışında kullanılan güç dönüştürücülerini benzer yapıda olmakla birlikte hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan dönüştürücülerin, çalışma ortamına uygun fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Söz konusu çalışma şartları; ortam sıcaklığı -20°C, - 50°C olan titreşimli-sarsıntılı çalışma ortamı ve elektromanyetik uyumluluk olarak sıralanabilir.

Güç dönüştürücülerini giriş ve çıkış gerilimlerinin türüne göre Görsel 1.1'de görüldüğü gibi sınıflandırırız. Dönüştürücünün giriş ve çıkış doğru akım (DC) veya alternatif akımdır (AC).

- DC-DC dönüştürücü (konvertör)
- DC-AC dönüştürücü (invertör)
- AC-DC doğrultucu
- AC-AC dönüştürücü

Görsel 1.1: Dönüştürücü türleri

Hibrit ve elektrikli taşıtlarda kullanılan üç farklı dönüştürücü yapısından söz etmek mümkündür. Belirtilen dönüştürücüler hibrit ve elektrikli araçlar dışında birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Yukarıda sıralanan dönüştürücülerde AC-AC dönüştürücüler daha çok otomotiv sektörü dışında kullanılmalarına sahiptir. Temelde bir AC-AC dönüştürücü içerisinde AC-DC doğrultucu ve DC-AC invertör içermektedir.

Sayfa numarasını
gösterir.

Uygulama
yaprağının ait
olduğu öğrenme
birimi konusunu
gösterir.

Uygulama
konusunu
gösterir.

Uygulamanın
aşamalı olarak
anlatıldığı kısım.

Uygulama yaprağı
sayfasını gösterir.

Uygulamanın
süresini gösterir.

ÖĞRENME BİRİMİ **ASENKRON MOTORLAR** **SÜRE** **UYGULAMA YAPRAĞI**

UYGULAMA ADI **ASENKRON MOTORLARIN ÖLÇÜM VE KONTROLLERİ** **3 DERS SAATİ**

AMAÇLAR: Fiziki ve görsel kontroller yapmak.
Avometre kullanarak elektriksel kontrolleri yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine, Avasanlık

Adı	Özellikleri	Miktarı
Lokma ve tornavida takımı		
Avometre		

İşlem Basamakları

a. Fiziki ve Görsel Kontroller

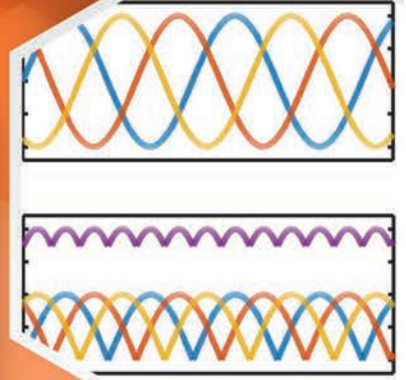
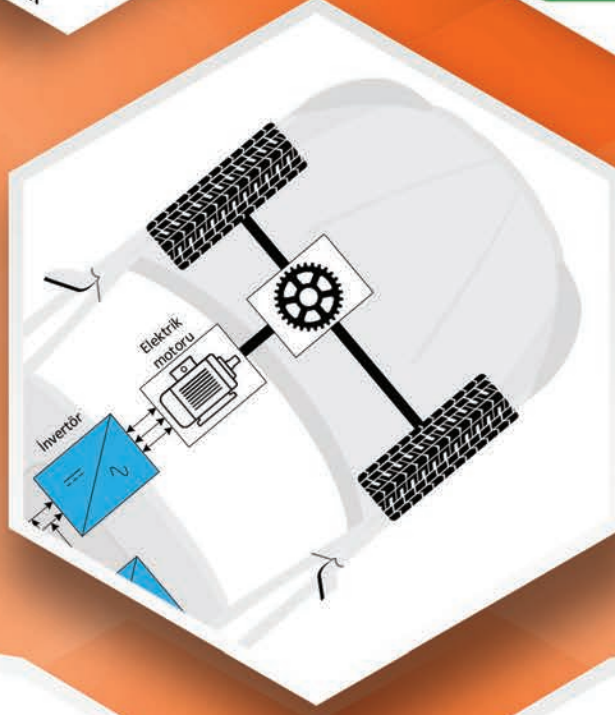
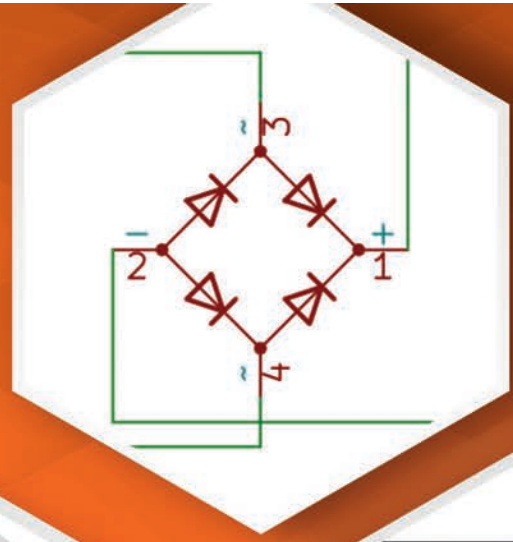
1. Motor üzerinde gerekli temizleme işlemlerini yapınız.
2. Transfer kutusunun (panzaman) yağını boşaltınız.
3. Motorun gövdesini panzaman gövdesinden ayırmak için çavere cıvatalarını sökünüz.
4. Elektrik motorunun ön kapak bağlantı cıvatalarını sökünüz ve kapakçı çıkarınız.
5. Rotoru sökünüz.
6. Sargılarda yanık kokusu olup olmadığını kontrol ediniz.
7. Sargıların yalıtım maddelerinde atma veya sürme olup olmadığını gözlemleyiniz.
8. Rotor yataklarını elle döndürerek sesini dinleyiniz.
9. Dönerken takıma ve bozuk olup olmadığını kontrol ediniz.

Görsel 1.17: Motor gövdesi ve panzaman kapakları

Görsel 1.18: Motor gövdesi ve stator sargıları

Görsel 1.19: Rotor

57



1. ÖĞRENME BİRİMİ

DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



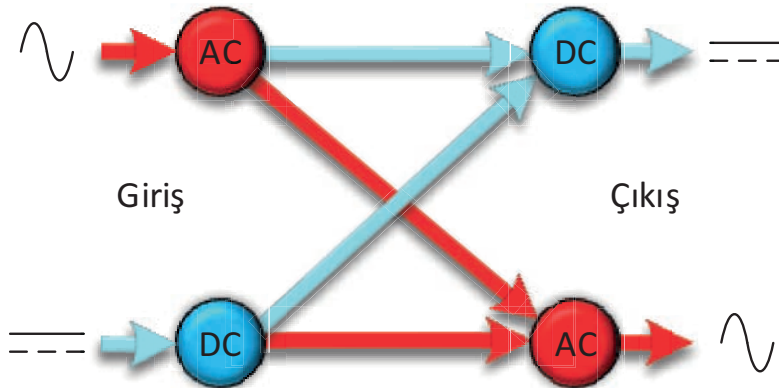
- ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI
- Konvertörlerin Yapısı
- Konvertörlerin Çalışması
- Konvertör Kontrolleri
- İnvertörlerin Yapısı
- İnvertörlerin Çalışması
- İnvertörlerin Kontrolleri

Hibrit ve elektrikli araçların güç sistemlerinde, dönüştürücüler önemli bir yere sahiptir. Örnek olarak seri hibrit bir araçta içten yanmalı motor tarafından tahrik edilen bir jeneratör ele alındığında jeneratör çıkışında elde edilen alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Tahrik kuvveti sağlayan elektrik motorları genellikle alternatif akımla çalıştırıldıklarından araç elektrik sisteminden alınan doğru akımın, alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Hibrit veya tamamı elektrikli bir araçta ana güç sisteminde bulunan yüksek gerilimli bileşenlerin yanı sıra geleneksel araçlarda olduğu gibi düşük gerilimli bileşenler de bulunmaktadır. Hibrit veya tamamı elektrikli aracın yüksek gerilimli DC elektrik sisteminden söz konusu alıcıların çalışması için gerekli düşük seviyeli DC gerilimin (14 V) elde edilmesi de ayrı bir ihtiyaçtır. Benzer şekilde klima sistemi motorunun çalıştırılabilmesi için DC sistem gerilimi AC'ye dönüştürülmelidir. Araçlarda yer alan dönüştürücülerin tamamı bu örneklerle sınırlı olmamakla birlikte açıklanan bu örnekler dönüştürücülerin hibrit ve elektrikli araçların elektronik sistemindeki önemini ortaya koymaktadır.

Temel olarak güç dönüştürücüler doğru akım-alternatif akım, alternatif akım-doğru akım, doğru akım-doğru akım, alternatif akım-alternatif akım şeklinde dönüşüm yapan sistemlerdir. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücüleri ile otomotiv alanı dışında kullanılan güç dönüştürücüleri benzer yapıda olmakla birlikte hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan dönüştürücülerin, çalışma ortamına uygun fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Söz konusu çalışma şartları; ortam sıcaklığı -20°C , -50°C olan titreşimli-sarsıntılı çalışma ortamı ve elektromanyetik uyumluluk olarak sıralanabilir.

Güç dönüştürücüleri giriş ve çıkış gerilimlerinin türüne göre Görsel 1.1'de görüldüğü gibi sınıflandırılırlar. Dönüştürücünün giriş ve çıkışı doğru akım (DC) veya alternatif akımdır (AC).

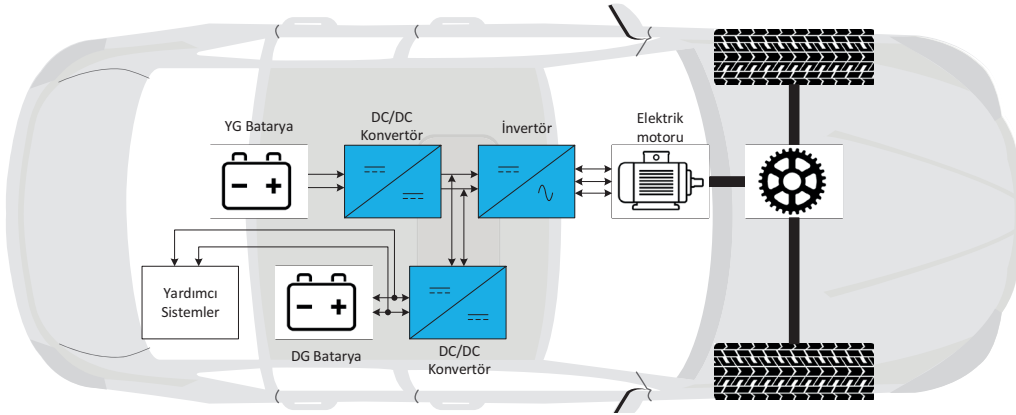
- DC-DC dönüştürücü (konvertör)
- DC-AC dönüştürücü (invertör)
- AC-DC doğrultucu
- AC-AC dönüştürücü



Görsel 1.1: Dönüştürücü türleri

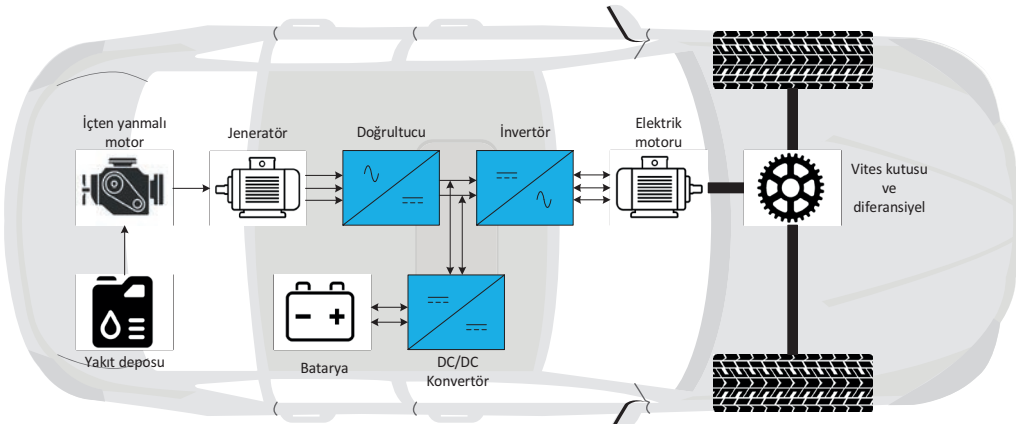
Hibrit ve elektrikli taşıtlarda kullanılan üç farklı dönüştürücü yapısından söz etmek mümkündür. Belirtilen dönüştürücüler hibrit ve elektrikli araçlar dışında birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Yukarıda sıralanan dönüştürücülerde AC-AC dönüştürücüler daha çok otomotiv sektörü dışında kullanım alanına sahiptir. Temelde bir AC-AC dönüştürücü içerisinde AC-DC doğrultucu ve DC-AC invertör içermektedir.

Hibrit ve elektrikli bir araçta güç sistemi yapısına ve aracın hibritleşme seviyesine bağlı olarak farklı sayılda güç dönüştürücüleri bulunmaktadır. Görsel 1.2’de tamamı elektrikli bir araç blok diyagramı örnek olarak görülmektedir. Aracın ana enerji kaynağı olarak yüksek gerilimli batarya grubundan alınan DC gerilim bir DC/DC konvertör yardımıyla belli bir değere çıkarılmaktadır. Aracın elektrik motorunun çalıştırılabilmesi için DC/DC konvertör çıkışından alınan gerilim bir invertör yardımıyla AC’ye dönüştürülmektedir. Aynı zamanda araçta bulunan düşük gerilimli elektriksel alıcıların çalıştırılabilmesi için ikinci bir DC/DC konvertör ihtiyaç duyulan düşük gerilimin elde edilebilmesi amacıyla kullanılır.

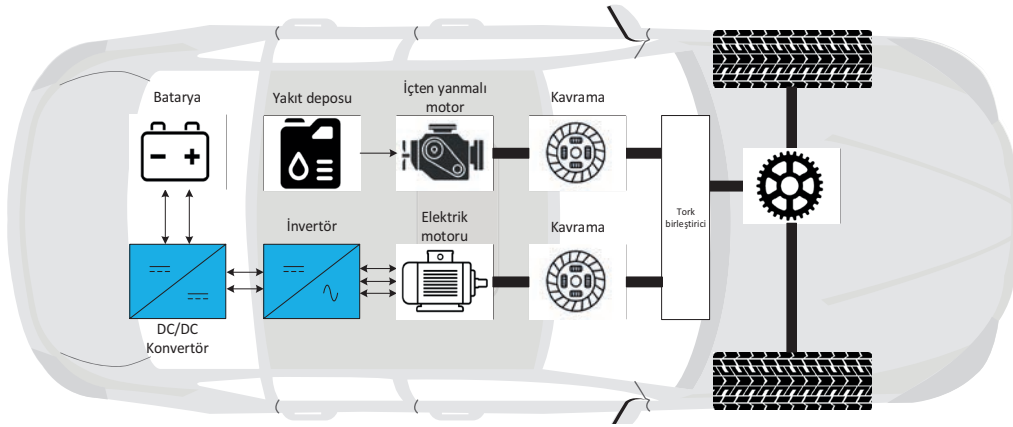


Görsel 1.2: Bataryalı elektrikli araçta yer alan dönüştürücüler

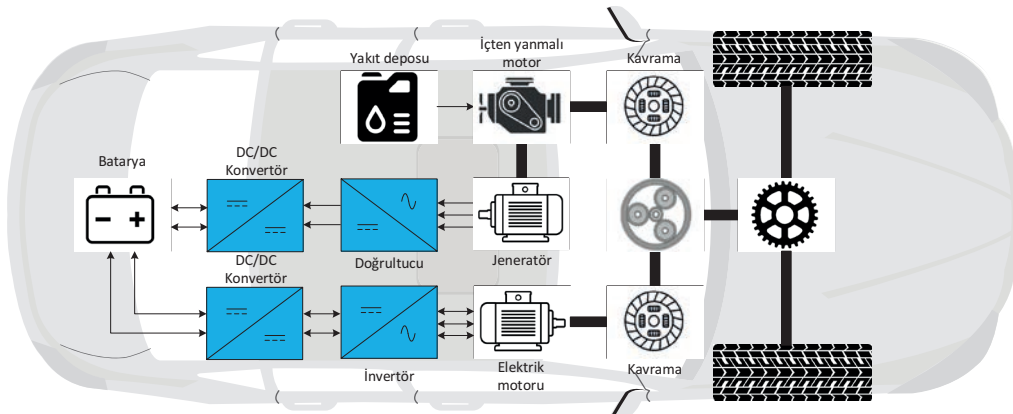
Benzer şekilde Görsel 1.3, Görsel 1.4 ve Görsel 1.5’te sırasıyla seri hibrit, paralel hibrit ve seri-paralel hibrit taşıtların örnek blok diyagramları görülmektedir. Blok diyagramlar incelendiğinde araçların yapılarına göre kullanılan dönüştürücü sistemlerin sayıları değişebildiği görülmektedir. Hibrit ve elektrikli araçların güç sistemlerinde bu görsellerde verilen örnek blok diyagramlardan farklı uygulamaların bulunduğu da unutulmamalıdır. Görseller hibrit ve elektrikli araçlarda bulunan dönüştürücülerin kullanım amaçları ile ilgili fikir sağlaması amacıyla verilmiştir.



Görsel 1.3: Seri hibrit bir aracın güç sisteminde yer alan dönüştürücüler



Görsel 1.4: Paralel hibrit bir aracın güç sisteminde yer alan dönüştürücüler



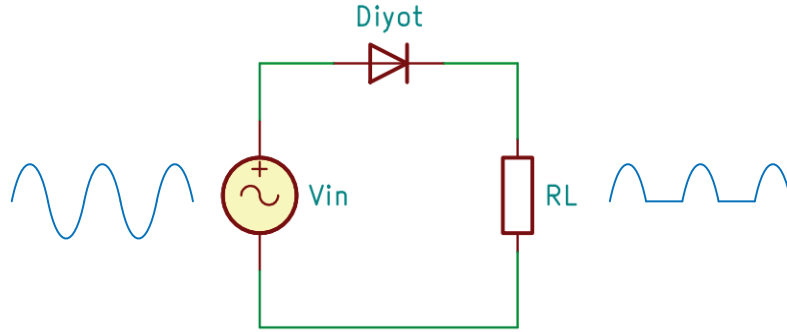
Görsel 1.5: Seri-Paralel hibrit bir aracın güç sisteminde yer alan dönüştürücüler

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan güç dönüştürücüleri temel olarak üç gruba ayrılır. Bunlar; doğrultucular, invertörler ve konvertörler şeklinde sıralanabilir.

	Doğrultucular alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesinde kullanılan devrelerdir. Giriş alternatif akım, çıkış doğru akımdır.
	İnvertörler doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlar. Giriş doğru akım, çıkış alternatif akımdır.
	Konvertörler belli bir seviyedeki DC gerilimin farklı bir seviyede DC gerilime dönüştürülmesini sağlar. Giriş ve çıkış doğru akımdır.

1.1. DOĞRULTUCULAR

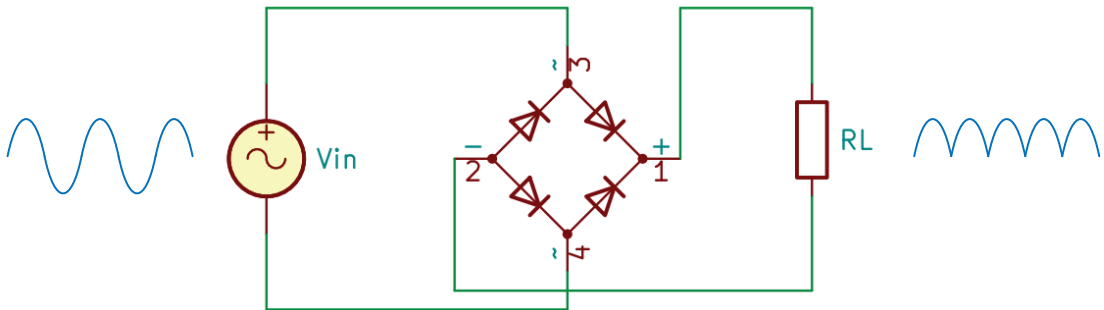
Doğrultucu devreler alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesini sağlar. Alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesinde yapısı temel elektrik elektronik konuları içinde açıklanan yarım dalga ve tam dalga doğrultma devreleri kullanılmaktadır. Yarım dalga ve tam dalga doğrultma devreleri Görsel 1.7 ve Görsel 1.8’de görülmektedir. Görsel 1.7’deki devrede giriş geriliminin pozitif alternansında diyot iletme geçerek yük üzerinden akım geçişini sağlamakta negatif alternansında ise yalıtıma geçerek yük üzerinden ters yönde akım geçişini engellemektedir. Belirtilen bu çalışma sonucunda yük üzerinden giriş geriliminin yalnızca pozitif alternanslarında akım geçmektedir. Bu nedenle devre yarım dalga doğrultma devresi olarak adlandırılır.



Görsel 1.7: Yarım dalga doğrultma devresi

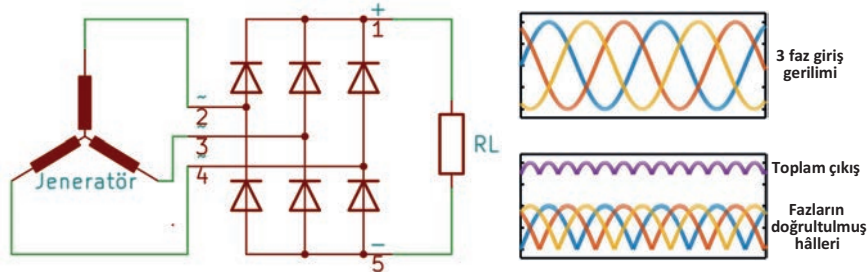
1.2. DOĞRULTUCULARIN ÇALIŞMASI

Giriş geriliminin pozitif ve negatif alternanslarının doğrultulmasını sağlayacak doğrultma devrelerinden biri köprü tipi tam dalga doğrultma devresidir. Giriş geriliminin pozitif alternansında 1-3 noktaları ve 2-4 noktaları arasındaki diyotlar iletme geçmekte, 1 noktasından çıkan akım yük üzerinden geçerek 2 noktasına ulaşmaktadır. Giriş geriliminin negatif alternansında ise 2-3 noktaları ve 1-4 noktaları arasındaki diyotlar iletme geçmekte yük üzerinden geçen akım pozitif alternansındakiyle aynı şekilde olmaktadır. Görüldüğü gibi bu devrede giriş geriliminin hem pozitif hem de negatif alternansı doğrultulmaktadır. Bu nedenle devre tam dalga doğrultma devresi olarak adlandırılır. Görsellerde verilen doğrultma devrelerinin çıkışlarındaki dalgalanmaları azaltmak amacıyla çıkış kısmına bir kondansatör de bağlanmaktadır.



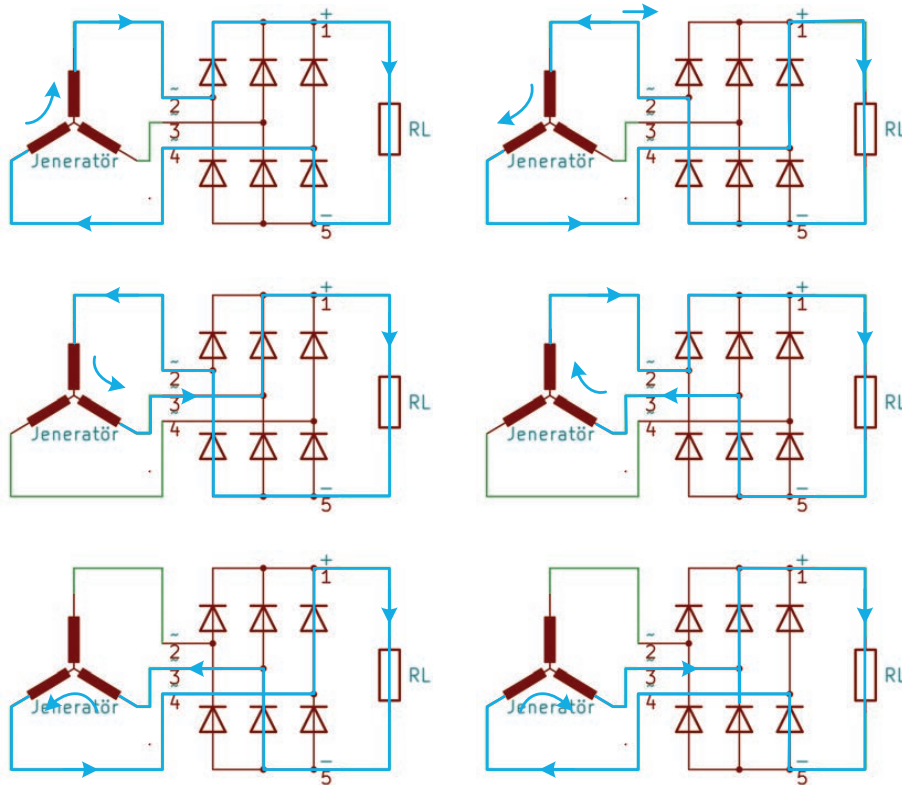
Görsel 1.8: Köprü tipi tam dalga doğrultma devresi

Üç fazlı alternatif akımın doğrultulması, geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtlarda elektrik sisteminin önemli parçalarından biri olan alternatördeki doğrultma devresine benzer yapıdadır. Her bir faz için iki diyot kullanılarak tam dalga doğrultma işlemi gerçekleştirilir. 120°'lik faz farkıyla üretilen alternatif akımın bu şekilde doğrultulmasıyla daha düzgün bir doğru akım elde edilir. Görsel 1.9'da üç faz tam dalga doğrultma devresi görülmektedir. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan jeneratörler ve geri kazanımlı frenleme esnasında jeneratör olarak çalıştırılan elektrik motorunun çıkışı üç fazlı olduğundan Görsel 1.9'da gösterilen devreye benzer bir doğrultma devresiyle doğrultulur. Çalışması ileriki kısımlarda açıklanacak olan invertörlerdeki anahtarlama elemanları içinde bulunan diyotlar geri kazanımlı frenleme esnasında invertörün üç fazlı doğrultucu olarak çalışmasını sağlar.



Görsel 1.9: Üç faz tam dalga doğrultma işlemi

Aşağıdaki görsellerde 3 faz doğrultma sırasında akım yönlerine göre hangi diyotların iletime geçtiği görülmektedir. Görsellerde jeneratör sargılarında iki faz arasında akım oluştuğu durumlar örnek olarak seçilmiştir. Üç sargıda akım elde edildiği durumlarda iletime geçen diyot sayısı üç olacaktır.



Görsel 1.10: Üç fazlı bir doğrultma devresinde doğrultma işlemi

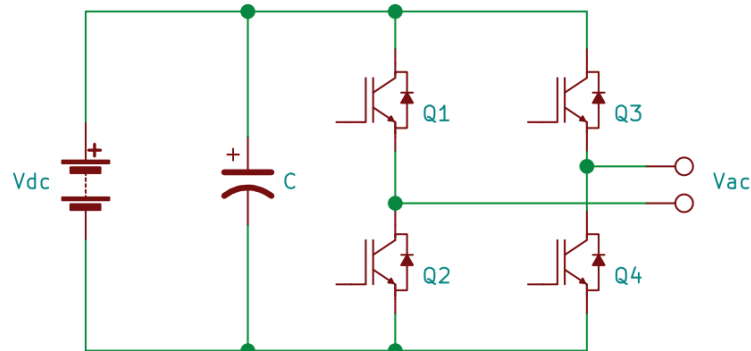
Diyotlar yardımıyla yapılan doğrultma işlemine **kontROLSÜZ doğrultma** denir. Yukarıda açıklanan kontROLSÜZ doğrultucu devreleri dışında kontrollü doğrultma işlemine imkân sağlayan devreler de bulunmaktadır. Doğrultma işleminin kontrollü yapılabilmesi yükün durumuna göre ayarlı doğrultma yapma imkânı sağlar. Hibrit ve elektrikli araçlarda elektrik motorunun çalıştırılabilmesi için gerekli 3 fazlı alternatif akımın doğru akımdan elde edilmesini sağlayan invertörler aynı zamanda doğrultucu olarak da çalıştırılabilmektedir. Elektrik motoru güç dönüştürücüsünün bu özelliği sayesinde aracın frenlemesi esnasında elektrik motoru bir jeneratör olarak çalıştırılabilmekte ve elde edilen enerjiyle batarya paketi şarj edilebilmektedir.

1.3. İNVERTÖRLER

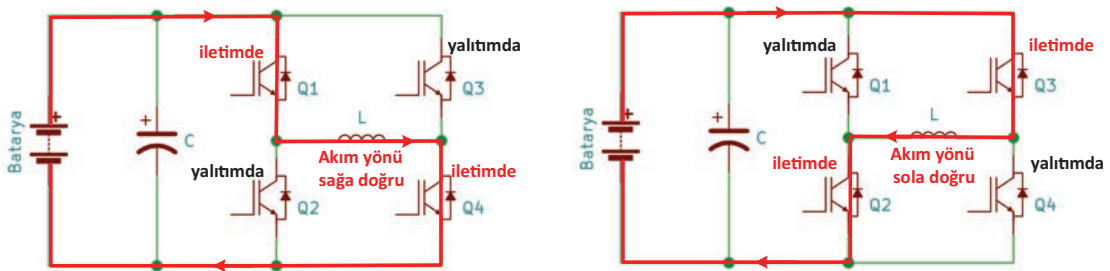
İnvertörler doğru akımdan alternatif akıma dönüşüm yapılmasını sağlayan devrelerdir. Doğru akım devrelerinde tek yönlü bir akım geçişi söz konusuyken alternatif akım devrelerinde akım yön değiştirmektedir. Bu nedenle DC bir kaynaktan alternatif akımın elde edilebilmesi için yük üzerinden her iki yönde akım geçişini sağlayacak kontrollü anahtarlara ihtiyaç vardır.

1.4. İNVERTÖRLERİN ÇALIŞMASI

Güç elektroniği devrelerinde çoğunlukla MOSFET veya IGBT'ler (Insulated Gate Bipolar Transistor-İnsüleydıt Geyt Baypolır Trenzistır) anahtarlama elemanı olarak kullanılırlar. Görsel 1.11'de temel olarak bir DC kaynaktan alternatif akımın elde edilmesi görülmektedir. Devrede bulunan dört IGBT yardımıyla çıkışa bağlanan yük üzerinden iki yönlü akım geçirilebilmektedir. Bu amaçla çapraz konumdaki IGBT'lerin dönüşümlü olarak ilettime ve yalıtıma geçirilmeleriyle alternatif akım elde edilmiş olur. Görsel 1.12'de IGBT'lerin ilettime geçirilme sırası görülmektedir. Q1 ve Q4 IGBT'leri ilettime geçirildiğinde yük üzerinde akımın yönü sağa doğrudur. Q2 ve Q3 ilettime geçirildiğinde ise akım yönü sola doğrudur.



Görsel 1.11: Temel invertör yapısı

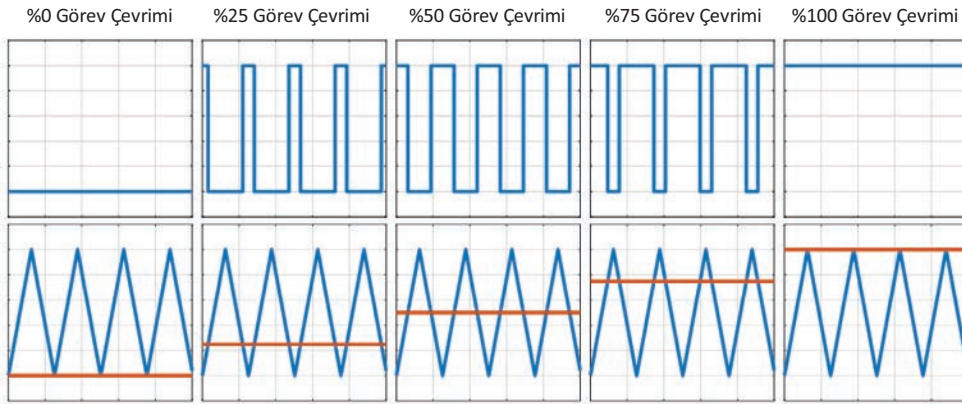


Görsel 1.12: Temel invertör devresinde alternatif akımın elde edilişi

Görsel 1.11'deki devrenin çalışması açıklanırken sıralı olarak Q1-Q4 ve Q2-Q3 IGBT'lerinin ilettime geçirildiği yukarıda açıklanmıştı. Bu işlem sonucunda yük üzerinden geçen akım dikdörtgen biçimli olacaktır. Ancak gerçekte alternatif akım sinüs dalgası biçimindedir. Bu nedenle yük üzerinden geçen akımın sinüs dalgası yapısında olmasını sağlayacak bir kontrole ihtiyaç bulunmaktadır. Bu işlem ilettime geçirilecek anahtarlama elemanlarının yüksek frekanslarda ve değişken iletim-yalıtım oranlarında anahtarlama ile elde edilir. Bu işleme **pals genişlik modülasyonu** adı verilir. Pals genişlik modülasyonu yalnızca invertörlerde kullanılan bir kontrol olmayıp güç elektroniğinin diğer alanlarında ve güç elektroniği dışındaki alanlarda da uygulanmaktadır.

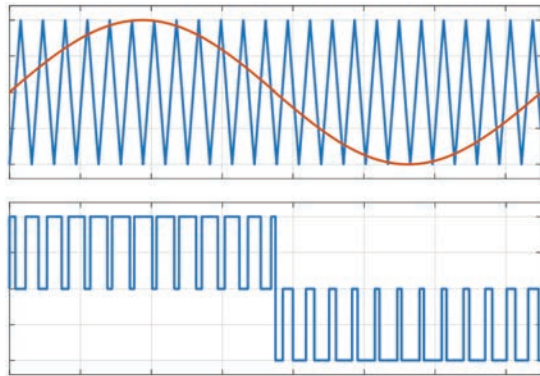
• Pals Genişlik Modülasyonu

Pals genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation-Pals Veid Macileşin-PWM) belli frekanstaki kare dalga sinyalin 1 ve 0 sürelerinin belli bir düzene göre değiştirilmesi işlemidir. Pals genişlik modülasyonu güç elektroniğinde ve elektronik haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. Pals genişlik modülasyonunda sinyalin 1 olduğu sürenin toplam periyoda oranı, görev döngüsü olarak ifade edilir. Örnek olarak %25 görev döngüsü 1 süresinin toplam periyodun dörtte biri olduğu durumu, %50 görev döngüsü birbirine eşit 1 ve 0 sürelerini, %75 görev döngüsü toplam periyodun dörtte üçünün 1 olduğunu ifade eder. Görev döngüsünün %0 olması sinyalin tamamen 0, %100 olması ise tamamen 1 olmasını ifade eder. Belirtilen örnek PWM sinyalleri Görsel 1.13'te görülmektedir.



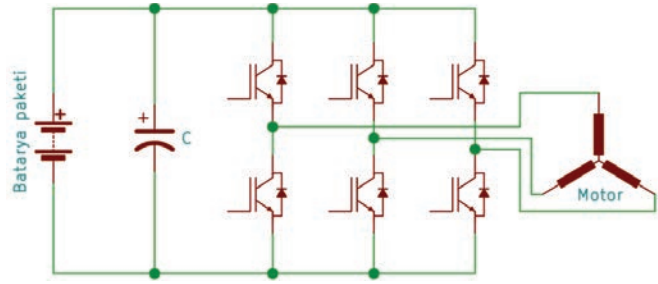
Görsel 1.13: %0, %25, %50, %75 ve %100 görev döngülerine sahip PWM sinyalleri ve bu sinyallerin elde edilişleri

Bir invertörün çıkışındaki akımın sinüs dalgası şeklinde olmasını sağlamak için yapılan pals genişlik modülasyonu kontrolünde, görev döngüsünün sinüs dalgası genliği dikkate alınarak değiştirilmesi gerekir. Söz konusu değişken görev döngüsüne sahip palslerin üretilebilmesi için uygulanan yöntemlerden biri, sinüs dalgasının belli frekanstaki üçgen dalga sinyalle karşılaştırılmasıdır. Görsel 1.14'te bu işlem görülmektedir. Referans sinüs dalgasından pals genişlik modülasyonu sinyalinin elde edilmesi, invertördeki anahtarlama elemanlarının



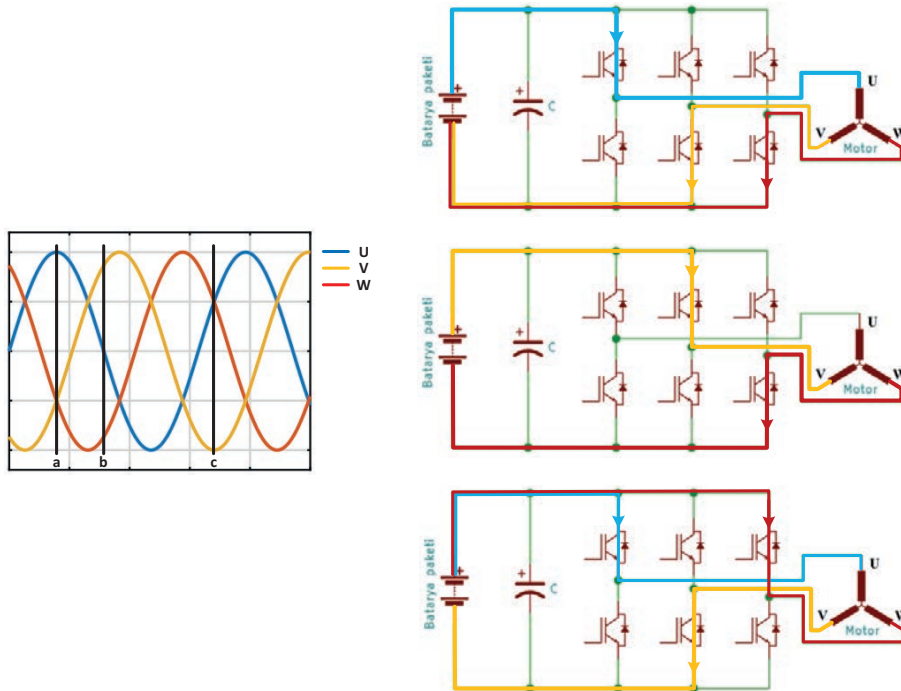
Görsel 1.14: Sinüs dalgasına uygun PWM kontrol sinyalinin elde edilmesi

kontrolünü sağlayan mikro denetleyici tarafından yapılmaktadır. Sinüs dalgası genlik değerinin üçgen dalga genlik değerinden büyük olması hâlinde ilgili PWM çıkışı 1 (5 V), aksi durumda 0 yapılmaktadır. Sinüs dalgasının artı ve eksi alternansları için çıkışta elde edilen PWM sinyalleri, iki farklı seviye hâlinde gösterilmiştir. Gerçekte üretilen PWM sinyalleri iki farklı seviyeli olmayıp farklı anahtarlama elemanlarına uygulanmaktadır. Bu durum artı alternansta PWM kontrolü uygulanacak anahtarlama elemanları ile eksi alternansta kontrol edilecek anahtarlama elemanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Görsel 1.11’de verilen devrede sinyalin artı alternansı için üretilen PWM sinyali Q1 ve Q4 IGBT’lerine, eksi alternansı için üretilen PWM sinyali ise Q2 ve Q3 IGBT’lerine uygulanmaktadır.



Görsel 1.15: Üç fazlı bir motor invertörünün temel yapısı

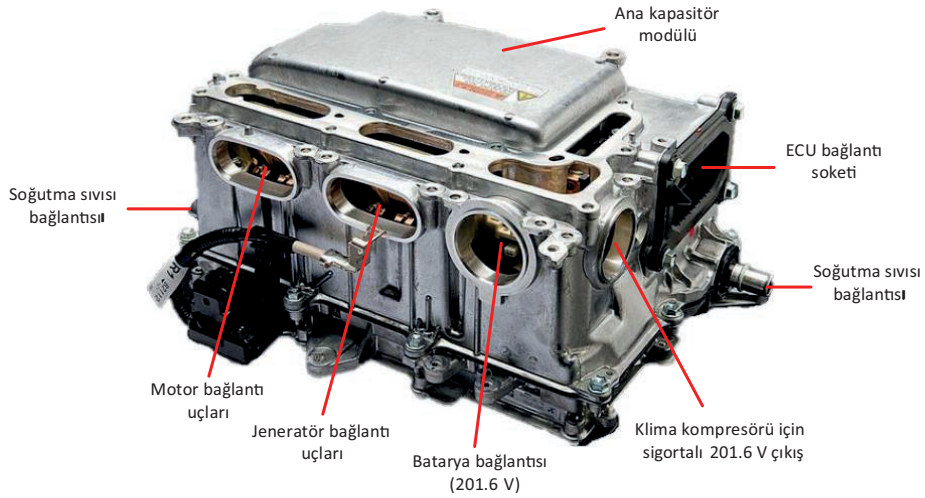
Üç fazlı bir elektrik motorunun bir doğru akım kaynağı kullanılarak çalıştırılabilmesi için temel olarak yapılması gereken işlem anahtarlama elemanları yardımıyla motorun fazlarına uygun zamanlamada ve uygun yönde akım sağlanmasıdır. Hibrit ve elektrikli araçlarda tahrik motorunun sürülmesinde kullanılan invertörlere **tahrik invertörü** adı verilmektedir. Hibrit ve elektrikli araçlarda yüksek gerilimli batarya paketi çıkışı invertöre doğrudan bağlanabildiği gibi bir DC-DC dönüştürücü yardımıyla gerilim belli bir değere sabitlenerek de bağlanabilir. İnvirtörlerde anahtarların neden olduğu dalgalanmaların azaltılması amacıyla devrenin doğru akım tarafına büyük kapasiteli bir kondansatör bağlanır. Görsel 1.15’te 3 fazlı bir elektrik motoru için IGBT’lerden oluşan invertörün temel yapısı görülmektedir.



Görsel 1.16: Üç fazlı motor sargılarında farklı anlarda akım yönleri

Görsel 1.16 'da ise üç fazlı motor sargılarından örnek sinyal üzerinde a, b ve c çizgileri ile gösterilen anlarda geçen akım yönleri görülmektedir. a ile gösterilen anda U sargısından geçen akım pozitif maksimum değerde, V ve W sargılarından geçen akımlar ise birbirine eşit ve negatif değerdedir. b anında ise V sargısının akımı pozitif maksimum, W sargısının akımı negatif maksimum, U sargısının akımı ise sıfırdır. c anında U ve W sargılarının akımı pozitif ve birbirine eşit, V sargısının akımı ise negatif maksimumdur. Sargılardan geçen akımların şiddeti yukarıda açıklandığı şekilde PWM kontrolüyle sağlanmaktadır. Sargılardan geçen akımlar grafik üzerinden incelendiğinde giren akım veya akımların toplamının çıkan akım veya akımların toplamına eşit olduğu görülmektedir.

İnvertörlerin temel yapılarının açıklanmasından sonra bu kısımda hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan örnek invertörlerin görsellerine yer verilmiştir. Görsel 1.17'de 2010 model kompakt sınıf (C segmenti) bir hibrit araçta kullanılan güç kontrol ünitesi görülmektedir.



Görsel 1.17: Hibrit bir araçta kullanılan tahrik invertörü

Ünite içerisinde invertör, yükseltici DC-DC konvertör ve düşürücü DC-DC konvertör bulunmaktadır. Invertör, batarya tarafından sağlanan doğru akımın motor/jeneratörlerin hareket ettirilmesi için gerekli alternatif akıma dönüştürülmesini sağlar. Motor/jeneratör tarafından üretilen alternatif akımın da doğru akıma dönüştürülmesini sağlar. Yükseltici DC-DC konvertör, 201,6 V olan batarya geriliminin elektrik motor/jeneratör için gerekli gerilim olan 650 V'a yükseltilmesini sağlar. Düşürücü DC-DC konvertör ise 12 V ile çalışan sistemler için gerekli gerilimin 201,6 V'tan elde edilmesini sağlar.



Görsel 1.18: Tamamı elektrikli bir araçta bulunan tahrik invertörü

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları alternatif akımla çalışmaktadır ve üç fazlıdır. Elektrik motorlarının gerek görüldüğünde bir jeneratör olarak çalıştırılması da mümkündür. Frenleme esnasında elektrik motorlarının jeneratör olarak çalıştırılmasıyla araç yavaşlarken enerji depolanabilmektedir. Elektrik motorunun istenildiğinde gerekli tahrik kuvvetini sağlaması, istenildiğinde de jeneratör olarak çalıştırılması invertörün iki yönlü olarak çalıştırılabilmesiyle sağlanır.

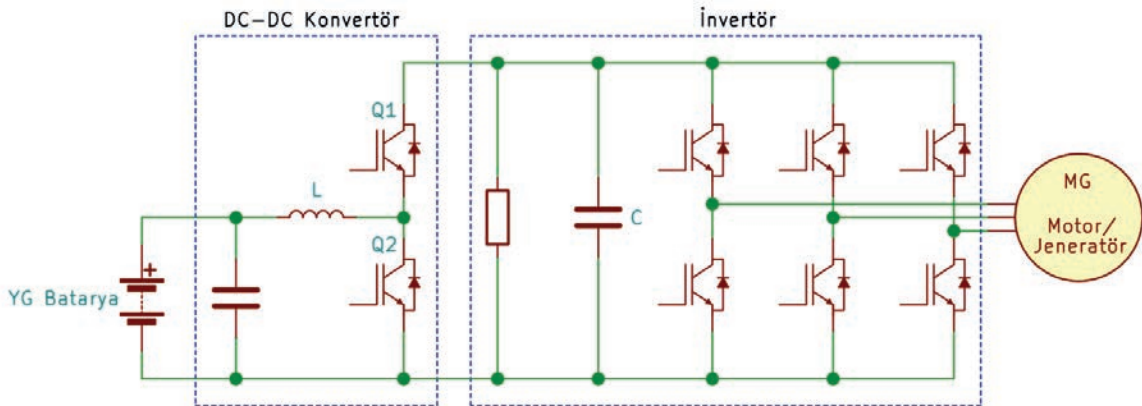
1.5. DC-DC KONVERTÖRLER

DC-DC dönüştürücüler belli seviyedeki bir DC gerilimin farklı bir seviyeye dönüştürülmesi amacıyla kullanılır. Elektrikli veya hibrit elektrikli araçlarda DC-DC dönüştürücüler batarya geriliminin invertöre belli bir seviyeye çıkarılarak verilmesi, araçta bulunan yardımcı üniteler için gerekli gerilimin sağlanması gibi amaçlarla kullanılır. Bazı uygulamalarda iki yönlü DC-DC dönüştürme işlemi yapan dönüştürücüler de kullanılmaktadır.

DC-DC konvertörler düşürücü tip, yükseltici tip ya da hem düşürücü hem yükseltici tip olabilir. DC-DC konvertör devrelerinde birçok farklı topoloji bulunmaktadır. DC-DC konvertör topolojileri hakkında detaylı bilgi ilgili kaynaklardan edinilebilir. Genel olarak DC-DC konvertörler yalıtımlı ve yalıtımsız olarak iki gruba ayrılır. Taşıtlarda orta ve yüksek güç uygulamalarında genellikle yalıtımsız DC-DC konvertörler kullanılırlar. Yalıtımsız DC-DC konvertörler içinde geleneksel yükseltici tip dönüştürücü ile sarmaşık yükseltici tip konvertör yapılarının basit olması, düşük maliyetleri ve daha kolay kontrol edilebilir olmaları özellikleriyle çoğunlukla elektrikli veya hibrit elektrikli araç güç sistemlerinde kullanılırlar.

Görsel 1.19'da C sınıfı hibrit bir araçta kullanılan güç kontrol ünitesinin temel devre yapısı görülmektedir. Yüksek gerilimli batarya paketinden alınan gerilim (201,6 V) invertöre bir DC-DC konvertör yardımıyla yükseltilerek (500 V) iletilir. İnvertördeki anahtarlama elemanları (IGBT) yukarıda açıklandığı gibi motorun uygun şekilde hareket ettirilebilmesi için kontrol devresi tarafından belli bir düzende çalıştırılır. Geri kazanımlı frenleme sırasında DC-DC konvertör motor/jeneratör tarafından üretilerek invertördeki diyotlar tarafından DC'ye dönüştürülen yüksek gerilimi yüksek gerilim, bataryasını şarj etmek üzere uygun gerilime düşürür. Bu durumda DC-DC konvertörün iki yönlü dönüşüm yaptığı söylenebilir.

1.6. DC-DC KONVERTÖRLERİN ÇALIŞMASI



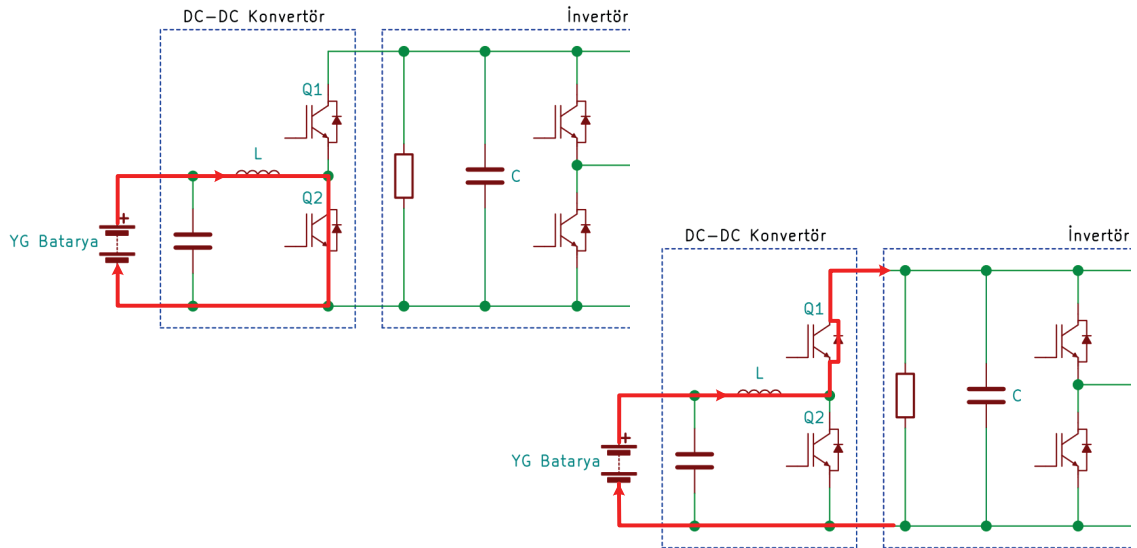
Görsel 1.19: İki yönlü çalışabilen bir DC-DC konvertörün devre şeması

Görsel 1.19’da verilen DC-DC konvertörün çalışması aşağıdaki görsellerde açıklanmıştır. Batarya geriliminin invertör için gerekli seviyeye çıkarılması sırasında DC-DC konvertör yükseltici olarak çalışır, geri kazanımlı frenleme enerjisinin bataryanın şarjında kullanılmasında ise düşürücü olarak çalışır. Yükseltici DC-DC konvertör olarak çalışması şu şekildedir:

- Q2 iletme geçirilir ve L bobininden akım geçmeye başlar.
- Bu durumda Q2 kolektöründeki gerilim YG batarya geriliminden düşüktür.
- Q2 iletimdeyken L bobininde enerji depolanır.
- Q2’nin yalıtıma geçirilmesiyle YG batarya gerilimi ve L bobin üzerindeki gerilimin toplamı Q1 içerisindeki diyot üzerinden konvertör çıkışına aktarılır. Böylece konvertör çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek olması sağlanır.
- İnvörtörde bulunan kondansatör de (C) bu aşamada şarj edilir.
- Kondansatör Q2’nin tekrar iletimde olduğu safhada gerilim ihtiyacını karşılar.
- Q2 batarya geriliminin yükseltilmesi sırasında yukarıda açıklanan iletime ve yalıtıma geçirme işlemi sürekli tekrarlanır. Bu işlem yüksek hızlarda gerçekleştirilir (örnek C segmenti araçta 10 kHz).
- Q2’nin iletimde kalma süresinin değiştirilmesiyle çıkış gerilimi ayarlanır.
- Yükseltici çalışma durumunda Q1 tamamen devre dışıdır.

Görsel 1.20’de yükseltici DC-DC konvertörün yukarıda açıklanan çalışması görülmektedir.

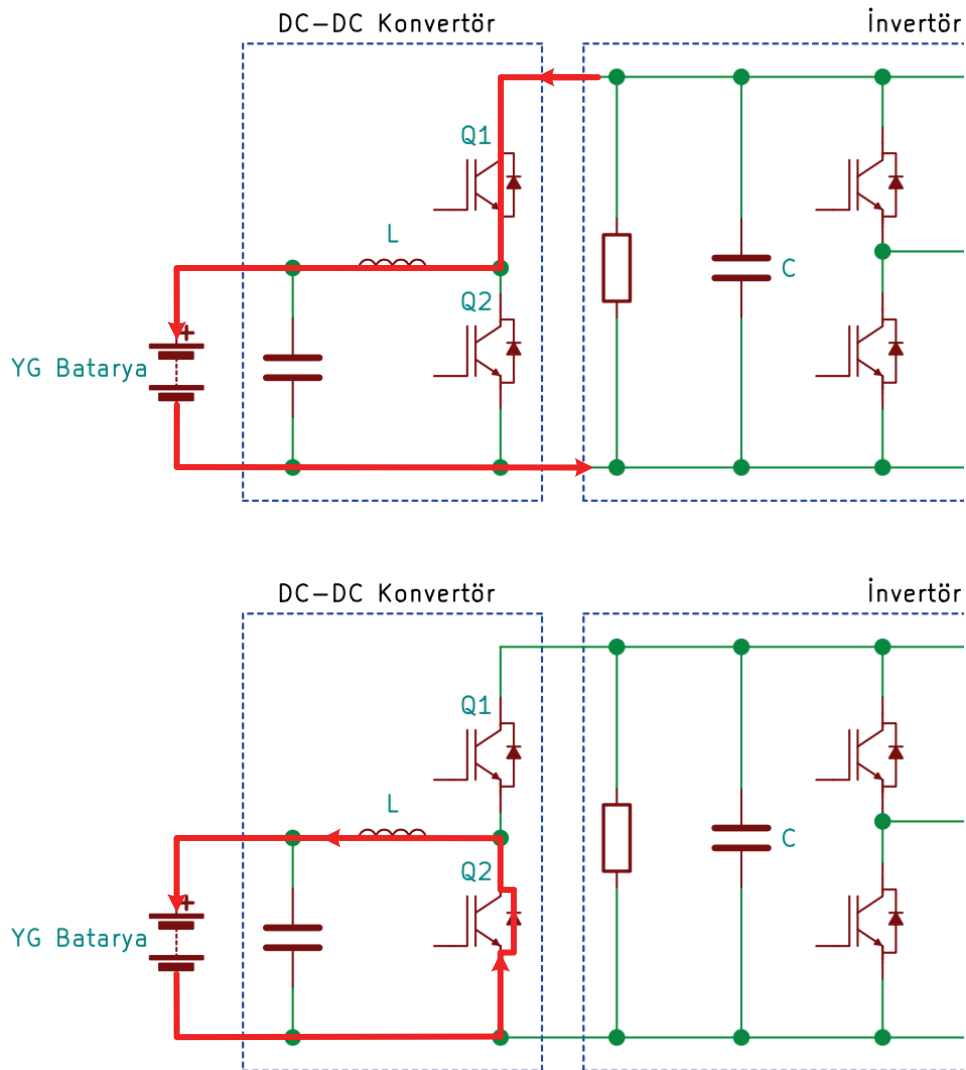
Geri kazanımlı frenleme sırasında invertörde doğrultulan gerilimin batarya şarj edecek uygun seviyeye düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla DC-DC konvertör ters yönde çalıştırılır. Bu çalışma sırasında Q2 IGBT’si tamamen devre dışıdır. Q1 IGBT’si yüksek frekansta iletim ve yalıtıma geçirilerek konvertörün çalışması sağlanır. Düşürücü DC-DC konvertör çalışması şu şekildedir:



Görsel 1.20: DC-DC konvertörün yükseltici olarak çalışması

- Devrede bulunan Q2 IGBT'si tamamen devre dışı bırakılıp Q1 IGBT'sine PWM kontrolü yapılmasıyla düşürücü tip DC-DC konvertör elde edilmiş olur.
- Q1 iletime geçirilerek L bobininde enerji depolanır.
- Q1 yalıtıma geçirildiğinde L bobini akımını Q2'de bulunan diyot üzerinden devam ettirir.
- Q1'in iletim ve yalıtıma geçirilmesi işlemi yüksek hızlarda tekrarlanır.
- Azaltıcı çalışma durumunda DC-DC konvertörden bataryaya uygulanan gerilim değeri Q1'in iletimde kalma süresinin değiştirilmesiyle ayarlanır.

Görsel 1.21'de düşürücü DC-DC konvertörün yukarıda açıklanan çalışması görülmektedir.



Görsel 1.21: Düşürücü DC-DC konvertörün çalışması



Görse 1.22: Elektrikli bir araçta kullanılan DC-DC dönüştürücü

Görse 1.22’de hibrit ve elektrikli araçlarda 12 V ile çalışan yardımcı üniteler için gerekli gerilimi sağlayan düşürücü DC-DC konvertör görülmektedir. Söz konusu DC-DC konvertör temel olarak geleneksel araçlardaki alternatörün yaptığı görevi üstlenir. Görse 1.22’deki DC-DC dönüştürücünün özellikleri şu şekildedir:

- Giriş gerilimi: 260-420 V DC
- Çıkış gerilimi: 11-15,5 V DC
- Çıkış akımı: 135 A
- Çıkış gücü: 2000 W



Görse 1.23: Üst segment tamamı elektrikli bir araçta kullanılan DC-DC konvertör

Görse 1.23’te üst sınıf tamamı elektrikli bir araçta kullanılan DC-DC konvertör görülmektedir. Görse 1.22’de görülen DC-DC konvertörden farklı olarak bu dönüştürücüde sıvı ile soğutma yapılmaktadır. Görse 1.23’te görülen DC-DC dönüştürücünün özellikleri şu şekildedir:

- Giriş gerilimi ve akımı: 220-430 V, DC 15 A (en fazla)
- Çıkış gerilimi: 9-16 V DC
- Çıkış gücü: 2500 W

AMAÇ: İnvertör, konvertör grubunun araçtan sökülmesini sağlamak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine, Avadanlık

Adı	Özellği	Miktarı
Lokma takımı		
Avometre		
Hibrit araç güvenlik ekipmanları		
Yalıtımlı lokma takımı ve yalıtımlı cırcır		

İşlem Basamakları

1. İnvertör grubu sökülmeden önce araçtaki yüksek gerilimin kesilmesi gerekir. Bunun için yapılması gerekenler şunlardır:

- 12 voltluk akünün kutbunu sökünüz.
- Yalıtımlı eldiveni kontrol ettikten sonra elinize takınız ve servis tapasını yüksek gerilim aküsünden sökünüz.
- Servis tapasını söktükten sonra diğer teknisyenlerin servis tapasına ulaşmasını önlemek için mutlaka emniyetli bir yere koyunuz.
- Servis tapasını söktükten sonra, herhangi bir yüksek gerilim soketine ya da terminaline dokunmadan önce en az 10 dakika bekleyiniz (Görsel 1.24).



Görsel 1.24: Servis tapasının bataryadan sökülmesi

Uyarı: Turuncu kablo demetleri ve soketleri yüksek gerilim devrelerini gösterir.

2. İnvertör grubunun inceleme noktasında bulunan terminallerdeki gerilimi kontrol ediniz.

- İnvertör grubunu sökmeye başlamadan önce katalogta gösterilen yerden avometre ile gerilim ölçümünü yapınız. Ölçülen değer 0 volt olmalıdır (Görsel 1.25).



Görsel 1.25: İnvertör grubu kondansatörü geriliminin ölçümü

Uyarı: Ölçüm yaparken elektrik çarpmasını önlemek için yalıtımlı eldivenler takınız.

3. İnvörtör grubunun soğutma sıvısını boşaltınız (Görsel 1.26).



Görsel 1.26: İnvörtör soğutma suyunun boşaltılması

4. İnvörtör grubuna giren kablo demetini invörtör gövdesinden ayırınız (Görsel 1.27).



Görsel 1.27: Kablo demeti socketinin ayrılması

5. Yüksek gerilim bataryasından gelen turuncu kabloyu, invörtör grubunu bağlayan socketin cıvatarını sökünüz ve socketi ayırınız (Görsel 1.28).



Görsel 1.28: Batarya kablosunun sökülmesi

6. Yüksek gerilimli klima kablosuna ait iki adet cıvataı sökünüz ve socketi invörtör grubundan ayırınız (Görsel 1.29).



Görsel 1.29: Klima kablosunun sökülmesi

7. İnvörtör soğutma sistemine ait hortumları invörtör grubundan ayırınız (Görsel 1.30).

Görsel 1.30: Hortumların sökölmesi



8. İnvörtör yan kapağına ait iki adet cıvayı sökölünüz ve kapağı invörtör grubundan ayırınız (Görsel 1.31).

Uyarı: Ölçüm yaparken elektrik çarpmasını önlemek için yalıtımlı eldivenler takınız.



Görsel 1.31: İnvörtör yan kapağına sökölmesi

9. Elektrik motorunun yüksek gerilim kablosuna ait altı adet cıvatasını sökölünüz (Görsel 1.32).



Görsel 1.32: Elektrik motoru yüksek gerilim terminallerinin sökölmesi

10. Görsel 1.33'teki dört adet cıvayı sökölünüz ve elektrik motor kablosunu invörtör grubundan ayırınız.



Görsel 1.33: Elektrik motorları kablosunun sökölmesi

11. İnvörtör grubunu şanzıman gövdesine bağlayan Görsel 1.34'teki beş adet cıvatayı ve iki adet somunu sökünüz. İnvörtör grubunu şanzıman gövdesinden ayırınız.

Uyarı: Soğutma suyu boşaltıldıktan sonra bile iç yapısından dolayı invörtörde soğutma suyu kalır. Bu yüzden soğutma suyunun dökülmemesi için invörtör grubunu çıkarırken boruların sızdırmasını önleyiniz veya boruları kapatınız.



Görsel 1.34: İnvörtör grubunun şanzıman gövdesinden sökülmesi

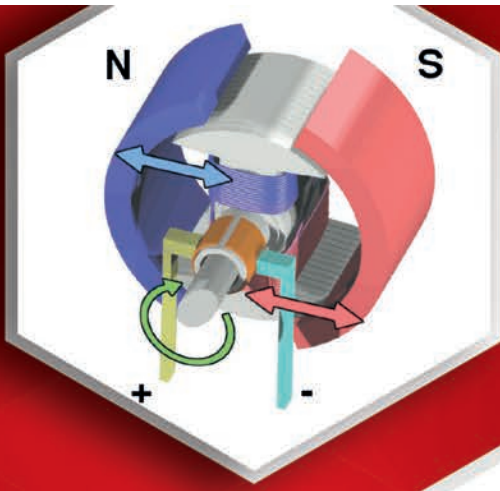
12. İnvörtör grubunu şanzıman gövdesinden ayırınız (Görsel 1.35).



Görsel 1.35: İnvörtörün şanzıman gövdesinden ayrılması

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Sökme işleminin işlem basamaklarına göre yapılması	40	
4	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	10	
5	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	20	
TOPLAM PUAN		100	



2. ÖĞRENME BİRİMİ

DOĞRU AKIM MOTORLARI

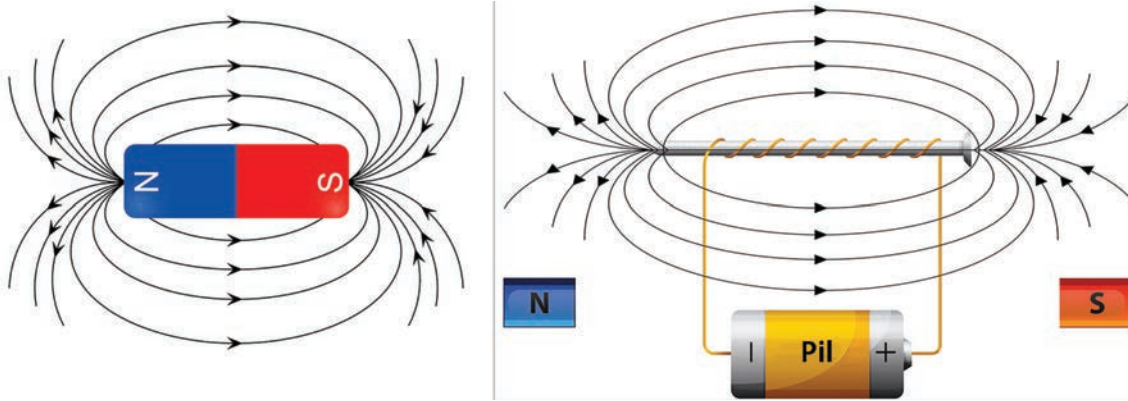


ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Doğru Akım Motorlarının Yapısı
- Doğru Akım Motorlarının Çeşitleri
- Doğru Akım Motorlarının Çalışması
- Doğru Akım Motorlarının Ölçüm ve Kontrolleri

2.1. MANYETİZMA

Demir, nikel ve kobalt gibi maddeleri çekme özelliği olan maddelere **mıknatıs** denir. Kalıcı mıknatıs ve elektromıknatıs olmak üzere iki çeşit mıknatıs vardır. Kalıcı mıknatıslar da doğal mıknatıs ve yapay mıknatıs olmak üzere iki çeşittir. Görsel 2.1’de daimî mıknatıs ve elektromıknatıs gösterilmiştir.



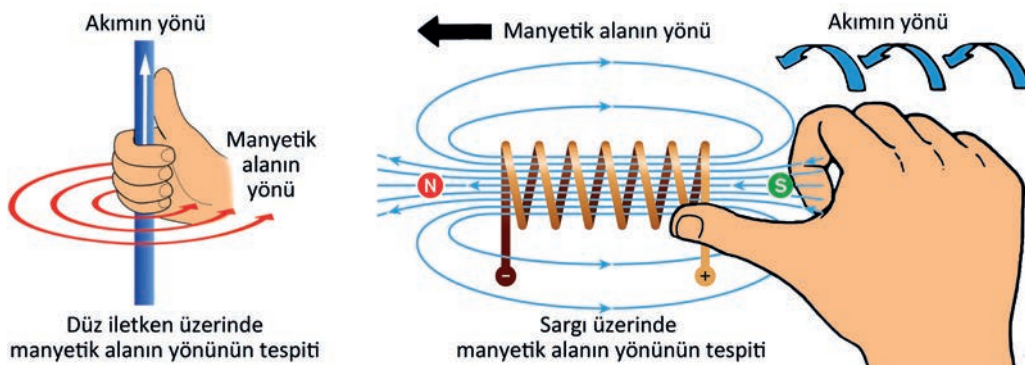
Görsel 2.1: Daimî mıknatıs ve elektromıknatıs

Mıknatısların Kuzey Kutbu ve Güney Kutbu olmak üzere iki kutbu vardır. Bu kutuplar arasında manyetik kuvvet çizgileri vardır. Manyetik kuvvet çizgilerinin yoğunluğuna **manyetik akı** denir. Manyetik akı, elektriksel bir yük hareketidir. Manyetik akının yönü, mıknatıs içinde Güney Kutbu’ndan (S) Kuzey Kutbu’na (N) doğru, mıknatıs dışında ise Kuzey Kutbu’ndan Güney Kutbu’na doğrudur. Manyetik akı “ Φ ” sembolü ile gösterilir. Manyetik akının birimi MKS (metre, kilogram, saat) birim sisteminde Weber (Wb), CGS (santimetre, gram, saniye) birim sisteminde Maxwell’dir (M). (1 Weber = 10^8 Maxwell)

Birim yüzeydeki manyetik akı miktarına **manyetik alan** denir. Manyetik akının iletken veya yüzeye temas etme yoğunluğuna göre manyetik alanın şiddeti değişir.

Manyetik alan sembolü “**B**”dir. Buna göre; “**B**= Φ / A ”dır. “**A**” manyetik akının tesir ettiği alandır.

Manyetik alan şiddeti: Manyetik alanın içinde bulunan madde üzerindeki etkisinin büyüklüğüdür.



Görsel 2.2: Sağ el kuralı ile manyetik alanın yönünün bulunması

Manyetik alanın yönü sağ el kuralına göre tespit edilir. Sağ el ile iletkeni başparmak akımın yönünü gösterecek şekilde tuttuğumuzda diğer parmaklar manyetik alanın yönünü gösterir. Sağ el ile dört parmak akım yönünü gösterecek şekilde sargıyı tuttuğumuzda baş parmak manyetik alanın yönünü gösterir. Görsel 2.2’de düz iletken içerisinde ve sargı içerisinde manyetik alanın yönünün bulunması gösterilmiştir.

2.1.1. Manyetik Geçirgenlik

Manyetik alan etkisi altına giren malzemelerin mıknatıslanma derecelerine **manyetik geçirgenlik (μ)** denir.

Bağıl manyetik geçirgenliklerine göre maddeler üç gruba ayrılır, bunlar;

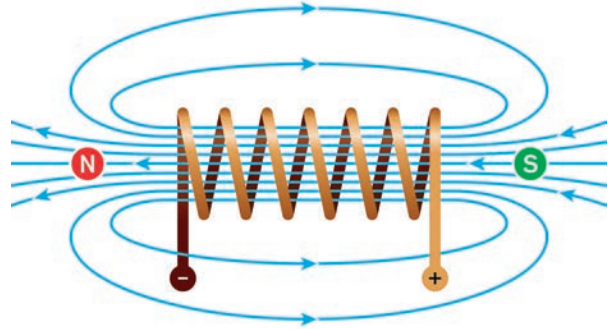
- **Ferromanyetik Madde:** Bağıl geçirgenlikleri “1”den çok büyük olan maddelerdir. Demir, nikel ve kobalt gibi maddeler bu gruptandır.
- **Paramanyetik Madde:** Bağıl geçirgenlikleri “1”den az büyük olan maddelerdir. Alüminyum ve hava gibi maddeler bu gruptandır.
- **Diyamanyetik Madde:** Bağıl geçirgenlikleri “1”den küçük olan maddelerdir. Bakır ve karbon bu maddelerdendir.

2.1.2. Prensipler ve Tanımlar

İşlenecek olan elektrik motorlarının yapılarının ve çalışma prensiplerinin anlaşılması için çeşitli temel prensipler kitapta açıklanacak ve çeşitli tanımlar yapılacaktır.

2.1.2.1. Amper Prensibi

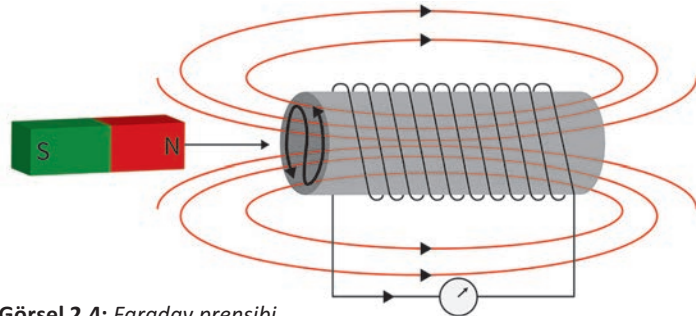
içerisinden elektrik akımı geçen iletkenin çevresinde manyetik alan oluşur (Görsel 2.3). İletkenin çevresindeki manyetik alanın şiddeti, iletken içerisinden geçen akımla doğru orantılıdır.



Görsel 2.3: Amper prensibi

2.1.2.2. Faraday’ın İndüksiyon Prensibi

Manyetik alan içerisine bir iletken sokulduğunda iletken içerisinde elektrik akımı indüklenir. İletken içerisinde indüklenme gerilimi (elektromotor kuvveti) oluşur (Görsel 2.4). Buna **Faraday’ın indüksiyon prensibi** denir.



Görsel 2.4: Faraday prensibi

Bir üretcin veya bataryanın elektrik devresine sağladığı net gerilime (potansiyel farkına) **elektromotor kuvveti (EMK)** denir. EMK, elektronları hareket ettiren kuvvet anlamına gelir. “ $\mathcal{E}$ ” sembolü ile gösterilir ve birimi voltur.

$$\mathcal{E} = N \cdot \Delta\phi / \Delta t$$

$\mathcal{E}$: Elektromotor kuvveti

$\Delta\phi$: Değişken manyetik akı

N : İletken sargıdaki sarım sayısı

Δt : Değişken zaman

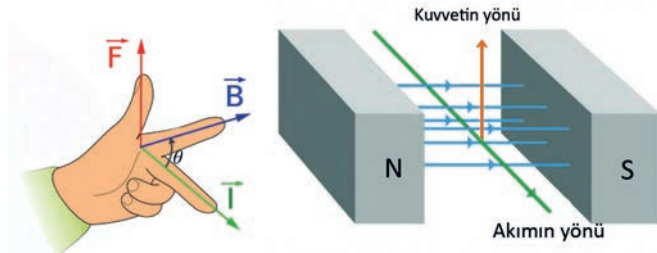
İndüklenmenin olması için zamana bağlı değişken manyetik akı olması gerekir. Manyetik alan kaynağımız bir mıknatıs ise ya iletkenin mıknatıs üzerinde hareket ettirilmesi ya da mıknatısın iletken üzerinde hareket ettirilmesi gerekir.

2.1.2.3. Lenz Prensibi

Manyetik alan içindeki iletken üzerinde indüklenme ile elektrik akımı elde edilir. İletken üzerinde indüklenme sonucu bir EMK oluşur. Oluşan EMK kendini oluşturan manyetik akıya karşı direnç oluşturur. Yani indüklenme sonucu oluşan manyetik akı kendini oluşturan manyetik akının değişimine karşı koyar. Bu olaya **Lenz prensibi** denir.

2.1.2.4. Lorentz Prensibi

Üzerinden akım geçen bir iletken, manyetik alan içerisine sokulursa iletkende kuvvet ($\mathbf{F}$) oluşur. Kuvvetin yönü sol el kuralı ile bulunur (Görsel 2.5). “ I ” elektrik akımı sembolü, “ $\mathbf{B}$ ” manyetik alan sembolüdür.



Görsel 2.5: Lorentz Prensibi (Sol el kuralı ile kuvvetin yönünün bulunması)

2.1.2.5. İndüktans

Bir bobinde indüklenen gerilim (EMK), bobin içinden geçen akımın zamana göre değişimiyle doğrudan orantılıdır. İndüktans, bu orantıda eşitliği sağlayan katsayıdır. Endüktansa (indüktans) bir indüktörün manyetik alan içerisinde enerji depolama kabiliyeti de denir. “ L ” sembolü ile gösterilir. Birimi “Henry”dir.

$$\mathcal{E} = L \cdot \Delta I / \Delta t$$

$\mathcal{E}$: İndüklenen gerilim

ΔI : Zamana göre değişen akım

L : İndüktans

Δt : Değişken zaman

2.1.2.6. Manyetomotor Kuvvet

Manyetik bir devrede manyetik akıyı oluşturan fiziksel kuvvete “**manyetomotor kuvvet**” denir. “ F ” sembolü ile gösterilir. Ohm prensibine ($E = I \cdot R$) göre elektrik devresindeki gerilimin yerini alır.

2.1.2.7. Relüktans

Manyetik devrelerde manyetik akıya karşı gösterilen zorluğa relüktans (R) denir. Ohm prensibine göre elektrik devresinde direncin karşılığıdır.

$$F = \phi \cdot R$$

F : Manyetomotor kuvvet

ϕ : Manyetik akı

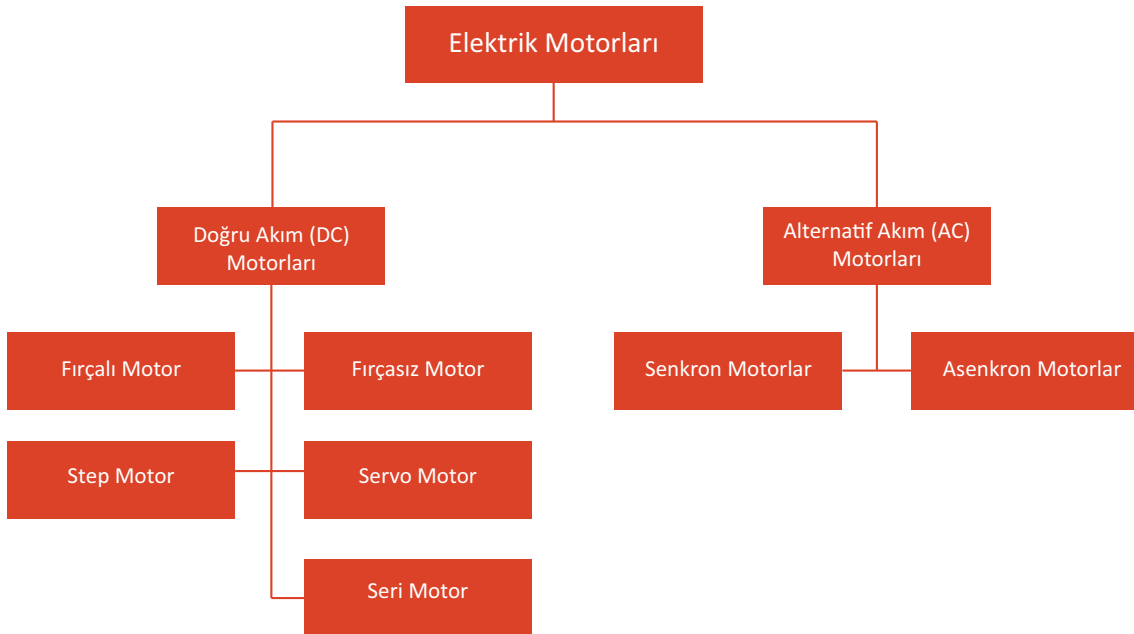
R : Relüktansı

Elektrik makineleri, 1800'lü yıllardan itibaren sanayinin ve teknolojinin gelişmesinde önemli görevler üstlenmiştir. Bu makinelerin günlük hayattan barajlara, otomobillerden fabrikalara kadar çok geniş bir kullanım alanı vardır. Elektrik makineleri hem mekanik enerji üretiminde hem de elektrik enerjisi üretiminde yaygın şekilde kullanılır.

1800'lü yıllarda manyetizmaya dair kavramların ortaya çıkmasıyla elektrik makinelerinin temelleri atılmıştır. 1820'de Hans Christian Oersted (Hans Kristiyan Orstıd) elektrik akımının manyetik alan oluşturduğunu ortaya koymuştur. 1831'de Michael Faraday (Maykıl Feredey) elektromanyetik indüksiyon kavramı ile jeneratörü, 1832'de ise Thomas Davenport (Tamis Devinport) elektrik motorunu icat etmiştir. Bu gelişmelerle birlikte 1800'lü yıllarda ilk elektrikli araçlar ortaya çıkmış ve zamanla dezavantajlarından dolayı ilgi görmemiştir. Günümüzde ise teknolojinin gelişmesiyle elektrik makineleri otomotiv sektöründe aktif şekilde kullanılmaktadır.

Elektrik makineleri; elektrik motoru, jeneratör ve transformatör olarak üçe ayrılır. Elektrik motoru elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinedir. Jeneratörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Transformatörler ise elektrik akımını ve gerilimini elektromanyetik indüksiyon ile dönüştüren durgun makinelerdir. Elektrik motorları elektrikli araçlarda tahrik amaçlı olarak kullanılır. Ayrıca araçlarda kullanılan marş motoru, silecek motoru, yakıt pompa motorları vb. motorlar elektrik motorlarıdır. Araçlarda şarj sistemi elemanı olan alternatör bir jeneratördür. Hibrit ve elektrikli araçlarda elektrik motoru, jeneratör görevi yaparak geri kazanımlı fren sistemlerinde elektrik elde edilmesinde kullanılır. Hibrit araçlarda kullanılan ateşleme bobinleri de transformatördür. Akü gerilimini artırarak bujide kıvılcımın oluşmasını sağlar.

Otomotiv sektöründe hibrit ve elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla tahrik amaçlı kullanılan motorlarda çeşitlilikler ortaya çıkmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan elektrik motorlarının genel sınıflandırılması Görsel 2.6'da gösterilmiştir.



Görsel 2.6: Elektrik motorları genel sınıflandırması

2.2. DOĞRU AKIM MOTORLARI

Doğru akım motorları, doğru akım (DA veya DC) özelliğine sahip elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik makineleridir. DC motor veya DA motor olarak da isimlendirilirler. Düşük hızlarda yüksek tork, kolay kontrol edilebilirlik, basit yapısı, doğrusal tork-hız karakteristiği ve yüksek verim gibi avantajlarından dolayı pek çok alanda tercih edilmektedir. Doğru akım motorları doğru akımla çalıştığı için kontrolü kolaydır. Bu yüzden karmaşık güç elektroniği elemanlarına ihtiyaç yoktur. Doğru akım motorlarında rotor akımı için kolektör-fırça tertibatı kullanılması ise en büyük dezavantajdır. Fırçalar zamanla aşınarak bakım gerektirirken aynı zamanda motor veriminin azalmasına neden olur. Teknolojik gelişmelerle bu dezavantaj ortadan kaldırılarak fırçasız DC motorlar geliştirilmiştir.

Fırçalı ve fırçasız DC motorlar otomotiv sektöründe geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlar; elektrikli taşıtlarda tahrik motorları, marş motorları, gaz keleşği motorları, silecek motorları, yakıt pompa motorları, radyatör fan motorları, cam ve ayna motorları, klima fan motorları, rölanti motorları vb. motorlardır.

Doğru akım motorları genel olarak şu kısımlardan oluşur: Stator (endüktör), rotor (endüvi), gövde ve kapaklar, fırça mekanizması, rulmanlar ve yataklar

2.2.1. Stator (Endüktör)

Motorun sabit ve hareket etmeyen parçasıdır. Endüktör de denilir. Statorun görevi manyetik alan oluşturmaktır. Gövde, çekirdek ve kutuplardan oluşur. Stator çekirdeği silisyumlu saclardan üretilmiştir. Stator manyetik alan oluşturmak için sargı veya mıknatıs kullanılır. Stator sargısı izoleli bakır tellerden oluşur. Sargılara elektrik akımı verilerek elektromanyetik alan oluşturulur.

Stator gövdesine konumlandırmak için uygun açılarda üretilmiş doğal mıknatıslar kullanılır. Bu mıknatıslar ile sabit bir manyetik alan elde edilir. Motorun dış kısmını oluşturan stator gövdesi çekirdek ve sargıları veya mıknatısları muhafaza eder.

2.2.2. Rotor (Endüvi)

Motorun dönen, hareketli parçasıdır. Endüvi ve armatür de denilmektedir. Çekirdek, mil ve sargı kısımlarından oluşmuştur. Rotor çekirdeği çelik saclardan üretilmiştir. Rotor sargısı izoleli bakır tellerden oluşur. Rotor sargısına elektrik akımı verilerek manyetik alan oluşturulur. Rotora akım vermek için sargı uçları bakır dilimlerden yapılmış kolektör (komütatör) halkalarına bağlanmıştır. Kolektöre fırçalar (kömürler) üzerinden akım geçmektedir.

Sargılarda manyetik alan oluşturularak stator sargılarındaki manyetik alan ile etkileşime girmesi sağlanır. Bu etkileşim sonucu rotorda dönme hareketi ve tork oluşmaktadır.



Görsel 2.7: Stator



Görsel 2.8: Rotor

2.2.3. Kolektör (Komütatör) ve Fırçalar (Kömürler)

Rotor sargılarında manyetik alan oluşturmak için kolektör ve fırçalar kullanılır. **Kolektör**, rotorun sargı uçlarının bağlandığı bakır dilimlerden oluşan parçasıdır. Rotor miline yataklandırılmış olup rotorla beraber dönmektedir. Fırçalar ise kolektöre elektrik akımını iletmek için temas hâlinde olan ara iletim elemanıdır. Rotor sargılarında kolektör-fırça mekanizması ile akımın yön değiştirmesine **komütasyon** denir. Motorların akım ve gerilim değerlerine göre farklı sertlikte fırçalar kullanılır. Fırçaların temas etmesini sağlamak için fırça yayları kullanılır.

Fırçalar genellikle karbon alaşımlarından üretilmiştir. Bu yüzden kömür de denilir. Fırça, kullanılan bu tip motorlara fırçalı DC motor (Brush DC motor-bıraş di si motor) denilir. Kolektör ve fırçalar kullanıma bağlı olarak zamanla aşınır ve deforme olur. Bu durum motor verimini düşürerek fırçaların ses ve kıvılcım çıkarmasına neden olur. Bu yüzden fırçalı DC motorların periyodik kontrol ve bakımlara ihtiyacı vardır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte kolektör ve fırça kullanılmayan DC motorlar (Brushless DC motor-Bıraşlıs di si motor) geliştirilmiştir.



Görsel 2.9: Kolektör ve fırça tutucusu

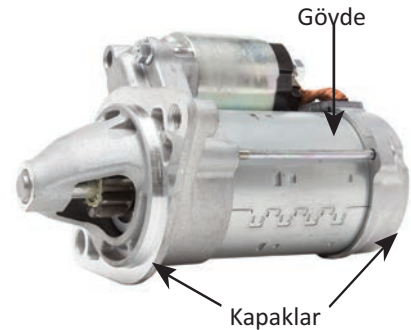
2.2.4. Gövde ve Kapaklar

Elektrik motorunu dış etkilerden korumak için statorla beraber motorun dış kısmını oluştururlar. Alüminyum ve demir alaşımından üretilirler. Kapaklar, rotorun stator içerisinde merkezlenerek yataklandırılmasını sağlar ve motorun iç kısmını dış etkilerden korur.

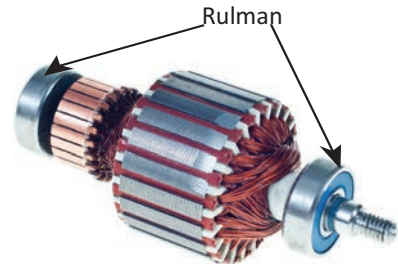
2.2.5. Rulman ve Yataklar

Rotoru yataklamak için rotor mili üzerinde rulmanlar kullanılmaktadır. Rulmanlar, kapaklar üzerindeki yataklara yerleştirilerek rotorun verimli bir şekilde dönmesini sağlar. Sökme ve takma işlemleri sırasında rulmanlara dikkat edilmelidir. Rulmanlar yağsız kalması nedeniyle zamanla ses yapar ve aşınır. Aşınmış rulmanlar sürtünme kayıplarına neden olarak motorun verimini düşürür.

DC motorlar yapısal olarak rotor ve statorda sargı-mıknatıs konumları değişiklik gösterebilir. Statorda mıknatıs rotorda sargı, statorda sargı rotorda sargı ve statorda sargı rotorda mıknatıs yer alan tasarımlar kullanılır. Yapısal değişikliklere rağmen çalışma prensibi aynıdır.



Görsel 2.10: Gövde ve kapaklar



Görsel 2.11: Rulman

AMAÇ: Basit bir elektrik motoru yapmak.

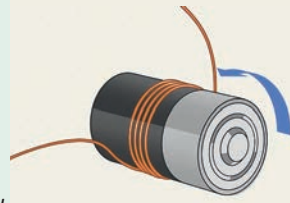
Kullanılacak Araç Gereç, Makine, Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
1,5 volt pil	D boyut (büyük pil)	1
Emaye kaplı bakır tel (bobin teli)	1 mm çaplı	
Neodimyum mıknatıs	dikdörtgen	1
Çengelli iğne veya ataş		2
Paket lastiği veya bant		2
Bant		1
Maket bıçağı veya zımpara		1
Pense		1

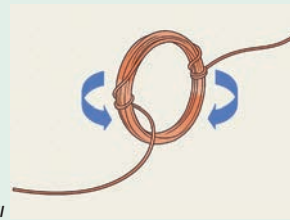
İşlem Basamakları

1. Pilin etrafına sargı oluşturacak şekilde emaye kaplı bakır teli sararak bobin yapınız. Sonra telin iki ucunu görseldeki gibi iki yana uzatınız.

Görsel 2.12: Bakır telin sarımı

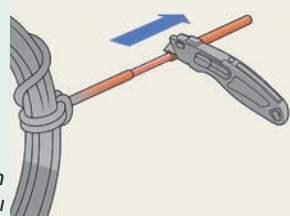


Görsel 2.13: Bobin ve uçları



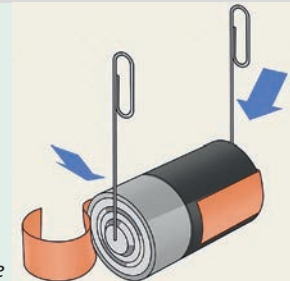
2. Emaye kaplı bakır telin emaye kaplamasını maket bıçağı veya zımpara ile soyunuz.

Görsel 2.14: Emaye kaplamanın kaldırılması

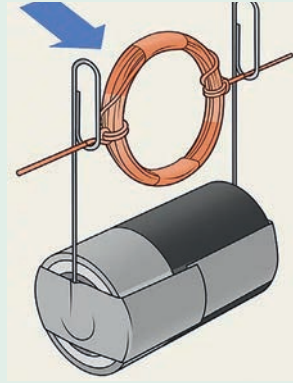


3. Çengelli iğneleri veya ataşları pilin uçlarına paket lastiği veya bant ile sabitleyiniz.

Görsel 2.15: Ataşları sabitleme

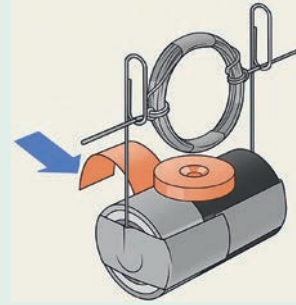


4. Hazırladığınız bobini çengelli iğnelerin veya ataşların uçlarına yerleştiriniz.



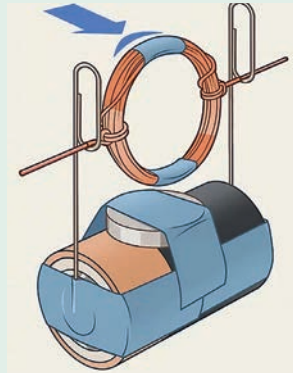
Görsel 2.16: Bobini yerleştirme

5. Mıknatısı pilin üzerine yerleştiriniz.



Görsel 2.17: Mıknatıs sabitleme

6. Bobini çeviriniz, elektrik motorunuz çalışacaktır. Elektrik motorunuz çalışmıyor ise bobin uçlarının çengelli iğneye veya ataşa temas eden kısımlardaki emaye kaplamasının iyice soyulup soyulmadığını kontrol ediniz. Mıknatıs ile bobin arasındaki mesafeyi kontrol ediniz.



Görsel 2.18: Elektrik motorunun çalışması

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Malzeme temini	20	
3	İşlem basamaklarını gerçekleştirme	20	
4	Elektrik motorunun çalışması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	

2.3. DOĞRU AKIM MOTOR ÇEŞİTLERİ

2.3.1. Fırçalı Doğru Akım Motoru

Fırçalı DC motorlarda rotor sargılarına akım, kolektör-fırça mekanizması sayesinde iletilir. Bir önceki konuda yapısı açıklanmıştır. Sanayinin pek çok alanında uygun maliyeti ve kolay motor yönetiminden dolayı yaygın bir şekilde kullanılır. Kolektör ve fırça kullanılmasından kaynaklı motorda zamanla aşınma ve kıvılcıklar meydana gelmektedir. Bu durum motor veriminin zamanla düşmesine neden olmaktadır. İlk geliştirilen elektrikli araçlarda tahrik amaçlı kullanılmıştır. Fırçalı DC motor araçlarda marş motoru, silecek motoru, havalandırma fan motoru, radyatör fan motoru, yakıt pompa motoru olarak kullanılır. Bu motorların Fırçasız DC motor çeşitleri de bulunmaktadır.



Görsel 2.19: Marş motoru ve silecek motoru

2.3.2. Fırçasız Doğru Akım Motoru (BLDC)

Fırçalı DC motorların veriminin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarından dolayı fırçasız DC motorlar geliştirilmiştir. Kolektör-fırça mekanizması kullanılmadığı için bunlara fırçasız DC Motor (Brushless DC Motor-BLDC) denilmektedir. Rotor manyetik alanı için kalıcı mıknatıslar, stator manyetik alanı için sargılar kullanılır. Çalışması için bir elektronik denetleyici içeren kontrol sistemine ve rotor konumunu algılamak için sensörlere ihtiyaç vardır. Sensör olarak optik veya Hall-effect (Hall efekt) sensörler kullanılır. Yüksek verim, yüksek başlangıç torku ve sessiz çalışma özelliklerinden dolayı elektrikli taşıtlarda tahrik amaçlı kullanılmaktadır. Araçlarda marş motoru, silecek motoru, yakıt pompa motoru, klima fan motoru ve radyatör fan motoru olarak da kullanılır.

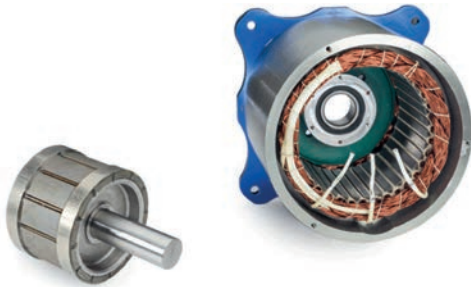
Fırçasız DC motorlar yapısal olarak iç rotorlu ve dış rotorlu olmak üzere ikiye ayrılır.

2.3.2.1. İç Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru (İnrunner-İnranır BLDC)

Geleneksel motorlar gibi rotor motorun merkezinde, stator ise dışındadır. Bu motorlarda yapısından dolayı güç aktarma elemanları gerekmektedir. Üç tekerlekli mikro elektrikli taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.2.2. Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru (Outrunner-Autranır BLDC)

Dış rotorlu motorlar çalışma prensibi aynı olmasına rağmen yapısal olarak farklılıklara sahiptir. Rotor motorun dışında yer alırken stator motorun merkezindedir. Bu yapıya tekerlek içi (hub) motor da denilir. Rotor üzerinde kalıcı mıknatıslar yer alır. Sargılar ise statora sarılmıştır. Stator akımı kontrol edilerek rotorun dönmesi sağlanır. Bu motora sahip sistemlerde aktarma organları kullanılmadan hareket doğrudan tekerleklere aktarılmaktadır. Bu sayede hafif olması istenen elektrikli bisiklet-motosiklet, üç tekerlekli mikro araçlarda vb. taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.



Görsel 2.20: İç rotorlu fırçasız doğru akım motoru

2.3.3. Seri Motor

Seri motorlarda stator ve rotor manyetik alanları için sargı kullanılmıştır. Stator sargıları ile rotor sargılarının seri olarak bağlandığı motorlara **seri motor** denilir. Fırçalı DC motorlarla aynı parçalara sahiptir. Stator sargıları diğer DC motorlara göre kalın ve az sarımlıdır. Güç kaynağından akım verildiğinde önce stator sargılarına sonra rotor sargılarına akım akar. Yüksek akım çeken bu motorlar yüksek başlangıç torkuna sahiptir. Kalkış sırasında yüksek tork ihtiyacı olan raylı ulaşım araçlarında ve vinçlerde kullanımı yaygındır. Araçlarda ise içten yanmalı motorlara ilk hareketi vermek için marş motoru olarak kullanılır.



Görsel 2.21: Dış rotorlu fırçasız doğru akım motoru

2.3.4. Servo Motor

Servo motor, güç elektroniği elemanları ile geri besleme yaparak çalışan DC motorlu sistemlerdir. Servo motorun yapısı; DC motor, dişliler, kontrol devresi, potansiyometre veya enkoderden oluşur.

Rotor milinin hız ve konum değerleri potansiyometre veya enkoder tarafından ölçülür ve bu bilgiye **geri besleme sinyali** denir. Kontrol devresi, giriş sinyali ile geri besleme sinyalini karşılaştırarak motorun çalışma durumunu sürekli kontrol eder. Servo motor yapısında çeşitli DC motorlar kullanılabilir. Hassas konumlama, hız kontrolü ve düşük devirde yüksek tork sağladığı için sanayide değişik alanlarda kullanılmaktadır. Elektrikli araçlarda tahrik amaçlı kullanılmaz.



Görsel 2.22: Marş motoru sargıları

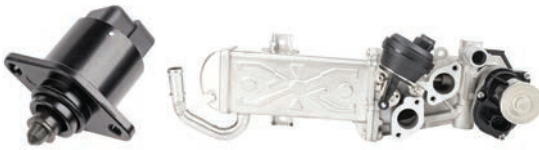


Görsel 2.23: Elektronik gaz kelebeği

Araçlarda en yaygın kullanımı elektronik kontrollü gaz kelebeği motorudur. Elektronik kontrollü gaz kelebeği sistemi geri beslemeli olarak çalışan DC motor kullanan sistemlerdir. Elektronik kontrol ünitesinden gelen sinyal, gaz kelebeği motorunu hareket ettirir. Rotor milinin hareketi redüktör dişlilerinin karşısına yerleştirilmiş gaz kelebeği konum potansiyometresinden ölçülür ve geri besleme sinyali elde edilir. Motor giriş sinyali ile geri besleme sinyali karşılaştırılarak gaz kelebeği konumu doğrulaması yapılır.

2.3.5. Step (Adım) Motor

Step motor, girişlerine uygulanan sinyallere göre belirli açılarda dönme hareketi yapan motorlardır. Her sinyal uygulanışında; aldığı açısal yolun bir adım (step) olarak nitelendirilmesi, bu motorların isim kaynağıdır. Servo motora göre daha basittir ve geri beslemesi yoktur. Rotorda kalıcı mıknatıs kullanıldığı için fırçasız motorlardır. Stator da ise sargılar yer alır. Step motorlar 90°, 45°, 18°, 7,5°, 1,8° veya daha farklı açılarda hareket edebilir. Adım hareketlerinin açısı/sayısı statordaki kutup sayılarına bağlıdır. Farklı açılardaki hareketleriyle hassas konumlama imkânı veren step motorlar, hız kontrolü ve yüksek tork sağladığı için sanayide değişik alanlarda kullanılmaktadır.



Görsel 2.24: Rölanti ve EGR motoru

Araçlarda rölanti motoru ve egzoz gazları resirkülasyon (EGR) motoru vb. kademeli hareket eden motorlar step motorlardır.

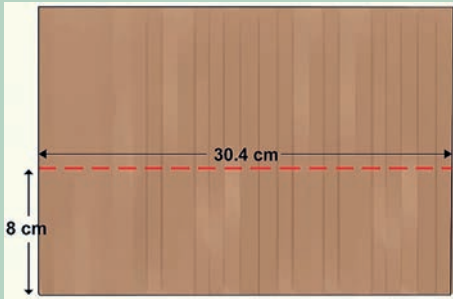
AMAÇ: Basit bir elektrik jeneratörü yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine, Avadanlık

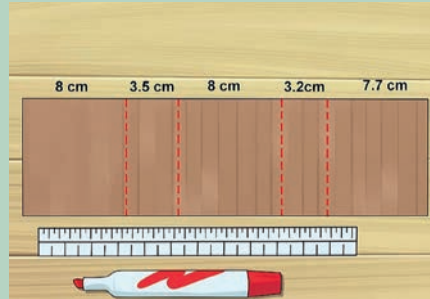
Adı	Özellği	Miktarı
Neodimyum mıknatıs	dikdörtgen	2
Karton	32x10 cm	1
Kalem	dikdörtgen	1
Emaye kaplı 1 mm çaplı bakır tel		
Tahta ya da plastik çubuk	15 cm	1
Mantar LED	beyaz	1
Cetvel		1
Pense		1
Maket bıçağı		1
Bant ya da yapıştırıcı		1

İşlem Basamakları

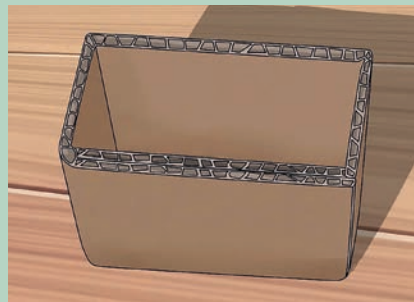
1. Kartonu belirtilen ölçülerde keserek yapıştırınız. Genel boyutu 30,4 cm-8 cm olarak ayarlayınız. İşaretleme kısmında sırasıyla 8 cm- 3,5 cm- 8 cm- 3,2 cm- 7,7 cm ölçülerini işaretleyiniz. Daha sonra işaretlenen kısımlardan katlayınız.



Görsel 2.25: Karton ölçüleri



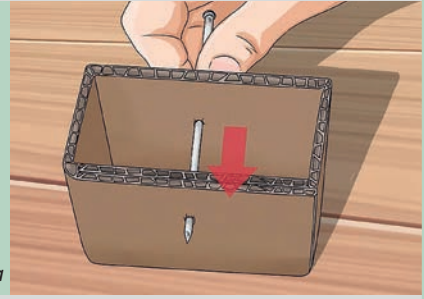
Görsel 2.26: Karton işaretleme



Görsel 2.27: Karton yapıştırma

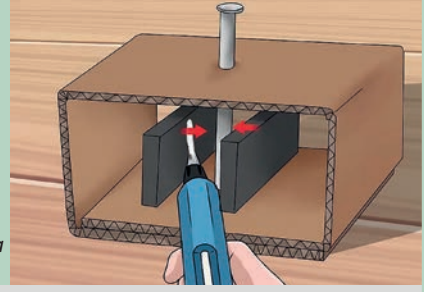
2. Kartonun uzun kenarlarında orta noktaya gelecek şekilde delik açınız. Tahta ya da plastik çubuğu rahat dönecek şekilde yerleştiriniz.

Görsel 2.28: Delik açma



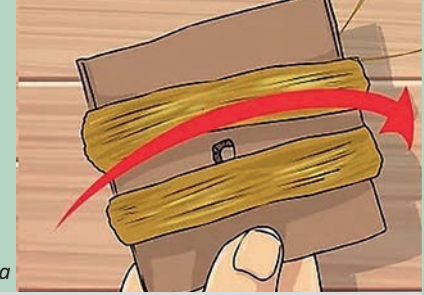
3. Mıknatısları tahta ya da plastik çubuğa yapıştırarak jeneratör milini oluşturunuz.

Görsel 2.29: Mıknatıs yapıştırma



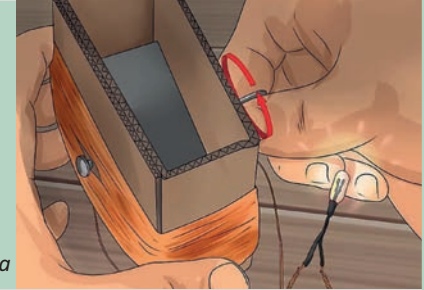
4. Kartonun dış kısmına bobin olacak şekilde emaye kaplı bakır teli sarınız. Uçları uzun bırakarak emaye kaplamasını maket bıçağıyla soyunuz. Bobinin uçlarına mantar LED'i bağlayınız.

Görsel 2.30: Bobin sarma ve LED bağlama



5. Mili hızlı çevirerek LED'in yanmasını sağlayınız.

Görsel 2.31: Elektrik jeneratörünü çalıştırma



Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

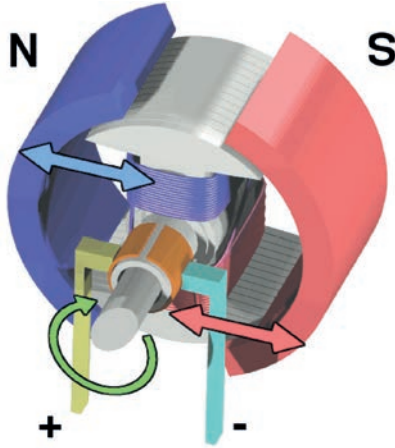
S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Malzeme temini	20	
3	İşlem basamaklarını gerçekleştirme	20	
4	Elektrik jeneratörünün çalışması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	

2.4. DOĞRU AKIM MOTORLARININ ÇALIŞMASI

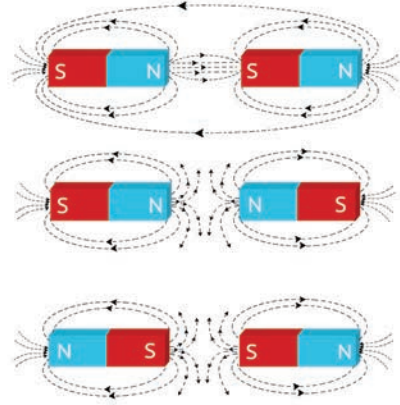
2.4.1. Fırçalı DC Motorların Çalışması

Mıknatısların doğal manyetik alana sahip olduğu ve yapay olarak da sargılar yardımıyla manyetik alan elde edildiği bilinmektedir. Manyetik alanlar arasında kutuplardan dolayı itme ve çekme hareketi oluşmaktadır. Zıt kutuplar birbirini çekerken aynı kutuplar birbirini iter. DC motorların çalışması bu temel ilkeye bağlıdır.

DC motorların rotor ve statorunda mıknatıs ve sargı yardımıyla manyetik alan oluşturulur. Manyetik alanların etkileşimiyle itme çekme sonucunda rotorda dönme hareketi meydana gelir. Statorda sargı ya da mıknatıs ile oluşturulan manyetik alan sabitken rotorda



Görsel 2.33: DC motorun çalışması



Görsel 2.32: Mıknatıs kutuplarının etkileşimi

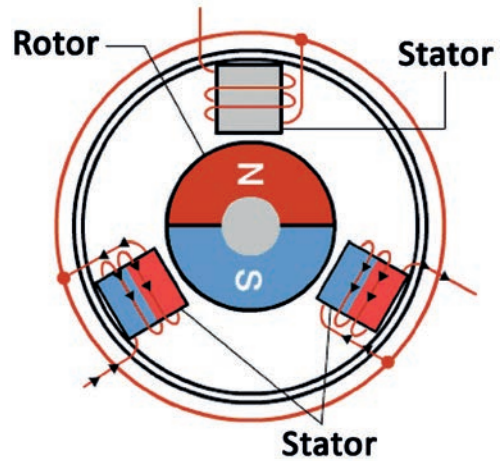
sargı ile oluşturulan manyetik alan hareketlidir. Kolektör-fırça mekanizması ile rotor sargılarında elektrik akımı yön değiştirir. Bu yön değiştirme işlemine **komütasyon** denir. Komütasyon ile rotor sargılarındaki kutuplar değiştirilerek stator manyetik alanıyla sürekli etkileşim elde edilir.

Faraday Yasası'na göre sabit manyetik alan içinde hareket eden iletkende akım indüklenir. Rotor iletkenleri stator manyetik alanı içinde hareket ederken manyetik kuvvet çizgilerini keser ve EMK (elektromotor kuvvet) indüklenmesi meydana gelir. EMK rotora uygulanan gerilime ters yöndedir. Bu yüzden zıt EMK olarak adlandırılır. Zıt EMK motorun düşük akımla çalışmasını sağlar. Statorda bir kutup enerjilendirilirse rotor belli bir açıda dönüp duracaktır. Bu durumu ortadan kaldırmak için iki kutup birden enerjilendirilerek rotorun sürekli dönmesi sağlanır.

2.4.2. Fırçasız DC Motorların Çalışması

Fırçasız DC motorların fırçalı DC motorlara göre yapısal farkları bulunmaktadır. Rotor ve statorun manyetik alan oluşturma yöntemleri değişmiştir. Rotorda kalıcı mıknatıs kullanılarak sabit manyetik alan elde edilmiştir. Stator ise sargılar kullanılarak döner manyetik alan elde edilmiştir.

Fırçasız DC motorların çalışması için güç elektroniği elemanlarına ihtiyaç vardır. Motoru sürmek için elektronik denetleyiciye ve rotor konum bilgisi için sensörlere ihtiyaç vardır. Rotorun konum tespiti için genellikle Hall-effect sensörler kullanılır. Denetleyici sensörden gelen bilgiye göre stator kutuplarına sırasıyla elektrik akımının verilmesini sağlar. Rotor manyetik alanı ile stator manyetik alanı arasındaki itme-çekme etkileşimiyle rotor döner ve tork oluşur. Oluşan tork manyetik alanların şiddetlerine bağlıdır.



Görsel 2.34: Fırçasız DC motorun çalışması

AMAÇLAR: Fiziki ve görsel kontrolleri yapmak.

Avometre kullanarak elektriksel kontrolleri yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine, Avadanlık

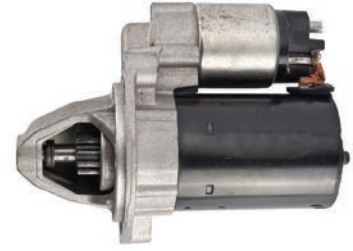
Adı	Özelliği	Miktarı
Lokma ve tornavida takımları		
Avometre		

İşlem Basamakları

a. Fiziki ve Görsel Kontroller

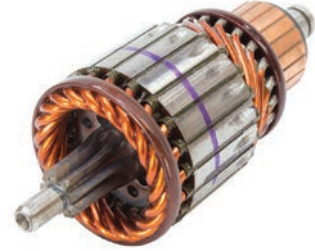
1. Motor üzerinde gerekiyorsa temizlik işlemi yapınız.
2. Motorun kapak bağlantı elemanlarını sökünüz ve kapakları çıkarınız.
3. Marş dişlisini, marş çatalını ve manşonu kontrol ediniz.

Görsel 2.35: Marş motoru



4. Rotoru sökünüz.
5. Sargılarda yanık kokusu olup olmadığını kontrol ediniz.
6. Sargıların yalıtım maddelerinde atma veya sürtme olup olmadığını gözlemleyiniz.
7. Kolektör dilimlerinin ve fırçaların aşınma durumunu kontrol ediniz.
8. Rotor yatak rulmanlarını elle döndürerek sesini dinleyiniz. Dönerken takılma ve boşluk olup olmadığını kontrol ediniz.
9. Stator (endüktör) sargılı ise sargıları ve bağlantılarını, mıknatıslı ise mıknatıslarını kontrol ediniz.

Görsel 2.36: Rotor (Endüvi)



b. Elektriksel Kontroller

1. Sargıların Direnç Ölçümü

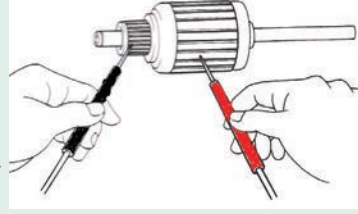
- Avometreyi direnç kademesine getiriniz.
- Probları stator (endüktör) sargı uçlarına bağlı olan fırçalara temas ettirerek sırasıyla sargıların dirençlerini ölçünüz.
- Rotor sargılarının ölçümü için kolektör dilimlerinden ölçme işlemi yapınız.

Görsel 2.37: Stator (endüktör) direnç kontrolü



- Marş selenoid sargılarının direnç kontrolünü yapınız.
- Avometrede ölçüm değeri okunmalıdır. Değer okunmuyorsa sargı kopuktur.

Görsel 2.38: Rotor (endüvi) direnç kontrolü

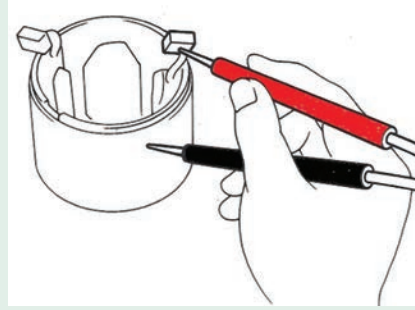


Görsel 2.39: Selenoid direnç kontrolü



2. Kaçak (Kısa Devre) Kontrolü

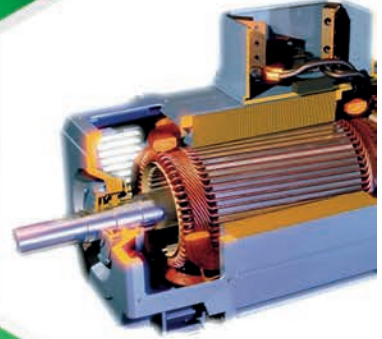
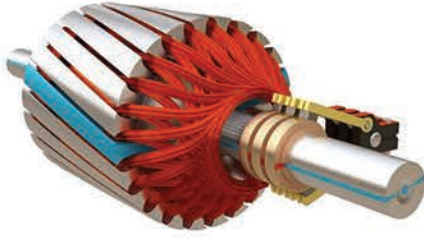
- Avometreyi buzzer (bazır) pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir probunu fırçalardan birine diğer probu motorun gövdesine temas ettiriniz. Ölçü aletinden ses geliyorsa kaçak vardır. Sırasıyla diğer fırçaların da kaçak kontrolünü yapınız.



Görsel 2.40: Şaseye kaçak kontrolü

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	20	
4	Elektriksel kontrollerin yapılması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	



3. ÖĞRENME BİRİMİ

ASENKRON MOTORLAR



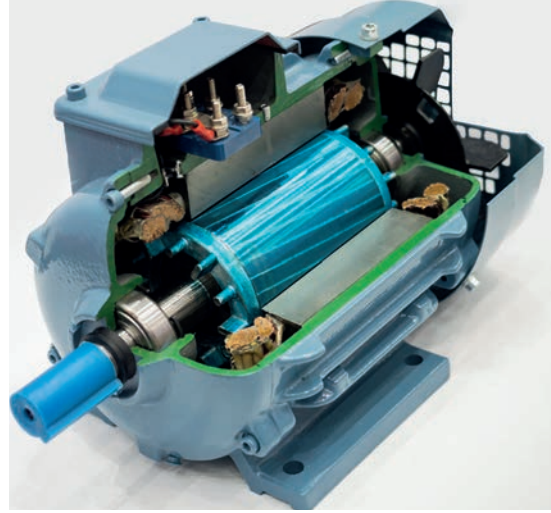
ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Asenkron Motorların Yapısı
- Asenkron Motorların Çeşitleri
- Asenkron Motorların Çalışması
- Asenkron Motorların Ölçüm ve Kontrolleri

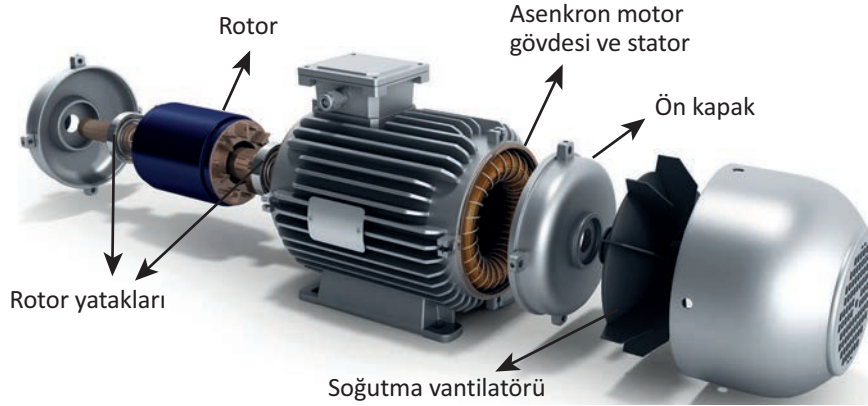
Nikola Tesla tarafından icat edilen asenkron motorlar alternatif akımla çalışır. Bu motorlar; basit yapısı, yüksek güvenilirliği, sağlamlığı, düşük maliyeti ve kolay bakım özellikleriyle elektrikli araçlarda tercih edilir. Bu motorlara çalışma prensibinden dolayı **indüksiyon motorları** da denir. Çalışma sırasında DC motorlarının kolektörlerinin dilimleri arasında olduğu gibi elektrik arkı meydana gelmez. Görsel 3.1’de asenkron motor kesiti gösterilmektedir.

3.1. ASENKRON MOTORLARIN YAPISI

Elektrikli araçlarda üç fazlı asenkron motorlar tercih edildiği için bu motorların yapısı incelenecektir.



Görsel 3.1: Asenkron motor kesiti



Görsel 3.2: Asenkron motoru oluşturan parçalar

Asenkron motorlar stator ve rotor olmak üzere iki ana parçadan oluşur. Bu ana parçaların dışında rotorun gövdeye yataklandırılmasını sağlayan rulmanlar bulunur.

3.1.1. Stator

Stator motorun sabit olan kısmıdır. İç yüzeyine oluklar açılmış, iletkenliği yüksek silisyumlu çelik sac plakalar birleştirilerek gövdenin içine yerleştirilmiştir.

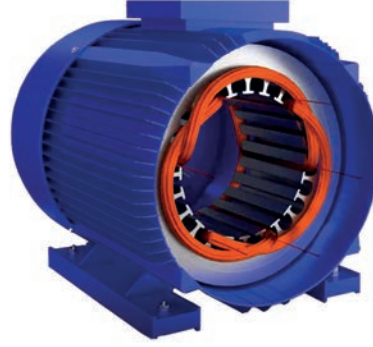


Görsel 3.3: Motor gövdesi ve stator

Sac plakalar manyetik alanın kuvvetlendirilmesini sağlar. Birleştirilmiş plakaların üzerindeki oluklara 120°'lik açı ile yerleştirilmiş üç sargı (bobin) bulunmaktadır (Görsel 3.3, Görsel 3.4 ve Görsel 3.5). Statordaki sargı uçları yıldız veya üçgen bağlanır. Elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorlarda, yıldız bağlantı tercih edilir.



Görsel 3.4: Motor gövdesi ve stator plakaları



Görsel 3.5: Motor gövdesi ve stator sargıları

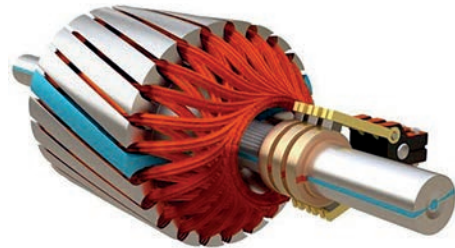
3.1.2. Rotor

Rotor asenkron motorun hareketli olan parçasıdır. Sincap kafesli rotora statorda olduğu gibi rotor milinin üzerinde iletkenliği yüksek silisyumlu çelik sac plakalar birleştirilmiştir. Statorda olduğu gibi plakalar rotor üzerinde oluşan manyetik alanın kuvvetlendirilmesini sağlar. Bu çelik plakalar üzerindeki oluklardan alüminyum ya da bakırdan yapılmış çubuklar geçirilir. Çubuklar uçlarından rotor milinin her iki tarafında alüminyum ya da bakır halkalar ile birleştirilerek kısa devre yapılır. Bir sincap kafesini andıran görüntüsünden dolayı **sincap kafesli rotor** diye isimlendirilir. Rotor mili başındaki ve sonundaki rulmanlar ile motor gövdesine yataklandırılır.



Görsel 3.6: Rotor sincap kafes yapısı ve rotor çelik plakaları

Rotoru sargılı (bilezikli) motorlarda ise rotorda sargı ve bu sargıların uçlarının bağlandığı bilezikler bulunur. Bu bileziklerin üzerine de fırçalar gelir. Bu döner bilezikler ile yol verme ve hız ayarlaması yapılır. Görsel 3.7'de motorun rotoru verilmiştir.



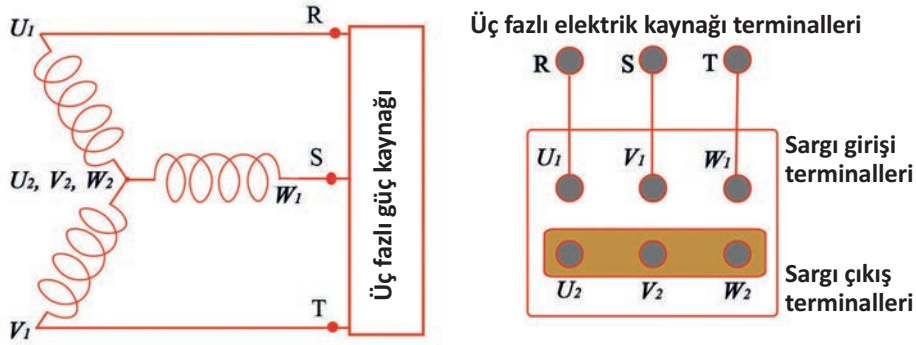
Görsel 3.7: Bilezikli (rotor sargılı) rotor

3.1.3. Asenkron Motorların Stator ve Rotor Sargılarının Elektrik Kaynağına Bağlantı Şekilleri

Üç fazlı asenkron motorların statorunda her faz için 120°'lik açıyla birer sargı yerleştirilmiştir. Bu sargılar güç besleme devrelerine yıldız veya üçgen bağlantı ile bağlanırlar.

3.1.3.1. Yıldız Bağlantı

Elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorlarda yıldız bağlantı tercih edilir. Endüstriyel amaçlı üretilen motorlarda sargıların giriş, çıkış uçları ve bağlantı şekli Görsel 3.8'de verilmiştir. Elektrikli araç motorlarında ise sadece üç faz girişi için üç uç bulunur. Çıkış uçları sargıların uygun bir noktasında birleştirilip yalıtılmıştır.

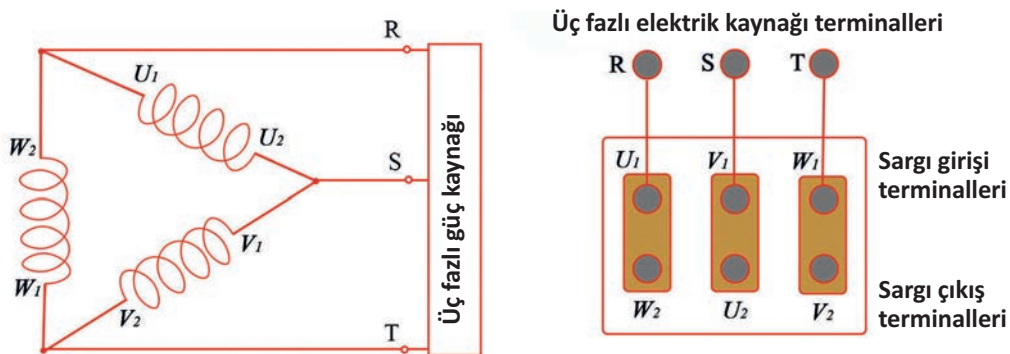


Görsel 3.8: Yıldız bağlantı devresi ve terminallerin bağlantı durumu

Yıldız bağlantıda sargı çıkış uçları birleştirilir. Sargı giriş uçlarının her biri Görsel 3.7'deki gibi üç fazlı elektrik güç kaynağının terminallerine bağlanır. Yıldız bağlantıda her bir sargıya giden gerilim %40 civarında düşer.

3.1.3.2. Üçgen Bağlantı

Bu bağlantıda her bir sargının çıkışı diğer sargının girişi ile birleştirilir ve üç tane ortak terminal oluşur. Bu terminaller üç fazlı elektrik güç kaynağı terminallerine bağlanır. Bu bağlantıda sargılara uygulanan gerilim güç kaynağı gerilimi ile aynıdır, değişmez.



Görsel 3.9: Üçgen bağlantı devresi ve terminallerin bağlantı durumu

3.2. ASENKRON MOTORLARIN ÇEŞİTLERİ

3.2.1. Fazlarına Göre Asenkron Motorlar

Tek fazlı ve üç fazlı asenkron motorlar olmak üzere iki çeşidi vardır.

3.2.1.1. Tek Fazlı Asenkron Motorlar

Bu motorlar endüstriyel amaçla üretildiklerinden sadece 220 V AC gerilimle çalışırlar. Momentleri düşük olduğu için elektrikli araç motoru olarak tercih edilmezler.

3.2.1.2. Üç Fazlı Asenkron Motorlar

Momentleri yüksektir. Bu motorlar üç fazlı AC gerilimle çalışırlar. Endüstriyel amaçlı üretilen motorlar 380 volt gerilimle çalışır. Elektrikli araçlarda kullanılan motorlar, üretici markaya göre 400 volt, 480 volt ya da daha farklı gerilimlerde çalışır.



Görsel 3.10: Sincap kafesli rotorlar

3.2.2. Yapılarına Göre Asenkron Motorlar

İki çeşidi vardır. Asenkron motorların yapısı konusunda yapılarına göre motor çeşitleri incelenmiştir. Bu motorların statorları birbirine benzer yapıdadır. Ancak rotorlarının yapıları farklıdır.

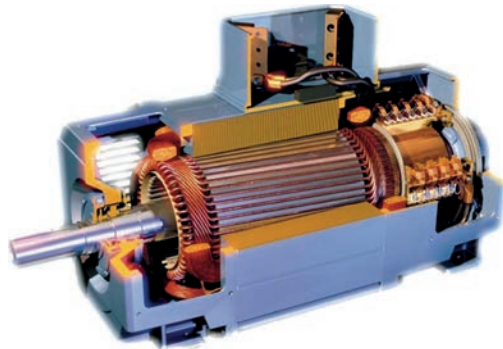
3.2.2.1. Sincap Kafesli Asenkron Motorlar

Üzerine oluklar açılmış, iletkenliği yüksek sac plakalar birleştirilerek rotor miline sabitlenmiştir. Plaka oluklarından geçirilen çubuklar iki taraftan levhalara birleştirilerek kısa devre yapılmıştır. Bu bağlantı şeklinden dolayı bu motorlara **kısa devre asenkron motorlar** ya da **sincap kafesli asenkron motorlar** denir (Görsel 3.6, Görsel 3.10).

Bakım ve üretim maliyetleri diğer elektrikli motorlara kıyasla düşüktür. Bu sebeple elektrikli araç motoru olarak daha çok tercih edilirler. Başlangıç momentleri düşüktür fakat başlangıç akımları yüksektir. Hız kontrolü için frekans değiştirici sistemlere ihtiyaç duyulur. Elektrikli araçlarda invertör yönetim grubuyla ihtiyaca göre hız ve moment ayarlanır.

3.2.2.2. Bilezikli (Rotor Sargılı) Asenkron Motorlar

Yüksek moment istenilen yerlerde kullanılır. Devir ayarı yapmak sincap kafesli motorlara göre daha basittir. Başlangıç momentleri de yüksektir. Fırçalı yapıda olmasından dolayı sincap kafesli motorlara göre bakım aralıkları daha sık ve maliyeti yüksektir. Bu bakımdan sincap kafesli asenkron motorlar elektrikli araç için daha çok tercih edilir.



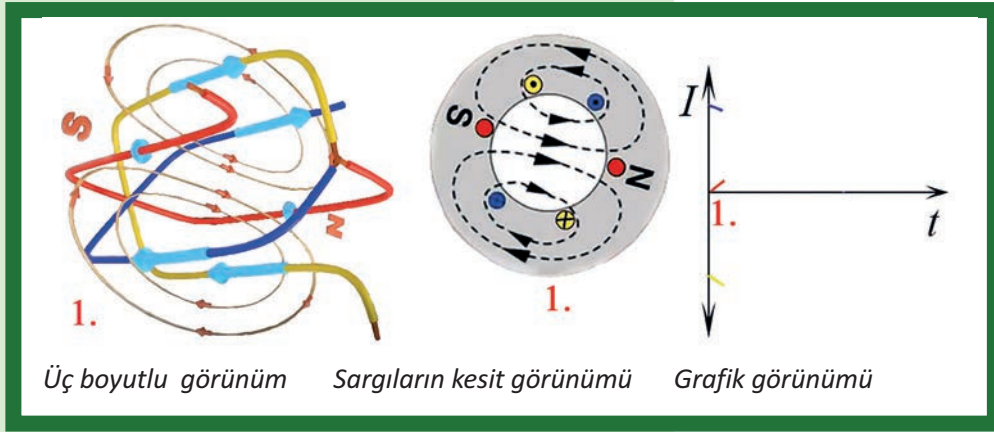
Görsel 3.11: Bilezikli asenkron motor

3.3. ASENKRON MOTORLARIN ÇALIŞMASI

Üç fazlı elektrik güç kaynağından yapılan besleme ile stator sargılarında döner bir manyetik alan oluşur. Döner manyetik alanın hızına **senkron hız** denir.

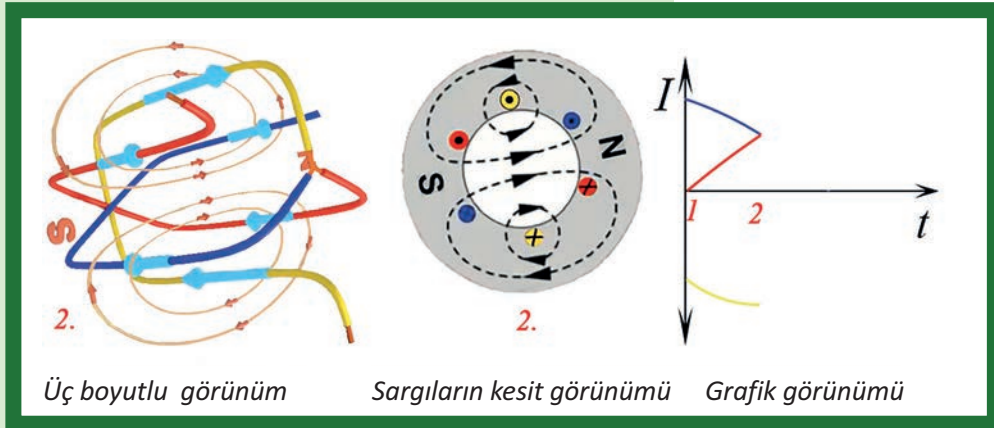
Güç kaynağından üç ayrı fazdan gelen gerilimin her bir sargıdan geçişi görsellerdeki model üzerinde gösterilmektedir. Döner manyetik alanın oluşumu aşamalar hâlinde Görsel 3.12, 3.13 ve 3.14'te açıklanmıştır.

Görsel 3.12'de manyetik alanın oluşumu üç boyutlu model görüntü, iki boyutlu ve grafik olarak verilmiştir. Birinci aşamada karşılıklı olan mavi ve sarı renkte temsil edilen sargılarda manyetik alan oluşur.



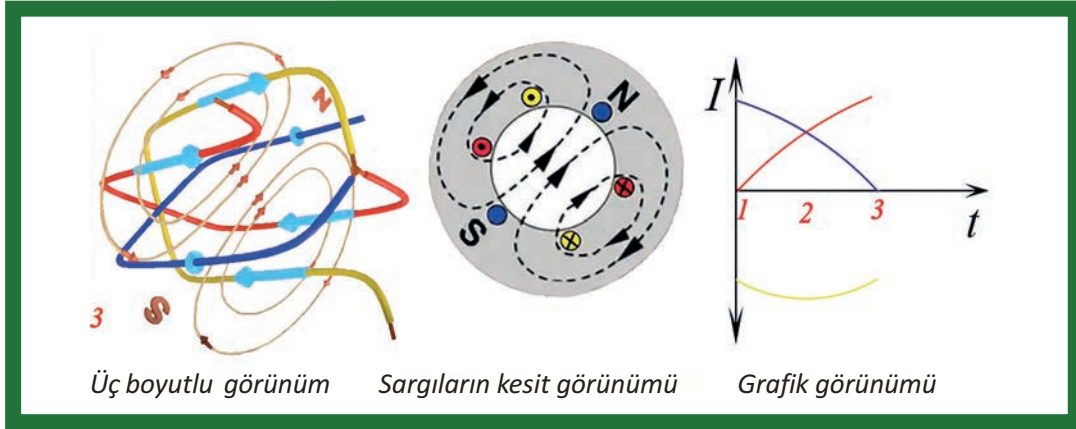
Ardından sarı renkte temsil edilen sargılardan akım geçer ve manyetik alan oluşur (Görsel 3.13). İkinci aşamada aynı şekilde gerçekleşir ve manyetik alan bir miktar yer değiştirmiş olur.

Görsel 3.12: Döner manyetik alanın oluşması (1. aşama)

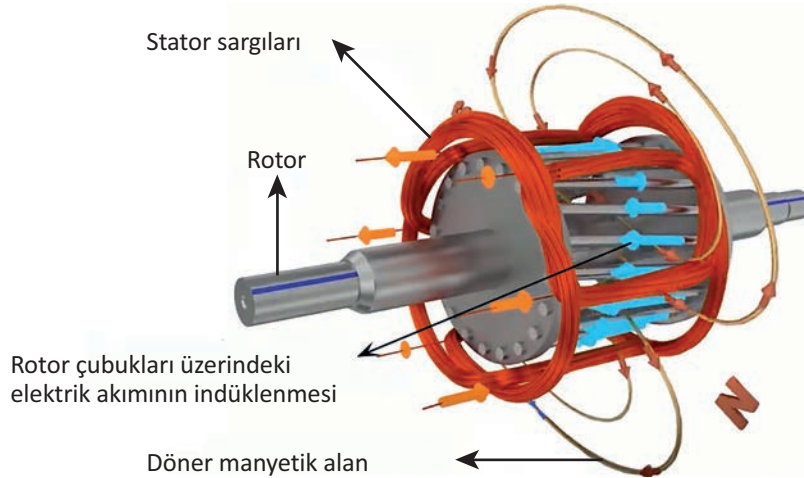


Görsel 3.13: Döner manyetik alanın oluşması (2. aşama)

Üçüncü aşamada sarı ve kırmızı renkte temsil edilen sargılarda manyetik alan oluşur (Görsel 3.14). Manyetik alan en son pozisyonuna göre biraz daha yer değiştirir. Statorda bulunan tüm sargı dilimleri (kutupları) üzerinde ardışık olarak manyetik alan oluşur. Manyetik alan sürekli yer değiştirip rotor çevresinde tur atarak döngüyü (360°'yi) tamamlamış olur ve sonrasında yeni döngü başlar.



Görsel 3.14: Döner manyetik alanın oluşması (3. aşama)



Görsel 3.15: Rotor üzerinde indüklenme

Statorda oluşan döner manyetik alan içinde kalan rotor çubukları üzerinde elektrik akımı indüklenir. Bu sebepten bu motorlara **indüksiyon motorları** da denir. Rotor üzerinde elektromotor kuvveti (EMK) meydana gelir ve manyetik alan oluşur. Rotor dönmeye başlar (Görsel 3.15).

Rotorun hızı ile senkron hız eşit olmaz. Senkron hız daima rotor hızından yüksektir. Hız eşitlenirse döner manyetik alan rotor ile aynı hızda döneceğinden indüklenme olmaz. Senkron hız ile rotor hızı farkına **kayma** denir. Rotor hızı senkron hıza eşit olmadığından bu motorlara **asenكرون motorlar** denir.

3.3.1. Asenkron Motorlarda Yol Verme

Sanayide kullanılan asenkron motorların kalkış anında (başlangıç) çektikleri akım yüksektir. Bu durum elektrik şebekesinde gerilim düşmelerine sebep olur. Asenkron motorların kalkış anında çektikleri akıma **yol alma akımı** denir. Yol alma akımının sınırlandırılma şekillerine **yol verme** denir. Yol verme şekilleri şunlardır:

1. Doğrudan yol verme

2. Düşük gerilimle yol verme

- a. Direnç ile yol verme
- b. Yıldız üçgen yol verme
- c. Oto trafosu ile yol verme

3. Mikro işlemcilerle yol verme

- a. Yumuşak yol verme (Soft starter ile)
- b. Frekans değiştirici (invertör) ile yol verme

Elektrikli araçlarda sanayide kullanılan asenkron motorlar gibi sabit devirli motorlar kullanılmaz. Yani yol ve yük durumuna göre aracın hızını ayarlamak gerekir. Ayrıca şebekeye yüklenme gibi bir durum söz konusu değildir. Ama aracın elektrik kaynağından kontrollü olarak ve ihtiyaca göre sadece frekans değiştirilerek motorun hız ayarlaması yapılır.

3.3.1.1. Frekans Değiştirici (İnvertör) İle Yol Verme

Doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çeviren, frekansı ve gerilimi ayarlayabilen sistemlere **invertör (evirici)** denir. Elektrikli araçlarda yol şartlarına, motor çalışma şartlarına göre hız ve moment ayarı yapar. İnvertörler “dönüştürücüler” öğrenme biriminde geniş olarak işlenmiştir.



Görsel 3.16: İnvertör

AMAÇLAR: Fiziki ve görsel kontroller yapmak.

Avometre kullanarak elektriksel kontrolleri yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine, Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Lokma ve tornavida takımları		
Avometre		

İşlem Basamakları

a. Fiziki ve Görsel Kontroller

1. Motor üzerinde gerekli temizleme işlemlerini yapınız.
2. Transfer kutusunun (şanzıman) yağını boşaltınız.
3. Motorun gövdesini şanzıman gövdesinden ayırmak için çevre cıvatarını sökünüz.



Görsel 3.17: Motor gövdesi ve şanzıman kapağı

4. Elektrik motorunun ön kapak bağlantı cıvatarını sökünüz ve kapağı çıkarınız.
5. Rotoru sökünüz.
6. Sargılarda yanık kokusu olup olmadığını kontrol ediniz.
7. Sargıların yalıtım maddelerinde atma veya sürtme olup olmadığını gözlemleyiniz.
8. Rotor yatak rulmanlarını elle döndürerek sesini dinleyiniz.
9. Dönerken takılma ve boşluk olup olmadığını kontrol ediniz.



Görsel 3.18: Motor gövdesi ve stator sargıları



Görsel 3.19: Rotor

b. Elektriksel Kontroller

1. Sargıların Direnç Ölçümü

- Avometreyi direnç kademesine getiriniz.
- Problardan birini sargı uçlarının birleştiği nötr uca veya uçlar nötr uçta birleştiği için giriş uçlarına temas ettirerek sargıların dirençlerini ölçünüz.
- Diğer giriş uçlarına da problemleri ayrı ayrı temas ettirerek dirençlerini ölçünüz. (Motorun büyüklüğüne göre direnç değerleri yaklaşık 3-4 Ω 'luk değerler çıkacaktır. Ölçülen sonuçlarda bir değer okuyorsanız sargılarda herhangi bir kopukluk olup olmadığını kontrol etmiş olacaksınız.)

Görsel 3.20: Direnç kontrolü



2. Kaçak (Kısa Devre) Kontrolü

Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.

- Ölçü aletinin probunun bir ucunu giriş uçlarından birine, diğer ucunu motorun gövdesine temas ettiriniz. Ses gelip gelmediğini kontrol ediniz.
- Sonraki adımda ölçü aletinin yine bir prob ucunu sargı giriş ucunda diğer ucunu sargıların yüzeylerine temas ettiriniz. Buzzer sesi gelip gelmediğini kontrol ediniz. (İki adımda da ölçü aletinden ses gelmemelidir. Ses geliyorsa kaçak vardır.)

3. Eğer sökülen motor bilezikli motor ise genellikle elektrikli araçlarda kullanılmaz.

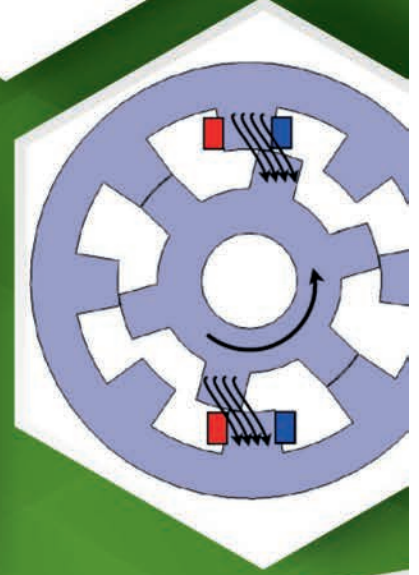
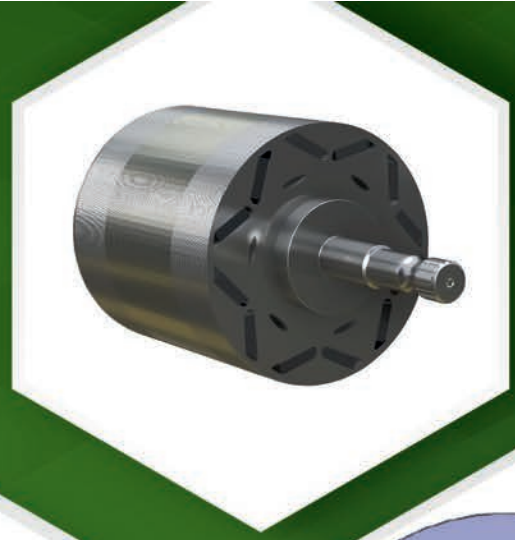
- Stator sargılarında yapılan fiziki kontrollere ek olarak bileziklerde ve fırçalardaki aşınma durumu kontrol edilir.
- Stator sargılarında yapılan elektriksel kontrollerin hepsi rotor için uygulanır. Statordaki giriş uçları olmadığından, bilezikler üzerinden kontroller yapılır.



Görsel 3.21: Şaseye kaçak kontrolü

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	20	
4	Elektriksel kontrollerin yapılması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	



4. ÖĞRENME BİRİMİ

RELÜKTANS MOTORLAR



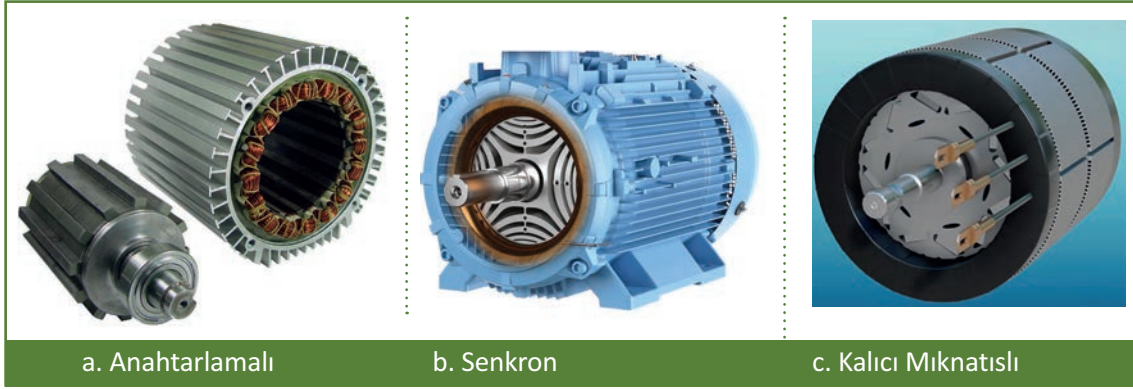
ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Relüktans Motorların Yapısı
- Relüktans Motorların Çeşitleri
- Relüktans Motorların Çalışması
- Relüktans Motorların Ölçüm ve Kontrolleri

Relüktans motorların ortaya çıkışı 1840'lı yıllara dayanmaktadır. Yıllar içinde dezavantajlarından dolayı kullanılmayan bu motorlar, son zamanlarda güç elektroniğinin gelişmesiyle sanayinin önemli alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle elektrikli araç sektörünün relüktans motor geliştirme çalışmaları ve bu motorların kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Firmalar elektrik motorları üzerinde sargı, mıknatıs ve çeşitlerinin kullanımını azaltarak maliyeti düşürmek ve bunlara bağımlılıklarını azaltmak istemektedir.

4.1. RELÜKTANS MOTORLARIN YAPISI

Relüktans, manyetik devrede yer alan manyetik akının geçişine karşı gösterilen zorluktur. **Relüktans motor**, relüktans prensibine göre alternatif akımla çalışan, güç elektroniği geliştirilmiş motorlardır. Bu motorlarda stator manyetik alanı için sargı kullanılırken genellikle rotorda sargı, mıknatıs, kolektör ve fırça kullanılmaz. Rotor silikonlu çelik lamine saclardan oluşur. Elektrikli araçlar için özel geliştirilmiş relüktans motorlarının rotorlarında kalıcı mıknatıslar kullanılır.



Görsel 4.1: Relüktans motorlar

Relüktans motorlar basit yapıları, ucuza imal edilmeleri, kolay kullanımları, yüksek hız ve verimlilik özellikleriyle diğer elektrik motorlarına özellikle de kalıcı mıknatıslı motorlara alternatiftir. Fırçasız ve sargısız rotor kullanıldığı için bu motorlar yüksek hızlara çıkabilmektedir. İlk çalışmada fazla akım çekmeden yüksek tork değerlerine sahip olduğu için diğer motorlara göre avantajlıdır. Küçük boyutlarda yüksek tork çıkışına sahip olması diğer bir avantajıdır.

Motorun düzgün çalışabilmesi için sürekli tork üretmesi gerekir. Sürekli tork üretimi için stator ve rotor kutup konumlarının konum algılayıcılar ile tespit edilip uygun faz sırasıyla beslenmesi gerekir. Bu yüzden güç elektroniği elemanları kullanılır. Bu elemanlar; invertör, konum ya da hız, sıcaklık sensörleri ve kontrolördür. Invertör, bataryadan gelen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirerek akım ve frekans ayarı ile motorun çalışmasını sağlar. Sıcaklık sensörleri motorun sıcaklığını ölçerek motoru riskli durumlara karşı korumak için bilgi verir. Konum ya da hız sensörleri ise rotorun hızını ve konumunu ölçer. Resolver (rizalvır), enkoder ve Hall-effect tipi sensörler konum ve hız ölçümü için kullanılmaktadır.

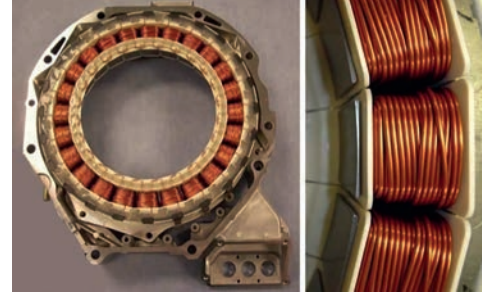
Relüktans motorların genel olarak kısımları; stator, rotor, gövde, kapaklar, yataklar ve güç elektroniği elemanlarıdır. Diğer motorlardan farkı olan stator ve rotor üzerinde durulacaktır.

4.1.1. Stator

Motorda döner manyetik alan oluşturan ve hareket etmeyen sabit kısımdır. Çekirdek ve sargılardan oluşur. Stator çekirdeği lamine çelik saclardan üretilir. Stator sargıları ince veya kalın izoleli bakır tellerden çok sarımlı olarak yapılır.

Sargılarda alternatif akımla döner manyetik alan oluşturulur. Manyetik alan içindeki akının rotora doğru akması ve relüktans prensibine göre kutupları etkilemesi istenir. Bu yüzden stator kutupları da relüktans prensibine uygun şekilde tasarlanır. Sargılar çıkıntılı kutuplara sarıldığı gibi dağınık tipte de olabilmektedir.

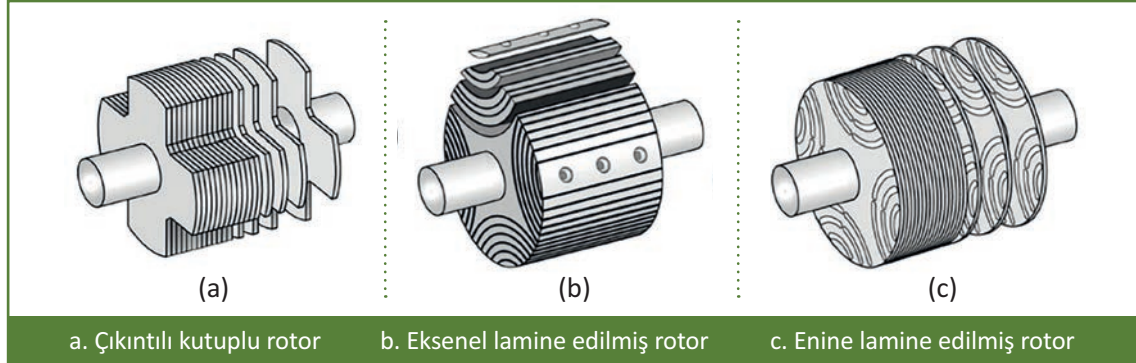
Statorun dış kısmında alüminyum alaşım motor gövdesi bulunur. Gövde üzerinde soğutucu akışkan kanalları ve güç elektroniği bağlantı yerleri bulunmaktadır.



Görsel 4.2: Stator

4.1.2. Rotor

Motorun dönen, hareketli kısmıdır. Statorda oluşan manyetik alanın çekme etkisiyle döner. Çekirdek, mil ve yataklardan oluşur. Rotor çekirdeği genellikle çelik lamine saclardan üretilir. Motor gövdesi üzerinde rotor milinin verimli bir şekilde dönebilmesi için rulmanlar kullanılır. Farklı tiplerde rotor yapıları bulunmaktadır.



Görsel 4.3: Rotor yapıları

Rotor üzerindeki kutuplar, düşük relüktans değerlerine göre tasarlanmıştır. Havanın relüktans değeri yüksektir. Manyetik akıya yön vermek için rotor üzerinde hava kanalları kullanılır. Bu kanallara **akı bariyeri** denilmektedir. Klasik relüktans motorlarda sargı, mıknatıs, kolektör ve fırça kullanılmamaktadır. Statorda oluşan manyetik alan, rotordaki kutup başlarından akarak rotorun dönmesini sağlar.



Görsel 4.4: Akı bariyerleri

Anahtarlama relüktans motorlarda genelde çıkıntılı kutuplu rotor tercih edilirken senkron relüktans motorlarda eksenel ve enine lamine edilmiş rotorlar kullanılır. İmalat kolaylığı açısından enine lamine edilmiş rotor daha çok tercih edilmektedir.

Elektrikli araçlar için özel geliştirilmiş relüktans motorlarında kalıcı mıknatıs kullanılmaktadır. Bu yüzden bu motorlara kalıcı mıknatıslı relüktans motor (PMSRM) denilmektedir.

4.2. RELÜKTANS MOTOR ÇEŞİTLERİ

Sanayinin değişik sektörlerinde ve elektrikli araçlar sektöründe farklı relüktans motorlar kullanılmaktadır. Bunlar; anahtarlama, senkron ve kalıcı mıknatıslı relüktans motorlar olarak sayılabilir. Bu motorların çalışma prensipleri aynı olmakla beraber stator ve rotor yapılarında farklılıklar vardır.

4.2.1. Anahtarlama Relüktans Motor (SRM)

Stator ve rotor kutuplarının çıkıntılı olduğu relüktans motordur. Rotor kutup sayıları stator kutup sayılarından azdır. Bu durum tork dalgalanmasını ortadan kaldırır. Step motorlara benzemektedir. Kutupların çıkıntılı olmasından dolayı manyetik akı çıkıntılı noktalarda daha yoğun oluşmaktadır. Bu da çekme kuvvetini oluşturarak rotorun dönmesini sağlar. Stator sargıları çıkık kutup başlarına sarılmıştır.



Görsel 4.5: Anahtarlama relüktans motor

4.2.2. Senkron Relüktans Motor (SynRM)

Asenkron motorlarla yapısal benzerlikleri olan bu motor, senkron olarak çalışması için tasarlanmış relüktans motordur. Rotor yapısı olarak genellikle enine lamine edilmiş rotor kullanılır. Rotor lamine edilmiş çelik saclardan üretilmiştir. Stator sargıları stator gövdesine dağıtılmış bir şekilde sarılmıştır. Statora üç fazlı alternatif akım uygulanır.

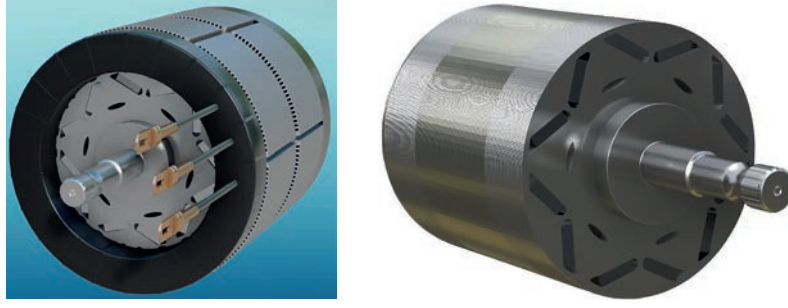
4.2.3. Kalıcı Mıknatıslı Senkron Relüktans Motor (PMSynRM)

Elektrikli araç firmaları tarafından özel olarak geliştirilen motorlardır. Relüktans motorun ve kalıcı mıknatıslı senkron motorun avantajlarının bir araya getirildiği motordur. Standart relüktans motorlarının rotorlarında mıknatıs ve iletkenler kullanılmamaktadır. Bu tür motorlarda ise rotora kalıcı mıknatıslar yerleştirilmiştir. Mıknatıs olarak nikel-kobalt-demir, ferritler, neodimyum-demir-bor mıknatıslar tercih edilmektedir. Bu sayede hem relüktans prensibinden hem de mıknatısın manyetik alan etkisinden yararlanılmaktadır. Kalıcı mıknatıs yerleştirme ile relüktans motorların dezavantajı olan tork dalgalanması ortadan kaldırılmış ve tork değerleri artırılmıştır.



Görsel 4.6: Senkron relüktans motor

Genelde rotor yapısı olarak enine lamine edilmiş akı bariyerli tip tercih edilmektedir. Kalıcı mıknatısların yerleşim tasarımı markadan markaya değişmekle beraber relüktans torkuna katkısı en fazla olacak şekilde tasarlanmaktadır.



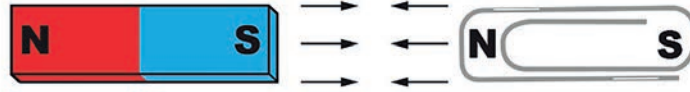
Görsel 4.7: Kalıcı mıknatıslı senkron relüktans motor (PMSynRM) ve rotoru

Zamanla motorlarda manyetik alan kaynaklı torkun düşürülerek relüktans torkunun artırılması öngörülmektedir. Böylece motorlarda mıknatıs ve iletken kullanımı azaltılarak maliyetlerin düşmesi planlanmaktadır.

4.3. RELÜKTANS MOTORLARIN ÇALIŞMASI

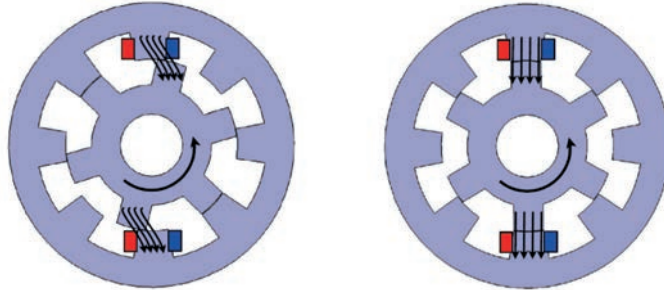
4.3.1. Relüktans Motorun Çalışması

Mıknatısların ya da elektromıknatısların, metal cisimleri manyetik alanlarının etkisiyle kendilerine doğru çekmesi bilinen bir fiziksel olgudur. Relüktans motorlarda klasik elektrik motorlarda olduğu gibi itme-çekme hareketi birlikte olmaz sadece çekme hareketi oluşur. Buradaki çekme hareketi, bir mıknatısı metal bir parçaya yaklaştırdığınızda ortaya çıkan etkidir.

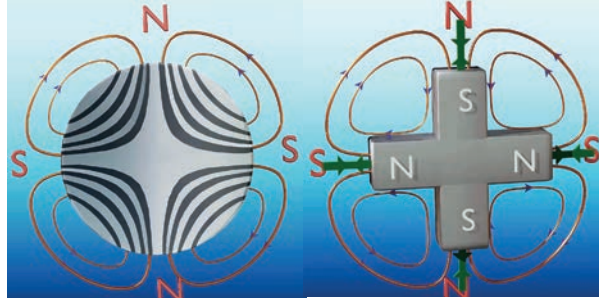


Görsel 4.8: Mıknatıs manyetik alanının bir metali çekmesi

Relüktans, manyetik devrede yer alan manyetik akının geçişine karşı gösterilen zorluktur. Stator sargısına alternatif akım uygulanınca sargılarda manyetik akı oluşur. Manyetik akı hava aralığının çok olduğu yerden geçerken yüksek dirençle (relüktansla) karşılaşır. Hava aralığının az olduğu yerden geçerken daha az bir dirençle karşılaşır. Dolayısıyla manyetik akı daha az direnç olan yere doğru akmaya başlar. Manyetik akının yoğun olduğu stator kutupları rotor kutuplarını çekerek rotorun dönmesini sağlar. Çekme hareketinin sonucunda oluşan dönme ile relüktans torku oluşur.

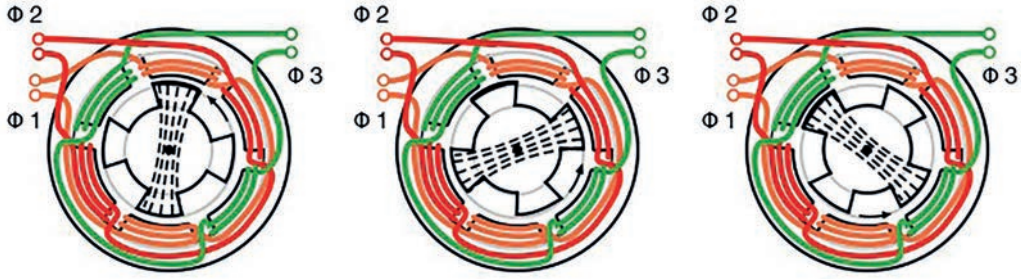


Görsel 4.9: Relüktans etkisiyle rotorun dönmesi



Görsel 4.10: Rotor yapılarında oluşan manyetik alan etkisi

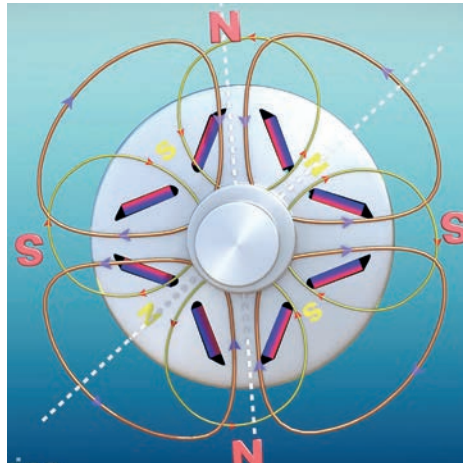
Güç elektroniği ile stator kutuplarının faz sırası değiştirilerek rotor kutuplarının sürekli dönmesi sağlanır. Stator sargılarında manyetik alan saat yönünün tersine dönerken rotor saat yönünde dönmektedir.



Görsel 4.11: Relüktans motorun çalışması

4.3.2. Kalıcı Mıknatıslı Relüktans Motorun Çalışması

Relüktans motorların rotorunda kalıcı mıknatıs kullanılarak geliştirilmiş motorlardır. Relüktans etkisine ek olarak kalıcı mıknatıslar sayesinde manyetik alan artırılmıştır. Böylece bu motor hem relüktans motorun hem de kalıcı mıknatıslı senkron motorun avantajlarını birleştirmiştir. Kalıcı mıknatıslar ile rotor üzerine uygulanan manyetik akı güçlendirilmiş bu şekilde relüktans torku artırılmıştır. Relüktans motorun tork dalgalanması dezavantajı ortadan kaldırılmıştır.



Görsel 4.12: Kalıcı mıknatıslı senkron relüktans motorun çalışması

AMAÇLAR: Fiziki ve görsel kontroller yapmak.

Avometre ile elektriksel kontrolleri yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Lokma ve tornavida takımları		
Avometre		

İşlem Basamakları

a. Fiziki ve Görsel Kontroller

1. Motor üzerinde gerekli temizleme işlemlerini yapınız.
2. Transfer kutusunun (şanzıman) yağını boşaltınız.
3. Motorun gövdesini şanzıman gövdesinden ayırmak için çevre cıvatalarını sökünüz.



Görsel 4.13: Motor gövdesi ve şanzıman kapağı

4. Elektrik motorunun ön kapak bağlantı cıvatalarını sökünüz ve kapağı çıkarınız.
5. Rotoru sökünüz.
6. Sargılarda yanık kokusu olup olmadığını kontrol ediniz.
7. Sargıların yalıtım maddelerinde atma veya sürtme olup olmadığını gözlemleyiniz.
8. Rotor yatak rulmanlarını elle döndürerek sesini dinleyiniz.
9. Dönerken takılma ve boşluk olup olmadığını kontrol ediniz.



Görsel 4.14: Motor gövdesi ve stator sargıları



Görsel 4.15: Rotor

b. Elektriksel Kontroller**1. Sargıların Direnç Ölçümü**

- Avometreyi direnç kademesine getiriniz.
- Problardan birini sargı uçlarının birleştiği nötr uca veya uçlar nötr uçta birleştiği için giriş sargı uçlarına temas ettirerek sırasıyla sargıların dirençlerini ölçünüz.
- Diğer sargı giriş uçlarına da problemleri temas ettirerek dirençlerini ölçünüz. Sargıların direnç değerleri birbirine yakın olmalıdır (Motorun büyüklüğüne göre direnç değerleri yaklaşık 3-4 Ω 'luk değerler çıkacaktır. Ölçüm yaptığınız motorun katalog değerlerini kontrol ediniz).



Görsel 4.16: Direnç kontrolü

2. Kaçak (Kısa Devre) Kontrolü

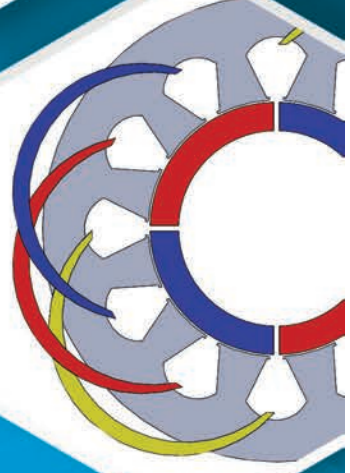
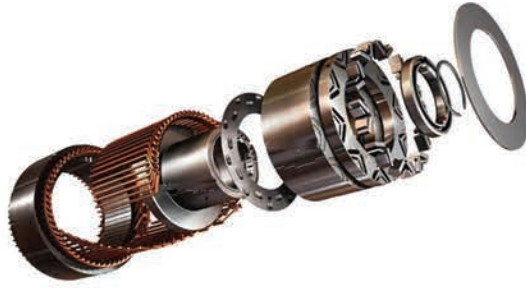
- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir probunu giriş uçlarından birine, diğer probu motorun gövdesine temas ettiriniz. Ölçü aletinden ses geliyorsa kaçak vardır. Sırasıyla diğer sargıların da kaçak kontrolünü yapınız.



Görsel 4.17: Şaseye kaçak kontrolü

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	20	
4	Elektriksel kontrollerin yapılması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	



5. ÖĞRENME BİRİMİ

SENKRON MOTORLAR



ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Senkron Motorların Yapısı
- Senkron Motorların Çeşitleri
- Senkron Motorlara Yol Verme
- Senkron Motorların Çalışması
- Senkron Motorların Ölçüm ve Kontrolleri

5.1. SENKRON MOTORLAR

Senkron, kelime olarak eşit zamanlı anlamına gelmektedir. Statorda oluşan döner manyetik alan ile rotor aynı devirde döndüğünden bu motorlara **senkron motorlar** adı verilir. Senkron makineler grubuna, senkron jeneratör ve senkron motorlar girer. Senkron motor ile senkron jeneratör yapı bakımından birbirinin aynısıdır. Senkron makinenin girişine elektrik enerjisi uygulanıp çıkışından mekanik enerji alınırsa buna **senkron motor**, senkron makinenin girişine mekanik enerji uygulanıp çıkışından elektrik enerjisi alınırsa buna da **senkron jeneratör** denir. Bu öğrenme biriminde sadece senkron motorlar hakkında bilgi verilecektir. Senkron jeneratörler, başka bir öğrenme biriminde işlenecektir.

5.1.1. Senkron Motorların Yapısı

Senkron motor iki ana parçadan oluşur. Bunlar; sabit parça olan stator (endüvi) ve hareketli parça olan rotor'dur. Bunların dışında senkron motorda muhafaza, rulmanlar ve soğutma sistemi bulunmaktadır. Görsel 5.1'de hibrit bir araçtaki senkron motor görülmektedir.



Görsel 5.1: Senkron motor

5.1.1.1. Stator

Döner manyetik alanın oluştuğu kısımdır. Stator birbirinden vernikle yalıtılmış manyetik saçlardan oluşan dairesel yapıdadır. Saç plakalar üzerindeki kanallara üç fazlı alternatif akımlarla beslenen bakır sargılar sarılmıştır. Bu sargıların birbirine bağlantısında üçgen ya da yıldız bağlantı çeşidi kullanılır. Senkron motorlarda en çok yıldız bağlantı çeşidi kullanılmaktadır.

5.1.1.2. Rotor

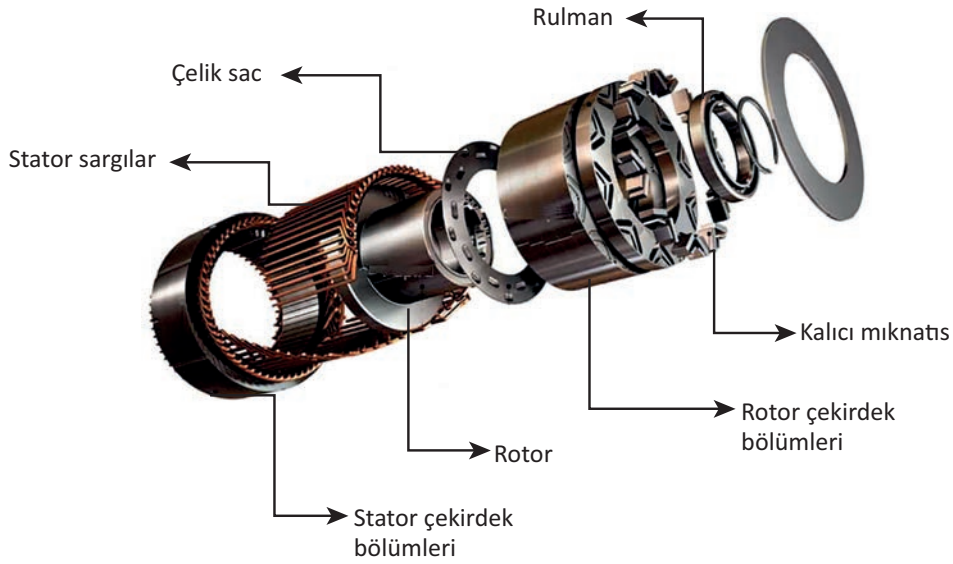
Senkron motorun hareketli olan kısmı rotordur. Rotorun senkron devirde dönebilmesi için manyetik bir alana sahip olması gerekir. Rotordaki manyetik alanı ya rotor sargısını besleyen bağımsız bir doğru akım kaynağı ya da rotora yerleştirilmiş olan daimî mıknatıslar oluşturur.

5.2. SENKRON MOTORLARIN ÇEŞİTLERİ

Senkron motorlar, farklı endüstrilerde kullanıldığından birçok çeşidi bulunmaktadır. Ancak elektrikli araçlarda kullanılan çeşidi, sürekli mıknatıslı senkron motorlarıdır. Sürekli mıknatıslı alternatif akım motorları, indüklenen elektromotor kuvveti dalga şekline göre sinüzoidal ve trapezoidal olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Trapezoidal uyarmalı motorlar **Fırçasız Doğru Akım Motorları (FDAM)** olarak sinüzoidal uyarmalı motorlar ise **Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar (SMSM)** olarak isimlendirilir. Bu öğrenme biriminde sadece sürekli mıknatıslı senkron motorlardan bahsedilecektir.

5.2.1. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Yapısı (SMSM)

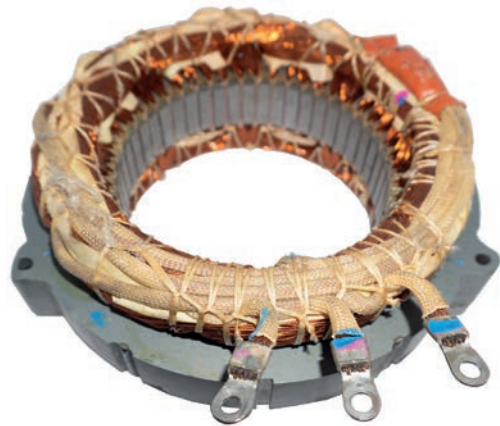
Sürekli mıknatıslı senkron motorları da diğer elektrik motorlarında olduğu gibi hareketli bir rotora ve sabit bir statora sahiptir. Senkron motoru, senkron devirde döndürebilmek için hem stator da hem de rotorda manyetik alan oluşturmak gerekir. Stator sargılarındaki döner manyetik alan üç fazlı AC (Alternatif akım) akım ile oluşturulur. Rotordaki manyetik alanı oluşturmak için iki metot kullanılır. Bunlardan birincisi, DC (Doğru akım) akım ile beslenen rotor sargıları, ikinci metot ise rotora monte edilmiş kalıcı mıknatıslardır. Doğru akımla beslenen rotor sargılarında manyetik alan oluşturmak için fırça ve bilezik düzeneği kullanma zorunluluğu olduğundan bu tür senkron motorlar elektrikli araçlarda kullanılmamıştır. Rotorlarda kalıcı mıknatıs kullanımı, rotor bakır kayıplarını ve uyarma devresi bakım ihtiyaçlarını ortadan kaldırmıştır. Kalıcı mıknatıs kullanan elektrik motorlarına aynı zamanda **fırçasız tip motorlar** da denir. Görsel 5.2’de sürekli mıknatıslı senkron bir motorun resmi görülmektedir.



Görsel 5.2: Sürekli mıknatıslı senkron motorun parçaları

5.2.1.1. Stator

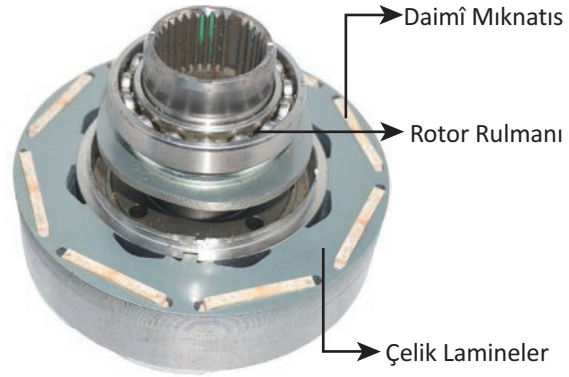
Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında kullanılan statorlar, yapı bakımından diğer elektrik motorlarında kullanılan statorlar ile benzerlik gösterir. Genellikle stator sarımları, stator oyuklarına yerleştirilmiş üç fazlı sargıdan oluşmaktadır. Stator sargıları manyetik saçlara, dağınık sargılı tip ve toplu sargılı tip olmak üzere iki şekilde sarılabilir. Sargılar birbirine üçgen ve yıldız bağlantı olmak üzere iki şekilde bağlanır. En çok kullanılan bağlantı şekli, yıldız bağlantıdır. Görsel 5.3’te hibrit bir araçta kullanılan sürekli mıknatıslı senkron motorun statoru görülmektedir.



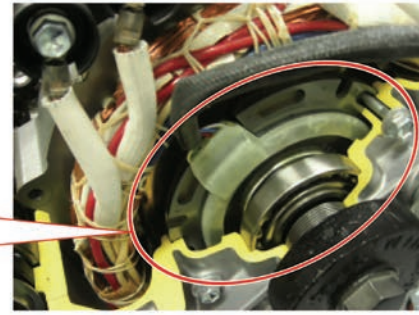
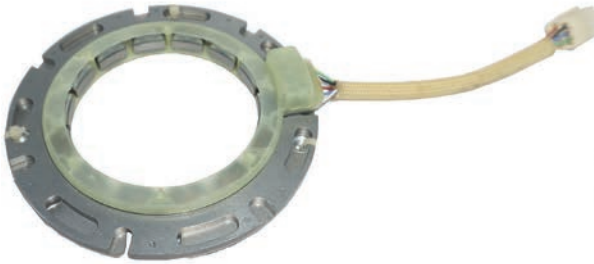
Görsel 5.3: Dağınık sargılı tip stator

5.2.1.2. Rotor

Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında kullanılan rotorların manyetik alanları, kalıcı mıknatıslar tarafından oluşturulur. Kalıcı mıknatısların rotorda kullanılması senkron motorlar için yapı ve çalışma esası bakımından çok elverişli olmuştur. Çünkü manyetik alan oluşturmak için akım kaynağına, sargılara ve fırça bilezik düzeneğine ihtiyaç kalmamıştır. Kalıcı mıknatıs kullanımı daha küçük boyutlu ve daha güçlü manyetik alana sahip rotorların yapımına imkân vermiştir. Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında; Samaryum-Cobalt (Sm2Co17) veya Neodim-Demir-Bor (Nd-Fe-B) gibi nadir toprak elementli kalıcı mıknatıslar (REPM) kullanılır. Görsel 5.4'te hibrit bir araçta kullanılan sürekli mıknatıslı senkron bir motorun rotoru görülmektedir.



Görsel 5.4: Sürekli mıknatıslı rotor

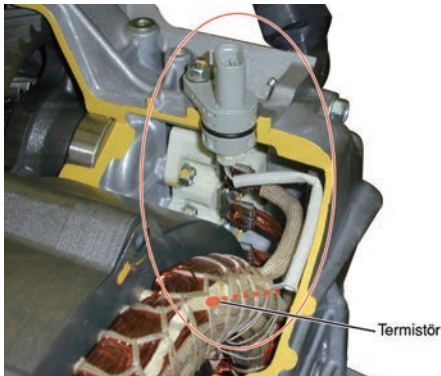


Görsel 5.5: Rotor konum ve devir sensörü

5.2.1.3. Rotor Konum ve Devir Sensörü

Senkron motorun çalışabilmesi için rotorun konumunun bilinmesi gerekmektedir. Çünkü invertör, alternatif akımın frekansını bu veriye göre belirlemektedir. Bu nedenle elektrikli araçlarda kullanılan senkron motorlarında rotorun konumunu belirleyen ve devrini ölçen bir sensör vardır. Bu sensörler farklı yapıda olabilir. Ancak hepsi aynı görevi yapmaktadır. Görsel 5.5'te hibrit bir araçta kullanılan

rotorun devrini ve konumunu belirleyen sensörün motor üzerindeki yeri görülmektedir.



Görsel 5.6: Stator sargıları sıcaklık sensörü

5.2.1.4. Stator Sargıları Sıcaklık Sensörü

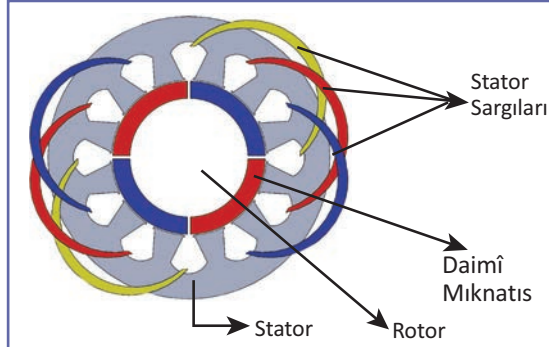
Sıcaklık sensörü, stator sargılarındaki sıcaklığı sürekli ölçer ve verileri elektronik kontrol ünitesine gönderir. Sargılardaki sıcaklık arttığında elektrik kontrol ünitesi motor çıkış gücünü kısıtlayarak sıcaklığın düşmesini sağlar. Bu sensör negatif katsayılı (NTC) bir termistördür. Görsel 5.6'da stator sargılarının sıcaklığını ölçen sensörün senkron motordaki yeri gösterilmiştir.

5.2.2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Sınıflandırılması

Sürekli mıknatıslı senkron motorlar, kalıcı mıknatısların rotora yerleştirilme yerine ve stator sargı düzenine göre sınıflandırılır.

5.2.2.1. Stator Sargı Düzenine Göre Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar

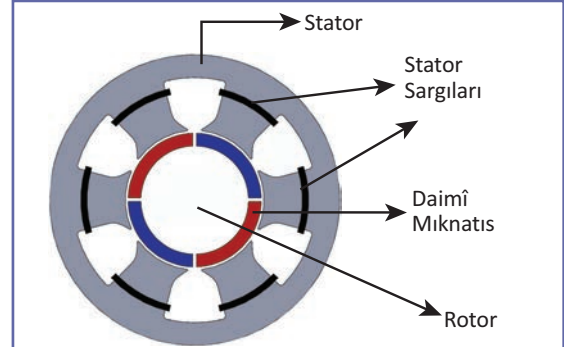
Stator sargılarında iki çeşit sargı düzeni kullanılmaktadır. Bunlar; **dağınık tip sargı** ve **toplu tip sargı**dır.



Görsel 5.7: Dağınık tip stator sargısı

• Dağınık tip sargı

Dağınık tip sargılarda, bir sargı bobini diğer sargı bobinini kesen yapıdadır. Bu sebeple bakır kayıpları yüksek, çıkış momenti düşük ve maliyetleri yüksektir. Ancak bu sargılar sabit güç tüketimi ve yüksek hızlarda zıt emk'nin sınırlandırılma uygulamalarında kullanılmaktadır (Aydın,2014). Görsel 5.7'de dağınık tip bir stator sargısı görülmektedir.



Görsel 5.8: Toplu tip stator sargısı

• Toplu tip sargı

Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında kullanılan diğer bir sargı düzeni ise toplu sargı çeşididir. Bu yapıya sahip motorlarda stator sargılarının kısa olması bakır kayıplarını azaltmakta dolayısıyla sargılarda ortaya çıkan ısı, dağınık tip sargı yapısına sahip motorlara oranla daha az olmakta ve bu sayede elektrik motorunun boyutu daha küçük olmaktadır. Ancak bu sargı düzeninin de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar yüksek rotor kayıpları ve düşük relüktans moment değeri olarak gösterilebilir (Aydın,2014).

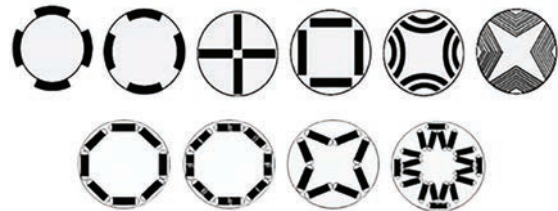
5.2.2.2. Rotorda Kullanılan Kalıcı Mıknatısların Yerleşimine Göre Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar

Rotorlarda kullanılan mıknatıs, malzemenin özelliği ve mıknatısın rotora yerleştiriliş şekli senkron motorun performansını ciddi anlamda etkilemektedir. Bu sebeple senkron motorun performansını artırmak için rotor üzerindeki mıknatısların farklı yerleşim tasarımları vardır. Görsel 5.9'de bu zamana kadar tasarlanmış olan kalıcı mıknatısların rotor üzerindeki yerleşimleri görülmektedir.

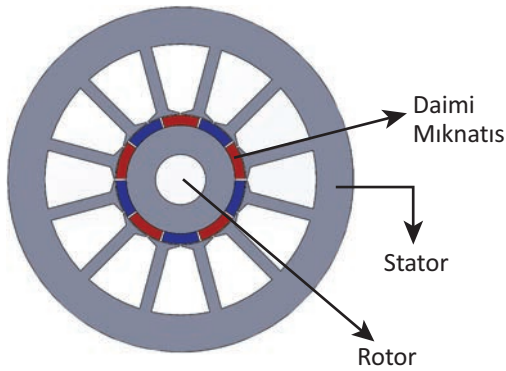
Rotorda manyetik alanın oluşmasını sağlayan kalıcı mıknatıslar, rotora iki türlü monte edilir. Bunlar;

- Mıknatısların rotor yüzeyine yerleştirilmesi,
- Mıknatısların rotorun içine (gömülme) yerleştirilmesidir. Bunlar da kendi arasında iki çeşittir.

1. Radyal yerleştirilme
2. Dairesel yerleştirilme



Görsel 5.9: Kalıcı mıknatısların rotora yerleşme görselleri



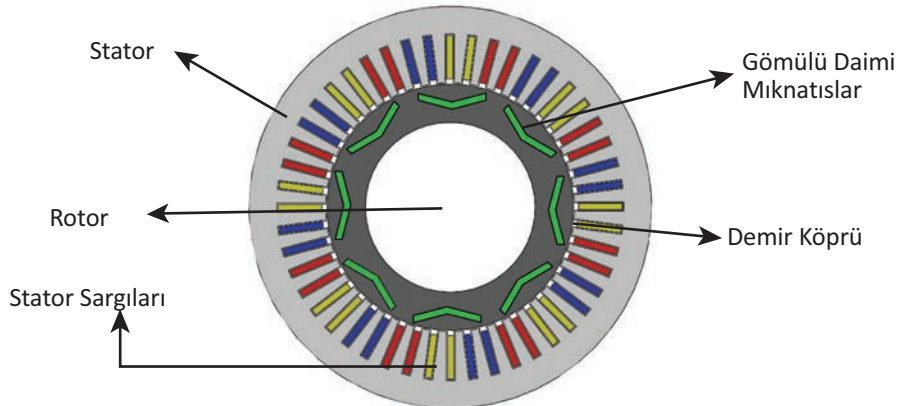
Görsel 5.10: Kalıcı mıknatısların rotor yüzeyine yerleştirilmesi

• Mıknatısların rotor yüzeyine yerleştirilmesi

SMSM'ler içerisinde en yaygın kullanım alanına sahip motor türüdür. Bu motorlarda mıknatıslar rotor yüzeyine takıldığından en yüksek hava aralığı akı yoğunluğuna sahiptir. Bunların üretim maliyeti ve yapısal dayanımları düşüktür. Mıknatıslar rotor yüzeyine özel malzemelerle yapıştırılmıştır. Yüksek hızlarda mıknatısların rotor yüzeyinden ayrılma ihtimali nedeniyle daha çok düşük hız uygulamalarında tercih edilir (Aydın,2014).

• Mıknatısların rotorun içine yerleştirilmesi (Gömülü mıknatıslar)

Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında, rotor yüzeyine yerleştirilen mıknatıslar yüksek hızlarda döndüğünde büyük merkezkaç kuvvetlerine maruz kaldığından, mıknatısların rotor yüzeyinden kopma, ayrılma gibi sıkıntılar oluşabilmektedir. Bu nedenle kalıcı mıknatıslar, rotorun içinde açılan oyuklara yapıştırılmak suretiyle yerleştirilir. Gömülü mıknatısın etrafı hava yerine manyetik malzeme ile kaplı olduğundan relüktans momentinin oluşması kaçınılmazdır. Gömülü tip mıknatıslı rotorun en önemli üstünlüğü, mekanik sağlamlığıdır. Bu nedenle yüksek devir uygulamaları için dizayn edilir. Mıknatısları rotor içine gömülmüş senkron motorun dikkate değer avantajlarından birisi de yüksek verime sahip olmasıdır. Bu tasarımın en büyük dezavantajı ise kalıcı mıknatısların maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Özçira,2007).



Görsel 5.11: Sürekli mıknatısların rotor içine yerleşimi

5.3. SENKRON MOTORLARA YOL VERME

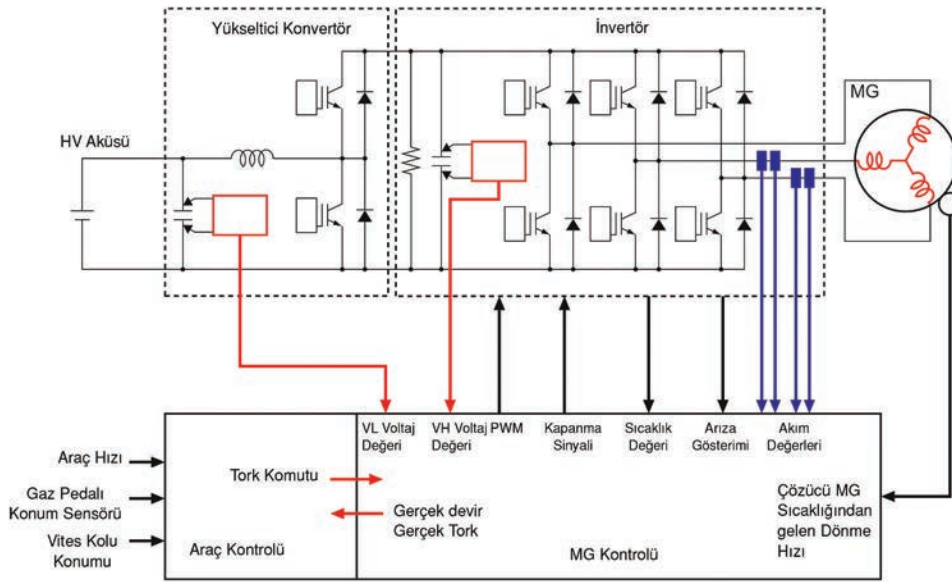
Rotor hızının sıfırdan senkron hızına ulaşabilmesi için yapılan işleme **yol verme** denir. Senkron motorlar kendi kendilerine yol alamadıklarından yol almaları için değişik yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;

- Değişken frekanslı invertör kullanmak,
- Amortisör sargıları kullanmak,
- İkinci bir tahrik makinesi kullanmak,
- Senkron jeneratör olarak çalıştırmaktır.

Elektrikli araçlarda sürekli mıknatıslı senkron motorlar kullanılır. Bu tür senkron motorlara yol vermede değişken frekanslı invertör kullanılır. Bu nedenle bu öğrenme biriminde sadece değişken frekanslı yol verme yönteminden bahsedilecektir.

5.3.1. Değişken Frekanslı İnvörtör Kullanarak Yol Vermek

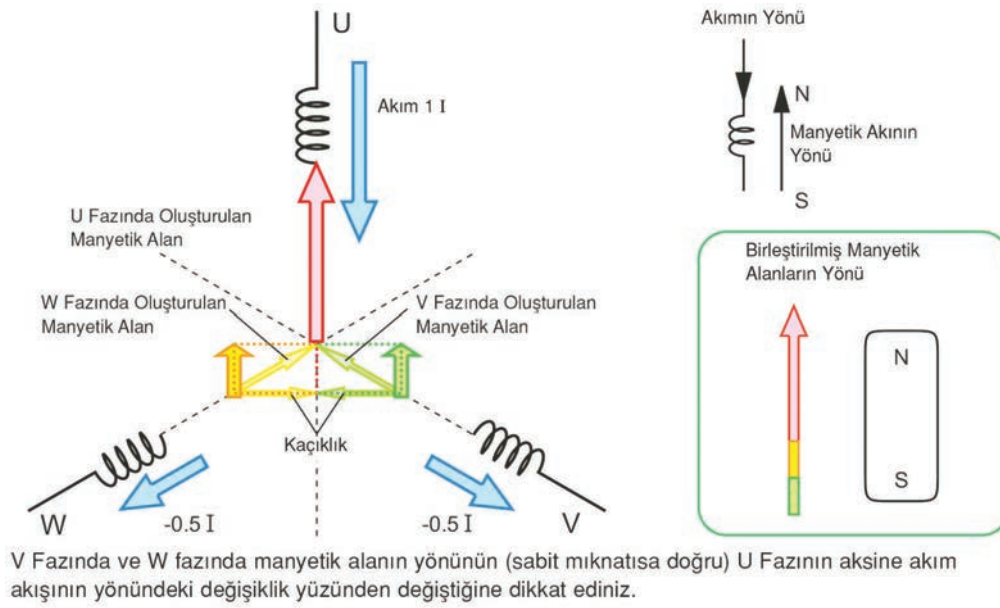
Senkron motorun stator sargılarından üç fazlı AC akım geçtiğinde sargılarda senkron hızda döner manyetik alan oluşur. Başlangıçta rotorun ataletinden dolayı senkron motorda kalkış moment üretilemez. Rotora uygulanan momentin yönü stator döner alanının her yarı turunda zıt yönde değiştiğinden, rotor hareket edip statorun döner alanı yönünde dönemez. Bu nedenle rotora uygulanan moment sıfır olduğundan rotor hareket edemez. Ancak statora uygulanan gerilimin frekansı azaltılırsa stator döner alanın hızı da azalacağından, rotor üzerine uygulanan dönme momenti yardımıyla rotor, döner alan yönünde dönmeye başlar. Daha sonra stator sargılarına uygulanan gerilimin frekansı kademeli şekilde arttırılarak rotor hızının senkron hıza yükselmesi sağlanır. Görsel 5.12'de değişken frekansla senkron motorlara yol vermeye ait bir devre şeması görülmektedir.



Görsel 5.12: Değişken frekanslı invertör ile yol verme

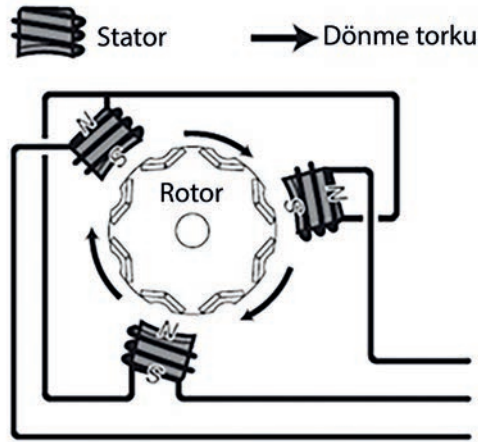
5.4. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORLARIN ÇALIŞMASI

Sürekli mıknatıslı senkron motorlarının stator sargılarından üç fazlı AC akım geçtiğinde döner manyetik alan oluşur. Döner manyetik alanı oluşturmak için 120° açıyla yerleştirilmiş sargılar gerekir. Görsel 5.13'de U, V ve W stator sargıları görülmektedir. Bu üç sargının ikisine aynı miktarda akım uygulanırken U sargısına daha büyük miktarda akım şiddeti uygulanır. Bu sayede W ve V sargılarında oluşan manyetik alanın kuvvetleri birbirini sıfırlarken U sargısında oluşan manyetik alan kuvveti (kırmızı renkli ok), sargıya verilen akım yönünün (mavi renkli ok) tam tersi istikametinde oluşur. Bu sayede stator sargılarında oluşan manyetik akımın yönü ve şiddeti belirlenmiş olur. Manyetik akımın yönünün ve şiddetinin değişmesi için sargılara gönderilen akımın yönü ve şiddeti invertör sayesinde devamlı değiştirilerek döner manyetik alan elde edilir. Görsel 5.14'te stator sargılarında döner manyetik alanın nasıl oluştuğu görülmektedir.



Görsel 5.13: Stator sargılarında oluşan döner manyetik alan

Sabit mıknatıslı rotor, dönmekte olan manyetik alanın içerisinde sokulduğunda manyetik alanla birlikte dönmeye başlayacaktır. Rotorun dönme konumuna ve hızına göre bu dönen manyetik alan kontrol edilerek rotor içerisinde bulunan sabit mıknatıslar dönen manyetik alan tarafından çekilir ve böylelikle tork üretilir. Üretilen tork, akımın miktarı ile orantılı olarak düşürülür ya da azaltılır. Rotorun dönme hızı AC akımın frekansı değiştirilerek kontrol edilir.



Görsel 5.14: Döner manyetik alan içindeki rotorun dönmesi

5.5. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORLARINDA YAPILAN KONTROLLER

Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında yapılan kontrol işlemleri iki gruba ayrılır. Bunlar;

- Görsel kontroller,
- Elektriksel kontrollerdir.

5.5.1. Görsel Kontroller

Sürekli mıknatıslı senkron motorun görsel kontrolünde aşağıdaki kontroller yapılır:

- Stator sargılarında yanma kontrolü
- Stator sargılarında deformasyon kontrolü
- Rotor rulmanlarında ses kontrolü
- Rotorun görsel kontrolü
- Yüksek gerilim kablo bağlantıları kontrolü
- Rotor balansının kontrolü

5.5.2. Elektriksel Kontroller

Sürekli mıknatıslı senkron motorların rotorunda sargı bulunmadığından sadece stator sargılarında elektriksel kontroller yapılır. Sürekli mıknatıslı senkron motorlarında aşağıdaki elektriksel kontroller yapılır:

- Stator sargılarında direnç kontrolü
- Stator sargılarında süreklilik kontrolü
- Stator sargılarında şasiye kaçak kontrolü
- Yüksek gerilim kablo bağlantılarında kötü temas kontrolü

5.6. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MOTORLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Sürekli mıknatıslı malzemelerde ve elektrikli motor sürücülerindeki yeni gelişmeler, SMSM'nin doğru akım motorları ile alternatif akım motorlarının avantajlı özelliklerini sağlayabilecek duruma getirmiştir. Mıknatıslı senkron motor ile diğer tahrik motorları karşılaştırıldığında aşağıdaki avantaj ve dezavantajlar sıralanabilir (Özçira, 2007).

5.6.1. Avantajları

- Rotorunda sargı yerinde sürekli mıknatıs bulunduğundan uyarma akısına gerek yoktur. Bu nedenle haricî bir uyarma kaynağı yoktur. Uyarma kayıpları olmadığından motor verimi daha yüksektir.
- DC ve bazı AC motorlarında fırça ve kolektör düzeneği kullanılır. SMSM'de bu düzeneğe gerek olmadığından bakım maliyeti azalmakta, fırça ve kolektörde kayıplar oluşmadığından verim daha da artmaktadır.
- Kolektör kullanılmaması rotorun kısılmasına, rotorda sargıların olmaması da ağırlığının azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle atalet momenti düşük ve dinamik performansı iyidir.
- Hava aralığı endüksiyonu arttığı için daha az stator sargısı kullanılabilmekte ve bu sayede aynı güçteki doğru akım ve asenkron motorlara göre daha küçük hacimde ve ağırlıkta yapılabilmektedir.

- Rotorda sargılar olmadığı için SMSM'nin soğutulması daha kolay olmaktadır.
- Asenkron motora göre güç faktörü yüksektir. İnvertörden beslenen sistemlerde güç katsayısının yüksek olması invertörün gücünden verimli olarak faydalanabilmek açısından önem taşımaktadır.

5.6.2. Dezavantajları

- İnvertör kontrol sistemleri kullanılmadığında hızın değişimi söz konusu değildir. Uygulama alanları da sabit hızın gerektiği yerlerdir.
- Sabit mıknatıs ve stator döner alanı arasında senkronizasyon sağlayabilmek için rotor konumunun bilinmesi gerekir. Rotor konumu sensörlerle belirlenebilir fakat bu maliyeti artırır.
- Jeneratör olarak çalışma durumunda, uyarma akımı olmadığından gerilim ayarı yapılamaz.
- Yüksek ısılarda kalıcı mıknatıs malzemelerin mıknatıslanma gücünde eksilme olabileceğinden sistemin güvenilirliği azalmaktadır.
- Yüksek enerjili mıknatısların fiyatlarının ve üretim giderlerinin yüksek olması nedeniyle mıknatıslı senkron motorlar, doğru akım ve asenkron motorlara göre daha pahalıdır.
- Kalıcı mıknatısların rotor yüzeyine takılmış olan çeşitlerinde yüksek hızlarda mıknatısların rotor yüzeyinde kopma riski vardır.
- Bakım esnasında rotorun statordan çıkarılması durumunda eksenel kaçıklık olma durumu vardır.



Görsel 5.15: Döner manyetik alan içindeki rotorun dönmesi

AMAÇLAR: Senkron motor parçalarının görsel kontrollerini yapmak.

Senkron motor parçalarının elektriksel kontrollerini yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Avometre		

İşlem Basamakları

a. Görsel ve Fiziki Kontroller

1. Rotor yatak rulmanlarını elle döndürerek rulmanlardan ses gelip gelmediğini kontrol ediniz. Rulmanlardan ses geliyorsa yenisi ile değiştiriniz.



Görsel 5.16: Rotor rulmanlarının kontrolü

2. Rotorda ezilme, çarpılma gibi hasarların olup olmadığını gözlemleyiniz. Rotorun dönüşünü etkileyecek bir hasar varsa rotoru değiştiriniz.



Görsel 5.17: Rotorun görsel kontrolü

3. Stator sargılarında soyulma, yanıklar ve korozyon gibi hasarların olup olmadığını kontrol ediniz. Bu hasarlardan biri mevcut ise onarım yapınız.



Görsel 5.18: Statorun görsel kontrolü

b. Elektriksel Kontroller

1. Stator Sargılarının Direnç Ölçümü

- Avometreyi direnç kademesine getiriniz.
- Avometrenin uçlarından birini stator sargısının girişine diğer ucunu da stator sargılarının uçlarına ayrı ayrı temas ettirerek dirençlerini ölçünüz. Ölçtüğünüz direnç değerini katalog değeri ile karşılaştırınız. Ölçülen değer katalog değerlerinde yüksek ise statoru değiştiriniz.



Görsel 5.19: Stator sargılarının direnç kontrolü

2. Kaçak (Kısa Devre) Kontrolü

- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir ucunu stator sargı uçlarından birine, ölçü aletinin diğer ucunu yalıtılmış stator sargılarının üstüne temas ettiriniz. Ölçü aletinden ses geliyorsa sargılarda kısa devre vardır. Statoru değiştiriniz.

Görsel 5.20: Stator sargılarının kısa devre kontrolü



3. Şasiye Kaçak Kontrolü

- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir ucunu stator sargı uçlarından birine, ölçü aletinin diğer ucunu stator gövdesinin üstüne temas ettiriniz. Ölçü aletinden ses geliyorsa sargılarda şasiye kaçak vardır. Statoru değiştiriniz.

Görsel 5.21: Stator sargılarının şasiye kaçak kontrolü



Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	20	
4	Elektriksel kontrollerin yapılması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	



6. ÖĞRENME BİRİMİ

TEKERLEK İÇİ MOTORLAR



ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Tekerlek İçi Motorların Yapısı
- Tekerlek İçi Motorların Çeşitleri
- Tekerlek İçi Motorların Çalışması
- Tekerlek İçi Motorların Ölçüm ve Kontrolleri

6.1. TEKERLEK İÇİ MOTORLARIN YAPISI

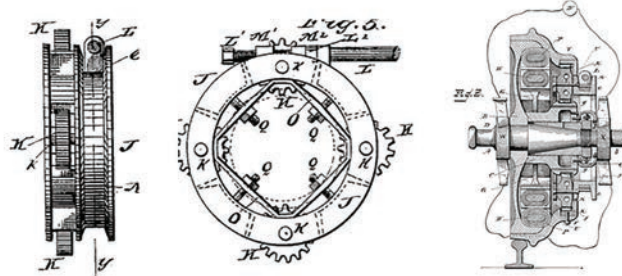
Araç tekerlekleri içine yerleştirilen ve tekerlekleri döndürmek için herhangi bir aktarma organı kullanmayan elektrik motorlarına **tekerlek içi motorlar** denir. Teknolojisi ve tasarımı gereği gayet verimli olan bu motor, son yıllarda elektrikli otomobil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik motorları elektrikli araçların gündeme gelmesinden itibaren içten yanmalı motorların yerine ya da onları destekleyici bir sistem olarak düşünülmüştür. Farklı tipte üretilen motorlar elektrikli araçlarda kullanılmıştır. Elektrikli araçların ilk üretimlerinde daha çok elektrikli motorun kullanıldığı, gücün dişlilerle tekerleklerle aktarıldığı sistemler kullanılırken günümüzde her bir tekerlek için ayrı bir elektrik motorunun kullanıldığı ve tahrik kuvvetinin doğrudan tekerleğe bağlandığı sistemlere geçiş başlamıştır. Aynı zamanda tekerleğe doğrudan bağlantısı nedeniyle bu motorlara teker (hub) motor da denilmektedir (Akıncı, Ekren, Hüner 2008).



Görsel 6.1: Tekerlek içi motor

6.1.1. Tekerlek İçi Motorların Tarihçesi

Tekerlek içi motorlar, günümüzdeki elektrikli araçların tahrik sistemlerinde yeni yeni kullanılırken ilk üretilme ve patent alma süreçleri 1900'lü yıllara dayanmaktadır. Tekerlek içi motor teknolojisinin temelleri 24 Haziran 1884 tarihinde Wellington Adams adlı bir Amerikan mucit tarafından atılmış ve bu motor 300, 827 numaralı patent ile belgelendirilmiştir. 1884–1897 yıllarında birçok çalışmada kullanılan patent, Ferdinand Porsche tarafından değerlendirilmiştir.



Görsel 6.2: Wellington Adams'ın 1884 yılında aldığı patent

1897 yılında Ferdinand Porsche, dünyadaki ilk hibrit aracın prototipini üretti. Bu hibrit aracın ön tekerleklerine hareket veren tekerlek içi motorları vardı. Bu tekerlek içi elektrik motorlarının gücü



Görsel 6.3: Dünyanın ilk benzinli-elektrikli hibrit otomobili olan yenilenmiş Lohner-Porsche

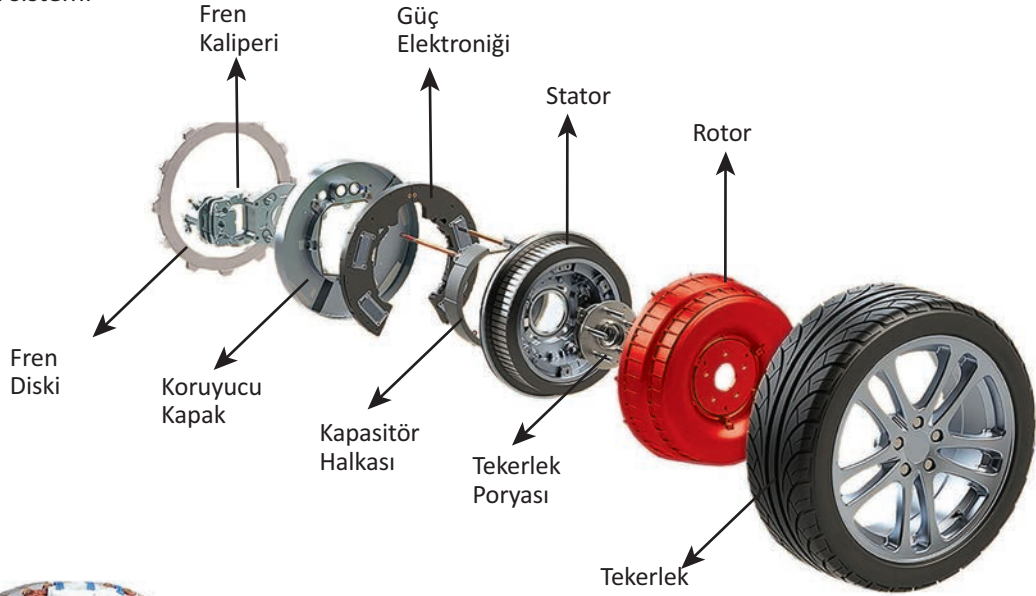
3,5 kW civarındaydı. Bu hibrit araca **Lohner-Porsche** ismi verildi. İlk prototiplerin sadece ön tekerleklerinde teker içi motor bulunurken sonraki modellerinde dört tekerleğinde de tekerlek içi motor kullanılmıştır. 1900 yılında Paris'teki Dünya Sergisi'nde bu otomobil sansasyon yaratmıştır. Sonraki yıllarda 300 adet Lohner-Porsche yapılmış ve bunların zengin alıcıları olmuştur. Görsel 6.3'te dünyanın ilk hibrit aracı gösterilmiştir.

6.1.2. Tekerlek İçi Motorun Parçaları

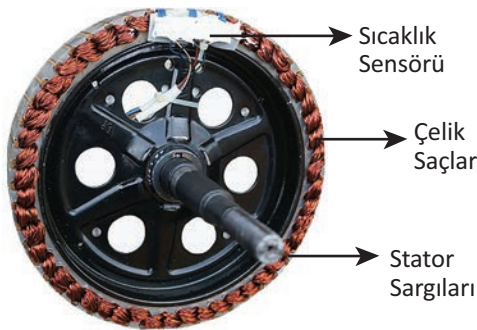
Tekerlek içi motorları bir elektrik motorudur dolayısıyla diğer elektrik motorlarında kullanılan birçok parçayı barındırmaktadır. Fırçasız DC motor yapısında olan tekerlek içi motorlarda bir adet rotor bir adet de stator elemanı bulunmaktadır. Geleneksel doğru akım motorlarında genelde rotorlar, stator içinde bulunurken tekerlek içi motorlarında dışıdır. Stator sargıları rotorun içinde bulunmaktadır. Ayrıca gerilim ve akım kontrolü sağlayan bir micro işlemci ve DC akımı AC akıma çeviren invertör grubu da bulunmaktadır. Yüksek akım kullanımından dolayı oluşan ısıyı düşürmek için soğutma sistemi de kullanılmaktadır. Tekerlek içi motorun rotoru direkt janta bağlıdır. Rotor döndüğünde, tekerlek hareket etmektedir. Tekerlek motorunun üzerinde aracın durmasını sağlayan fren sisteminin elemanları da bulunmaktadır. Tekerlek içi motor aynı zamanda aracın süspansiyon sistemi ile de bağlantı hâlinindedir.

Tekerlek içi motorlar genellikle aşağıdaki şu parçalardan oluşmaktadır:

- Stator
- Rotor
- İnvörtör
- Soğutma sistemi
- Fren sistemi



Görsel 6.4: Tekerlek içi motorun parçaları



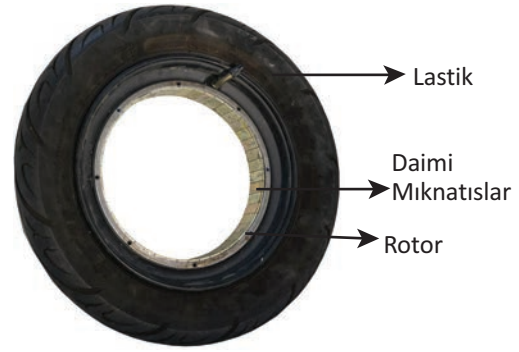
Görsel 6.5: Tekerlek içi motor statoru

6.1.2.1. Tekerlek İçi Motorun Statoru

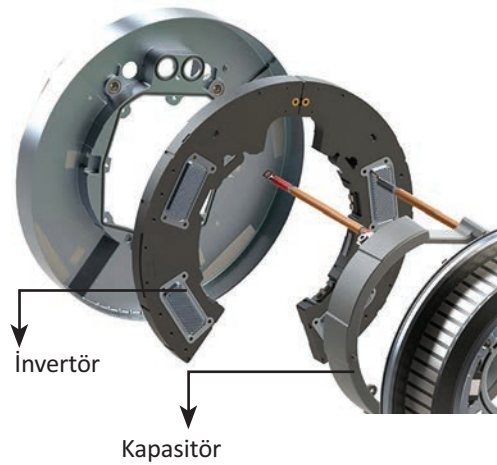
Tekerlek içi motorun statoru, diğer doğru akım motorlarının aksine motorun merkezinde bulunmaktadır. Statorun yapısal durumu diğer elektrik motorlarındaki statorlar ile aynıdır. Görsel 6.5'te tekerlek içi motorun statoru görülmektedir.

6.1.2.2. Tekerlek içi Motorun Rotoru

Tekerlek içi motorlar dıştan rotorludur. Rotorun üstüne kalıcı mıknatıslar yapıştırılır. Tekerlek içi motor rotorlarda Samaryum-Cobalt ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) veya Neodim-Demir-Bor (Nd-Fe-B) gibi nadir toprak elementli kalıcı mıknatıslar tercih edilmektedir. Rotor, motorun hareketli olan parçasıdır ve tekerleğin jantına bağlıdır. Stator ve rotordaki manyetik alanların etkisi ile rotor dönmeye başlar ve bu hareketi tekerleğe iletir. Görsel 6.6'da tekerlek ile bütün hâlde olan tekerlek içi motor rotoru görülmektedir.



Görsel 6.6: Tekerlek içi motor rotoru



Görsel 6.7: Tekerlek içi motor ve mikro invertörü

6.1.2.3. Tekerlek içi Motorun Invertörü

Tekerlek içi motorun stator sargılarında üç fazlı alternatif akım kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrikli aracın bataryasındaki doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm işini yapan parça invertördür. Tekerlek içi motor invertörlerinin araç üzerindeki konumlarında farklılıklar olabilir. Bazı elektrikli araçlarda invertör araç gövdesi iken bazı araçlarda ise tekerlek içi motor ile kompakt bir yapıdadır. Tekerlek motoru üzerinde bulunan invertörler boyut bakımından diğer invertörlerin yarısı kadardır. Invertörün tekerlek motoru üzerinde olmasının bazı faydaları vardır. Invertör, araç üzerinde bir yere monte edildiğinde tekerlek motoruna gitmesi gereken kablo sayısı artmaktadır. Bu da maliyeti artırmaktadır. Görsel 6.7'de tekerlek içi motor ile kompakt bir yapıdaki invertör grubu görülmektedir.

6.1.3. Tekerlek içi Bir Motorun Özellikleri

Konsept bir otomobilde kullanılan örnek tekerlek içi motorun teknik özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Tekerlek içi Motorun Özellikleri

Değişkenler	Değeri	Birimi
Nominal besleme gerilimi	370	DC V
Maksimum tork	1200	Nm
Sürdürülebilir tork	650	Nm
Maksimum hızı	1500	rpm
Maksimum çıkış gücü	110	kW
Motor verimi	94	%
Soğutma sistemi	Sıvı soğutmalı	L/dk.
Motor ağırlığı	33	Kg
Güç kontrol elektroniği	Entegre invertör	

6.1.4. Tekerlek içi Motorların Kullanım Alanları

Günümüzde tekerlek içi motorlar motosikletlerde, bisikletlerde, scooterlarda, otomobillerde otobüslerde, arazi taşıtlarında, kamyonlarda vb. araçlarda kullanılmaktadır. Bisiklet, motosiklet ve scooterlarda tekerlek içi motorlar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Otobüs ve kamyonlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Ancak otomobillerde şu an genellikle konsept olarak kullanılmaktadır. Aşağıda tekerlek içi motor kullanmış bazı konsept otomobiller sıralanmıştır. Görsel 6.8’de tekerlek içi motor kullanan elektrikli bir otobüs görülmektedir.



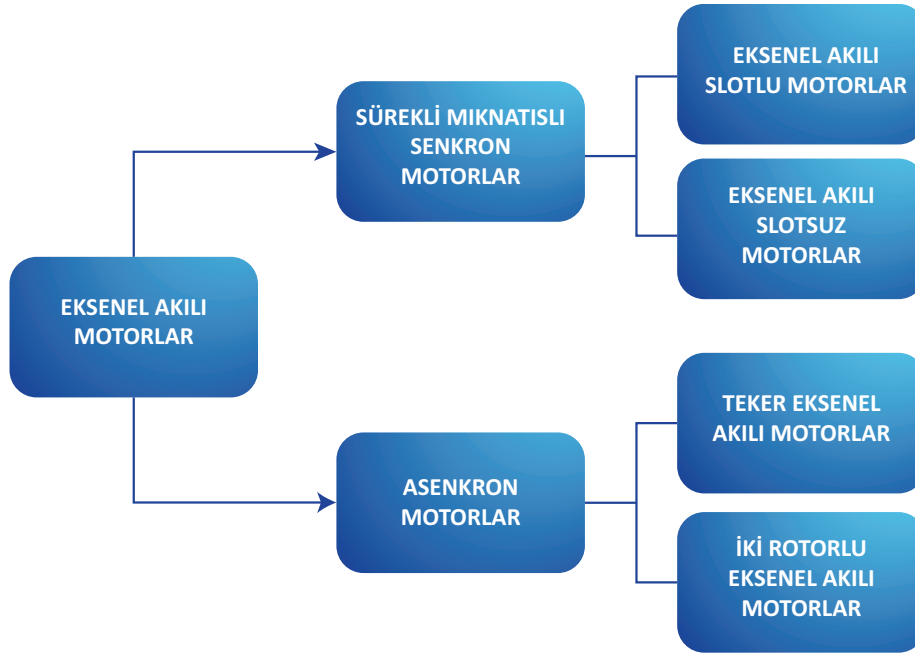
Görsel 6.8: Tekerlek içi motor kullanan elektrikli bir otobüs

- General Motors Sequel 2005
- Protean Electric’in 2006’daki Mini QED’i, 2008’deki Ford F-150 kamyonu ve Hi-PaDrive’ını kullanan diğer arabalar
- Mitsubishi MIEV konsept modeli 2005
- Chebela (2010), arkada 2 doğrudan tahrikli tekerlek içi motor kullanan küçük bir kentsel EV prototipi
- Citroën C-Métisse , TM4 tarafından geliştirilen tekerlekli elektrikli motorlu araç
- Heuliez, Michel’in Aktif Tekerleğini (motorlu aktif süspansiyonu da içeren) 2008 yılında kullanılmıştır.
- ZAP-X, 2007 yılında bir lityum-iyon pil takımında yere 644 beygir teslim, dört tekerleğe de yüksek teknoloji elektrik göbek motorları kullanmaktadır.
- Peugeot BB1 2009 yılında tasarlanan arka teker motorlarında tekerlek içi motor kullanılmıştır.
- Toyota’nın yan kuruluşu HinoMotors, 2019 Tokyo Motor Show’da “FlatFormer” adlı bir konsept 6x6 kamyon şasisini göstermiştir.

6.2. TEKERLEK İÇİ MOTORLARIN ÇEŞİTLERİ

Tekerlek içi motorlar, daha çok konsept elektrikli araçlarda kullanıldığından literatürde tam anlamıyla çeşitlendirilmemiştir. Ancak bu konu üzerinde yazılmış akademik çalışmalara göre tekerlek içi motorların çeşitleri aşağıda verilmiştir.

Elektrikli araçlarda kullanılan teker motorları akıllarına göre üçe ayrılır. Bunlar; eksenel, radyal, enine akılı olanlardır. Elektrikli araçlarda kullanılmaya en uygun olan çeşidi eksenel akılı tekerlek içi motorlardır. Eksenel akılı motorlar, kendi içinde sürekli mıknatıslı ve indüksiyonlu olmak üzere ikiye ayrılır. Eksenel akılı asenkron motorlar, teker eksenel akılı ve iki rotorlu eksenel akılı olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır. Eksenel akılı sürekli mıknatıslı senkron motorlar ise kendi içinde eksenel akılı slotsuz sürekli mıknatıslı ve eksenel akılı slotlu tipli senkron motor olarak ikiye ayrılır (Akıncı, Ekren, Hüner 2008).



Görsel 6.9: Tekerlek içi motor çeşitleri

Elektrikli araçlarda kullanılan tekerlek içi motorlar yapı bakımından incelendiğinde farklılıklar gösterebilir. Bu konuda AR-GE çalışmaları yapan ve konsept elektrikli araçlarda ürünlerini deneyen bazı otomotiv firmaları farklı teker içi motorlar tasarlamışlardır. Bu firmalardan bazıları merkezde güçlü bir teker içi elektrik motor kullanırken bazı firmalar ise küçük bir elektrik motorunun hareket verdiği dişliler ile torku artıran dişli sistemi kullanmıştır. Bu çalışmaların dışında başka bir firma ise süspansiyon sistemini de tekerlek içine yerleştirerek daha kompleks bir yapı tasarlayarak araç içindeki kullanım alanını daha da artırmıştır.



Görsel 6.10: Farklı yapıdaki tekerlek içi motorun yapısı

6.3. TEKERLEK İÇİ MOTORLARIN ÇALIŞMASI

Tekerlek içi motorların çalışma prensibi, diğer elektrik motorlarına benzer. Tekerlek içi motorların diğer motorlardan temel farkı rotorun stator sargılarının içinde değil dışında olmasıdır. Bataryadan gelen DC akım, invertör tarafından AC akıma çevrilerek stator sargılarına gönderilir. Statorda oluşan döner manyetik alan bir kutup etkisi oluşturur ve stator sargılarının etrafına dizilen rotorun doğal ve güçlü mıknatıslarının manyetik alanı ile etkileşime girer, rotorda bir itme veya çekme kuvveti oluşturur ve rotorun dönmesi sağlanır. Dönen rotor tekerleğe bağlı olduğundan tekerleğin dönmesi gerçekleşir ve araç harekete geçer.

6.4. TEKERLEK İÇİ MOTORLARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Tekerlek içi motorlar günümüzde birçok elektrikli araçta kullanılmaktadır. Tekerlek içi motorların her sistem gibi avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

6.4.1. Avantajları

- Arkadan veya önden çekişli araçların yanı sıra dört tekerlekten çekişli versiyonlara güç sağlamak için kullanılabilirler.
- Güç aktarma organlarının olmaması nedeni ile otomobil mühendisleri daha fazla kargo odası ekleyebilir, daha güvenli bir araba için yolcu bölmesinin etrafında ezilme bölgeleri ayarlayabilir veya daha küçük, hafif, verimli bir araba tasarlayabilir.
- Tekerlek içi motorlar, şanzıman, diferansiyel ve aksla güç aktarma organlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Bu, motor ile tekerlek arasında duran her bileşende bulunan mekanik kayıpları azaltır ve aracın daha sessiz çalışmasını sağlar.
- Tekerlek içi motorlar, jeneratör görevi görerek frenleme yapar. Dönen tekerlekler, elektrik üretmek için elektromanyetik alanlara karşı çalışmaya zorlandıkça yavaşlar. Bu rejeneratif frenleme, aracın daha sonra depolanabilen ve yeniden kullanılabilen elektrik üretmesine de izin verir. Böylece fren balatalarının kullanım ömürleri uzamış olur.
- Elektronik motor kontrolündeki gelişmeler sayesinde, mühendisler artık her bir tekerlek içi motorunun torkunu, devrini ve hatta dönüş yönünü kontrol edilebilir hâle gelmişlerdir. Bu kilitlemeyen frenler, çekiş kontrolü ve hatta hız sabitleyici gibi özelliklerin tek bir ana kontrolör tarafından idare edilebileceği anlamına gelir.

6.4.2. Dezavantajları

- Tekerlek içi motorları çalıştırmak için elektrik enerjisi gereklidir. Bu enerjiyi kullanabilmek için araçlara şarj edilebilir piller koymak gerekir. Ancak bu piller, araca ağırlık ekler ve potansiyel olarak tehlikeli bazı maddeleri atık akışına sokar. Aynı zamanda ülkenin enerji şebekesine ek bir yük getirir ve yeni enerji santrallerine olan ihtiyacı artırır.
- Tekerlek içi motorların karşılaştığı en büyük zorluk, yaysız kütlenin ağırlık sorunudur. Yaysız ağırlık, bir arabanın süspansiyonu tarafından desteklenmeyen tüm bileşenlerin kütlesidir. Araçta yaysız ağırlık tekerlekleri, lastikleri ve frenleri içerir. Yaysız kütlenin fazla olması, aracın konforsuz sürüşüne neden olacaktır.
- Tekerlek içi motorun tekerleklere yakınlığı nedeniyle frenlemeden kaynaklanan yol şoklarına ve ısıya karşı korunmaları istenilen seviyede değildir.
- Tekerlek içi motorlar, birçok yeni teknolojiyi barındırdığı için maliyetleri yüksektir ve bu nedenle çok pahalıdır.

6.5. TEKERLEK İÇİ MOTORLARDA YAPILAN KONTROLLER

Tekerlek içi motorlarda yapılan kontrol işlemleri iki gruba ayrılır. Bunlar;

- Görsel kontroller,
- Elektriksel kontrollerdir.

6.5.1. Görsel Kontroller

Tekerlek içi motorun görsel kontrolünde aşağıdaki kontroller yapılır.

- Stator sargılarında yanma kontrolü
- Stator sargılarında deformasyon kontrolü
- Stator rulmanlarında ses kontrolü
- Rotorun görsel kontrolü
- Yüksek gerilim kablo bağlantıları kontrolü
- Rotor balansının kontrolü
- Soğutma sisteminde sızıntı kontrolü

6.5.2. Elektriksel Kontroller

Tekerlek içi motorların rotorunda sargı bulunmadığından sadece stator sargılarında elektriksel kontroller yapılır. Tekerlek içi motorlarda aşağıdaki elektriksel kontroller yapılır.

- Stator sargılarında direnç kontrolü
- Stator sargılarında süreklilik kontrolü
- Stator sargılarında şasiye kaçak kontrolü
- Yüksek gerilim kablo bağlantılarında kötü temas kontrolü
- İnvertör kontrolleri
- Sıcaklık sensörünün kontrolü

AMAÇLAR: Tekerlek içi motor parçalarının görsel kontrollerini yapmak.

Tekerlek içi motor parçalarının elektriksel kontrollerini yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Avometre		

İşlem Basamakları

a. Fiziki ve Görsel Kontroller

1. Stator yatak rulmanlarını elle döndürerek rulmanlardan ses gelip gelmediğini kontrol ediniz. Rulmanlardan ses geliyorsa yenisi ile değiştiriniz.



Görsel 6.11: Stator rulmanlarının kontrolü

2. Rotorun görsel kontrolünü yaparak ezilme, çarpılma ve daimî mıknatıslarda kırılma, kopma gibi hasarların olup olmadığını gözlemleyiniz. Bu hasarlardan birinin olması durumunda rotoru değiştiriniz.



Görsel 5.12: Rotorun görsel kontrolü

3. Stator sargılarında soyulma, yanık, deformasyon ve korozyon gibi hasarların olup olmadığını kontrol ediniz. Bu hasarlardan biri mevcut ise statoru değiştiriniz.



Görsel 6.13: Statorun görsel kontrolü

b. Elektriksel Kontroller

1. Stator Sargılarının Direnç Ölçümü

- Avometreyi direnç kademesine getiriniz.
- Avometrenin uçlarından birini, stator sargısının bir ucunu diğer ucunu da stator sargısının diğer uçlarına ayrı ayrı temas ettirerek dirençlerini ölçünüz. Ölçtüğünüz direnç değerini katalog değeri ile karşılaştırınız. Ölçülen değer katalog değerlerinde yüksek ise statoru değiştiriniz.



Görsel 6.14: Stator sargılarının direnç kontrolü

2. Kaçak (Kısa Devre) Kontrolü

- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir ucunu stator sargı uçlarından birine, diğer ucunu yalıtılmış stator sargılarının üstüne temas ettiriniz. Ölçü aletinden ses geliyorsa sargılarda kısa devre vardır. Statoru değiştiriniz.



Görsel 6.15: Stator sargılarının kısa devre kontrolü

3. Şasiye Kaçak Kontrolü

- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir ucunu stator sargı uçlarından birine, diğer ucunu stator gövdesinin üstüne temas ettiriniz. Ölçü aletinden ses geliyorsa sargılarda şasiye kaçak vardır. Statoru değiştiriniz.



Görsel 6.16: Stator sargılarının şasiye kaçak kontrolü

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	20	
4	Elektriksel kontrollerin yapılması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının ve çalışma aletlerinin temiz, düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyasının tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	



7. ÖĞRENME BİRİMİ

SENKRON JENERATÖRLER



ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Senkron Jeneratörlerin Yapısı
- Senkron Jeneratörlerin Çeşitleri
- Senkron Jeneratörlerin Çalışması
- Senkron Jeneratörlerin Ölçüm ve Kontrolleri

Günümüzde otomobillerde kullanılan önemli enerji türlerinden birisi de elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi birçok yoldan üretilmektedir. Bu öğrenme biriminde elektrikli araçlarda kullanılan, temelde DC (Doğru Akım) ve AC (Alternatif Akım) uyarımlı olmak üzere iki gruba ayrılan AC uyarımlı jeneratörlerinin bir çeşidi olan senkron jeneratörler incelenecektir. Senkron jeneratörlerin tanımı, yapısı, çeşitleri, çalışması, ölçüm ve kontrolleri ele alınacaktır.

7.1. SENKRON JENERATÖRÜN TANIMI

Her şey zıddıyla bilinir. Senkron makineleri anlamak için asenkron makinelerden bahsetmek gerekir. Önceki öğrenme birimlerinde ele alınan asenkron motorlar ve senkron motorlar konuları ışığında “asekron” ve “senkron” kelime anlamlarını ele alarak, ortak olan senkron kelimesiyle birinin başına “a” harfi getirilerek birbirinin zıddı bir ifade oluşturulmuştur.

Senkronun kelime anlamı; en az iki parametrenin olması, bu iki parametrenin karşılaştırılması ve birbiri ile eş çalışması gerekmektedir.

Senkron veya asenkron bir elektrik motoruna üç faz gerilim uygulandığında motor üzerinde iki adet değer oluşur. Bunlardan biri sargılar üzerinde oluşan (hesaplanan) değerdir ve bu **senkron hız** diye ifade edilir. Diğeri ise rotor mili üzerinden ölçülen değerdir buna da **rotor hızı** denir.

Dakikadaki senkron hız hesabı

$$n_s = 120 \times f/p$$

$$\text{Senkron devir sayısı} = 120 \times \text{frekans/kutup çifti sayısı}$$

Yukarıda ifade edilen iki hız değeri birbirine eşit ise bu motora **senkron motor** denir. Eğer hesaplanan değer ölçülen değerden yüksek çıkıyorsa bu tip motorlara da **asekron motor** denir.

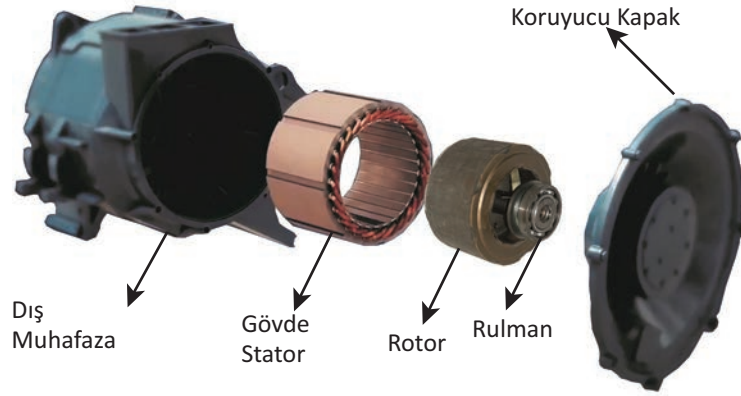
Senkron hız ve rotor hızı arasındaki değer farklılığının en büyük sebebi rotor ile stator arasında oluşan kayıplardır. Bu yüzden de senkron hız değeri hiçbir zaman rotor hız değerinden düşük olamaz. Görsel 7.1’de senkron ve rotor hızın durumu verilmiştir.

Senkron (Hesaplanan) Hız	Rotor (Ölçülen) Hız	
Yüksek	Düşük	Asenkron Motor
Eşit	Eşit	Senkron Motor
Düşük	Yüksek	-----

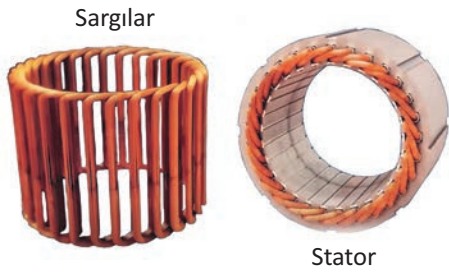
Görsel 7.1: Asenkron-senkron ayrımı

7.2. SENKRON JENERATÖRÜN YAPISI

Senkron motor ile senkron jeneratör yapı bakımından birbirinin aynısıdır. Senkron makinenin girişine elektrik enerjisi uygulayıp çıkışından mekanik enerji alınırsa buna **senkron motor**, senkron makinenin girişine hareket enerjisi uygulayıp çıkışından elektrik enerjisi alınırsa buna da **senkron jeneratör** denir. Görsel 7.2’de daimî mıknatıslı senkron jeneratör gösterilmiştir. Bir jeneratörün alternatif akım sargılarını taşıyan kısmına **endüvi**, doğru akım sargılarını taşıyan kısmına **endüktör** denir. Stator (endüvi) sargısı alternatif akım çıkışına, rotor (endüktör) sargısı ise doğru akım kaynağına bağlanır. Bu nedenle çift uyarımlı makineler grubuna girer.



Görsel 7.2: Daimî mıknatıslı senkron jeneratör



Görsel 7.3: Stator ve sargılar

Stator, alternatif akım sargılarının sarıldığı kısımdır. Silisli sacların paketlenmesiyle ve üzerine sargıların sarılmasıyla meydana gelir. Görsel 7.3'te stator ve sargılar gösterilmiştir.

Rotor, kutup sargılarının bulunduğu ve doğru akımın uygulandığı kısımdır. Araçlarda kullanılan jeneratörlerdeki rotorlar genellikle daimî mıknatıslı rotorlar olduğu için kutup sargıları yer almaz. Görsel 7.4'te rotor gösterilmiştir.



Görsel 7.4: Rotor ve mil

Bilezikler, senkron makine jeneratör olarak çalışıyorsa rotora doğru akım beslemesinin dış devreden alınmasını sağlar.

Fırçalar, dış devreden rotora gerilimin uygulanmasını sağlar. Fırçalar karbon veya karbon alaşımından yapılır.

Bilezik ve fırçalar elektrik santrallerinde kullanılan jeneratör parçaları olduğu için burada bilgilendirme amaçlı verilmiştir. Otomobillerde kullanılan jeneratör rotorları genellikle daimî mıknatıslı oldukları için bilezik ve fırça gibi parçalar bulunmamaktadır.

Yataklar ve diğer parçalar, rotorun bir eksen etrafında rahatça dönmesini sağlayan ve rotoru dış etkilerden koruyan kısımdır. Yataklar, mil, pervane, klemens kutusu, kapaklar gibi kısımlardan meydana gelir.

7.3. SENKRON JENERATÖR ÇEŞİTLERİ

- Yuvarlak rotorlu senkron jeneratör (Genelde kojenerasyon santrallerinde kullanılır.)
- Turbo rotorlu senkron jeneratör (Genelde kojenerasyon santrallerinde kullanılır.)
- Çıkık kutuplu senkron jeneratör (Genellikle hidroelektrik santrallerinde kullanılır.)
- Sürekli mıknatıslı senkron jeneratör (Hafif sanayide ve otomobillerde kullanılır.)

Not: Kojenerasyon, enerjiyi daha verimli kullanmak amacıyla elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesini sağlayan teknolojidir.

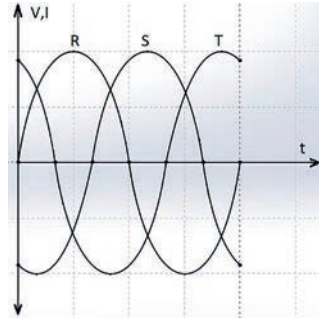
7.4. SENKRON JENERATÖRÜN ÇALIŞMASI

Senkron jeneratörlerde kutup sargıları makinenin hareketli kısmında yani rotorda bulunur. Elektrikli araçlarda daha çok rotor kısmında kutup sargıları yerine sabit mıknatıslar kullanılır. Kutup sargılarında doğru akımla beslenerek hava aralığında zamana göre değişmeyen ve genliği sabit olan doğru manyetik alan oluşur veya daimî mıknatıslanma ile sürekli mıknatıslanma hâlinde- dir. Görsel 7.5'te senkron jeneratör rotor ve statoru gösterilmiştir.



Görsel 7.5: Senkron jeneratör rotor ve statoru

Bu manyetik alan, rotorun dışarıdan bir tahrik makinesi ile döndürülmesi sonucu statora yerleştirilmiş üç fazlı sargı düzlemlerinden farklı açılarda geçer. Böylece dönen manyetik alan ile jeneratörün stator sargılarında üç fazlı gerilim indüklemiş olur. Bu gerilim zamana göre değişkendir yani alternatif gerilimdir.



Görsel 7.6: R-S-T sinyalleri sinüs dalga

R-S-T fazları İngilizce isimlendirmelerinden kaynaklanır. Öncelikle üç fazı birbirine göre değerlendirebilmek için referans alınacak bir faza gereksinim vardır. Yani referans faz (reference phase) buna göre ikinci sırada olan faza ikinci (second phase) ve son olarak üçüncü faza da üçüncü (third phase) faz denir. R-S-T sinyallerinin sinüs dalga şeklinde gösterimi Görsel 7.6'da verilmiştir.

R-S-T fazları İngilizce isimlendirmelerinden kaynaklanır. Öncelikle üç fazı birbirine göre değerlendirebilmek için referans alınacak bir faza gereksinim vardır. Yani referans faz (reference phase) buna göre ikinci sırada olan faza ikinci (second phase) ve son olarak üçüncü faza da üçüncü (third phase) faz denir. R-S-T sinyallerinin sinüs dalga şeklinde gösterimi Görsel 7.6'da verilmiştir.

7.5. REJENERATİF FREN SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Araçtaki kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek ısıyı dışarı atmak yerine, kinetik enerjiyi senkron jeneratör sayesinde elektrik enerjisine çevirerek bataryanın şarj edilmesinde kullanılan bir sistemdir. Elektrikli araçlarda gaz pedalı bırakıldığı zaman bu sistem otomatik olarak devreye girerek aracın yavaş yavaş frenlenmesi sağlanmış olur.

Rejeneratif fren sisteminin devreye girme işlemi; Araç belli bir hızda giderken gaz pedalına basılmadığı zaman araç üzerindeki kinetik enerji yani tekerleklerin dönme enerjisi dişliler vasıtasıyla senkron motorun rotorunu çevirmeye başlar. Görsel 7.7'de rejeneratif frenleme gösterilmiştir.

Senkron motoru senkron jeneratör olarak çalıştırmak için gerekli şart, rotorun dönüş hızının manyetik alanın dönüş hızından daha fazla olmasıdır. Bu sırada invertör-konvertör grubu devreye girer. Invertör-konvertör grubu senkron motora giren frekansı ayarlayarak döner manyetik alan devrini rotor devrinin altında tutar. Böylece stator sargılarında dönüştürücüden gelen akımdan çok daha fazla bir akım oluşur. Üretilen akım alternatif akımdır. AC-DC doğrultmaç yardımıyla akım doğru akıma dönüştürülerek bataryanın şarj olmasını sağlar. Tekerleklerin hareketine zıt yönde bir manyetik alan kuvveti bu sırada rotora uygulanarak aracın yavaşlama işlemi de gerçekleştirilmiş olur. Bundan dolayı aracın hızı hassas bir şekilde tek pedal kullanılarak (gaz pedalı) ayarlanabilir Aracın frenleme ihtiyacına göre manyetik alan şiddeti yazılımla ayarlanarak daha fazla enerji elde edilebilir. Ayrıca fren pedalına ani bir şekilde basıldığında eğer gerekiyorsa yazılım aracılığıyla mekanik frenleme devreye sokulur. Bu durumlar firmalar tarafından yazılım ile araç yönetim sistemine işlenir.



Görsel 7.7: Rejeneratif frenleme

AMAÇLAR: Senkron jeneratör parçalarının görsel kontrollerini yapmak.

Senkron jeneratör parçalarının elektriksel kontrollerini yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Avometre		
Senkron jeneratör		

İşlem Basamakları

a. Fiziki ve Görsel Kontroller

1. Daimî mıknatıslı rotor yatak rulmanlarını elle döndürerek rulmanlardan ses gelip gelmediğini ve yatak boşluklarını kontrol ediniz.



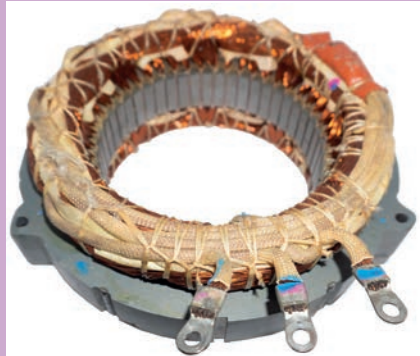
Görsel 7.8: Daimî mıknatıslı rotor rulmanlarının kontrolü

2. Rotorda dıştan ezilme, çarpılma gibi kusurların olup olmadığını gözlemleyiniz.



Görsel 7.9: Rotorun görsel kontrolü

3. Stator sargılarda soyulma, yanık ve korozyon gibi sorunlar olup olmadığını kontrol ediniz.



Görsel 7.10: Statorun görsel kontrolü

b. Elektriksel Kontroller**1. Stator Sargılarının Direnç Ölçümü**

- Avometreyi direnç kademesine getiriniz.
- Problardan birini sargı uçlarının birleştiği nötr uca diğerini çıkış uçları olan R-S-T uçlarına temas ettirerek sargıların dirençlerini ölçünüz. Ölçtüğünüz direnç değerini katalog değeri ile karşılaştırınız.
- Avometrenin problemlerinden birini stator sargısının birine değdirip diğer probu stator sargılarının uçlarına ayrı ayrı temas ettirerek dirençlerini ölçünüz. Ölçtüğünüz direnç değerini katalog değeri ile karşılaştırınız.



Görsel 7.11: Stator sargılarının direnç kontrolü

2. Kaçak (Kısa Devre) Kontrolü

- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir ucunu stator sargı uçlarından birine, ölçü aletinin diğer ucunu stator sargılarının üzerine temas ettiriniz. Avometreden bip sesi gelip gelmediğini kontrol ediniz. Ses geliyorsa sargılarda kısa devre vardır. Aşırı ısınmadan kaynaklı sargılar arasındaki yalıtım malzemesi erimiş ve sargılar birbirlerine kısa devre yapmış olabilir.



Görsel 7.12: Stator sargılarının kısa devre kontrolü

3. Şasiye Kaçak Kontrolü

- Avometreyi buzzer pozisyonuna getiriniz.
- Avometrenin bir ucunu stator sargı uçlarından birine, ölçü aletinin diğer ucunu stator gövdesinin üzerine temas ettiriniz.

Avometreden bip sesi gelip gelmediğini kontrol ediniz. Ses geliyorsa sargılarda şasiye kaçak vardır.



Görsel 7.13: Stator sargılarının şasiye kaçak kontrolü

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	10	
2	Ölçü aletinin kullanılması	20	
3	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	20	
4	Elektriksel kontrollerin yapılması	20	
5	Uygulama sonrasında çalışma ortamının ve çalışma aletlerinin temiz, düzenli bir şekilde bırakılması	20	
6	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyasının tutulması	10	
TOPLAM PUAN		100	



8. ÖĞRENME BİRİMİ

ELEKTRİK MAKİNELERİNDE

SOĞUTMA



ÖĞRENME BİRİMİ KONULARI

- Elektrik Makinelerinde Soğutma Sisteminin Görevleri
- Elektrik Makinelerinde Soğutma Sisteminin Çeşitleri
- Elektrik Makinelerinde Soğutma Sisteminin Parçaları
- Elektrik Makinelerinde Soğutma Sisteminin Çalışması
- Elektrik Makinelerinde Soğutma Sisteminin Kontrolleri

Bir makine içindeki tüm parçalar birbirleri ile temas hâlinde ve birbirine sürtünerek çalıştıkları için ısınırlar. Oluşan ısının zaman içinde makineye zarar vermemesi için soğutulması gerekmektedir. Bunun için soğutma sistemi oldukça büyük önem taşır.

8.1. SOĞUTMA SİSTEMİNİN GÖREVLERİ

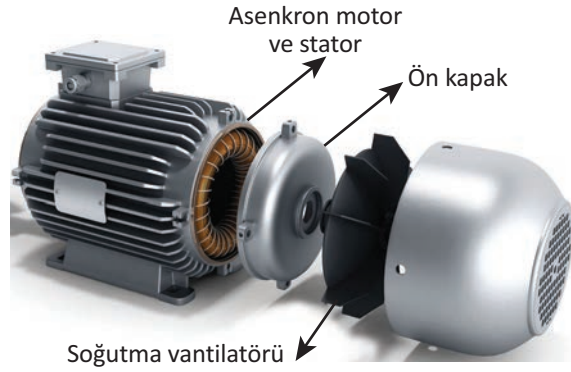
Soğutma sisteminin temel görevi makinede sürtünmelerden dolayı oluşan yüksek ısıyı ideal çalışma koşullarına indirmek, soğuk hava şartlarında ise makinenin ideal çalışma koşullarına ulaşmasını sağlamaktır.

8.2. SOĞUTMA SİSTEMİNİN ÇEŞİTLERİ

Soğutma sistemlerini genel anlamda iki başlıkta incelenir. Bunlar hava soğutmalı sistemler ve sıvı soğutmalı sistemlerdir. Sıvı soğutmalı sistemlerde kendi içinde su soğutma ve yağ soğutma olarak ikiye ayrılır. Elektrik makinelerinde kullanılan soğutma sistemleri genelde su soğutmalı sistemlerdir.

8.2.1. Hava Soğutmalı Sistemler

Hava soğutmalı sistemler sıvı soğutmalı sistemlere göre daha düşük bir verim oluşturdıkları için genelde motosiklet motorlarında, ağaç testere motorlarında, çim biçme makinelerinde veya jeneratör gibi daha az güç gerektiren makinelerde kullanılmaktadır. Görsel 8.1'de hava soğutmalı sistem gösterilmiştir.



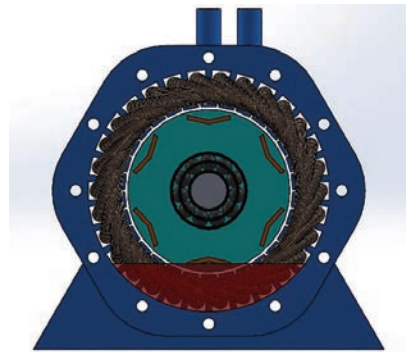
Görsel 8.1: Hava soğutmalı sistem

8.2.2. Sıvı Soğutmalı Sistemler

Sıvı soğutmalı sistemler performans anlamında hava soğutmalı sistemlerden daha verimli oldukları için günümüzdeki araçların büyük çoğunluğunda kullanılan sistemlerdir.

8.2.2.1. Yağ Soğutmalı Sistemler

Yağın aktif olarak soğutma işleminde kullanımı elektrik motorlarında çok uygulanan bir yöntem değildir. Bu yöntemde yağ, rotorun belli bir seviyesine gelecek kadar ayarlanır, gövde içerisinde yer alan soğutma kanallarında pompa yardımı ile dolaştırılarak ısı sargılardan alınıp bir radyatör vasıtasıyla dış ortama aktararak soğutma sağlanır. Görsel 8.2'de yağ soğutmalı sistem gösterilmiştir. Daha sonra yağ kütüğünde soğutulan yağ, tekrar yağ pompası tarafından sisteme basılır. Bu esnada iç kısımda yer alan ve yağlanmaya ihtiyaç duyan parçalar da yağlanmış olur, haricî bir yağlamaya ihtiyaç kalmaz.

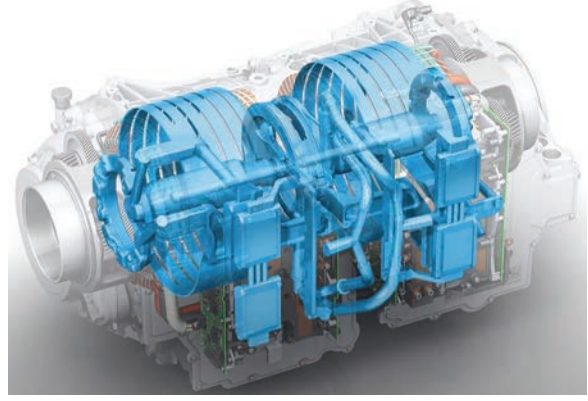


Görsel 8.2: Yağ soğutmalı sistem

8.2.2.2. Su Soğutmalı Sistemler

Günümüzde en çok kullanılan sistem, su ile soğutmalı sistemlerdir. Su ile soğutulan sistemlerde özellikle kış aylarında suyun donma tehlikesi olduğu için antifriz veya antifriz-su karışımı kullanılarak radyatöre konulan suyun donma sıcaklığı düşürülür. Hava sıcaklığı sıfırın altına düştüğü zamanlarda dahi soğuk havaya karşı korunur ve su donmaz.

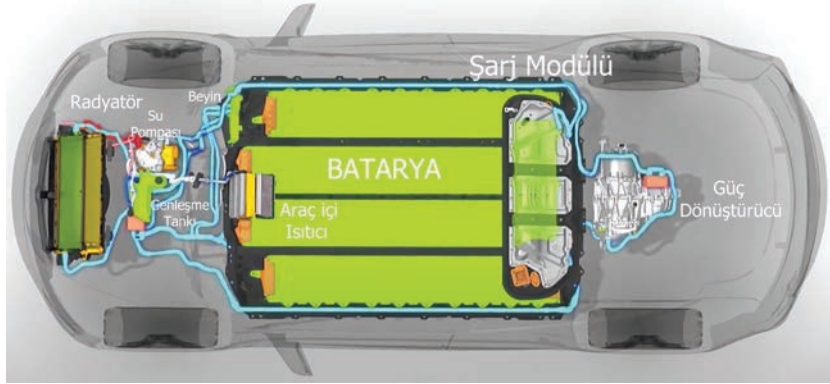
Su, statorların yerleştirildiği gövde içerisindeki kanallarda dolaştırılarak rotor ve stator arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan yüksek ısıyı uzaklaştırır. Görsel 8.3'te su soğutmalı sistem gösterilmiştir.



Görsel 8.3: Su soğutmalı sistem

8.3. SOĞUTMA SİSTEMİNİN PARÇALARI

Sistem parçaları; radyatör, su pompası, soğutma fanı, genleşme tankı, soğutma suyu ve borulardan meydana gelir. Görsel 8.4'te soğutma sistemi parçaları gösterilmiştir.



Görsel 8.4: Soğutma sistemi parçaları

8.3.1. Radyatör

Motor, soğutma suyuna depoluk yaparak üzerinde bulundurduğu alüminyumdan yapılmış ince petekler sayesinde aracın kendi kinetik enerjisini kullanarak vantilatör yardımı ile içerisinde bulunan suyu soğutur. Görsel 8.5'te radyatör ve soğutma fanı gösterilmiştir.



Görsel 8.5: Radyatör ve soğutma fanı

8.3.2. Su Pompası

Radyatördeki soğutulmuş olan suyu sisteme basınçlı olarak göndererek sistemdeki ısınmış olan suyun da soğuması için radyatöre gelmesini sağlayan parçadır. Görsel 8.6'da su pompası gösterilmiştir.



Görsel 8.6: Su pompası

8.3.3. Soğutma Fanı

Radyatör içerisinde ısınmış olan suyun soğutulabilmesi için hava sirkülasyonunu oluşturan pervanedir. Görsel 8.5'te radyatör ve soğutma fanı gösterilmiştir.

8.3.4. Genleşme Kabı

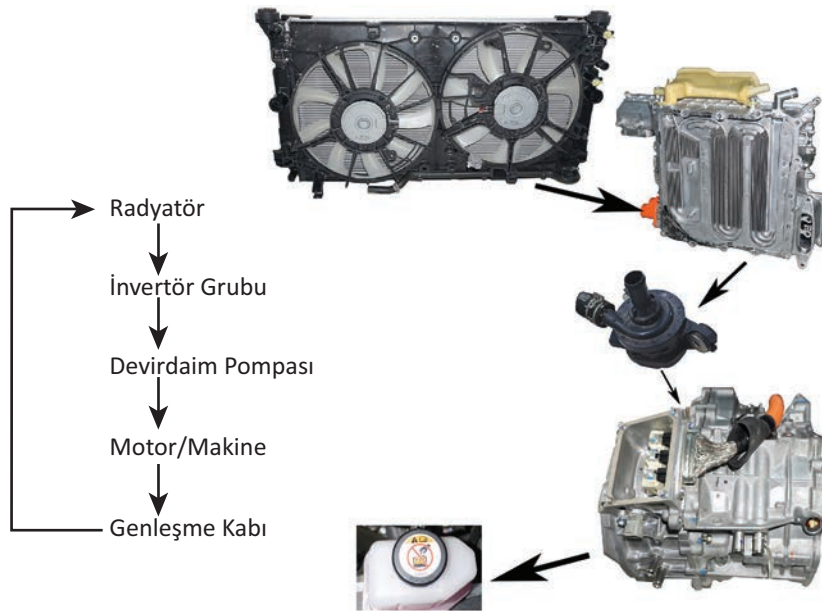
Sistem içerisindeki soğutma suyunun sıcaklığı arttıkça ısınan suyun hacmi de artar. Genleşme kabı, bu suyun belli bir yüksekliğe kadar genişleyeceği ve soğuma sırasında tekrar büzüşebileceği bir kaba ihtiyaç duyulduğu için sistem içerisine yerleştirilmiştir. Görsel 8.7'de genleşme kabı gösterilmiştir.



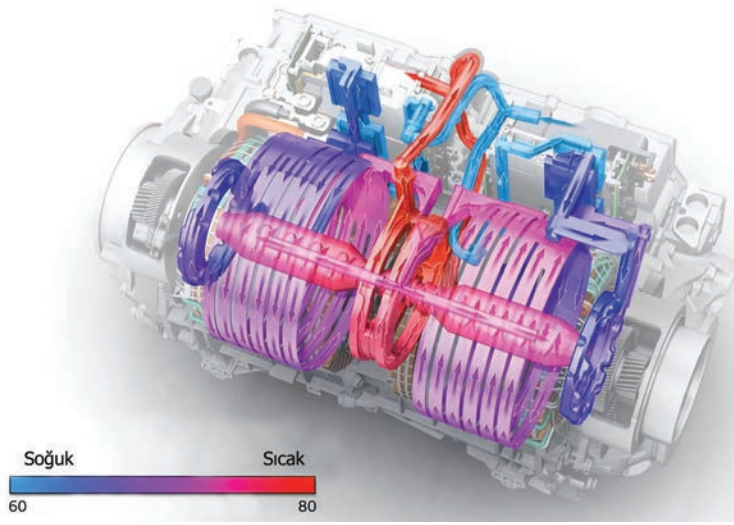
Görsel 8.7: Genleşme kabı

8.4. SOĞUTMA SİSTEMİ ÇALIŞMASI

Sistem içerisinde soğutucu akışkan döngüsü Görsel 8.8'de gösterildiği gibi devirdaim (tam dolaşım) eder.



Görsel 8.8: Soğutucu akışkan döngüsü



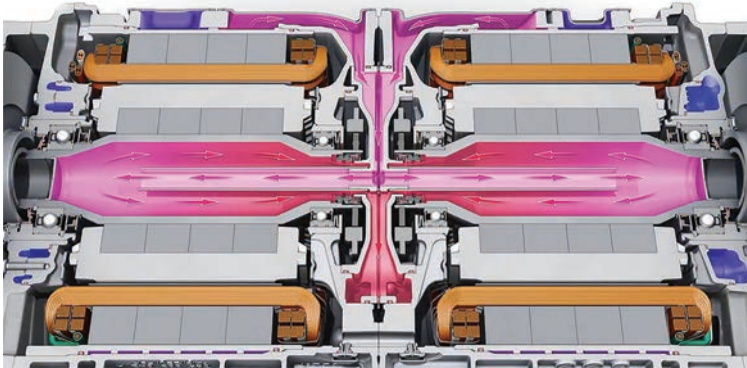
Görsel 8.9: Su soğutmalı sistem su dolaşımı

Su öncelikle invertör-konvertör grubunun alüminyumdan yapılmış soğutma kanatçıklarında dolaşarak motorun gövde kısmında yer alan stator çevresindeki soğutma kanallarına doğru ilerler. Görsel 8.10 ve Görsel 8.11’de su soğutmalı sistemlerde su dolaşımları gösterilmiştir.



Görsel 8.10 – Görsel 8.11: Su soğutmalı sistem su dolaşımı

Rotor mili iç kısmı su kanalları ile donatılmış olup rotorun daha hızlı soğuyabilmesi amaçlanmıştır. Görsel 8.12’de su soğutmalı sistem rotor içi su akışı gösterilmiştir.



Görsel 8.12: Su soğutmalı sistem rotor içi su akışı

Rotor ve statorda oluşan yüksek ısı su üzerine geçerek rotor ve statorun soğutulması sağlanmış olur. Bu sırada su ısınır ve ısınan su stator çevresindeki kanallardan çıktıktan sonra tekrar borular aracılığı ile radyatörün üst kısmından radyatöre girer ve tekrar soğutulur.

AMAÇLAR: Soğutma sistemi parçalarının gözle kontrollerini yapmak.

Soğutma sistemi sızıntı ve kaçak kontrollerini yapmak.

Kullanılacak Araç Gereç, Makine ve Avadanlık

Adı	Özelliği	Miktarı
Kelepçe pensesi		
Sökme ve takma için gerekli el aletleri		

İşlem Basamakları

a. Dikkat

1. Motoru yeni durdurulmuş bir araçta soğutma suyunun kontrollerini yapmak için aracın soğumasını bekleyiniz. Aksi hâlde sistemdeki ısıdan dolayı ısınan su, radyatör kapakları veya bağlantı borularından basınçlı bir şekilde çıkarak çevredekilerde ciddi yanıklar oluşturabilir.



Görsel 8.13: Motorun soğuması

b. Fiziki ve Görsel Kontroller

1. Radyatör, bağlantı boruları ve su pompası üzerinde su sızıntı kontrollerini gözlemleyerek herhangi bir yerinde kaçak olup olmadığını kontrol ediniz. Genelde su kireçli bir yapıya sahip olduğu için kaçak olan yerlerdeki kireç izlerine dikkat ediniz.



Görsel 8.14: Sızıntı kontrolleri

2. Akü kutup başlarını dikkatli bir şekilde çıkartarak yalıtımını sağladıktan sonra soğutma fanında sıkışma durumunu elle birkaç tur çevirerek kontrol ediniz. Herhangi bir ezilmenin olup olmadığına bakınız.



Görsel 8.15: Akü bağlantılarının sökümü

3. Aracı gerekli önlemleri alarak lifte alınız, alt kısımda sızıntı ve kaçak olup olmadığını kontrol ediniz.



Görsel 8.16: Aracı lifte alma

Uygulamaya İlişkin Değerlendirme

S.NO	PUANLAMA ÖLÇÜTLERİ	PUAN	ALINAN PUAN
1	İş sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulması	25	
2	Fiziki ve görsel kontrollerin yapılması	25	
3	Uygulama sonrasında çalışma ortamının, çalışma aletlerinin temiz ve düzenli bir şekilde bırakılması	25	
4	Yapılan işin kayıt altına alınması için düzenli temrin dosyası tutulması	25	
TOPLAM PUAN		100	

KAYNAKÇA

- Agamloh, E., von Jouanne, A., Yokochi, A. (2020) An Overview of Electric Machine Trends in Modern Electric Vehicles. *Machines*. 8(2), 20
- Akyazı Ö., Küçükali M., Akpınar A. (2011). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Hız Denetiminin Farklı Bulanık Üyelik Fonksiyonları Kullanılarak Gerçekleştirilmesi. *Elektronik Mühendisleri Odası, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*. 311-315
- Aydın E. (2014). Gömülü Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorların Moment Dalgalanmalarının Minimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Başer, E. (2016). Elektrikli Araçlarda Yol Koşullarına Uygun Motor Seçimi Algoritması Geliştirme. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Chakraborty, S., Vu, H.N., Hasan, M.M., Tran, D.D., Baghdadi, M., Hegazy, O. (2019). DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Fast Charging Stations: State of the Art and Future Trends. *Energies* 12(8)
- Chan, C.C. (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4)
- Çabuk, A. (2016). Tekerlek İçi Fırçasız Doğru Akım Motorlarının En İyi Tasarımı İçin Yeni Bir Yaklaşım (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çanakoğlu, A.İ., Ünsal, A., Tunaboylu, N.S. (2012). Elektrik Makinaları. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Çetin, E. (2018). Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motor Tasarımı, Manyetik Analizi ve Prototip Üretimi (Doktora Tezi). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Demirci, Y. (2010). Hibrit Araçlarda Elektrik Motoru Denetimi (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demiroğlu O. (2012). Elektrikli/Hibrit Araçların Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Duru, H. T., Çamur, S., Arifoğlu, B., Beşer, E., Kandemir, E. (2003). Mıknatıs Destekli Senkron Relüktans Motor Tasarımı ve Analizi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10.Ulusal Kongresi ve Fuarı*. 110-113
- Fenercioğlu, A., Tarımer, İ. (2008). Anahtarlama relüktans motor tasarımlarında farklı rotor geometrilerinin motor güç ve tork üretimine etkilerinin incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 10 (1), 19-30
- Hashemniaand, N., Asaei, B. (2008). Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. *18th International Conference on Electrical Machines*.1-5

KAYNAKÇA

Hüner E., Ekren N., Akıncı T. (2008). Teker Motorlar ve Teker Motorların Elektrikli Araçlarda Kullanımına İlişkin Bir İnceleme. e-Journal of New World Sciences Academy, 3. 2, 299-309

Öner, Y. , Öztürk, M. (2015). Yeni tip eksenel akıllı anahtarlama relüktans motor manyetik analizi ve tasarımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30. 3

Özçınar, S. (2007). Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Kontrol Yöntemleri ve Endüstriyel Uygulamaları. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sakka, M., Mierlo, J.V., Gualous, H. (2011). DC/DC Converters for Electric Vehicles, Electric Vehicles Modelling and Simulations. Intech Open.

Tanç, G. (2014). Elektrikli Bisikletler İçin Fırçasız Doğru Akım Motoru Tasarımı ve Üretimi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tran, D.D., Vafaeipour, M., Baghdadi, M., Barrero, R., Mierlo, J.V., Hegazy, O. (2020). Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119

Toyota Motor Corp. (2007). Toyota Hibrit Sistem Eğitim Kılavuzu

Toyota Motor Corp. (2008). Hibrit Eğitim Kılavuzu

Toyota Motor Corp. Elektromanyetizm Eğitim Panosu

Turhan, E. (2014). Dış Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Moment İyileştirmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ulu, B. (2011). Fırçasız Doğru Akım Motor (BLDC) Hız Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 18, 68.

GENEL AĞ ADRESLERİ

<https://www.elektrikport.com/universite/elektrik-motorlari-ikinci-bolum/8337#ad-image-0> (30.12.2020 saat 19.23)

<https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/seri-motorlar-3778/> (24.12.2020 saat 19.28)

<https://www.onxcontrol.com/files/rel%C3%BCktans%20motorlar%C4%B1.pdf> (24.12.2020 saat 20.35)

<https://www.orientalmotor.com/ac-motors-gear-motors/ac-induction-motors.html> (12/12/2020 saat 17.08)

<https://www.tesmanian.com/blogs/tesmanian-blog/tesla-model-y-motor-model-3-sandy-munro-teardown> (12.12.2020 saat 18.13)

KAYNAKÇA

<http://akademik.duzce.edu.tr/Content/Dokumanlar/ugurhasirci/DersNotlari/4651c2ec-12a6-4b8f-9ade-862d2ee84d2c.pdf> (31.01.2021 saat 02.00)

https://diyet.net/senkron-makinalar-ve-calisma-prensibi/#google_vignette (20.11.2020 saat 18.15)

<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrikli-araclarda-kullanilan-motorlar-ve-ozellikleri/21929#ad-image-0> (18.10.2020 saat 18.28)

<http://betaelektrikport.4fily.com/haber-roportaj/elektrikli-araclarda-kullanilan-motorlar-ve-ozellikleri/21929> (20.11.2020 saat 19.00)

<https://www.proteanelectric.com/> (13.12.2020 saat 18.05)

<https://muhendisk.com/makine-muhendisligi/hub-motorlarin-avantajlari-ve-elektrikli-araclar/> (13.12.2020 saat 21.23)

<https://in-wheel.com/en/technology/> (13.12.2020 saat 15.30)

<https://paratic.com/elektrikli-araba-motor-protean-electric-drive-sistem/> (13.12.2020 saat 16.34)

<https://elektrikliracteknolojisi.com/elektrikli-otomobil-teknik/elektrikli-otomobillerde-kullanilan-hub-motor-teknolojisi-nedir> (13.12.2020 saat 16.40)

<https://www.youtube.com/watch?v=GQJcHtCbsJA&t=303s> (27.12.2020 saat 20.16)

https://orbisdriven.com/home-2/orbus-wheel-exploded_with-motor/

<https://www.youtube.com/watch?v=3LURdVBOgVw> (21.12.2020 saat 16.35)

https://elektrikmen.com/senkron-generator/#Senkron_Generator_Nedir (21.12.2020 saat 12.30)

<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/senkron-jeneratorler-nasil-calisir-1-bolum/15108#ad-image-0> (26.12.2020 saat 11.15)

https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mustafa.aktas/137366/E283C5_Senkron%20Jen-erat%C3%B6r.pdf (28.12.2020 saat 15.00)

<https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1Elektroteknik/unite6.pdf> (23.12.2020 saat 09.00)

https://www.researchgate.net/publication/334283313_elektrik_motorlarında_sargıdan_sogutma_govdesine_isi_transferini_artıran_bir_yontem_a_method_for_increasing_the_heat_transfer_from_the_winding_to_the_cooling_case_in_electric_motors (17.01.2021 saat 18.15)

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel 1.1: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.2: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.3: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.4: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.5: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.6: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.7: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.8: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.9: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.10: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.11: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.12: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.13: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.14: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.15: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.16: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.17: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.18: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.19: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.20: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.21: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 1.23: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 2.1: 123rf Sitesinden Telif Hakkı Ödenerek Alınan Görseller

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel 2.2: Komisyon Tarafından Oluşturulan Görseller

Görsel 2.3: 123rf Sitesinden Telif Hakkı Ödenerek Alınan Görseller

Görsel 2.4: 123rf Sitesinden Telif Hakkı Ödenerek Alınan Görseller

Görsel 2.5: Komisyon Tarafından Oluşturulan Görseller

Görsel 2.6: Komisyon Tarafından Oluşturulan Görseller

Görsel 2.7: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 1720510846

Görsel 2.8: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 218459713

Görsel 2.9a: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 94566970

Görsel 2.9b: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 747834436

Görsel 2.10: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 271487819

Görsel 2.11: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 695137717

Görsel 2.12: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.13: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.14: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.15: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.16: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.17: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.18: <https://www.wikihow.com/Build-a-Motor> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.30)

Görsel 2.19a: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 421635838

Görsel 2.19b: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 257887385

Görsel 2.20: <https://duryeatechnologies.com/engineered-to-order-bldc-motor-brushless-generator-alternator-products/> (Erişim Tarihi: 23.12.2020-18.55)

Görsel 2.21: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 1083172385

Görsel 2.22: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 695137723

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel 2.23: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 1041437389

Görsel 2.24a: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 1517555255

Görsel 2.24b: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 576660340

Görsel 2.25: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.26: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.27: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.28: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.29: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.30: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.31: <https://www.wikihow.com.tr/Basit-Bir-Elektrik-Jener-at%C3%B6r%C3%BC-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1%C4%B1r> (Erişim Tarihi: 01.02.2021-18.40)

Görsel 2.32: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 1551242741

Görsel 2.33: https://en.wikipedia.org/wiki/DC_motor (Erişim Tarihi: 24.12.2020-19.35)

Görsel 2.34: <https://www.elettroamici.org/en/nozioni-di-base-sui-motori-bldc/> (Erişim Tarihi: 18.01.2021-15.30)

Görsel 2.35: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 421635838

Görsel 2.36: <https://www.shutterstock.com.tr>, ID: 218459713

Görsel 2.37: Komisyon Tarafından Oluşturulan Görseller

Görsel 2.38: Komisyon Tarafından Oluşturulan Görseller

Görsel 2.39: <https://mzwmotor.com/starter-solenoid/> (Erişim Tarihi: 24.02.2021-15.55)

Görsel 2.40: Komisyon Tarafından Oluşturulan Görseller

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel 3.1: 123rf.com, ID: 96645378

Görsel 3.2: 123rf.com, ID: 63815779

Görsel 3.3: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.4: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.5: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.6: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.7: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.8: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.9: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.10: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.11: <https://www.cleanpng.com/png-ac-motor-electric-motor-alternating-current-dc-mot-5102450/preview.html>(Erişim Tarihi: 13.12.2020-18.00)

Görsel 3.12: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.13: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.14: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s (Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.15: https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=16s

(Erişim Tarihi: 09.12.2020-10.00)

Görsel 3.16: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.17: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.18: Komisyon tarafından oluşturuldu.

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel 3.19: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.20: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 3.21: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 4.1.a: <http://kaskod.ee/technology/switched-reluctance-motor-generator-technology/> (Erişim Tarihi: 07.12.2020-14.00)

Görsel 4.1.b: <https://new.abb.com/motors-generators/iec-low-voltage-motors/process-performance-motors/synchronous-reluctance-motors>(Erişim Tarihi: 07.12.2020-15.00)

Görsel 4.1.c: https://www.youtube.com/watch?v=esUb7Zy5Oio&ab_channel=LearnEngineering (Erişim Tarihi: 08.12.2020-15.00)

Görsel 4.2: Agamloh, E., Jouanne, A. V., & Yokochi, A. (2020). An Overview of Electric Machine Trends in Modern Electric Vehicles. Machines, 8(2), 20. Syf 8 Görsel (c).

Görsel 4.3: <https://www.semanticscholar.org/paper/Synchronous-Reluctance-Motor-With-Form-Blocked-Kolehmainen/d2aabacfd3aec63de9d777e5a28f7363727d52>

(Erişim Tarihi: 10.12.2020-19.00)

Görsel 4.4: <https://www.plantservices.com/articles/2020/why-permanent-magnet-motors-and-reluctance-motors-are-finding-increased-industry-application/>(Erişim Tarihi: 09.12.2020- 16.00)

Görsel 4.5: <http://kaskod.ee/technology/switched-reluctance-motor-generator-technology/> (Erişim Tarihi: 10.12.2020-18.00)

Görsel 4.6: <https://new.abb.com/motors-generators/iec-low-voltage-motors/process-performance-motors/synchronous-reluctance-motors>(Erişim Tarihi: 07.12.2020-14.00)

Görsel 4.7: https://www.youtube.com/watch?v=esUb7Zy5Oio&ab_channel=LearnEngineering(Erişim Tarihi: 11.12.2020-19.00)

Görsel 4.8: <https://mammothmemory.net/physics/magnets-and-electromagnetism/magnets/do-both-poles-of-a-magnet-attract-a-paperclip.html>(Erişim Tarihi: 11.12.2020-15.00)

Görsel 4.9: Sanchez-Mateo, Sofia&Borza, Paul. (2016). Numerical Approaches for the NVH study of Electric and Hybrid Electric Vehicles. Syf 281 Görsel 5-E.

Görsel 4.10: https://www.youtube.com/watch?v=vvw6k4ppUZU&ab_channel=LearnEngineering(Erişim Tarihi: 11.12.2020-15.50)

Görsel 4.11: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-13/reluc->

GÖRSEL KAYNAKÇA

tance-motor/ (Erişim Tarihi: 14.12.2020-15.30)

Görsel 5.1: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.2: <https://cdn.motor1.com/images/mgl/v80xb/s1/2011-273203-2013-chevrolet-spark-ev-electric-motor-26-10-20111.jpg> (Erişim Tarihi: 21.10.2020-19.50)

Görsel 5.3: Toyota Türkiye Pazarlama ve Satış A.Ş. Eğitim Bölümü'nden izin alınarak kullanıldı.

Görsel 5.4: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.6: Toyota Türkiye Pazarlama ve Satış A.Ş. Eğitim Bölümü'nden izin alınarak kullanıldı.

Görsel 5.7: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.8: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.9: <http://betaelektrikport.4flyy.com/haber-roportaj/elektrikli-araclarda-kullanilan-motorlar-ve-ozellikleri/21929> (Erişim Tarihi: 26.10.2020-20.35)

Görsel 5.10: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.11: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.12: Toyota Türkiye Pazarlama ve Satış A.Ş. Eğitim Bölümü'nden izin alınarak kullanıldı.

Görsel 5.13: Toyota Türkiye Pazarlama ve Satış A.Ş. Eğitim Bölümü'nden izin alınarak kullanıldı.

Görsel 5.14: Toyota Türkiye Pazarlama ve Satış A.Ş. Eğitim Bölümü'nden izin alınarak kullanıldı.

Görsel 5.15: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.16: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.17: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.18: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.19: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 5.20: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.1: <https://cdn.motor1.com/images/mgl/68EQZ/s1/2011-264895-brabus-high-performance-4wd-full-electric-e-class-12-09-20111.jpg>

Görsel 6.2: <https://muhendisk.com/makine-muhendisligi/hub-motorlarin-avantajlari-ve-elek>

GÖRSEL KAYNAKÇA

trikli-araclar/ (Erişim Tarihi: 13.12.20-21.23)

Görsel 6.3: <https://www.thedrive.com/tech/20246/the-real-story-behind-the-worlds-first-hybrid-car>

Görsel 6.4: https://yandex.com.tr/gorsel/search?from=morda_new&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F3532312%2FSL74cLhBOxdrCQg7lQjsWg3842%2Forig&cbir_=3532312%2FSL74cLhBOxdrCQg7lQjsWg3842&rpt=imageview&cbir_page=similar&pos=2&img_url=https%3A%2F%2Fcdn.motor1.com%2Fimages%2Fmg1%2FEg7oM%2Fs1%2Fin-wheel-motor-manufacturer-protean-electric-secures-40-million-funding.jpg

Görsel 6.5: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.6 : Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.7: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.8: <https://www.youtube.com/watch?v=GQJcHtCbsJA&t=303s>(Erişim Tarihi: 27.12.2020-20.16)

Görsel 6.9: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.10: https://orbisdriven.com/home-2/orbus-wheel-exploded_with-motor/7

Görsel 6.11: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.12: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.13: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.14: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.15: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 6.16: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.1: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.2: https://www.youtube.com/watch?v=eyuaXX-_XJc&t=4s (Erişim Tarihi: 09.01.2021-13.00)

Görsel 7.3: https://www.youtube.com/watch?v=eyuaXX-_XJc&t=4s (Erişim Tarihi: 09.01.2021-13.00)

Görsel 7.4: https://www.youtube.com/watch?v=eyuaXX-_XJc&t=4s (Erişim Tarihi: 09.01.2021-13.00)

Görsel 7.5: https://www.youtube.com/watch?v=eyuaXX-_XJc&t=4s (Erişim Tarihi: 09.01.2021-13.00)

Görsel 7.6: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.7: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.8: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.9: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.10: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.11: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.12: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 7.13: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.1: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.2: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.3: <https://www.youtube.com/watch?v=fqeQEmqoXB8>(Erişim Tarihi: 30.01.2021-17.00)

Görsel 8.4: <https://www.youtube.com/watch?v=WU-u-tUjsXo> (Erişim Tarihi: 30.01.2021-17.00)

Görsel 8.5: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.6: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.7: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.8: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.9: <https://www.youtube.com/watch?v=fqeQEmqoXB8>(Erişim Tarihi: 30.01.2021-17.00)

Görsel 8.10: <https://www.youtube.com/watch?v=9fS5OuvkTRE>(Erişim Tarihi: 30.01.2021-17.00)

Görsel 8.11: <https://www.youtube.com/watch?v=9fS5OuvkTRE>(Erişim Tarihi: 30.01.2021-17.00)

Görsel 8.12: <https://www.youtube.com/watch?v=fqeQEmqoXB8>(Erişim Tarihi: 30.01.2021-17.00)

Görsel 8.13: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.14: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.15: Komisyon tarafından oluşturuldu.

Görsel 8.16: Komisyon tarafından oluşturuldu.