T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT BİR TAŞIT TAHRİK SİSTEMİNDE İÇTEN YANMALI MOTOR İLE ELEKTRİK MOTORUNUN ŞANZIMAN GİRİŞİNE GÜÇ İLETİMİ İÇİN AKTARIM SİSTEMİ TASARIMI

Doğukan YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Danışman

Dr. Ögr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Eş Danışman

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Temmuz, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT BİR TAŞIT TAHRİK SİSTEMİNDE İÇTEN YANMALI MOTOR İLE ELEKTRİK MOTORUNUN ŞANZIMAN GİRİŞİNE GÜÇ İLETİMİ İÇİN AKTARIM SİSTEMİ TASARIMI

Doğukan YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Ögr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Erdem BOĞOÇLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI, Üye
Çukurova Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ ve eş danışmanım Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan hibrit bir taşıt tahrik sisteminde içten yanmalı motor ile elektrik motorunun şanzıman girişine güç iletimi için aktarım sistemi tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Doğukan Yıldız

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam kapsamında göstermiş oldukları özveri, yönlendirme ve paylaşımlarından ötürü kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ'a ve yüksek lisans hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman eksik etmeyip, bana her zaman destek olan çok sevgili ve değerli hocam Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ'e yüksek lisans tez çalışmama katmış olduğu değerlerden ve göstermiş olduğu yoğun ilgiden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamamda gerekli yardımları sağlayan ve edindikleri bilgileri benimle paylaşan çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Doğukan Yıldız

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 4

1.3 Hipotez 4

2 TAŞITLARDA GÜÇ İLETİMİ 5

2.1 İçten Yanmalı Motorlu Araçlar 5

2.2 Elektrikli Araçlar 7

2.3 Hibrit Araçlar 10

2.3.1 Seri Hibrit Araçlar 10

2.3.2 Paralel Hibrit Araçlar 13

2.3.3 Güç Paylaşımlı Hibrit Araçlar 15

3 HİBRİT GÜÇ GRUBU TASARIMI 20

3.1 Hibrit Güç Grubu Tasarımında Kullanılan Bileşenler 20

3.1.1 Elektromanyetik Kavrama 20

3.1.2 Zincir-Dişli Sistemi 21

3.1.3 Tek Yönlü Rulman 22

3.1.4 İçten Yanmalı Motor 22

3.1.5 Elektrik Motoru 23

3.2 Kullanılacak Zincir-Dişli ve Rulman Grubunun Mukavemet Kontrolü 23

3.2.1 Zincir-Dişli Grubunun Mukavemet Kontrolü 23

3.2.2 Rulman Grubunun Mukavemet Kontrolü 26

3.3 Hibrit Güç Grubu Tasarımı 27

4 DENEYSEL ÇALIŞMA 31
4.1 Deneysel Çalışma Düzeneği 31
4.2 Hibrit Güç İletim Sisteminde Güç Akış Şeması 32
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 34
KAYNAKÇA 43
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 45

SİMGE LİSTESİ

z_1	1. dişlinin diş sayısı
z_2	2. dişlinin diş sayısı
X	Bakla sayısı
v	Çevresel hız (m/s)
F_u	Çevresel kuvvet (N)
Y	Dinamik eksenel faktör
X	Dinamik radyal faktör
a	Eksenler arası mesafe (mm)
S_{mev}	Hesaplanan emniyet katsayısı
$K_{iş}$	İşletme faktörü
P	Motor gücü (kW)
f_l	Ömür faktörü
$S_{öng}$	Öngörülen emniyet katsayısı
$f_{löng}$	Öngörülen ömür faktörü
L_{10h}	Rulman ömrü (işletme saati)
$F_{eş}$	Rulman üzerine etkiyen eş değer dinamik yük (N)
F_a	Rulmana etkiyen eksenel kuvvet (N)
F_r	Rulmana etkiyen radyal kuvvet (N)
C	Rulmanın dinamik yük katsayısı (N)
C_0	Rulmanın statik yük katsayısı (N)
F_{top}	Toplam kuvvet (N)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
p	Zincir boğum uzunluğu (mm)
L	Zincir uzunluğu (mm)
F_q	Zincire ağırlık dolayısıyla etkiyen çekme kuvveti (N)
$F_{mç}$	Zincire etkiyen çekme kuvveti (N)
q	Zincirin birim uzunluğunun ağırlığı (kg/m)

F_k	Zincirin kopma kuvveti (N)

KISALTMA LİSTESİ

EM	Elektrik Motoru
İYM	İçten Yanmalı Motor
J1	Jenerator 1
J2	Jeneratör 2
K1	Kavrama 1
K2	Kavrama 2
K3	Kavrama 3
K4	Kavrama 4

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektrikli araçlarda güç iletim şeması 9
Şekil 2.2 Seri hibrit araçların çalışma şeması 10
Şekil 2.3 Seri hibrit araçların mimarisi 10
Şekil 2.4 Hibrit sistem ı'e ait seri hibrit araç güç iletim şeması 12
Şekil 2.5 Paralel hibrit araçlarda çalışma şeması 14
Şekil 2.6 Paralel hibrit araç mimarisi 14
Şekil 2.7 Paralel hibrit araçlarda güç iletim yolları 15
Şekil 2.8 Çift kavrama hibrit araçlar 15
Şekil 2.9 Güç paylaşımlı hibrit sistem çalışma şeması 17
Şekil 2.10 Hibrit sistem ıı'nin çalışma prensibi 17
Şekil 2.11 Hibrit sistem ıii çalışma şeması 18
Şekil 2.12 Hibrit sistem ıv çalışma prensibi 19
Şekil 2.13 Hibrit sistem v sistem mimarisi 19
Şekil 3.1 Elektromanyetik kavrama 21
Şekil 3.2 Deney düzeneğinde kullanılan sessiz zincir 21
Şekil 3.3 Deney düzeneğinde kullanılan dişli 22
Şekil 3.4 Deney düzeneğinde kullanılan tek yönlü rulman 22
Şekil 3.5 İçten yanmalı güç grubu yerine kullanılan motor 22
Şekil 3.6 Elektriksel güç grubu yerine kullanılan elektrik motoru 23
Şekil 3.7 Hibrit güç grubunda kullanılacak dişli 23
Şekil 3.8 Hibrit güç grubunda kullanılacak zincir 24
Şekil 3.9 Hibrit güç grubunda kullanılacak tek yönlü rulman 26
Şekil 3.10 Hibrit güç iletim sistemi tasarımı 28
Şekil 3.11 İçten yanmalı motor ve elektromanyetik kavrama bağlantısı 28
Şekil 3.12 Dişli tasarımı ve elektromanyetik kavrama 29
Şekil 3.13 Tek yönlü rulman ve dişli grubu tasarımı 29
Şekil 4.1 Sistemi doğrulama amaçlı kullanılan deney seti 32
Şekil 4.2 Teker hızının 0-50km/h arası olduğu zaman güç iletim yolu 32
Şekil 4.3 Teker hızının 50 km/h değerinin üzerinde olduğu zaman güç iletim yolu 33

Şekil 5.1 İlk kavrama anı 39
Şekil 5.2 Tam kavrama anı 40

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Şekil 3.10'daki bileşenler 28

Tablo 3.2 Şekil 3.13'teki bileşenler 29

Tablo 5.1 Karşı yük olmadan 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü 34

Tablo 5.2 Karşı yük olmadan 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü 35

Tablo 5.3 Karşı yük olmadan 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümünde yüzde hata 35

Tablo 5.4 Karşı yük olmadan 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata 36

Tablo 5.5 Karşı yük altında 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü 37

Tablo 5.6 Karşı yük altında 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü 37

Tablo 5.7 Karşı yük altında 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata 38

Tablo 5.8 Karşı yük altında 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata 38

Tablo 5.9 Kavrama güç isteri 39

ÖZET

Hibrit Bir Taşıt Tahrik Sisteminde İçten Yanmalı Motor İle Elektrik Motorunun Şanzıman Girişine Güç İletimi İçin Aktarım Sistemi Tasarımı

Doğukan YILDIZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Ögr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Eş-Danışman: Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Küresel ısınmanın etkilerinden en önemlisi olan karbon salınımı büyük bir problemdir. Araçların birim km başına daha düşük CO_2 salınımı gerçekleştirmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak yakın gelecekte salınan emisyonu düşürmenin yolu hibrit araçlardan geçmektedir.

Hibrit araçlarda güç iletim şekilleri; parallel hibrit, seri hibrit ve güç paylaşımlı hibrit olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir. Bazı hibrit güç iletim sistemlerinde içten yanmalı motor aracın hareketine doğrudan katkıda bulunabilir, bazı hibrit güç iletim sistemlerinde içten yanmalı motor aracın hareketine doğrudan katkıda bulunmaz. En önemli amaç, içten yanmalı motor ve elektrik motorundan elde edilen gücün şanzıman ve tekerleklere problemsiz bir şekilde iletilmesidir.

Bu tez çalışmasında, deneysel bir süreç tasarlanarak içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birbirlerinden bağımsız olarak şanzıman girişine güç iletebilmesi için tasarım yapılmıştır. İçten yanmalı motorun şanzıman girişine güç iletebilmesi için kuru tip kavrama yerine tork iletim miktarını ve kavrama durumlarını elektronik sinyaller ile kontrol edilmesini sağlayan elektromanyetik kavrama kullanılmıştır. Elektrik motorunun şanzıman girişine güç iletimi zincir-dişli mekanizması ile gerçekleştrilmiştir. Elektrik motorunun şanzıman girişine içten yanmalı motordan bağımsız olarak güç iletebilmesi için tek yönlü kavrama kullanılmıştır. Bu kavrama ile elektrik motorunun içten yanmalı motoru döndürmesinin önüne geçilmiş ve içten yanmalı motor ve elektrik motorunun güç iletimini bağımsız bir şekilde yapılması sağlanmıştır. Bu çalışmada ise süreci deneysel doğrulamak için sistem tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit araçlar, elektromanyetik kavrama, güç iletimi, tek yön rulman

ABSTRACT

Transmission System Design for Power Transmission of an Internal Combustion Engine and Electric Motor to the Gearbox Input in a Hybrid Vehicle Drive System

Doğukan YILDIZ

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Carbon emission, which is the most important effect of global warming, is a serious problem. Various studies have been carried out for vehicles to produce lower CO_2 per unit km. However the way to reduce emissions in the near future is through hybrid vehicles.

Parallel hybrid, serial hybrid and power sharing hybrid are the three forms of power transmission in hybrid vehicles. In some hybrid power transmission systems, the internal combustion engine can contribute directly to the movement of the vehicle, in some hybrid power transmission systems the internal combustion engine does not contribute directly to the movement of the vehicle. The most important purpose is to transmit the power obtained from the internal combustion engine and electric motor to the gearbox and wheels without any problems.

In this thesis, an experimental process has been designed to enable the internal combustion engine and electric motor to transmit power to the gearbox input independently from each other. In order for the internal combustion engine to transmit power to the gearbox input instead of a dry type clutch, an electromagnetic

clutch that allows the amount of torque transmission and clutch status to be controlled by electronic signals is used. The power transmission of the electric motor to the gearbox input is realized by a chain-gear mechanism. A one-way clutch is used to transmit power to the gearbox input of the electric motor independently of the internal combustion engine. With this clutch, the electric motor is prevented from rotating the internal combustion engine and the power transmission of the internal combustion engine and the electric motor is provided independently. In this study, the system was designed to validate the process experimentally.

Keywords: Hybrid cars, Electromagnetic clutch, Power transmission, One way bearing

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Xiliang Cao ve ekibi tarafından 2019 yılında ayrık akslı çift kavramalı hibrit araçlarda optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada içten yanmalı motor ön akslara tahrik uygulamaktadır. Elektrik motoru ise arka akslara tahrik uygulamaktadır. Çift kavrama ise içten yanmalı motorun etkilediği bölgede çalışmaktadır.

Akslara içten yanmalı motorun gücü transmisyon sistemi vasıtasıyla iki farklı yoldan tekerleklere aktarılmaktadır. Bu yollardan birisi kavrama-şanzıman diferansiyel-ön aks bağlantısını kullanarak tekerleklere aktarılmasıdır. Diğer iletim yolu ise içten yanmalı motorun kayış yardımıyla jeneratöre bağlanması ve bu sayede elektrik motoru için elektrik üretmesidir.

Bu tarz bir hibrit güç iletim sisteminde hibrit transmisyonun verimi ön aksa iletilen güç iletim sisteminine ve arka aksa iletilen güç iletim sistemine bağlıdır. Bundan dolayı çift kavrama sisteminin parametre ayarları ve kavramaların kavrama durumları ve geçiş süresi aracın verimi üzerinde belirleyici bir unsurdur. Ayrıca arka aksa güç iletimi sağlayan motorun da parametreleri de oldukça önemlidir [1].

Zhenzhen Lei ve ekibi 2017 yılında çift kavramalı hibrit araçlarda mod geçişleri ve kaydırma hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada çift kavramalı hibrit araçlarda çalışma modu ve kaydırma modu başarıyla yapılmıştır. Bunun sonucuda çalışma modunun ve kaydırma modunun aynı anda yapılabileceği ve hem kayma modunun hem de çalışma modu arasındaki problemlerin çözülebileceği ortaya çıkmıştır [2].

Zhiguo Zhao ve ekibi 2017 yılında kuru çift kavramalı ve dört çekişli hibrit araç için mod geçişinin optimum kontrolü üzerine çalışma yapmışlardır. İçten yanmalı motor rijit bir şekilde bağlanmış. Oradan da ön aksa bağlanmıştır. Arka aksa ise tekerlekte bulunan bir motor vasıtasıyla bağlanmıştır ve bu motor 312 volt gerilime sahip olan batarya ile çalışmaktadır [3].

Michael A. Mrochen ve ekibi 2018 yılında çift kavramalı hibrit araçların modellemesi ve simulasyonu yapmışlardır. Bu simulasyonda çift kütleli volan kullanılmıştır. İçten yanmalı motor, duruma göre iki kavramanın birinden güç iletimi sağlayabilirken elektrik motoru ise diğer kavramadan güç iletimini sağlamaktadır. Çift kütleli volan üzerine içten yanmalı motorun ataleti ve kavramaların ataleti etkili olmaktadır. Elektrik motoru-kavrama- çift kütleli volan bağlantısı çubuk yay ile sağlanmaktadır. Her iki kavrama da şanzıman ve sonrasında diferansiyel üzerinden tekerleklere güç iletimini sağlamaktadır. Şaftın yan tarafı diferansiyel ve tekerlekler arasındaki bağlantıyı sağladığından dolayı şaftın yan tarafı aktarma organlarının tahrikli kenarlarında sert malzeme özelliklerine sahiptir [4].

Hang Peng ve ekibi tarafından 2019 yılında hibrit araçların güç aktarma sistemi konfigürasyonunu incelemek için sentez ve analiz yöntemi hakkında çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada yapılması gereken iki adım vardır. Birinci adım hibrit araçta olan bütün güç iletim sistemi otomatik transmisyon ve/veya jeneratör kısımları için yeni bir bitişiklik matrisi oluşturmaktadır. Bu sayede hibrit araç sisteminin çalışma modlarının analiz edilebilmesi sağlanmaktadır. Bunun sonucunda hibrit bir aracın giç iletim konfigürasyonu matrisler sayesinde geniş kapsamlı olarak yapılmıştır. İkinci adımda ise çalışma modlarının bazıları bitişiklik matrisi ile araç hızı, tork ihtiyacı ve güç arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma modları hibrit araçlarda güç iletim sisteminin konfigürasyonunun analizine yardımcı olurken çalışma modlarının fizibilitesi, güç iletim sisteminin matematiksel modeli ve araç performansı hakkında bilgiler içerir [5].

Wassif Shabbir ve ekibi tarafından 2018 yılında seri hibrit araçlar için değişken eşik değeri olabilmesi için kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Bu kontrol stratejisi öncelikle binek araçlarda kullanılması amaçlanmıştır ve sürüş esnasında uygun frekans aralığında vereceği geçici tepkiyi gerçekçi bir şekilde temsil etmektedir.

Bu aracın güç iletim sistemi iki bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birisi lityum-iyon batarya diğeri ise içten yanmalı motordur. İçten yanmalı motor, sistemin birinci enerji kaynağıdır. Ayrıca bu sistemde kalıcı mıknatıs senkron motor kalıcı mıknatıs senkron jeneratör bulunmaktadır. Simulasyon dört farklı durumda yapılmaktadır.

Bu durumlar düşük hız, orta hız, yüksek hız ve ekstra yüksek hız durumlarıdır. Bu çalışma; güç durumu, batarya durumu ve yakıt ekonomisi hakkında bilgi verir [6].

Guo Bin ve ekibi tarafından 2018 yılında paralel hibrit araçlarda güç iletim sistemi parametreleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kayış tahrikli generator içten yanmalı motora kayış ile bağlıdır. Starter motor ise içten yanmalı motor ile eş eksenli olarak yerleştirilmiştir. Güç CVT şanzıman ile tekerlere iletilmektedir [7].

Sheng-Chung Tzeng ve ekibi tarafından 2004 yılında paralel hibrit araçlarda çift mekanizma entegrasyonu ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada iki adet kayış mekanizması vardır. Kayış mekanizmalarından biri, içten yanmalı motorun ürettiği güç jenerator üzerinden batarya şarj etmek için kullanılır. Araç üzerinde toplam yük fazlaysa hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru aracın hareketini sağlamak için ürettiği gücü akslara aktarır. Araç üzerindeki toplam yük azsa elektrik motoru ürettiği gücü akslara aktarır. İçten yanmalı motor ise ürettği gücü kayış mekanizması yardımı ile jeneratöre aktarır [8].

Pier Giuseppe Anzelma ve ekibi tarafından 2019 yılında güç paylaşımlı hibrit araçlarda üç adet kavrama kullanılarak kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada üç adet kavrama, iki adet jeneratör ve içten yanmalı motor kullanılmıştır. Bu sisteme sahip olan bir aracın çeşitli çalışma modları vardır. Bu modlardan birisinde araç sadece elektrik ile haraket etmektedir. Bu durumda sadece jeneratörlerden biri aracın hareket etmesini sağlar. Rejeneratif frenleme durumunda ise aracın bataryasının şarj edilmesini sağlar. Farklı vites oranları olduğunda diğer iki kavramayı kullanarak güç iletimi yapılır. Başka bir modda ise jeneratörlerden birinin hızı aracın hızına bağlıyken diğer jeneratörun hızı ve içten yanmalı motorun hızı araç hızından bağımsızdır. Böylece içten yanmalı motor sürekli olarak en verimli noktada çalışmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca jeneratörlerden biri kavrama yardımıyla sabitlenmiştir [9].

Alexandre Ravey, taratından 2015 yılnda yapılan bir çalışmada hidrojen enerji kaynağına sahip olan hibrit bir araçta bulanık mantık yöntemi ile kontrol yapılmıştır. Bu çalışmada hidrojenin miktarına bakarak kullanılacak akım miktarının ve kalan batarya durumunun belirlenmesi ve buna bağlı olarak içten yanmalı motorun kullanılma durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır [10].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birbirlerinden bağımsız olarak şanzıman girişine ve tekerleklere güç iletilebilmesi için hibrit güç grubu tasarımının yapılması amaçlanmış ve ortaya konan tasarımın deney düzeneği kullanılarak çalışılabilirliği incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Hibrit güç grubu tasarımında, tek yönlü rulman kullanılarak içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birbirlerinden bağımsız olarak güç iletmesi sağlamaktadır. İçten yanmalı motorun şanzıman girişine güç iletebilmesi için kısmi ve tam kavrama durumlarının elektronik sinyaller ile kontrol edilen elektromanyetik kavrama kullanılmaktadır.

Elektrik motorunundan şanzıman girişine güç iletilirken zincir-dişli ve tek yönlü rulmanda herhangi bir kayma olup olmadığı belirlenmektedir. Elektromanyetik kavramanın kısmi ve tam kavrama durumlarına geçebilmesi için ne kadar voltaj uygulaması gerektiği bulunmaktadır. Çeşitli durumlar altında hibrit güç grubu tasarımının çalışılabilirlik durumu gözlemlenmektedir.

2
TAŞITLARDA GÜÇ İLETİMİ

2.1 İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

İçten yanmalı motorlar araçlarda güç iletim sisteminde tahrik elemanı olarak uzun zamandır kullanılmaktadırlar. İçten yanmalı motorlarda pek çok parça vardır ve bu durumdan dolayı oldukça karmaşık bir motor türüdür. Bu parçalar gruplama yapılarak bir araya getirilir ve her grup kendisine ait olan görevi yerine getirerek motordan tekerlere kadar olan güç iletimini sağlamış olmaktadırlar. Aracın hareket etmesi için gereken gücü içten yanmalı motor sağlar. İçten yanmalı motor ile tekerlekler arasındaki bağlantıyı ise transmisyon sistemi sağlar [11][12].

Otomobillerde güç iletimi için kullanılan en yaygın motor çeşidi ise dört zamanlı benzin veya diesel motorlardır. İçten yanmalı motorun gücü iletmesi için pek çok sistem gerekmektedir. Sistemlerden biri olan yakıt sistemi motora gerekli olan yakıtı, içten yanmalı motora iletimini sağlar. Bu yakıt otomobilin alt kısmında bulunan yakıt deposundan motorun yapısına göre manifolda ya da silindirlere püskürtülmektedir [12].

Piston, emme zamanı geldiği zaman silindir içerisinde aşağı iner ve emme subabı açılır. Bu açılma sonucunda benzinli motorlarda yakıt-hava karışımı diesel motorlarda ise sadece hava silindirin içerisine girmiş olur. Daha sonra sıkıştırma zamanı başlar. Sıkıştırma zamanında piston yukarıya çıkar ve subaplar kapanır ve piston içerisindeki karışım sıkıştırılmış olur. Daha sonra benzinli motorlarda buji ile ateşleme yapılır. Diesel motorlarda ise enjektörlerden silindir içine yakıt püskürtülerek genişleme zamanına geçilmiş olur. Genişleme zamanında da subaplar kapalıdır ve genişleme zamanında motordan aracın diğer güç iletim elemanlarına güç aktarımı yapılmış olur. Egzoz zamanında ise egzoz subabı açılır ve piston yukarıya doğru hareket ederek egzoz gazının dışarıya atılması sağlanır [13].

Silindirlerde yakıt yanması ile açığa çıkan güç mekaniksel olarak iletilmektedir. Ancak yakıt yandıktan sonra ortaya büyük miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Bu ısının bir kısmı egzoz gazları ile birlikte dışarıya atılır. Araçların güç iletimini olabildiğince en iyi şekilde gerçekleştirilmesi için ısının kalan kısmının soğutma sistemi ile uzaklaştırılması gerekir [12].

İçten yanmalı motora sahip araçlarda güç iletimine yardımcı olan sistemlerden birisi de yağlama sistemidir. Bütün hareketli, dönen ve birbirlerine sürten parçalar arasına yağlama sistemi sayesinde yağ girerek parçaların birbirlerine sürtmesi önlenmiş olur. Bu sayede parçalar hem düzgün bir şekilde çalışmış olur hem de güç iletiminin aksamaması sağlanır [12].

İçten yanmalı motorlu araçlarda güç iletimi için elektrik sistemi de gereklidir. Araca gerekli olan elektrik gücü akü tarafından sağlanır. Akü, motorun ilk çalıştırma anında marş motoruna elektrik aktarır. Daha sonra da marş motoru volanı döndürerek ilk hareket sağlar. Bu sayede pistonların ilk hareketi sağlanır ve kendi çalışma düzeni tutturulur. İçten yanmalı motorlarda marş motorunun aracı çalıştırması için krank milini 200/250 [d/dk] hızında döndürür. Krank milinin hızı yaklaşık olarak 750/800 [d/dk]'ya çıktığı zaman marş motoru hareketini durdurur. Burada motor devri belirli bir değerin üzerine çıktığı zaman akü tarafından elektrik sağlanmaz, gereken durumlarda akü tekrar şarj edilir. Aküden çıkan kablolar elektrik akımını silindirlerde benzini ateşlemeyi sağlayan bujiye yüksek gerilim sağlar ve ateşleme gerçekleştirilmiş olur. Özetle; valfler açılır-kapanır, sonrasında kıvılcım ateşlemeye başlar, daha sonra pistonlar hareket eder ve krank mili döner. Sonrasında krank mili pistonun doğrusal hareketini dönme hareketine dönüştürür [11] [12].

Güç aktarma sistemi denilen kısım aslında motor ile tekerlekleri birbirlerine bağlayan sistem olarak tanımlanmaktadır. Güç aktarım sisteminde ilk adım krank milinden çıkan hareketin kavramaya iletilmesidir. İçten yanmalı motor çıkışına ve şanzıman giriş mili arasına yerleştirilen kavrama, vites değişimi esnasında içten yanmalı motor ve şanzıman arasındaki bağlantıyı keserek güç iletiminin sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Böylece güç, şanzımana iletilmiş olur.

Şanzıman sistemi, motor ve tekerlekleri birbirleri ile uyumlu biçimde değişik hızlarda hareket ettirmeyi sağlayan dişliler grubudur. Aslında şanzımanın temel işlevi aracı çalıştırabilmek ve vites değiştirildiği zaman güç iletimini verimli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için motorla bağlantısını kesebilen bir sisteme sahip olmasıdır. Şanzıman üzerinden aktarılan güç diferansiyele iletilir. Diferansiyel ise gelen gücü iki tekerleğe de eşit olarak dağıtmayı sağlar. Diferansiyel de biri düz diğeri konik dişli olmak üzere iki adet dişli vardır. Aynı zamanda düz dişliye ayna dişlisi konik dişliye de mahruti dişli olarak adlandırılmaktadır. Şanzımandan gelen güç önce konik(mahruti) dişliye sonrasında düz(ayna) dişliye iletilir. Ayna dişliye cıvatalanmış pinyon dişlileri üzerinden güç iletilmeye devam eder. Pinyon dişliler de aks dişleri ile birbirleriyle iç içe geçmiş durumdadır. Düz yolda aks dişlileri ile pinyon dişliler aynı hızda dönmektedir. Ancak viraja girildiği zaman aks dişleri ve pinyon dişlileri birbirlerine göre göreceli hareket etmiş olurlar. Bu sayede araçta güç iletimi kesintisiz şekilde devam etmiş olur. Ayrıca şaftın dönme yönünü 90 derece değiştirerek gücün aks üzerinden tekerleklere iletilmesi sağlanmış olur [11][12][14][15][16].

İçten yanmalı motorlu araçlarda güç iletimi değerlendirildiği zaman krank milinin döndürülmesi aracın hareket etmesi için gerekli olduğundan bu aşamada güç iletim kayıpları oluşabilir. Ayrıca içten yanmalı motorlarda moment üretimi sürekli değildir. İçten yanmalı motor kullanılarak yaıplan güç iletiminde çeşitli kayıplar olduğundan dolayı yakıt enerjisinden ortaya çıkan güç iletiminin verimi %30 civarındadır [11].

2.2 Elektrikli Araçlar

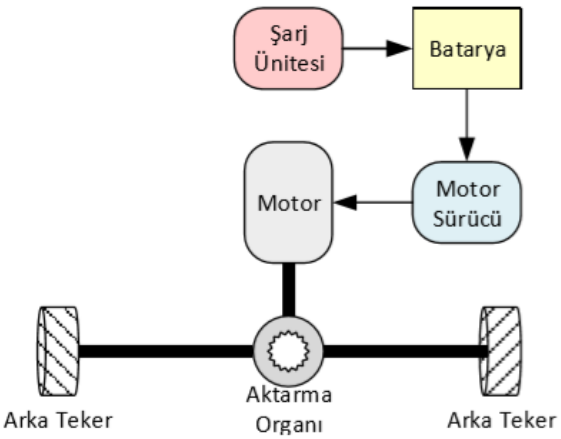
Elektrikli araçlarda güç iletimi için önemli olan konu araç içindeki enerji ve güç iletimini kontrol edip düzenlemek ve bataryadaki enerji kaynağını mümkün olduğunca en verimli şekilde kullanmaktır. Elektrikli araçlarda batarya normal bir şekilde ya da hızlı şarj ile doldurulabilmektedir. Elektrikli araçlarda güç iletimini başlatabilmek için gerekli olan enerji bataryalardan alınmaktadır. Yavaşlama anında rejeneratif frenleme sistemi ile frenleme için harcanacak gücün bir kısmı bataryaya geri aktarılarak güç iletiminin daha uzun süre boyunca ve daha verimli bir şekilde yapılması sağlanır [17].

Elektrikli araçlar üç ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar; elektrik motoru, kontrol ünitesi ve batarya gruplardır. Bu üç parça elektrikli araçlarda güç iletimi için çok önemlidir. Örneğin, bataryalara birim ağırlık başına daha çok enerji depo edilebilirse güç daha verimli ve etkili bir şekilde iletebilir [11].

Elektrikli araçlarda içten yanmalı motorun elektrikli motor almıştır. Elektrikli araçlarda gücün iletilmesi için sadece elektriksel enerji kullanılmaktadır. Bundan dolayı hem ana enerji kaynağı hem de yardımcı enerji kaynakları kullanılmaktadır. Ana bataryayı desteklemek için de ikinci bir batarya ya da süper kapasitörler kullanılır. Bataryalardan sağlanan güç ile elektrik motoru hareket eder ve aktarma organları sayesinde tekerleklere iletilir.

Elektrikli motorlar içten yanmalı motorlar ile karşılaştırıldığında oldukça basit bir yapıya sahiptir. Elektrikli araçlar kabaca batarya, elektrik motoru ve kontrol sistemlerini içermektedir. Batarya sistemi yeniden şarj edilebilir. Şarj ünitesi sistemi araç içinde ya da araç dışında yer alabilir. Araçta bulunan kontrol sisteminin ilk görevi elektrik motorunun hızını belirlemektir. Kontrol sistemlerinden gelen komutlar kullanılarak aracın hızlanıp hızlanamayacağına karar verilir. Elektrik motoru ise gerektiği zamanlarda daha uzun süre güç iletimini sağlamak için jeneratör olarak da çalıştırılabilir [18]. Elektrikli motorlarda elektrik enerjisi mekanik enerjiye gereken durumlarda ise mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilerek oluşan gücün boşa gitmesi engellenmiş olur. Elektrik motorları rotor haricinde dönel parça içermediğinden dolayı oluşan güç kaybı içten yanmalı motorlara göre oldukça azdır [11].

Elektrik motorunda, krank milinin hareket etmesine gerek olmadığı için herhangi bir devirde anlık moment elde edilebilir ve gaz pedalına tam olarak basıldığı anda motor kendi gücünü tam olarak iletilebilir. Elektrik motorlarında ise moment dalgalanmaları içten yanmalı motora göre daha azdır ve moment üretimi ise süreklidir. Bundan dolayı güç iletimi sürekli bir şekilde sağlanabilmektedir [11].



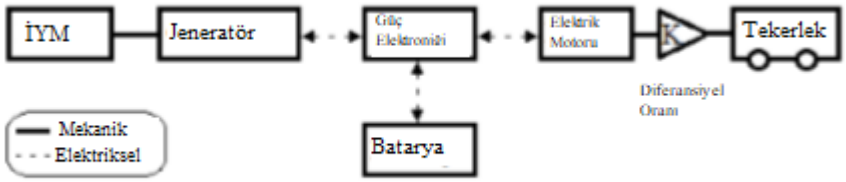
Şekil 2.1 Elektrikli araçlarda güç iletim şeması [11]

Elektrikli araçların çalışma prensibi şu şekildedir. Elektrik motorunun dönmesi ve elektriksel gücün iletilmesi için gerekli enerji bataryalardan elde edilmektedir. Ancak bazı elektrikli araç modellerinde ana bataryaya ek olarak daha küçük bir ikinci batarya ya da süper kapasitörler kullanılmaktadır. İkincil batarya veya süper kapasitörler araç yokuşta ya da ağır yük şartlarına maruz kaldığı zaman aracın güç iletiminin kesilmemesi için kullanılır [19]. Ayrıca batarya içerisinde depolanan enerji güç dönüştürücüsü vasıtasıyla elektrik motorunu sürebilmek için kullanılır. Bu güç dönüştürücüsü sistemi dc-dc dönüştürücüsü ve motor sürücüsünden meydana gelir. Daha sonra kontrol ünitesi sistemi, güç iletiminin yönünü ve şiddetini değiştirmek için akımın yönünü ve akım şiddetini kontrol eder; bunun sonucunda elektrik motoru dönme hareketine başlar ve bu hareket önce şanzımana daha sonra diferansiyele iletir. Daha sonra akslara ve tekerleklere iletilerek güç iletimi tamamlanır [20]. Ayrıca güç iletiminde maksimum verimi sağlamak için araçtaki kinetik enerji sistemi jeneratör tarafından elektik enerjisine dönüştürülmelidir ve güç dönüştürücüsü sistemi ile de bu elektrik enerjisi bataryaya depolanmalıdır. Bu sayede elektrik motoru tarafından oluşturulan güç boşa gitmemektedir ve bu güç istenilen zamanlarda yeniden kullanılabilmektedir. Rejeneratif frenleme esnasında güç dönüştürücüsü, gücün ve enerjinin akış kontrolünü hem bataryadan motora olan enerji akışını hem de motordan bataryaya olan enerji akımını aynı zamanda sağlamalıdır. Eğer bataryanın tipi enerjiyi geri depolamaya uygun değilse bir süper kapasitör kullanılmalı ya da volanın bu enerjiyi geçici olarak depolanmasına olanak sağlanmalıdır [21].

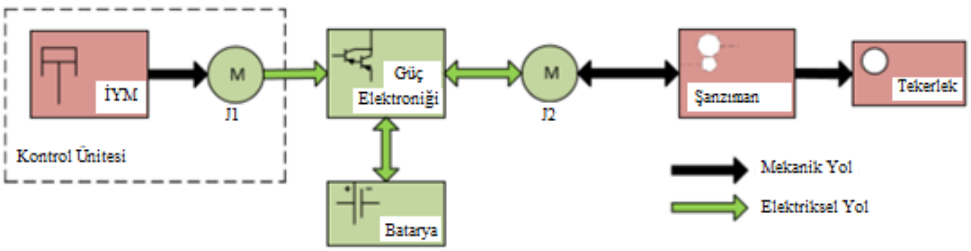
2.3.Hibrit Araçlar

2.3.1 Seri Hibrit Araçlar

Seri hibrit araçlar elektrikli araçlara sadece elektrik gücü ile hareket iletimi özelliğinden dolayı oldukça benzemektedirler. Elektrikli araçlar ile aralarındaki tek fark bataryanın dolmasını sağlayan içten yanmalı motora sahip olmalarıdır. Bu durum açıklanacak olursa, içten yanmalı motor mekaniksel olarak tahrik miline bağlı değildir ve elektrik motoruna motor yüküne neden olacak şeylerin üstesinden gelmesine yardımcı olmaz ve içten yanmalı motordan ortaya çıkan hız ve güç optimum verim ile generator yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Dönüştürülen elektrik enerjisi, gereken durumlarda bataryayı doldurmak için kullanılarak bataryanın daha uzun süre dayanmasını sağlar ve elektrik motoruna katkı verir. Bu sayede araç sadece elektrik motoru tarafından tahrik edilerek hareketi sağlanır. Transmisyondan önceki elektrik motorunun boyutu aracın hızlanma performansına göre belirlenir. Bu elektrik motoru oldukça küçük olmalıdır. Çünkü içten yanmalı motor ve ona bağlı olan elektrik motoru araç hareketine daha iyi katkıda bulunabilir. Seri hibrit sistemler; tır, kamyon, otobüs gibi ağır vasıtalarda kullanılır [22][23][24].



Şekil 2.2 Seri hibrit araçların çalışma şeması [22]



Şekil 2.3 Seri hibrit araçların mimarisi [23]

Seri hibrit araçlarda çalışma modları şunlardır. Yalnızca elektrik modunda, içten yanmalı motor kapalı konumdadır ve araç yalnızca bataryalardan kullanılan enerji sayesinde ilerlemektedir. Yalnızca içten yanmalı motor modunda, içten yanmalı motor aracın çekişini sağlamaktadır ve bataryalar bu moddayken sistem ile enerji alışverişinde bulunamazlar. Hibrit modunda, içten yanmalı motor ve elektrik motoru aynı anda çalışarak aracın hareket etmesini sağlar. Rejeneratif frenleme modunda, içten yanmalı motor çalışmamaktadır ve elektrik motoru jeneratör olarak çalışır ve bataryanın şarj olmasını sağlar. Batarya doldurma modunda, elektrik motoruna güç iletimi yoktur. Bu sayede içten yanmalı motor bataryaları şarj eder. Hibrit batarya doldurma modunda, hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru bataryayı doldurur [24].

Seri hibrit araçların avantajları şunlardır. Güç iletim sistemi ve kontrolü diğer hibrit sistemlere göre oldukça basittir. Elektrik motorunun güç talebi içten yanmalı motorun güç çıkışından bağımsızdır. Güç iletimini kontrol etmek için kavrama kullanılmaz. İçten yanmalı motor araç hızından ve aracın yükünden bağımsız olarak kontrol edilebilir ve bu durum kontrol sistemi açısından avantaj sağlar. İçten yanmalı motor optimum verimle çalıştırılabilir. Elektrik motorlarının tork-hız karakteristiği oldukça iyi olduğu için karmaşık şanzıman yapısına ihtiyaç yoktur. Her bir motor ayrı tekerlekleri tahrik etmek suretiyle kullanılırsa diferansiyel sistemini ortadan kaldırabilir. Araçtaki dört tekerlek de ayrı motorlarla tahrik edilebilir ve bu sayede çekiş kontrol algoritmaları kolay bir şekilde uygulanabilir ve diğer dört çeker araçlara göre aktarma organlarından ve millerden tasarruf yapılabilir [22] [23] [24].

Seri hibrit araçların dezavantajları şunlardır. İçten yanmalı motordan çıkan enerjiyi önce elektrik enerjisine sonra elektrik enerjisinden mekanik enerjiye dönüştürdüğü için kayıplar oldukça fazladır. İçten yanmalı motor şanzımana bağlı olmadığı için ve fazladan bir jenerator kullanılmasından dolayı sisteme ek maliyet getirmektedir [22] [24].

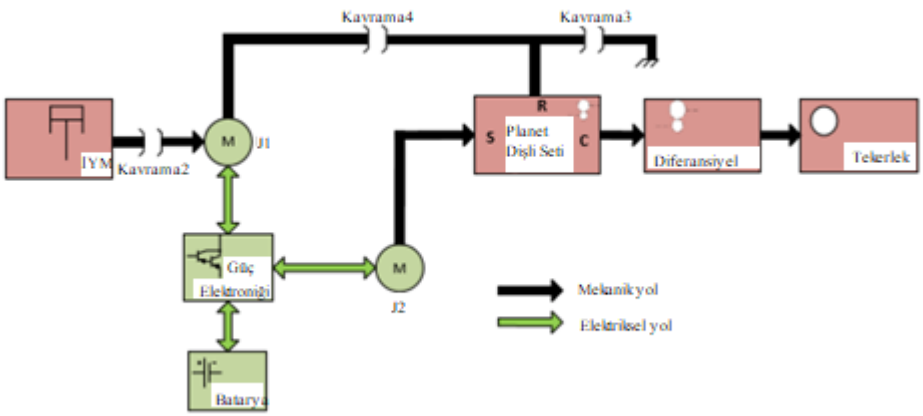
2.3.1.1 Hibrit Sistem I

Hibrit sistem I başka bir güç paylaşımlı hibrit sisteminin modifiye edilmiş halidir. Diğer güç paylaşımlı hibrit sistemden bir adet kavrama ve bir adet planet dişli seti

çıkarılması sonucunda bu hibrit sistem oluşmaktadır. Bu hibrit sistem iki adet elektrikli sürüş modu ve bir adet menzil uzatıcı motor modu içermektedir.

Hibrit sistem I'in mimari yapısı güç paylaşımlı hibrit sisteme oldukça benzemektedir. Ancak yapılan bazı değişiklikler ile seri hibrit sistem şeklinde çalışmaktadır.

Batarya boşalmaya yaklaştığı zaman içten yanmalı motorun ürettiği güç, bir adet jeneratör yardımı ile bataryanın şarj edilmesi sağlanır. Ayrıntılı bir şekilde anlatılırsa, Kavrama 1 ve kavrama 4 tutulur ve benzer şeklide kullanılır. Ancak kavrama 2 ise tutulur ve fonksiyonel olarak kullanılma biçimi farklıdır. İçten yanmalı motor şanzımana gücünü ilettiği zaman yani menzil uzatıcı modu ile ürettiği gücü tekerleklere iletir.



Şekil 2.4 Hibrit sistem i' e ait seri hibrit araç güç iletim şeması [23]

Hibrit sistem I'in gücü iletmek için dört farklı çalışma modu vardır. İlk mod bir adet elektrik motorunun kullanıldığı elektrik modudur. Kavrama 1 kavradığı zaman bu mod aktive olur. Motor-jeneratör 2 üretilen gücü tek başına planet dişli sistemi yardımı ile tekerlere iletilir. Bu mod aracın hızının düşük olduğu zamanlarda kullanılır. İkinci mod ise iki adet elektrik motorunun kullanıldığı elektrik modudur. Kavrama 1 kavramadığı zaman ve kavrama 4 kavradığı zaman bu mod aktive olmaktadır. İki motor-jeneratör sistemi aracı birlikte hareket ettirir. Her iki jeneratörün ürettiği güç planet-dişli sistemi ile tekerlere iletilir. Bu mod aracın hızının yüksek olduğu zamanlarda kullanılır. Üçüncü mod ise bir elektrik motoru ve menzil uzatıcı modudur. Bu mod kavrama 1 ve kavrama 2 kavradığı zaman aktive

olmaktadır. İçten yanmalı motor ve J1 batarya boşaldığı zaman ürettikleri güç bataryaya şarj olarak geri dönmektedir. Bu mod aracın hızının düşük olduğu zamanda kullanılır. Dördüncü mod ise iki elektrik motoru ve menzil uzatıcı modudur. Kavrama 2 ve kavrama 4 kavradıkları zaman bu mod aktive olur. Bu mod aracın hızı yüksek olduğunda ve bataryanın az olduğu durumlarda kullanılır.

2.3.2 Paralel Hibrit Araçlar

Paralel hibrit sistemde güç içten yanmalı motorun ürettiği gücün iletildiği mekanik yol ve elektrik motorunun ürettiği gücün iletildiği elektriksel yol adları ile iletilir. İçten yanmalı motor tahrik miline şanzıman vasıtasıyla mekanik olarak bağlıdır. Ayrıca elektrik motoru krank miline ya da tahrik miline kayış, zincir-dişli ya da kavrama sistemi ile bağlanır. Bu üç sistem de sadece içten yanmalı motorla harekete izin verir ya da kavramanın motordan ayrılarak sadece elektrik motoru ile güç iletimi yapmasına olanak verir. Burada paralel hibrit sistemlerde mekanik yol ve elektriksel yol bulunmaktadır [22][23].

Paralel hibrit sistemlerde seri hibrit sistemlere göre daha az sayıda parça vardır ancak mekanik olarak seri hibrit sistemlere göre daha karışıktır. Paralel hibrit sistemler içten yanmalı motor, jeneratör, batarya ve kontrol ve güç elektronik sisteminden oluşmaktadır. Paralel hibrit araçlarda araç düşük hızdayken elektrik motoru ile araç yüksek hızdayken içten yanmalı motor ile hareket eder. Bu kullanım şekli ile düşük yüklerdeki verimsiz yakıt kullanımını ve yüksek gaz salınımını engellemek için konulan bir durumdur [23][24].

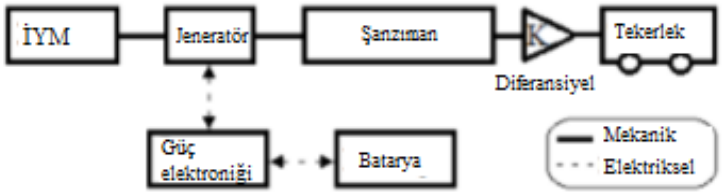
Paralel hibrit sisteme sahip olan araçlarda en az iki tane elektrik motoru ve bir adet jeneratör bulunması gerekir. Jeneratörün sisteme katkısı büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Küçük jeneratörler aracın ilk hareketine ve bazı durumlarda rejeneratif frenlemeye katkıda bulunur. Büyük jeneratörler ise aracı kendi başına hareket ettirmeyi sağlar [22].

Paralel hibrit sistemlerde kalkış esnasında güç talebi az ise güç talebini karşılamak için elektrik motorunu kullanır ve jeneratör araçlarda sadece yardımcı güç kaynağı olarak kullanılmaz aynı zamanda daha iyi yakıt ekonomisi ve içten yanmalı motorun en uygun devir aralığında çalışmasını sağlar [22][23].

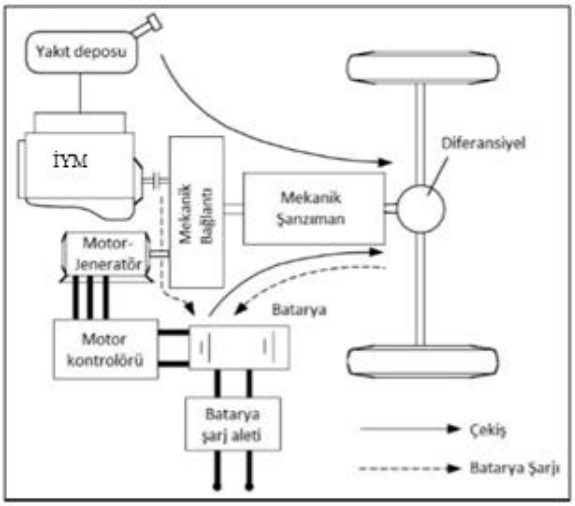
İçten yanmalı motorun hızı aracın hızına bağlıdır. Aracın güce ihtiyaç duyması halinde içten yanmalı motor ve jeneratör 1 birlikte ya da ayrık zamanlı olarak çalışabilir. Bu sayede seri hibrit sistemlerle aynı performansı gösterir ve daha az yakıt tüketimi sağlar. Verimin daha iyi olmasının sebebi içten yanmalı motorun yükünün ayarlanması jeneratör ile bağlı olmasından gelmektedir [22][23].

Eğer içten yanmalı motorun güç talebi az ise yükü arttırmak için jeneratör gibi davranış gösterir. Eğer içten yanmalı motorun güç talebi fazla ise yükü azaltmak için elektrik motoru gibi davranış gösterir [22].

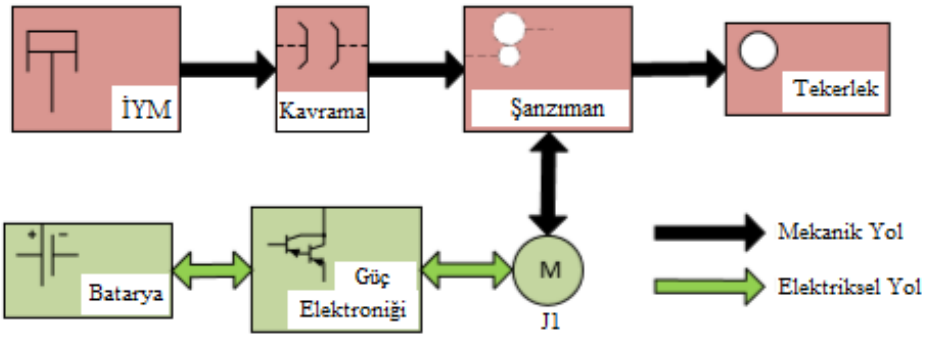
Paralel hibrit sisteminin avantajı ise diğer hibrit sistemlerde ya da hiç bir hibrit özelliği olmayan sistemlerde küçük değişikliklerle paralel hibrit sisteme kolayca dönüştürülebilir. Toplam enerji dönüşüm verimliliği seri hibrit sisteme göre daha yüksektir. Daha küçük elektrik motoru ve daha küçük bataryalar kullanıldığı için seri hibrit sisteme göre daha az maliyetli olmasıdır. Dezavantajı ise güç iletim sisteminin karışıklığı ve kontrol sisteminin daha zor olmasıdır [22][24].



Şekil 2.5 Paralel hibrit araçlarda çalışma şeması [22]



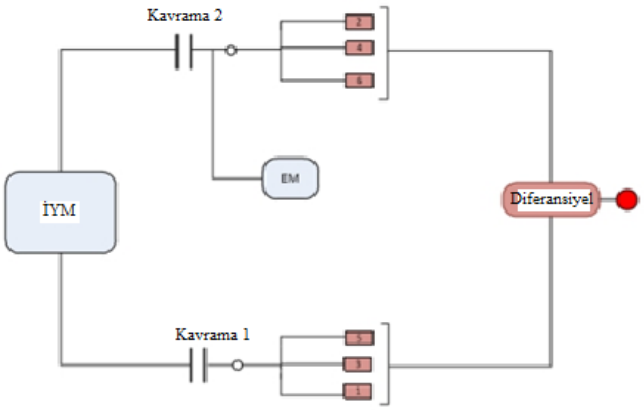
Şekil 2.6 Paralel hibrit araç mimarisi [24]



Şekil 2.7 Paralel hibrit araçlarda güç iletim yolları [23]

2.3.2.1 Çift Kavramalı Hibrit Araçlar

Çift kavramalı hibrit araçlar aslında paralel hibrit araçların bir türüdür. 1, 3 ve 5. viteslerde içten yanmalı motorun tahriki ile hareket eder. 2, 4 ve 6. viteslerde elektrik motorunun tahriki ile hareket eder.Çift kavramalı hibrit sistemler iki adet giriş şaftı içerir. Bu yüzden elektrik motoru bir şaft içten yanmalı motor ise diğer şafta bağlıdır ve böylece iki kavramalı hibrit sistem elde edilir. Bir motor ve jeneratör hem jeneratör hem de motor olarak çalışabilir. Ayrıca elektrik modunda vites oranı olmasından dolayı motor-jeneratör ünitesi daha küçüktür [23].



Şekil 2.8 Çift kavrama hibrit araçlar [23]

2.3.3 Güç Paylaşımlı Hibrit Araçlar

Güç paylaşımlı hibrit sistemde seri ve paralel türleri vardır. Güç paylaşımlı hibrit sistemi hem seri hibrit sisteminin hem de paralel hibrit sisteminin avantajını

taşımaktadır. Bu sistem genellikle mekanik ya da elektriksel güç paylaşımlı hibrit sistem olarak oluşur.

Güç paylaşımlı hibrit sistemin üç farklı konfigürasyonu vardır. Bunlar; girişten bölünen, çıkışı bölünen ve bileşik sistemlerdir. Girişten bölünen sistem en yaygın kullanılan güç paylaşımlı hibrit sistemidir [22].

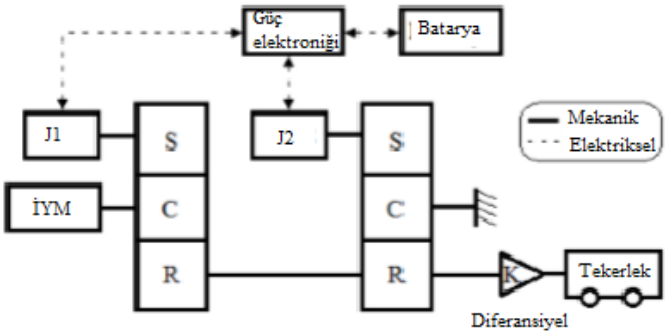
Güç paylaşımlı hibrit sistemlerde iki adet jeneratör, içten yanmalı motora ve çıkış miline bir ya da çoklu planet dişli sistemi ile bağlanmaktadır. Planet dişliler genellikle mekanik kısım için kullanılmaktadır. İçten yanmalı motor ve 1 nolu jeneratör güneş dişli, yüzük dişli ve planet dişliyi birbirine bağlar. 2 nolu jeneratör ile çıkış miline farklı bir planet dişli sistemi ile bağlanır. İkinci planet dişli sistemi ise hız azaltıcı olarak kullanılır [22][23].

Birinci jeneratör motor hızını kontrol eder. İkinci jeneratör ise güç ihtiyacı olması durumunda kullanılır. Bir numaralı jeneratör ve içten yanmalı motorun planet dişliye olan bağlantısı sayesinde içten yanmalı motorun hızı aracın hızından bağımsız olarak kontrol edilir. Bu fonksiyon elektrikli sürekli değişken iletim olarak bilinmektedir. Bu fonksiyon ile içten yanmalı motorun en verimli olarak çalıştığı kısmı aracın hızı ile ilişkili değildir. Bu sistemde sabit vites oranı yoktur. Bu sayede transmisyon dişililerinin yer değiştirmesi gibi hareket olmadığı için bilinen transmisyon sistemine göre daha güvenlidir [22].

Buradan da anlaşıldığı üzere güç paylaşımlı hibrit sistem (seri-paralel hibrit sistemi) istenildiği zaman sadece seri hibrit, sadece paralel hibrit ya da seri-paralel hibrit sistemi olarak kullanılabilir. Elektrik motorunun hız kontrolü ve bataryadan güç alması planet dişli sayesinde eş zamanlı olarak gerçekleştirmektedir [23].

Güç paylaşımlı hibrit sistem, elektrikli sürekli değişken iletim sistemi ile şehir içi sürüşte oldukça verimlidir. Ancak iki adet jeneratör ve içten yanmalı motor doğrudan planet dişli sistemine bağlıdır. Yani herhangi bir kavrama sistemi ya da kilitleme mekanizması sistemi yoktur [22].

Elektrik modda birinci jeneratör içten yanmalı motorun hızının sabit kalması için ikinci generatore destek verir. Güç paylaşımlı hibrit sistemde herhangi bir kilitleme sistemi olmadığı için enerji dönüşümlerinde kayıplar yaşanmaktadır [22].



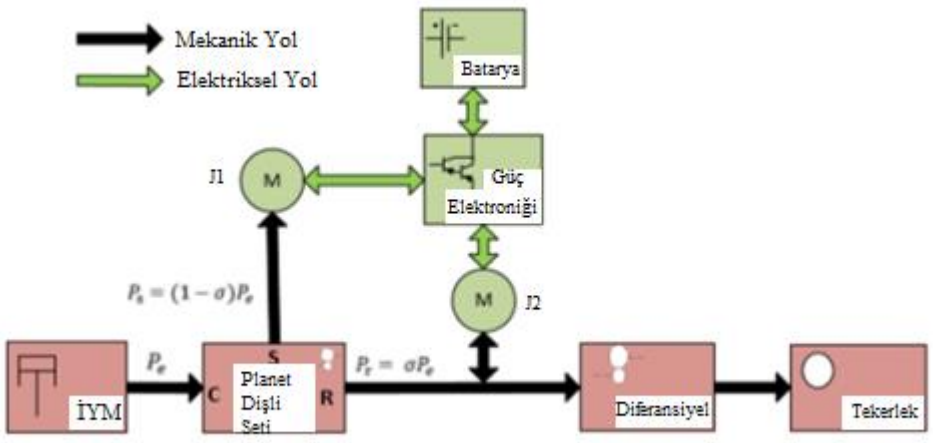
Şekil 2.9 Güç paylaşımlı hibrit sistem çalışma sistemi [22]

2.3.3.1 Hibrit Sistem II

Hibrit sistem II, seri-paralel hibrit sistemidir ve bir adet planet dişli seti, iki adet motor- jeneratör ünitesi, bir ader batarya ve elektronik sistemden oluşmaktadır.

Bu sistemin en önemli kısmı, planet dişli sistemi motorların ilettiği gücü mekanik yol ve elektriksel yol şeklinde ayırmaktadır. Planet dişli sistemi (güneş, yüzük ve gezegen dişliler) birinci jeneratör ve ikinci jeneratöre bağlıdır. İkinci jeneratör ise şafta bağlıdır. Oradan da diferansiyel ve tekerleklere bağlıdır.

Motorun hızı ise birinci jeneratörun hızı ile kontrol edilmektedir. Böylece motor en verimli noktada çalışabilmektedir. Bu sistemde ayrılma faktörü vardır. Bu faktör sıfır olma durumu, sıfır ile bir arasında olma durumu, bir'e eşit olma durumu ve bir ile maksimum değerde olma durumuna göre çalışma şekli belirlenir.



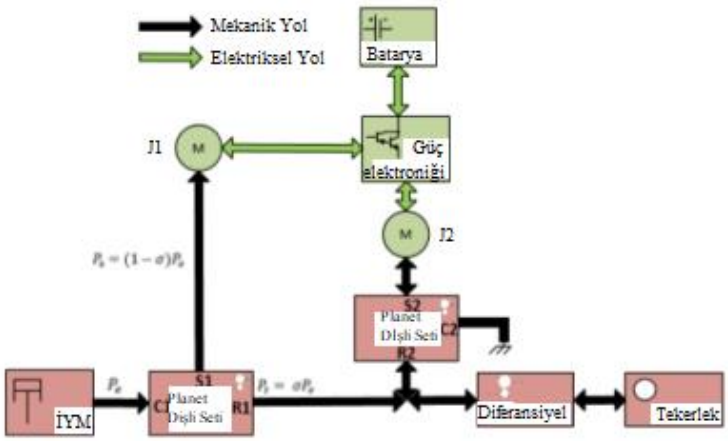
Şekil 2.10 Hibrit sistem ı'nin çalışma prensibi [23]

2.3.3.2 Hibrit Sistem III

Hibrit sistem III seri-paralel hibrit sistemidir ve çalışma sistemi hibrit sistem II'ye oldukça benzemektedir. Sadece eklenen ikinci planet dişli sistemi ikinci jeneratör ile sistemin geri kalanın arasına bağlıdır. İkinci planet dişli sisteminin eklenmesiyle jeneratörün hızı artmıştır ve diferansiyel oranı değişmiştir.

Taşıyıcı dişli ayrıldığında güneş ve yüzük dişli arasında sabit bir oran oluşturur. Oluşturulan sabit oran iki jeneratör arasındaki bağıl hızın azalmasını ve ikinci jeneratörün tekerleklere ilettiği tork artmasını sağlar. Bu sayede daha küçük ve daha ucuz jeneratör kullanılabilir.

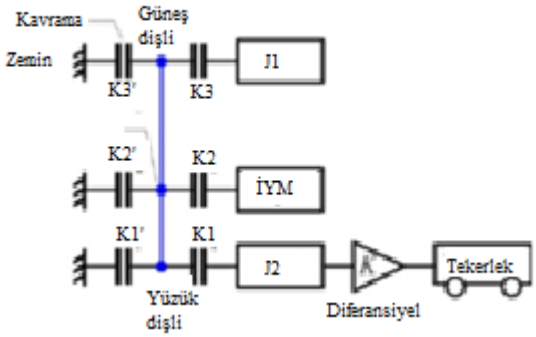
Elektrik modunda maksimum hız yapma kapasitesi ise hızı arttıran jeneratör ünitesi ve eklenen ikinci planet dişli sayesinde güç paylaşımlı hibrit sistem I'e göre daha fazladır.



Şekil 2.11 Hibrit sistem ıı çalışma şeması [23]

2.3.3.3 Hibrit Sistem IV

Hibrit sistem IV sisteminde diğer hibrit sistemlerinden farklı olarak içten yanmalı motor ya da jeneratöre kilitlenip ayrılması için kavrama bulunmaktadır. Bu özellik aracın istenirse seri hibrit, paralel hibrit, güç paylaşımlı hibrit ya da hibrit olmayan sistemlerden herhangi birinin kullanılmasını sağlar. Farklı modları seçme özgürlüğü ile yakıt ekonomsi diğer bütün sistemlere göre daha iyi olmaktadır. Ancak hibrit sistem IV'ün kontrolü diğer hibrit sistemlere göre zordur.



Şekil 2.12 Hibrit sistem iv çalışma prensibi [22]

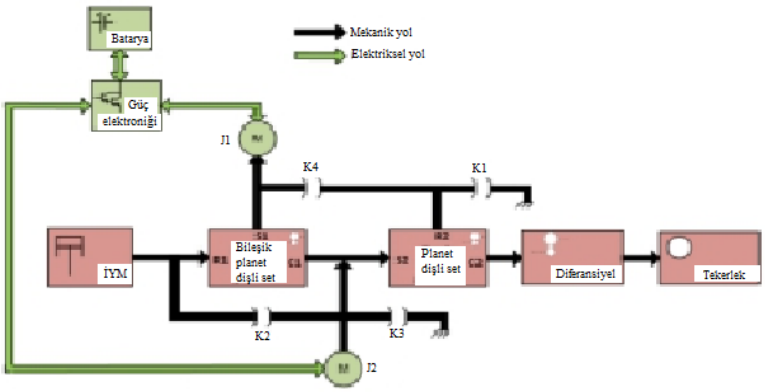
2.3.3.4 Hibrit Sistem V

Hibrit sistem V, hibrit sistem IV'ün değişik bir modelini geliştirmiştir. İlk üretimi 2003 yılında otobüslerde kullanılmak üzere yapılmıştır. Bundan sonra çeşitli araç türlerinde kullanılması için farklı türleri geliştirilmiştir [23].

Çalışma prensibi açıklanacak olursa, güç paylaşımlı hibrit sisteminin daha karışık bir versiyonudur. İki adet planet dişli, iki adet jeneratör, iki adet transfer kavraması, iki adet fren kavraması, güç elektroniği ve batarya sisteminden oluşmaktadır.

İçten yanmalı motorun çıkışı birinci planet dişlinin yüzük dişlisine bağlıdır. jeneratör ve ikinci planet dişli setinin yüzük dişlisi birinci planet dişli sisteminin güneş dişlisine bağlıdır.

Hibrit sistem V iki adet kavrama modu içermektedir. Birisi düşük hızlar için diğeri yüksek hızlar içindir. Dört adet sabit vites oranı bulunmasından dolayı daha iyi çekme kapasitesine sahiptir [23].



Şekil 2.13 Hibrit sistem v sistem mimarisi[23]

3
HİBRİT GÜÇ GRUBU TASARIMI

3.1 Hibrit Güç Grubu Tasarımında Kullanılan Bileşenler

3.1.1 Elektromanyetik Kavrama

Hibrit güç grubu tasarımı yapılırken elektromanyetik kavrama kullanılmıştır. Elektromanyetik kavrama motorun çıkış şaftını ve şanzımanın giriş şaftı arasında yumuşak bir bağlantı sağlamaktadır. Bu şaftlardan birisi iç yüzeye diğeri ise elektromanyetik kavramanın dış yüzeyine bağlıdır. Elektromanyetik kavramanın dış yüzeyleri arasında elektromanyetik toz bulunmaktadır. Bu elektromanyetik toza uygun voltaj uygulandığında elektromanyetik toz iç yüzeye kuvvet uygulamaktadır. Böylece torkun iletilmesi için iç yüzey ve dış yüzey arasında manyetik zincir oluşturmaktdır ve kayma durumunda çalışırken çeşitli problemleri karşılamaya yönelik bir avantaja sahiptir. Elektromanyetik kavramanın asıl kullanılma amacı tork iletim ve kavrama durumlarını elektromanyetik sinyaller kullanarak sağlamaktır [25].

Elektromanyetik toz merkezkaç kuvvetinin etkisi altında çalışmaktadır. Bu durum iç yüzeydeki yüzey gerilmesinin artmasına dış yüzeydeki yüzey gerilmesinin azalmasına neden olur. Elektromanyetik kavrama çalışmaya başlarken iç ve dış yüzeylerdeki sürtünme yüzeyi kolay bir şekilde birbirleri üzerinde kaymaya imkan verir [26].

Elektromanyetik kavramanın diğer kavramalara göre avantajları şunlardır. İletilen akım ve iletilen tork arasında çok büyük oranda lineer bir ilişki vardır. Şanzımana iletilen tork sürtünme yolu ile iletilmediği için herhangi bir titreşim olamamaktadır. Tork iletilirken herhangi bir sürtünme olmadığı için eksenel hareket eden parçalar üzerinde hızlı bir cevap alınmasını sağlar. Eğer iletilmesi gereken maksimum torktan fazla bir torka maruz kalınırsa elektromanyetik tozlu kavrama kayma durumuna geçer ve gereken önlemleri alabilir. Eğer iç yüzey ve dış yüzey tamamen

kavrama konumuna geçerse, transmisyon verimi %100'e ulaşabilir. İletilen tork elektromanyetik tozlu kavramanın geometrisinden dolayı bobin üzerindeki akım ve şaftın hızı ile arasındaki ilişkiden bağımsız bir şekilde tork iletimini sağlar [26][27].

Yukarıdaki iki paragrafta yazılanlara bakılırsa elektromanyetik kavrama diğer farklı kavrama türlerine göre araç transmisyon sistemine daha iyi uyum sağlamaktadır. Elektromanyetik kavrama ise yüksek verim ve stabil tork iletimi ile bilinmektedir. Bu durumları da elektromanyetik tozun elektromanyetik kavrama tarafından yüksek miktarda uyarılması, elektromanyetik tozlun küresel şekil alabilmesi ve şeklinin düzensiz olması sağlamaktadır [26].

Şekil 3.1'de elektromanyetik kavramanın ve elektromanyetik kavramanın CAD çizimi gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Elektromanyetik kavrama

3.1.2 Zincir-Dişli Sistemi

Deney düzeneğinde diş sayısı 34 olan dişli ve pivot uzunluğu 9.535 mm olan 10 sıralı sessiz zincir kullanılmıştır. Şekil 3.2'de sessiz zincir ve şekil 3.3'te dişlinin resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Deney düzeneğinde kullanılan sessiz zincir



Şekil 3.3 Deney düzeneğinde kullanılan dişli

3.1.3 Tek Yönlü Rulman

Deney düzeneğinde, elektrik motorunun içten yanmalı motordan bağımsız olarak güç iletmesini ve elektrik motorunun içten yanmalı motoru döndürmemesini sağlayan CSK 12 serisi tek yönlü rulman kullanılmıştır. Şekil 3.4'te CSK 12 serisi tek yönlü rulman gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Deney düzeneğinde kullanılan tek yönlü rulman

3.1.4 İçten Yanmalı Motor

Deney düzeneğinde içten yanmalı motor olarak 4.8 kW gücünde Honda Gx 270 tipi tek silindirli motor, içten yanmalı motor güç grubu yerine kullanılmıştır. Şekil 3.5'te içten yanmalı güç grubu yerine kullanılan motorun resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 İçten yanmalı güç grubu yerine kullanılan motor

3.1.5 Elektrik Motoru

Deney düzeneğinde 15 kW Femsan marka bir doğru akım motoru elektriksel güç grubu yerine kullanılmıştır. Şekil 3.6'da elektriksel güç grubu yerine kullanılan elektrik motorunun resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Elektriksel güç grubu yerine kullanılan elektrik motoru

3.2 Kullanılacak Zincir-Dişli ve Rulman Grubunun Mukavemet Kontrolü

3.2.1 Zincir-Dişli Grubunun Mukavemet Kontrolü

Hibrit güç grubunda zincir-dişli bağlantısı kullanılacağı için hangi tür zincirin kullanılacağı hesaplamalarla belirlenmesi gerekir. Öncelikle zinciri hareket ettirecek motorun gücü 15 kW ve motorun devri ise 1500 d/dk'dır. Bu değerleri temel alarak hesaplamalara başlanmıştır. 08B cinsinde makaralı zincir ve bu zincire uygun dişli kulllanılmıştır.



Şekil 3.7 Hibrit güç grubunda kullanılan dişli



Şekil 3.8 Hibrit güç grubunda kullanılan zincir

Zincir uzunluğunun ne kadar olması gerektiği hesaplanması gerekir. Zincir uzunluğu ise aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır.

$$X = 2 * \frac{a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2 * \pi}\right)^2 * \frac{p}{a} \tag{3.3}$$

Yukarıdaki denklemde; X bakla sayısı, a eksenler arası mesafe, p zincir boğum uzunluğu, z_1 ve z_2 ise dişlilerin diş sayısıdır. Bu denklemde; a=340 mm, p=12.7 mm, $z_1 = z_2 = 32$'tür. Bu değerler yukarıdaki denklemde yerine konulursa $X = 85.54$ bulunmuştur. Tanım gereğince X en yakın çift üst tamsayıya yuvarlanır. Kısacası X=86 olarak hesaba dahil edilmiştir.

Daha sonra zincir uzunluğunun hesaplanması gerekir. Zincir uzunluğu ise aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır. Denklemde L, zincir uzunluğudur.

$$L = X * p \tag{3.4}$$

Bu hesaplamanın sonucunda $L = 1092.2$ mm olarak bulunur.

Zincir uzunluğu hesaplandıktan sonra zincir ve dişli üzerine etkiyen kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu kuvvetler aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$F_{top} = F_u + F_{mç} + F_q \tag{3.5}$$

Yukarıdaki denklemde F_u güç iletiminden dolayı oluşan çevresel kuvvet, $F_{mç}$ merkezkaç kuvvetinin oluşturduğu çekme kuvvetidir. F_q ise zincirin kendi ağırlığından dolayı oluşan çekme kuvvetidir.

$$F_u = \frac{P}{v} \tag{3.6}$$

$$F_{mç} = q * v^2 \tag{3.7}$$

$$F_q = 6.25 * q * g * a \tag{3.8}$$

Yukarıdaki üç adet denklem kullanılarak zincir ve dişli üzerine etkiyen kuvvetlerin her biri hesaplanır. Burada P motor gücü, v çevresel hız, q zincirin birim uzunluğunun ağırlığı, g yerçekimi ivmesi, a eksenler arası mesafedir.

$$1500\frac{d}{dk} * \frac{2 * \pi\ rad}{1\ d} * \frac{1\ dk}{60\ s} = 157\ rad/s$$

$$v = w * r = 157\frac{rad}{s} * 0.06715\ m = 10.54\ m/s$$

$$F_u = \frac{P}{v} = \frac{15\ kW}{10.54\ m/s} = 1.422\ kN = 1422\ N$$

$$F_{mç} = q * v^2 = 0.86\ kg/m * 10.54^2 = 77.76\ N$$

$$F_q = 6.25 * q * g * a = 6.25 * 0.7\frac{kg}{m} * 9.81\frac{m}{s^2} * 0.34m = 8.58\ N$$

$$F_{top} = F_u + F_{mç} + F_q = 1422\ N + 77.76\ N + 8.58\ N$$

$$F_{top} = 1508.34\ N$$

Daha sonra zincirin mukavemet hesabının yapılması gerekmektedir. Mukavemet analizi aşağıdaki formül kullanılarak yapılır.

$$S_{mev} = \frac{F_K}{K_{iş} * F_{top}} \geq S_{öng} \tag{3.9}$$

Yukarıdaki denklemde F_K zincirin dayanabileceği maksimum kuvvet, S_{mev} ise emniyet katsayısıdır.

$$S_{mev} = \frac{18200\ N}{1.42 * 1508.34\ N} = 8.49$$

Zincir-dişli bağlantısında emniyet katsayısı 5-10 aralığında olmalıdır. Yukarıdaki hesaplamaya bakıldığında 08B serisi zincir ve dişli grubunun hibrit güç iletim sisteminde kullanılabileceği görülmektedir.

3.2.2 Rulman Grubunun Mukavemet Kontrolü

Mil çapı dikkate alındığında hibrit güç grubunda kullanılması için CSK 35 PP serisi tek yönlü rulman uygun görülmüştür. Ancak bu tek yönlü rulmanın kullanılıp kullanılamayacağının öğrenilebilmesi için mukavemet kontrolünün yapılması gerekir. Tek yönlü rulmanı yüke maruz bırakan elektrik motorunun torku 95 Nm'dir.



Şekil 3.9 Hibrit güç grubunda kullanılan tek yönlü rulman

Öncelikle rulman üzerine etkiyecek eksenel (F_a) ve radyal (F_r) kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir.

Rulman üzerine etkiyen radyal kuvvet, zincire etkiyen toplam kuvvete eşittir. Bu kuvvet de 1508.34 N olarak bulunmuştur. Kısacası $F_r = 1508.34\,N$ olarak bulunmuştur.

Rulman üzerine etkiyen eksenel kuvvet ise elektromanyetik tozlu kavrama üzerine etkiyen kuvvettir. Kısacası F_a=852 N olarak hesaplanır. Daha sonra F_a/C_0 ve F_a/F_r değerlerinin hesaplanması gerekir. $F_a = 852\,N$, $C_o = 7280\,N$, $F_r = 1508.34\,N'$dur. Gerekli hesaplamalar yapıldığında $F_a/C_0 = 0.117$ ve $F_a/F_r = 0.56$ olarak bulunmuştur. F_a/C_0 değeri hesaplandığı için e değerinin 0.31 olduğu bulunmuştur. F_a/F_r>e olduğu için tablodan dinamik radyal faktör (X) ve dinamik eksenel faktör (Y) değerleri sırasıyla 0.56 ve 1.4 olarak bulunur. Daha sonra eşdeğer dinamik yük aşağdaki denklem yardımyla bulunmuştur.

$$F_{eş} = X * F_r + Y * F_a \tag{3.11}$$

$F_{eş} = 0.56 * 1508.34 + 1.4 * 852 = 2037.47\ N$ olarak bulunmuştur. İşletme saati cinsinden ömür ifadesi (L_{10h}) ise aşağıdaki denklem yardımıyla bulunmaktadır.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{F_{eş}}\right)^p \tag{3.12}$$

Yukarıdaki denklemde n;devir sayısı, C ; rulmanın dinamik yük sayısı, p ise bu tarz yatak için 3 olarak alınan bir üs değeridir.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 1500} * \left(\frac{12600}{2037.47}\right)^3 = 2627.81$$

Daha sonra aşağıdaki denklem ile ömür faktörü (f_l) hesaplanır.

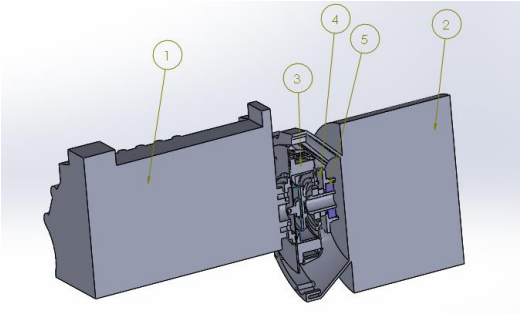
$$f_l = \sqrt[p]{\frac{L_{10h}}{500}} \tag{3.13}$$

$$f_l = \sqrt[3]{\frac{2907.78}{500}} = 1.74$$

Yukarıdaki denklemde hesaplanan ömür faktörü (f_l) ile öngörülen ömür faktörlerinin ($f_{l(öng)}$) karşılaştırılması gerekir. $f_l \geq f_{l(öng)}$ olmalıdır. f_l değeri yukarıdaki denklemden 1.74 olarak hesaplanmıştır. $f_{l(öng)}$ değeri ise tablodan interpolasyon yöntemi ile 1.72 olarak bulunmuştur. $f_l \geq f_{l(öng)}$ koşulunu sağladığından dolayı CSK 35 PP cinsi tek yönlü rulman hibrit güç iletim sisteminde kullanılabileceği görülmektedir.

3.3 Hibrit Güç Grubu Tasarımı

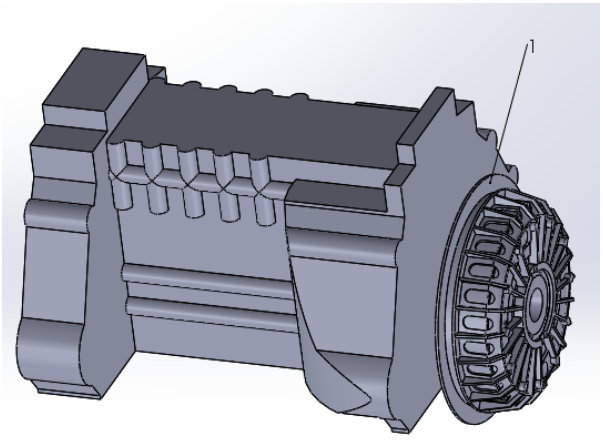
Hibrit güç grubu tasarımı için kullanılması planlanan dişli ve zincir grubunun uygun olduğu belirlendi. Şekil 3.10'da hibrit güç grubu tasarımı gösterildi. Şekil 3.11,şekil 3.12 ve şekil 3.13'te ise hibrit güç grubunda ara bağlantı tasarımları gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Hibrit güç iletim sistemi tasarımı

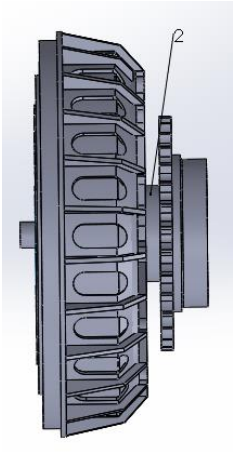
Tablo 3.1 Şekil 3.10'daki bileşenler

No	Parça Adı
1	İçten Yanmalı Motor
2	Elektrik Motoru
3	Elektromanyetik Kavrama
4	Dişli
5	Tek Yönlü Rulman



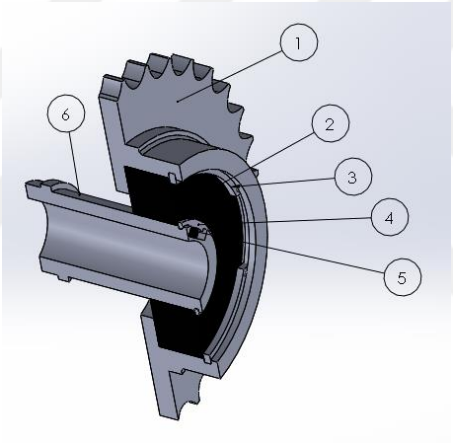
Şekil 3.11 İçten yanmalı motor ve elektromanyetik kavrama bağlantısı

Şekil 3.11'de görüldüğü üzere içten yanmalı motor ve elektromanyetik kavramayı birbirlerine montajlamak için 1 ile numaralandırılmış parça tasarlanmıştır.



Şekil 3.12 Dişli tasarımı ve elektromanyetik kavrama

Şekil 3.12'de 2 ile numaralandırılmış parça dişli ve zincirin elektromanyetik tozlu kavramaya sürtmesini önlemek için konulmuştur.



Şekil 3.13 Tek yönlü rulman ve dişli grubu tasarımı

Tablo 3.2 Şekil 3.13'teki bileşenler

No	Parça Adı
1	Dişli
2	Tek Yönlü Rulman
3	Tek Yönlü Rulman İçin Kullanılan Segman
4	Mil İçin Kullanılan Segman
5	Kama
6	Mil

Elektrik motoru ile güç iletilirken dişli ile iletildiği için tek yönlü kavrama dönecektir. İçten yanmalı motor ile güç iletilirken mil dönecektir ve tek yönlü rulmanın boşa dönmesi sağlanarak elektrik motorunun ters yönde dönmemesi sağlanmıştır. Tek yönlü rulman ve milin her iki motor da hareket ederken gücü aktarması için kama boşluğu açılmış ve kama kullanılmıştır. Tek yönlü rulmanın hareket etmemesi için segman yuvası açılarak segman yerleştirilmiştir.

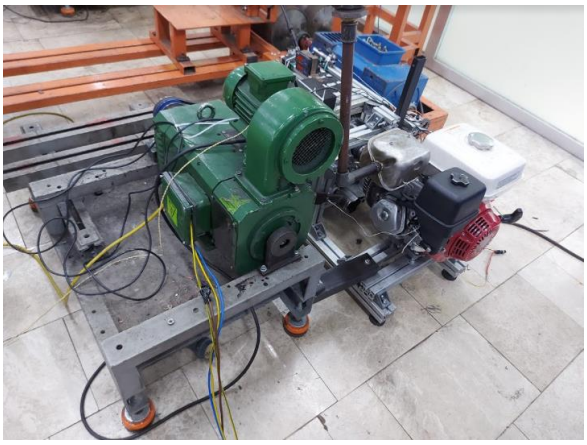
4
DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Deneysel Çalışma Düzeneği

Çalışmayı deneysel olarak doğrulamak için test düzeneği kurulmuştur. Bu düzenekte, 15 kW gücünde Femsan marka bir doğru akım motoru elektriksel güç grubu yerine, Honda Gx 270 tipi tek silindirli motor içten yanmalı motor güç grubu yerine kullanılmıştır. Ayrıca şanzıman çıkışında karşı yük oluşturacak Kemsan marka 10 kW gücünde bir doğru akım motoru kullanılmıştır.

Deneysel çalışma düzeneğinde 15 kW gücündeki elektrik motoruna doğru akım motor sürücü ile yol verilerek, zincir-dişli mekanizması yardımıyla şanzımanı döndürmesini sağlamıştır. Şanzıman çıkışına bağlı olan 10 kW gücündeki doğru akım motoruna gücü iletirken, alan sarımına 0-200 V arası değişken güç kaynağı ile gerilim uygulanmıştır ve armatür sarımı ise sabit dirençlere bağlanmıştır. Dirençlerden akım geçirilmesi ile elektrik motoru yavaşlatılarak karşı yük oluşturması sağlanmıştır.

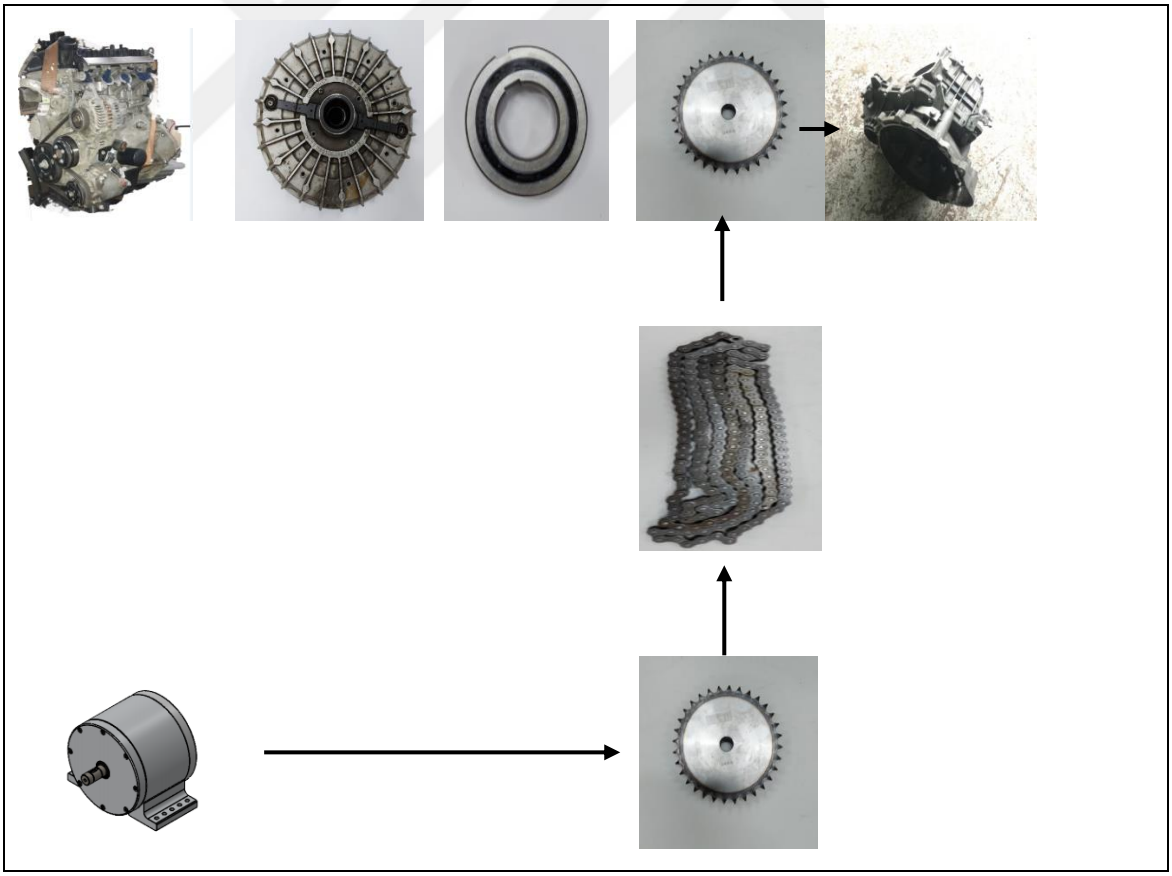
İlk hareket doğru akım motor sürücü ile elektrik motoru harekete başlatılarak güç iletimi başlamıştır. Bu çalışma rejimi devam ederken içten yanmalı motora marş basılacak ve elektrik motorunun ilettiği güç ise azaltılmıştır. Sonrasında elektromanyetik kavrama, kavrama durumuna geçirilerek güç iletimi kesintisiz ve sarsıntısız bir şekilde içten yanmalı motor üzerinden sağlanmıştır.



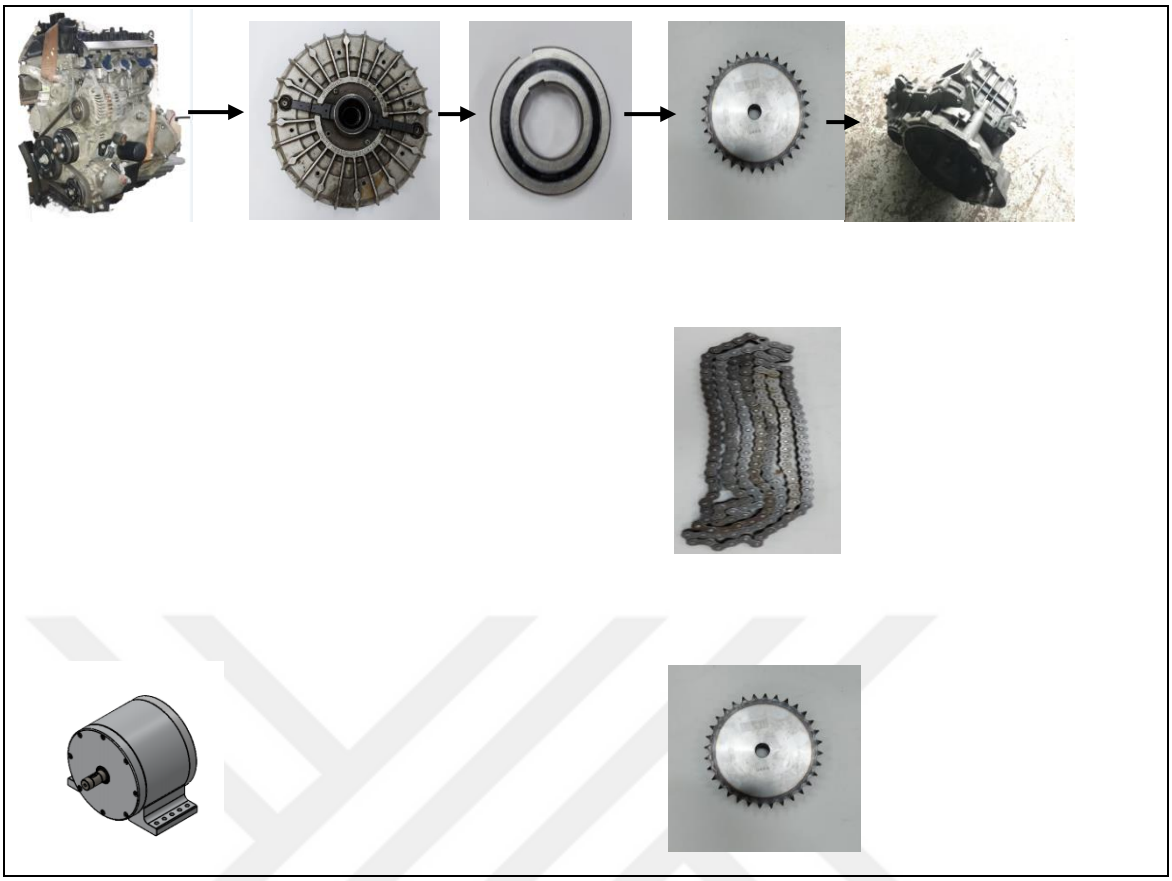
Şekil 4.1 Sistemi doğrulama amaçlı kurulan deney seti

4.2 Hibrit Güç İletim Sisteminde Güç Akış Şeması

Şekil 4.1'de gösterilen deney seti sadece şekil 4.2'de gösterilen hibrit güç iletim sistemini doğrulamak amacı ile yapılmıştır. Şekil 4.2 ve 4.3'te hibrit güç iletim yönleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Teker hızının 0 km/h-50 km/h arası olduğu zaman güç iletim yolu



Şekil 4.3 Teker hızının 50 km/h değerinin üzerinde olduğu zaman güç iletim yolu

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Formüller kullanılarak 08B serisi zincir-dişli sistemi ve CSK35PP serisi tek yönlü rulmanın hibrit güç grubu tasarımında güç iletim elemanları olarak kullanılacağı belirlendi. Şekil 4.2 ve şekil 4.3'te gösterilen hibrit güç iletim sistem şemalarının çalışılabilirliğinin doğrulanması için deney düzeneği kuruldu.

Zincir-dişli ve tek yönlü rulman grubunun güç ilettiği esnada kayma oluşup oluşmadığını belirlemek için elektrik motorunun karşı yük olmadan 1. ve 2. viteslerde elektrik motoru ve şanzıman çıkışında hız ölçümü yapıldı. Elektrik motoru ve şanzıman çıkışında ölçülen hız değerleri tablo 5.1 ve tablo 5.2'dedir. 1. ve 2. vitesteki şanzıman oranları kullanılarak teorik olarak şanzıman çıkışının hangi hızlarda dönmesi gerektiği belirlendi. Hata hesabı yapılarak yüzde hata oranı hesaplandı. Hesaplanan yüzde hata oranına bakılarak oluşan hatanın ölçüm hatası, ortam şartları gibi durumlardan kaynaklandığı varsayılabilir. Bunun sonucunda farklı hız değerleri için karşı yük olmadığı durumda zincir-dişli ve tek yönlü rulman üzerinden güç iletilirken kayma olmadığı saptandı.

Tablo 5.1 Karşı yük olmadan 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü

Ölçülen Çıkış Hızı(d/dk)	Vites	Elektrik Motor Devri (d/dk)	Elektrik Motor Yükü (gr)	Karşı Yük(gr)
19	1	120	1500	0
25	1	150	1600	
48	1	296	1960	
63	1	380	2020	
88	1	535	2100	
101	1	615	2040	
120	1	730	2020	
156	1	945	2160	
180	1	1090	2140	
199	1	1200	2120	

Tablo 5.2 Karşı yük olmadan 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü

Ölçülen Çıkış Hızı(d/dk)	Vites	Elektrik Motor Devri (d/dk)	Elektrik Motor Yükü (gr)	Karşı Yük(gr)
36	2	120	1480	0
45	2	150	1620	
88	2	293	1960	
117	2	380	2000	
164	2	534	2060	
190	2	618	2100	
226	2	735	2120	
290	2	945	2140	
338	2	1096	2240	
371	2	1205	2240	

Tablo 5.3 Karşı yük olmadan 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata

Ölçülen Çıkış Hızı (d/dk)	1.Vites Oranı	Son Redüksiyon Oranı	Net Redüksiyon Oranı	Hesaplanan Çıkış Hızı(d/dk)	Fark	Fark %
19	3.58	3.37	12.07	19.876	0.044	4.40
25	3.58	3.37	12.07	24.845	-0.006	-0.62
48	3.58	3.37	12.07	49.028	0.0209	2.09
63	3.58	3.37	12.07	62.941	-0.0009	-0.09
88	3.58	3.37	12.07	88.614	0.0069	0.69
101	3.58	3.37	12.07	101.865	0.0084	0.84
120	3.58	3.37	12.07	120.913	0.0075	0.75
156	3.58	3.37	12.07	156.525	0.0033	0.33
180	3.58	3.37	12.07	180.542	0.003	0.3
199	3.58	3.37	12.07	198.762	-0.0011	-0.11

Tablo 5.4 Karşı yük olmadan 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata

Ölçülen Çıkış Hızı (d/dk)	2.Vites Oranı	Son Redüksiyon Oranı	Net Redüksiyon Oranı	Hesaplanan Çıkış Hızı(d/dk)	Fark	Fark %
36	1.92	3.37	6.49	36.976	0.026	2.64
45	1.92	3.37	6.49	46.220	0.026	2.64
88	1.92	3.37	6.49	90.284	0.025	2.52
117	1.92	3.37	6.49	117.092	0.0007	0.07
164	1.92	3.37	6.49	164.545	0.0033	0.33
190	1.92	3.37	6.49	190.428	0.0022	0.22
226	1.92	3.37	6.49	226.480	0.0021	0.21
290	1.92	3.37	6.49	291.189	0.004	0.4
338	1.92	3.37	6.49	337.718	-0.0008	-0.08
371	1.92	3.37	6.49	371.305	0.0008	0.08

Zincir-dişli ve tek yönlü rulman grubunun güç ilettiği esnada kayma durumunu belirlemek için karşı yük değerleri altında 1. ve 2. viteslerlerde elektrik motoru ve şanzıman çıkışında hız ölçümü yapıldı. Elektrik motoru ve şanzıman çıkışında ölçülen hız değerleri tablo 5.5 ve tablo 5.6 'da verildi. 1. ve 2. vitesteki şanzıman oranları kullanılarak teorik olarak şanzıman çıkışının hangi hızlarda dönmesi gerektiği belirlendi. Hata hesabı yapılarak yüzde hata oranı hesaplandı. Hesaplanan yüzde hata oranına bakılarak oluşan hatanın ölçüm hatası, ortam şartları gibi durumlardan kaynaklandığı varsayılabilir. Sonuç olarak tablo 5.5 ve tablo 5.6 'da verilen hız değerleri için karşı yük olması durumda zincir-dişli ve tek yönlü rulman üzerinden güç iletilirken kayma olmadığı saptandı.

Tablo 5.5 Karşı yük altında 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü

Ölçülen Çıkış Hızı(d/dk)	Vites	Elektrik Motor Devri (d/dk)	Elektrik Motor Yükü (gr)	Karşı Yük(gr)
33	1	203	1380	400
50	1	305	1580	550
61	1	373	1860	650
75	1	447	1720	700
83	1	505	1900	760
95	1	580	1920	850
110	1	668	2080	920
120	1	730	2040	1030
145	1	878	2080	1230
168	1	1020	2140	1380
199	1	1198	2240	1580

Tablo 5.6 Karşı yük altında 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümü

Ölçülen Çıkış Hızı(d/dk)	Vites	Elektrik Motor Devri (d/dk)	Elektrik Motor Yükü (gr)	Karşı Yük(gr)
36	2	120	1460	450
74	2	240	2040	660
95	2	310	2140	800
132	2	430	2320	1050
165	2	533	2460	1250
192	2	623	2540	1450
242	2	785	2740	1780
266	2	863	2800	1950
293	2	950	2900	2150
332	2	1080	3060	2400
362	2	1177	3180	2550
380	2	1232	3300	2700

Tablo 5.7 Karşı yük altında 1.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata

Ölçülen Çıkış Hızı (d/dk)	1.Vites Oranı	Son Redüksiyon Oranı	Net Redüksiyon Oranı	Hesaplanan Çıkış Hızı(d/dk)	Fark	Fark %
33	3.58	3.37	12.07	33.623	0.018	1.85
50	3.58	3.37	12.07	50.518	0.01	1.02
61	3.58	3.37	12.07	61.782	0.012	1.26
75	3.58	3.37	12.07	74.039	-0.0129	-1.29
83	3.58	3.37	12.07	83.645	0.0077	0.77
95	3.58	3.37	12.07	96.068	0.0111	1.11
110	3.58	3.37	12.07	110.644	0.0058	0.58
120	3.58	3.37	12.07	120.913	0.0075	0.75
145	3.58	3.37	12.07	145.427	0.0029	0.29
168	3.58	3.37	12.07	168.948	0.0056	0.56
199	3.58	3.37	12.07	198.431	-0.0028	-0.28

Tablo 5.8 Karşı yük altında 2.viteste elektrik motoru ve şanzıman çıkışı hız ölçümündeki yüzde hata

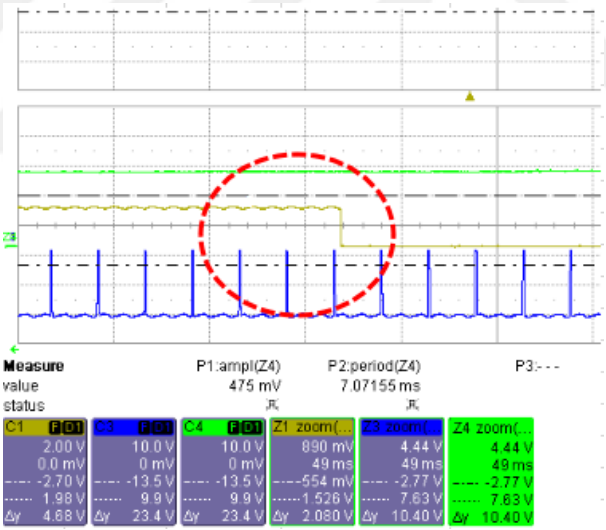
Ölçülen Çıkış Hızı (d/dk)	2.Vites Oranı	Son Redüksiyon Oranı	Net Redüksiyon Oranı	Hesaplanan Çıkış Hızı(d/dk)	Fark	Fark %
36	1.92	3.37	6.49	36.976	0.026	2.64
74	1.92	3.37	6.49	73.952	-0.0006	-0.06
95	1.92	3.37	6.49	95.522	0.0054	0.54
132	1.92	3.37	6.49	132.498	0.0037	0.37
165	1.92	3.37	6.49	164.237	-0.0046	-0.46
192	1.92	3.37	6.49	191.969	-0.0001	-0.01
242	1.92	3.37	6.49	241.887	-0.0004	-0.04
266	1.92	3.37	6.49	265.922	-0.0002	-0.02
293	1.92	3.37	6.49	292.73	-0.0009	-0.09
332	1.92	3.37	6.49	332.787	0.0023	0.23
362	1.92	3.37	6.49	362.677	0.0018	0.18
380	1.92	3.37	6.49	379.624	-0.0009	-0.09

Hibrit güç grubunda tork iletiminin kesintisiz olarak gerçekleştirilmesi için bilinmesi gereken parametrelerden birisi elektromanyetik kavramaya uygulanması gereken voltaj miktarıdır. İçten yanmalı motor hem karşı yük olmadan hem de karşı yük altında çalıştırılarak elektromanyetik kavrama ile şanzıman çıkışına güç iletimi yapılabilmesi için kısmi kavrama ve tam kavrama durumlarında kavrama üzerine uygulanması gereken voltaj bulundu. Şanzıman çıkışında hız ölçümü yapabilmek için hızı 1-0 kare dalga olarak okuyan hall sensör kullanıldı. Hall sensörün hız okuması yapabilmesi için şanzıman çıkış mili üzerine bir parça yerleştirildi.

Şanzıman çıkışındaki hız sensöründe kavrama durumu olmadığı zaman hız sensörünün şanzıman çıkış milinden parça kullanılarak hız durumunu 1 olarak okuması sağlandı. İlk kavrama durumunda şanzıman çıkış mili döndüğünden dolayı hız sensörü ilk defa 0 değerini okundu. Bu sayede ilk kavrama durumu tespit edildi. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere elektromanyetik kavramanın, 10.4 V ile kısmi kavrama durumuna geçtiği gözlemlendi. Şekil 5.2 'de görüldüğü üzere elektromanyetik kavramanın 12 V ile tam kavrama durumuna geçtiği gözlemlendi.

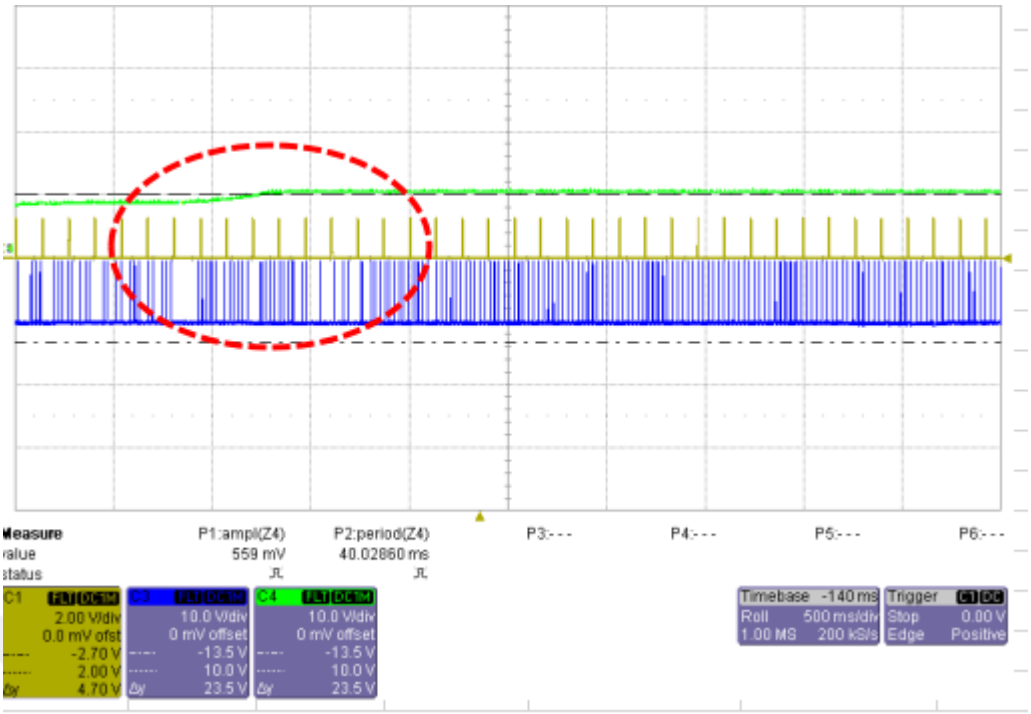
Tablo 5.9 Kavrama güç isteri

Volt	Amper
12.5	1.2
11.80	1.2
10.6	1
10	1
9.5	0.9
9	0.8
8.5	Çözüldü



Şekil 5.1 İlk kavrama anı

Şekil 5.1'de işaretlenen bölgede ilk kavrama anı belirtilmiştir.



Şekil 5.2 Tam kavrama anı

Şekil 5.2'de işaretlenen bölgede tam kavrama durumuna geçilen an belirtilmiştir. Hibrit güç iletim sisteminde 0 km/h- 50 km/h değerleri arasında elektrik motoru ile güç iletimi, 50 km/h değerinden daha büyük değerler için içten yanmalı motor ile güç iletimi yapılması kararlaştırıldığından, teker hızı 50 km/h olduğunda şanzıman çıkış hızının hesaplanması gerektiği kararlaştırıldı. Bu değer 442 d/dk olarak hesaplandı. Önce elektrik motoru üzerinden güç iletimi yapılırken şanzıman çıkış değerinin 442 d/dk olması sağlandı. Böylece elektrik motorunun hangi hızda dönmesi gerektiği bulundu. Sonra içten yanmalı motor üzerinden güç iletimi yapılırken şanzıman çıkış değerinin 442 d/dk olması sağlandı. Bu sayede gaz kelebeğinin pozisyonu belirlendi. Elektrik motorunun hızı ve gaz kelebeğinin pozisyonunun tespit edilmesi içten yanmalı motor- elektrik motoru ya da elektrik motoru-içten yanmalı motor geçişlerinde tork sürekliliğinin sağlanması için gerekli olan bilgilerden birisi olduğu gözlemlendi.

Güç iletimi sırasında karşı yük olarak kullanılan doğru akım motorunun sürücüsüyle doğru akım motorunun alan sarımına maksimum voltaj verilerek karşı yük 3000 gram olarak ölçüldü. Kesintisiz bir şekilde tork iletimini sağlamak için içten yanmalı

motor- elektrik motoru ya da elektrik motoru-içten yanmalı motor geçişlerinde karşı yük altında kesintisiz tork iletimini sağlamak için bazı çalışmalar yapıldı.

Elektrik motoru ile şanzıman çıkış hızı 442 d/dk'ya çıkarıldı. Elektrik motoru üzerinden güç aktarma ani bir şekilde sonlandırıldı ve ani bir şekilde içten yanmalı motor ile güç iletimine başlandı. Bu olayın sonucunda 442 d/dk şanzıman çıkış hızı korunamadı ve kesintisiz tork iletimi sağlanamadı.

Elektrik motoru ilk harekete başladıktan sonra elektromanyetik kavrama, kavrama durumuna getirilerek içten yanmalı motora marş vermesi ve devamında içten yanmalı motorun dönmesi ve hızlanması sağlandı. İçten yanmalı motorun hızı, elektrik motorunun hızından fazla olduğunda tek yönlü rulman bağlantısı çözüldü ve elektrik motoru ile güç iletimi aniden sonlandırıldı. Sonuç olarak 442 d/dk şanzıman çıkış hızı korundu ve kesintisiz tork iletimi sağlandı.

Elektrik motoru ile şanzıman çıkış hızı 442 d/dk'ya çıkarıldı. İçten yanmalı motorun hareketi sağlandı. Kavrama, sırasıyla kısmi kavrama ve tam kavrama durumuna getirilerek içten yanmalı motorun yavaşça güç iletimindeki etkinliği arttırılırken elektrik motoru yavaşlatılarak güç iletimindeki etkinliği azaltıldı. On saniye içten yanmalı motor ve elektrik motoru beraber güç ilettikten sonra elektrik motoru durdurularak güç iletimi sonlandırıldı. Sadece içten yanmalı motor ile güç iletimi sağlandı. Şanzıman çıkış hızı 442d/dk değerinin üzerine yükseldi. İçten yanmalı motor ve elektrik motoru birlikte çalıştıklarında gaz kelebeği kısılarak aynı süreç tekrarlandı. Bu sayede elektrik motorundan içten yanmalı motora geçişte şanzıman çıkış hızının 442 d/dk olarak korunması sağlandı.

Yavaşlama durumunda ise elektrik motoru yavaşça hızlandırılırken içten yanmalı motor ise tam kavramadan kısmi kavramaya devamında ise kavramama durumuna geçerek yumuşak bir geçiş sağlandı. Hem hızlanma durumunda hem de yavaşlama durumunda 442 d/dk şanzıman çıkış hızı korundu ve kesintisiz tork iletimi sağlandı.

Deneysel çalışmada şanzıman girişine hibrit güç iletim sistemi tasarımının çalışabilirliği test edildi. Test sonuçları baz alınarak tasarlanan hibrit güç grubunun çalışabilirliğinin mümkün olduğu belirlendi. Araç üzerinde kullanılması planlanan

hibrit güç iletim grubu tasarımı için testlerin araç üzerinde yapılması gerektiği ortaya çıktı.

KAYNAKÇA

[1] Xiliang Cao, Changqing Du, Fuwu Yan, Hongming xu, Biao He, Yanfeng Sui," Parameter Optimization of Dual Clutch Transmission for an Axle-Split Hybrid Electric Vehicle",2019

[2] Zhenzhen Lei, Dongye Sun, Yonggang Liu, Datong Qin, Yi Zhang, Yang Yang, Liang Chen,"Analysis and Coordinated Control of Mode Transition and Shifting for a Full Hybrid Electric Vehicle Based On Dual Clutch Transmissions"2017

[3] Zhiguo Zhao, Dan Lei, Jiayi Chen, Hangyu Li," Optimal Control of Mode Transition for Four Wheel Drive Hybrid Electric Vehicle with Dry Dual Clutch Transmission", 2018

[4] Michael A. Mrochen , Oliver Sawodny," Modeling and Simulation of a Hybrid Dual-Clutch Transmission Powertrain, 2018

[5] Hang Peng , Datong Qina, Jianjun Hua, Chunyun Fu,"Synthesis and analysis method for powertrain configuration of single motor hybrid electric vehicle", 2020

[6] Wassif Shabbir, Simos A. Evangelou,"Threshold-changing control strategy for series hybrid electric vehicles",2019

[7] Guo Bin, Chen Hong, Song Dafeng,"Research on Fast Matching Method of Power System Parameters of Parallel Hybrid Electric Vehicles, 2018

[8] Sheng-Chung Tzeng , K. David Huang , Chia-Chang Chen,"Optimization of the dual energy-integration mechanism in a parallel-type hybrid vehicle, 2005

[9] Pier Giuseppe Anselma*, Yi Huo, Joel Roeleveld, Giovanni Belingardi, Ali Emadi,"From Off-line to On-line Control of a Multimode Powersplit Hybrid ELectric Vehicle Powertrain,2019

[10] Alexandre Ravey,"Design and control strategy of powertrain in hybrid electric vehicles",2012

[11] Tolgahan KAYA,"Experimental Combustion Analysis Of Diesel Engine",2019

[12]"Motor", Temel Britannica,ed. Philip W. Goetz(İstanbul:Ana Yayıncılık,1993,12/280

[13]"Benzin motoru", Ana Britannica,ed. Philip W. Goetz(İstanbul:Ana Yayıncılık, 1993,5/154-155

[14]"Volan", Ana Britannica,ed. Philip W. Goetz(İstanbul:Ana Yayıncılık,1993,31/280-281

[15]"Diferansiyel", Ana Britannica,ed. Philip W. Goetz(İstanbul:Ana Yayıncılık,1993,10/136

[16]"Kavrama", Ana Britannica,ed. Philip W. Goetz(İstanbul:Ana Yayıncılık,1993,18/281

[17]Ali Önder BİLİROĞLU,"Seri Hibrit Elektrikli Araçların Modellemesi ve Kontrolü,2009

[18]Deniz Kaptan,"Energy Efficiency Increase at the Electric Vehicles",2016

[19]Murat Tuna," Hibrit Elektrikli Araçlarda (HEA) Kullanılan Konvertörlerin Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama (GSSA) Yöntemi ile Modellenmesi",2008

[20]Gökhan Hızal, Mücahit Aras,"Elektrikli Otomobil",2010

[21]Martino De Carlo, Giacomo Mantriota,"Electric vehicles with two motors combined via planetary gear train",2020

[22]Ivar Roskifte Leikarnes,"Modelling and Simulating a Hybrid Electric Vehicle,2017

[23]Karthik Upendra,"Dual Clutch Transmission for Plug-in hybrid electric vehicle",2014

[24]Ali Ersin Bulgu,"Tekerlek Motorlu Seri Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Kontrol Algoritmalarının Geliştirilmesi

[25]Ali Fuat Ergenç, Alp Ergenç,"A New Control Scheme for Automated Manual Transmission with Electromagnetic Powder Clutch",2015

[26]A. Haj-Fraj, F. Pfeiffer,"Optimal control of gear shift operations in automatic transmissions,"2001

[27] Yoon Hyuk Shin , Sung Chul Kim , Min Soo Kim ,"Use of electromagnetic clutch water pumps in vehicle engine cooling systems to reduce fuel consumption",2013

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Doğukan Yıldız, Birgül Aşçıoğlu Temiztaş, Alp Tekin Ergenç, ” Hibrit Bir Taşıt Tahrik Sisteminde İçten Yanmalı Motor İle Elektrik Motorunun Şanzıman Girişine Güç İletimi İçin Aktarım Sistemi Tasarımı”, 5.Uluslararası Mühendislik Ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, 2021,pp.276