

**TC  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ YÖNLÜ ŞARJ DEVRESİ  
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin TARLAK**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN**

**EYLÜL 2018**



**TC  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ YÖNLÜ ŞARJ DEVRESİ  
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin TARLAK  
(1158203102)**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN**

**10 Eylül 2018**



Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1158203102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hüseyin TARLAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ YÖNLÜ ŞARJ DEVRESİ TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Evren İşen** .....  
Kırklareli Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. A. Sabih ATADAN** .....  
Kırklareli Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Oktay ARIKAN** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**  
**Savunma Tarihi :**



*Eşime ve oğluma,*





## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmamda emeği geçen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN'e teőekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Temmuz 2018

Hüseyin TARLAK  
Elektronik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	2
<b>2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR .....</b>	<b>11</b>
2.1 Günümüze Kadar Elektrikli Araçlar.....	11
2.2 Elektrikli Araç Tipleri .....	12
2.2.1 Elektrikli araçlar .....	13
2.2.1.1 Elektrikli araçların avantajları .....	15
2.2.1.2 Elektrikli araçların dezavantajları.....	15
2.2.2 Hibrit araçlar .....	16
2.2.2.1 Hibrit elektrikli araçların avantajları .....	17
2.2.2.2 Hibrit elektrikli araçların dezavantajları .....	17
2.2.2.3 Seri hibrit araçlar .....	17
2.2.2.4 Paralel hibrit araçlar.....	18
2.2.2.5 Seri-Paralel hibrit araçlar.....	20
2.2.2.6 Plug-in hibrit elektrikli araçlar.....	21
2.2.3 Yakıt pilli araçlar .....	21
2.2.3.1 Yakıt pilli araçların avantajları .....	23
2.2.3.2 Yakıt pilli araçların dezavantajları.....	23
<b>3. GÜÇ ELEKTRONİĞİ VE ENERJİ DEPOLAMA BİRİMLERİ .....</b>	<b>25</b>
3.1 Güç Elektroniğinde Kullanılan Devre Elemanları .....	25
3.1.1 Bobin ve kondansatörler .....	25
3.1.1.1 Bobin.....	25
3.1.1.2 Kondansatör .....	26
3.1.2 Anahtarlama elemanları .....	26
3.1.2.1 Diyot .....	27
3.1.2.2 Mosfet .....	27
3.1.2.3 IGBT .....	28
3.2 Pasif Filtreler .....	28
3.2.1 L tipi filtre .....	28
3.2.2 LC tipi filtre .....	29
3.2.3 LCL tipi filtre.....	30
3.3 Enerji Depolama Birimleri .....	30
3.3.1 Nikel metal hidrit piller.....	31

3.3.2 Lityum iyon piller .....	32
3.3.3 Lityum polimer piller .....	33
3.3.4 Volanlar.....	33
3.3.5 Süperkapasitörler .....	35
<b>4. GÜÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLER VE KONTROL YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>37</b>
4.1 DC-DC Dönüştürücüler.....	39
4.1.1 DC-DC düşürücü dönüştürücü.....	39
4.1.2 DC-DC yükseltici dönüştürücü.....	42
4.1.3 DC-DC çift yönlü yükseltici-düşürücü dönüştürücü .....	44
4.1.3.1 Düşürücü modunda çalışma .....	45
4.1.3.2 Yükseltici modunda çalışma .....	45
4.2 AC-DC Dönüştürücüler.....	46
4.2.1 AC-DC dönüştürücü (tam dalga doğrultucu).....	46
4.2.2 DC-AC evirici .....	46
4.2.3 AC-DC-AC çift yönlü dönüştürücüler.....	47
4.3 Anahtarlama Sinyallerini Elde Edilmesi .....	48
4.3.1 Darbe genişlik modülasyonu.....	48
4.3.1.1 DC-PWM .....	48
4.3.1.2 Çift yönlü AC-PWM.....	49
4.3.1.3 Tek yönlü AC-PWM.....	50
4.3.2 Kapalı çevrim kontrol .....	51
4.3.2.1 DC-DC düşürücünün kapalı çevrim kontrolü .....	51
4.3.2.2 DC-DC yükseltici kapalı çevrim kontrolü .....	52
4.3.2.3 Evirici kapalı çevrim kontrolü .....	53
4.3.2.4 AC-DC doğrultucu kapalı çevrim histerezis akım kontrolü .....	55
<b>5. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ YÖNLÜ ŞARJ DEVRESİ</b>	
<b>TASARIMI.....</b>	<b>57</b>
5.1 Bataryaların Şarj-Deşarj Süreci.....	61
5.2 Şebeke Üzerinden Aracın Şarj Edilmesi (G2V).....	62
5.3 Ev Üzerinden Aracın Şarj Edilmesi (G2H-H2V).....	64
5.4 Eve Araç Üzerinden Enerji Verilmesi (V2H) .....	65
5.5 Aracın Kesintisiz Güç Kaynağı Modu (H2V-V2H).....	68
<b>6. SONUÇ .....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>75</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>79</b>

## KISALTMALAR

<b>AC</b>	: Alternatif akım
<b>DC</b>	: Doğru akım
<b>PWM</b>	: Pulse width modulation (Darbe genişlik Modülasyonu)
<b>V</b>	: Volt
<b>A</b>	: Amper
<b>W</b>	: Watt
<b>kW</b>	: Kilowatt
<b>DA</b>	: Doğru Akım
<b>AA</b>	: Alternatif Akım
<b>md.</b>	: Madde
<b>v.b.</b>	: Ve Benzeri
<b>V2H</b>	: Vehicle to Home
<b>H2V</b>	: Home to Vehicle
<b>G2V</b>	: Grid to Vehicle
<b>V2G</b>	: Vehicle to Grid
<b>NiMH</b>	: Nikel Metal Hidrid Pil
<b>NiCd</b>	: Nikel Cadmiyum pil



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Eviricilerin topolojilerine göre karşılaştırılması. ....	2
Çizelge 2.1 : Elektrikli araçların, hibrit araçların ve yakıt pilli araçların karakteristik yapıları.....	13
Çizelge 3.1 : Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların karşılaştırılması.....	31
Çizelge 6.1 : 2018 yılı ülkemizdeki birim fiyatlar.....	73





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Ayrton Perry elektrikli aracı .....	11
Şekil 2.2 : Elektrikli araç temel diyagramı .....	14
Şekil 2.3 : Hibrit araç blok diyagramı .....	16
Şekil 2.4 : Seri hibrit elektrikli araç diyagramı.....	18
Şekil 2.5 : Paralel hibrit elektrikli araç diyagramı .....	19
Şekil 2.6 : Seri-paralel hibrit elektrikli araç diyagramı .....	20
Şekil 2.7 : Plug-in hibrit elektrikli araç diyagramı .....	21
Şekil 2.8 : Yakıt pilli araçların temel prensip şeması .....	22
Şekil 2.9 : Temel hidrojen-oksijen yakıt pili şeması .....	23
Şekil 3.1 : Bobin .....	25
Şekil 3.2 : Kondansatörün yapısı .....	26
Şekil 3.3 : Diyot simgesi.....	27
Şekil 3.4 : MOSFET simgesi ve görünümü.....	28
Şekil 3.5 : IGBT simgesi .....	28
Şekil 3.6 : L tipi pasif filtre.....	29
Şekil 3.7 : LC tipi pasif filtre .....	29
Şekil 3.8 : LCL tipi pasif filtre.....	30
Şekil 3.9 : Nikel Metal Hidrit (NiMH) pil yapısı .....	32
Şekil 3.10 : Lityum iyon pillerin genel yapısı .....	32
Şekil 3.11 : Lityum polimer pillerin genel yapısı .....	33
Şekil 3.12 : Volan depolama sistemi .....	34
Şekil 3.13 : Süperkapasitör yapısı .....	35
Şekil 4.1 : Enerji Dönüşümü.....	37
Şekil 4.2 : DC-DC düşürücü (buck) devresi .....	40
Şekil 4.3 : Sürekli iletim modunda anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu anlar için bobin üzerindeki gerilim ve akım .....	40
Şekil 4.4 : Kondansatör akımının ve geriliminin anahtarlama elemanının iletim ve kesim anındaki değişimi. ....	42
Şekil 4.5 : DC-DC yükseltici (boost) devresi .....	42
Şekil 4.6 : Sürekli iletim modunda anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu anlar için bobin üzerindeki gerilim ve akım. ....	43
Şekil 4.7 : Anahtarlama elemanının iletim ve kesim anlarında kondansatör üzerindeki gerilimin değişimi .....	44
Şekil 4.8 : DC-DC çift yönlü yükseltici-düşürücü dönüştürücünün düşürücü modunda çalışması .....	45
Şekil 4.9 : DC-DC çift yönlü yükseltici-düşürücü dönüştürücünün yükseltici modunda çalışması .....	46
Şekil 4.10 : AC-DC Dönüştürücü .....	46
Şekil 4.11 : DA-AC evirici (tek fazlı tam dalga doğrultucu) .....	47
Şekil 4.12 : DC-PWM çalışma prensibi .....	48

<b>Şekil 4.13</b> : Tam dalga tek fazlı eviricinin çift yönlü AC-PWM tekniği ile kontrol edilmesi .....	49
<b>Şekil 4.14</b> : Çift yönlü AC-PWM tekniğinin çalışma prensibi.....	49
<b>Şekil 4.15</b> : Tam dalga tek fazlı eviricinin tek yönlü PWM tekniği ile kontrolü.....	50
<b>Şekil 4.16</b> : Tek yönlü AC-PWM tekniğinin çalışma prensibi. ....	50
<b>Şekil 4.17</b> : DC-DC düşürücü dönüştürücünün kapalı çevrim kontrolü.....	52
<b>Şekil 4.18</b> : DC-DC düşürücü dönüştürücünün kapalı çevrim kontrollü simülasyon sonucu. ....	52
<b>Şekil 4.19</b> : DC-DC yükseltici dönüştürücünün kapalı çevrim kontrolü.....	53
<b>Şekil 4.20</b> : DC-DC yükseltici dönüştürücü kapalı çevrim kontrol simülasyon sonucu.....	53
<b>Şekil 4.21</b> : DC-AC dönüştürücü kapalı çevrim kontrolü .....	54
<b>Şekil 4.22</b> : DC-AC dönüştürücü kapalı çevrim kontrol simülasyon sonucu.....	54
<b>Şekil 4.23</b> : Histerezis akım kontrol yöntemi ile anahtarlama sinyalinin elde edilmesi .....	56
<b>Şekil 4.24</b> : Kapalı çevrim histerezis PWM kontrollü tam dalga doğrultucu .....	56
<b>Şekil 4.25</b> : Kontrollü tam dalga doğrultucu simülasyon sonucu .....	56
<b>Şekil 5.1</b> : Elektrikli araç çalışma modları.....	57
<b>Şekil 5.2</b> : İki yönlü akü şarj sistemi blok diyagramı .....	58
<b>Şekil 5.3</b> : İki yönlü akü şarj devresi .....	59
<b>Şekil 5.4</b> : Elektrikli aracın modlarına karar verilmesi .....	62
<b>Şekil 5.5</b> : G2V Elektrikli araç çalışma modu enerji akışı.....	62
<b>Şekil 5.6</b> : G2V modunda şebeke gerilimi ve elektrikli aracın çektiği akım. ....	63
<b>Şekil 5.7</b> : G2V modunda elektrikli aracın çektiği RMS akım, bataryanın şarj durumu, batarya gerilimi ve bataryanın çektiği akımın değişimi.....	63
<b>Şekil 5.8</b> : G2H-H2V Elektrikli araç çalışma modu enerji akışı. ....	64
<b>Şekil 5.9</b> : G2H-H2V modlarında şebekeden evin ve elektrikli aracın çektiği RMS akımlar. ....	65
<b>Şekil 5.10</b> : G2H-H2V modlarında şebekeden evin ve elektrikli aracın çektiği güçler. ....	65
<b>Şekil 5.11</b> : V2H Elektrikli Araç çalışma modu. ....	66
<b>Şekil 5.12</b> : Elektrikli araçtan evin beslenmesi durumunda evirici çıkışındaki gerilim ve ev yükünün çektiği akım. ....	67
<b>Şekil 5.13</b> : İki yönlü akü şarj sisteminin değişken ev yükünün elektrikli araç üzerinden beslenmesi (V2H) durumu .....	68
<b>Şekil 5.14</b> : UPS (H2V-V2H) elektrikli araç çalışma modu.....	68
<b>Şekil 5.15</b> : İki yönlü akü şarj devresinde kesintisiz güç kaynağı (H2V- V2H) modu. Şebekeden çekilen güç ( $P_{grid}$ ), elektrikli aracın çektiği güç ( $P_{araç}$ ) ve ev tarafından çekilen güç ( $P_{ev}$ ). ....	69
<b>Şekil 5.16</b> : İki yönlü akü şarj sisteminde kesintisiz güç kaynağı (UPS) modu simülasyon sonuçları .....	70
<b>Şekil 5.17</b> : Aracın kesintisiz güç kaynağı modunda kullanılması sırasında şebeke kesilmesi anında gerilim ve akımlar.....	71
<b>Şekil 5.18</b> : Aracın kesintisiz güç kaynağı modunda kullanılması sırasında şebeke gelmesi anında gerilim ve akımlar .....	71

# ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ YÖNLÜ AKÜ ŞARJ DEVRESİ

## ÖZET

Fosil kaynaklı yakıtların kısıtlı olması, üretiminde ve kullanımında doğamıza zararlı olması ve benzeri nedenlerden dolayı enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarında enerjinin üretilmesi, tüketilmesi ve depolanması gibi alanlarda güç elektroniği çok önemli bir yer tutmaktadır.

Taşımacılık sektöründe de fosil kaynaklı araçların alternatifi olarak elektrikli araçların kullanımını bir seçenek olarak araştırmacılar tarafından ele alınmış ve gelişen teknoloji ile birlikte daha verimli elektrikli araçların yapılması mümkün olmuştur.

Elektrikli araç teknolojisinin de yaşanan gelişmeler ile birlikte farklı kullanım modları ortaya çıkmıştır. Elektrikli araçların bataryalarının şebekeden şarj edilmesi (G2V-Grid to Vehicle), elektrikli araçlardan şebekeye enerji verilmesi durumu (V2G), elektrikli araçların şebekede oluşan dalgalanmaları ve harmonikleri düzeltmesi için kullanımı (V4G), ev ihtiyacının karşılanması yanında elektrikli aracın şarj edilmesi (H2V), elektrikli araçların şebeke kesintisine karşı kesintisiz güç kaynağı (UPS) olarak kullanılması (V2H) durumları elektrikli araçlar kullanım şekilleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrikli araçlarda en büyük problemlerinden birisi elektrik enerjisinin depolanmasıdır. Batarya teknolojisindeki gelişmelerle ve güç elektroniğinde verimliliğin artmasıyla elektrik enerjisinin depolanması bir problem olmaktan çıkmaktadır. AC geriliminin bataryaları şarj eden DC gerilime dönüştürülmesi için kullanılan AD-DC evirici ve DC-DC dönüştürücü tiplerine bu tezde değinilmiştir. Elektrikli araçların bataryalarının şebeke üzerinden direk şarj edilmesi (G2V), elektrikli araç bataryasının ev üzerinden şarj edilmesi (H2V), eve elektrikli araç üzerinden enerji verilmesi (V2H) ve elektrikli araç batarya kitinin ev üzerinden şarj edilirken ani elektrik kesintilerine karşı kesintisiz güç kaynağı olarak ev için kullanılması (UPS) durumları detaylı olarak tezde incelenmiştir.

Tez çalışmasında 1.bölümde literatür taramasına yer verilirken ve 2. bölümde elektrikli araç teknolojisine günümüze kadar olan gelişimleri ve tipleri ile ilgili bilgi verilmiştir. 3. bölümde elektrikli araçların şarj edilmesi için kullanılan güç elektroniği devre elemanları ve batarya teknoloji hakkında bilgi verilmiş ve 4. bölümde AC-DC evirici tipleri, DC-DC dönüştürücü tipleri ve bunların kontrol yöntemleri incelenmiştir. 5. Elektrikli araçların bataryalarının şebeke üzerinden direk şarj edilmesi (G2V), bataryasının ev üzerinden şarj edilmesi (H2V), eve elektrikli araç üzerinden enerji verilmesi (V2H) ve bu batarya kitinin aracın elektrikli motorunu çalıştırmanın yanında aynı zamanda şarj edilirken elektrik kesintilerine karşı kesintisiz güç kaynağı olarak (UPS) modları üzerinde durulmuş, simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir. 6. Bölümde çalışma sonuçlarına yer verilmiştir.

# **BIDIRECTIONAL BATTERY CHARGER FOR ELECTRIC VEHICLES**

## **SUMMARY**

Because of depletion of fossil sources and its detriment to nature, proportion of usage of renewable energy sources at production energy is increasing fastly. Power elektronik has fundamental position at renewable energy sources producing, using and storing.

In the transportation sector, the use of elektrik vehicles as an alternative to fossil based vehicles has been taken an option by researches and it has become possible to make more efficient elektrik vehicles with the developing technology.

The different modes of use of electric vehicle technology have emerged along with the developments that have been experienced. Charging the batteries of electric vehicles (G2V-Grid to Vehicle), power supply to the network from electric vehicles (V2G), the use of electric vehicles to correct fluctuations and harmonics in the network (V4G), charging the electric vehicle over the house (H2V), use of electric vehicles as uninterruptible power supply (UPS) against mains interruption and home electric power supply from electric vehicle (V2H) situations are confused as the form of use of electric vehicles. One of the biggest problems in electric vehicles is the storage of electric energy. With the improvements in battery technology and increased efficiency in power electronics, the storage of electrical energy is a problem. The types of AD-DC inverter and DC-DC converter that are used to convert the AC voltage to the DC batteries charge voltage are mentioned in this thesis. Direct charging of electric vehicles batteries via mains (G2V), charging the battery over the house (H2V), powering home via electric vehicle (V2H) and in addition to operating the electric motor, the battery charger being used as an uninterruptible power supply (UPS) against electrical interruptions while charging modes have been studied in detail.

In the thesis study, literature review is given in section 1 and in section 2, information on the development and types of electric vehicle technology up to the day is given. In section 3, information on power electronics circuit components and battery technology

is given. In section 4, AC-DC inverter types, DC-DC converter types and their control methods are examined. In section 5, Direct charging of electric vehicles batteries via mains (G2V), charging the battery over the house (H2V), powering home via electric vehicle (V2H) and in addition to operating the electric motor, the battery charger being used as an uninterruptible power supply (UPS) against electrical interruptions while charging modes and their simulation results are given. The results of the study in section 6 are given.

## 1. GİRİŞ

Fosil kaynaklı yakıtlara olan bağımlılığın gerek elektrik üretiminde gerek taşımacılık sektöründe gerekse ısınmada devamlı olarak artması ve bu kaynakların doğamızda sınırlı rezervlerinin olmasından dolayı bu kaynaklara alternatif arayışı devamlı süregelen çalışmalara konu olmuştur. Fosil yakıtların üretilirken de tüketilirken de doğamıza verdiği zararların azaltılması için uluslararası çapta antlaşmalar yapılmıştır. Alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ülkelerin enerji politikaları içinde önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır.

Otomobil sektöründe akaryakıt kullanan araçlara sektörün ilk doğduğu günden itibaren elektrikli araçlar bir alternatif olarak gündemde olmuştur. Fakat elektrik enerjisinin depolanmasının zorluğu nedeniyle elektrikli araç teknolojisi akaryakıtlı araç teknolojisinin gerisinde kalmıştır. Günümüzde elektrik enerjisinin depolanması ve güç elektroniği alanındaki gelişmeler sayesinde daha verimli elektrikli araçların yapılması mümkün olmuştur.

Elektrikli araçlarda depolanan enerjinin farklı amaçlar için kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Elektrikli araçların bataryalarının şebekeden şarj edilmesi (G2V-Grid to Vehicle), elektrikli araçlardan şebekeye enerji verilmesi (V2G), elektrikli araçların şebekede oluşan dalgalanmaları ve harmonikleri düzeltmesi için kullanımı (V4G), elektrikli araçların bataryasının ev üzerinden şarj edilmesi (H2V), elektrikli araçların şebeke kesintisine karşı UPS olarak kullanılması (V2H) durumları elektrikli araçlar ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanım amaçları olarak karşımıza çıkmaktadır.

### 1.1 Tezin Amacı

Elektrikli araçların bataryasının şebeke üzerinden şarj edilmesi (G2V), ev üzerinden şarj edilmesi (H2V) ve bu batarya kitinin aracın elektrikli motorunu çalıştırmanın yanında aynı zamanda hem şebekenin olmadığı yerlerde evi beslemek için kullanılması(V2H) hem de elektrik kesintilerine karşı kesintisiz güç kaynağı olarak ev için kullanılması (V2H) durumları detaylı olarak çalışmamızda incelenecektir.

## 1.2 Literatür Araştırması

Gyu-Yeong Choe ve arkadaşları tarafından yapılmış bir çalışmada aynı zamanda güneş enerjisi kullanılarak üretilen elektrik enerjisi hem şebekeye bağlanmış hem de araç şarjı için kullanılmıştır. Böylece şebeke kesintisi durumlarında elektrikli aracın şarjına devam edilme sağlanmıştır [1].

Tanel Jalakas ve çalışma arkadaşları tarafından farklı batarya şarj dönüştürücüleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Öncelikle tek yönlü araç batarya şarj sistemleri üzerinde durulmuş daha sonra elektrik şebekesinden elektrikli aracın şarj edilmesi ve elektrikli araçtan da şebekeye geri enerji aktarılması sağlamak için çift yönlü şarj sistemleri üzerinde çalışma yapılmıştır [2].

Lityum iyon, nikel kadmiyum ve nikel metal hidrit bataryaların şarj algoritmaları üzerine Ala Al-Haj Husseyin ve Issa Batarseh tarafından bir çalışma yapılmıştır. Bu bataryaların şarj algoritmaları karşılaştırılmış ve algoritmaları güçlü ve zayıf yönleri deneysel sonuçlara dayanılarak incelenmiştir [3].

İlhami Çolak ve Ersan Kabalcı tarafından yapılan çalışmada evirici topolojileri ve tasarım özellikleri incelenmiştir. Tek fazlı düşük güç ve üç fazlı orta ve yüksek güç eviricilerin kuvvetli ve zayıf yönleri incelenmiştir. Çizelge 1.1'de verilen evirici topolojilerin karşılaştırmalarına yer verilmiştir [4].

**Çizelge 1.1 :** Eviricilerin topolojilerine göre karşılaştırılması.

	Bir Fazlı Topolojiler		Üç Fazlı Topolojiler		
	Yarım Dalga	Tam Dalga	Diyot Kenetli	Kondansatörlü	Kaskad
THD <sub>v</sub> (%)	163	156	36,9	33,1	32,4
Anahtarlama Elemanı Sayısı	2	4	2(m-1)	2(m-1)	2(m-1)
Kenetli Diyot Sayısı	0	0	(m-1).(m-2)	0	0
DC Kondansatör Sayısı	2	2	(m-1)	(m-1)	(m-1)/2
Yardımcı Kondansatör Sayısı	0	0	0	(m-1).(m-2)/2	0
M=5 Örneği için Eleman Sayısı(Faz Başına)	-	-	24	18	10
Kullanım Alanları	<2kV	<2Kv	Motor Sürme, STATCOM	Motor Sürme, STATCOM	PV, Motor Sürme, Batarya



Deepesh S Kanchan ve Nitanjan Hadagali tarafından yapılan çalışmada yakıt hücresi veya güneş enerjisi gibi çevre dostu kaynaklardan beslenen DC-DC çift yönlü çeviricinin hibrit elektrikli araçlarla birlikte kullanılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Kullanılan DC-DC çeviriciyi kontrol etmek için PI kontrolör kullanılmıştır [5].

Elektrikli aracın bataryası ile elektrik şebekesi arasında çift yönlü güç akışı sağlayan G2V, elektrik şebekesindeki gerilim dalgalanmaları azaltması ve güç sisteminin kararlılığının artmasını sağlaması üzerine Kang Miao Tan ve arkadaşları tarafından bir çalışma yapılmıştır [6].

Arjun Raj Prabu Andhra Sridhar tarafından yapılan çalışmada SiC Mofsetler kullanılarak tek fazlı ve üç fazlı çift yönlü çift aktif köprü topolojisi üzerine kurulmuş izoleli AC-DC dönüştürücüler üzerinde çalışma yapılmış ve bu dönüştürücüler V2G uygulamalarında kullanılmıştır. Çalışmada; V2G uygulamaları ile elektrik aracında depolanan enerjinin şebekedeki dalgalanmalarını, gerilim piklerini gidermek amaçlanmaktadır. Ayrıca V2G uygulamaları ile gerilim regülasyonu, reaktif güç kompanzasyonu ve gerilim düzleştirilmesi üzerine çalışılmıştır [7].

Dylan C. Erb ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Plug-in hibrit araçlar için çift yönlü şarj edilmeleri için çift yönlü şarj topolojileri üzerinde durulmuştur. Çift yönlü şarj topolojilerinde Plug-in hibrit aracın bataryasının şarj edilmesi ve gerektiğinde aracın batarya grubunda depolanan enerji ile şebeke regülasyonu üzerinde durulmuştur. Çift yönlü şarj devreleri için AC-DC ve DC-DC dönüştürücüler anlatılmış ve her iki topolojinin birleştirilmesinde hangi dönüştürücülerin uygun olduğu anlatılmıştır [8].

Vitor Monteiro ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli ve Plug-in hibrit araçlar için batarya şarj sistemleri üzerinde durulmuştur. Elektrik araçların şebekeden şarj edilmesi sebebi ile aynı anda çok sayıda aracın şarj edilmesi ile oluşacak aşırı yüklenme ve sinüs olmayan formda enerji tüketiminin etkilerine değinilmiştir. Aynı zamanda elektrikli araçların şebekeyi regüle etme avantajına değinilmiştir. AC-DC dönüştürücüler ve DC-DC dönüştürücü tipleri anlatılmış ve çift yönlü şarj sistemi tasarlanmıştır [9].

K.N Hasan ve çalışma arkadaşları tarafından Wollongong üniversitesinde yapılan çalışmada güneş panelleri ile üretilen enerjinin bataryalarda depolanması için yüksek verimli çift yönlü DC-DC dönüştürücü üzerinde çalışma yapılmıştır. Bataryanın şarj

durumuna(SOC) göre bataryaların şarj veya deşarj olmasına karar veren, yüksek verimli dönüştürme ve düşük anahtarlama kayıplarına sahip yeni bir batarya yönetim sistemi üzerinde çalışılmıştır [10].

Görkem sen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada hibrit ve Plug-in hibrit araçların şebeken şarjı için çift yönlü şarj devresi ve kontrol algoritması Matlap Simülink ve PSİM kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışmada şebeke kesintileri sırasında aracın batarya kitinin kesintisiz güç kaynağı gibi kullanılması amaçlanmıştır [11].

C.M Liaw ve arkadaşları akım kontrollü tek faz anahtarlama modlu iki yönlü dönüştürücü üzerine bir çalışma yapmış ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir [12].

Travon Dent tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçların şebekeden şarj edilmeleri sırasında şebekeye bindirdikleri yüklerden bahsedilmiş ve buna çözüm olarak çift yönlü şarj devresi tasarlanarak simülasyon sonuçları verilmiştir [13].

Faruk Burak Gökden tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında frenleme enerjisi geri kazanım sisteminin etkili bir biçimde kullanılabilmesi için iki yönlü enerji akışına olanak sağlayan, faz kaydırmalı dönüştürücü tasarlanmış ve uygulanmıştır [14].

Gökhan Hızal ve Mücahit Aras tarafından yapılan bitirme tezinde elektrikli otomobil tanımlanarak tarihi hakkında bilgi verilmiş, içten yanmalı araçlarla karşılaştırılmış ve elektrikli araç prototipi tasarlanmıştır [15].

Tübitak Marmara Araştırma Merkezinde Namık Ünlü ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmada elektrikli ve hibrid elektrikli araçların geçmişten günümüze kadarki tarihçesi ve elektrikli araç teknolojileri, kullanılan alt sistemler ve elektrikli araçlar, hibrit araçlar ve yakıt pilli araçların avantajlarına değinilmiştir [16].

J.G. Pinto ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada üç farklı modda çalışan tek fazlı ayarlanabilir batarya şarj kiti tasarlanmıştır. Bu modlar; araç bataryalarının şarj edildiği şebekeden araca modu (G2V), araç bataryalarında depolanan enerjinin bir kısmının şebekeye geri verildiği araçtan şebekeye modu(V2G) ve yedek bataryaların araç bataryalarından şarj olduğu moddur [17].

Vitor Monteiro ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli araç batarya şarj devresinin şebekeden araca(G2V), araçtan şebekeye (V2G), elektrikli araç bataryasının şarj akımının elektrikli ev aletlerinin tüketimlerine göre kontrol edildiği evden araca (H2V), elektrikli araç batarya kitini kesintisiz güç kaynağı olarak

kullanıldığı araçtan eve (V2H) ve elektrikli araç batarya şarj devresinin V2G ve G2V modları ile eş zamanlı çalışarak şebekedeki akım harmoniklerini ve reaktif güçleri kompanse ettiği araç şebeke (V4G) çalışma modları üzerinde durulmuş ve bu modları gerçekleştirmek için çift yönlü elektrikli araç batarya şarj devresi tasarlanmış ve uygulama sonuçları verilmiştir [18].

Vitor Monteiro ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli araçlar için şebekeden araca (G2V), araçtan şebekeye (V2G) ve araçtan eve (V2H) modlarında çalışan çift yönlü batarya şarj devresi sunulmuştur. Bu üç çalışma modunu ICT teknolojisi üzerinde çalışan bir çift yönlü iletişim ile elektrikli araçlar ve akıllı şebekeler arasında veri iletişiminin sağlanması üzerinde durulmuştur [19].

Dalong Guo ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli araçların faydalarının göstermek için ideal ve otomatik bir çalışma şeması oluşturulmuştur. Elektrik fiyatının fazla olduğu dönemlerde evin elektrik ihtiyacının elektrikli araçtan sağlanması veya bu zamanda şebekeye geri elektrik verilmesi üzerinde durulmuştur [20].

Lisheng Shi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Plug-in hibrit araçlar için tek fazlı çift yönlü AC-DC dönüştürücü tasarlanmıştır. Plug-in hibrit araçlar için iki farklı mod üzerinde durulmuştur. Birincisi bağımsız devre topolojisidir ki bu devrede AC-DC dönüştürücü motoru süren eviriciden tamamen bağımsız çalışmaktadır. İkincisi kombine devre topolojisidir ki burada batarya şarj modunda motor çalışmaz. Bu topolojide sadece bir evirici vardır [21].

Gareth Haines ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada evsel elektrik ihtiyacının regüle edilmesinde elektrikli aracın kullanılması için Simulink/Matlab kullanılarak bir tasarım yapılmıştır. Elektrikli araç ile yapılan üç mesafeden sonra elektrikli aracın evin pik enerji ihtiyacını düşürmedeki başarısı incelenmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir [22].

Mithat Can Kısacıkoğlu tarafından yapılan doktora çalışmasında reaktif gücün tek fazlı çift yönlü batarya şarj devreleri tasarımı ve çalışması üzerine olan etkileri ele alınmıştır. Güç transfer kapasitelerine göre elektrikli araçlarda kullanılacak AC-DC dönüştürücüleri incelenmiştir ve iki yönlü batarya şarj devresi tasarlanmıştır. DC-DC ve AC-DC&DC-AC iki yönlü dönüştürücü türlerinin özellikleri verilmiş ve çalışma prensipleri anlatılmıştır [23].

Milli Eğitim Bakanlığının yayınlamış olduğu kitapta DC-DC ve AC-DC dönüştürücü tipleri, devre elemanlarının özellikleri ile hesaplanış yöntemleri ve kontrol yöntemleri ele alınmıştır [24].

George Roe ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada volanın temel yapısı anlatılmıştır. Volanların çalışma prensipleri ile birlikte avantajlarından bahsedilmiştir [25].

Frode Lium'un yaptığı çalışmada süper kapasitörlerin diğer batarya sistemlerinden üstünlükleri ortaya konmuştur. Hibrit ve elektrikli araçlarda ki anlık güç değişimlerinin karşılanması için süper kapasitörler ve DC-DC dönüştürücü ile yüksek verimli, düşük hacimli ve ağırlıkta, güvenilir bir güç arttırıcı sistem tasarlanmış ve uygulaması yapılmıştır [26].

İndiana Üniversitesi tarafından yayınlanan uzman raporunda elektrikli araçların tarihi hakkında bilgi verilmiş, ulaşımın zararlı gaz salınımındaki payı üzerinde durulmuş ve bu ulaşımındaki gaz yayılımının düşürülmesi için araç üreticilerinin elektrikli araç üretimi üzerindeki çalışmalarına ve sayısal verilerine yer verilmiştir [27].

Jih-Sheng (Jason) Lai tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçların tanımı yapılmış ve türleri anlatılarak elektrikli araçlara neden ihtiyaç duyulduğuna değinilmiştir. Araç üreticilerinin ürettiği elektrikli araçların teknik bilgileri verilmiştir. Enerji depolama birimleri türlerine, inverter ve DC-DC çift yönlü dönüştürücünün özelliklerine değinilmiştir [28].

Sonya Gargies, Hongjie Wu ve Chris Mi tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçlar ve hibrit araçlar için orta güç uygulamaları için izoleli iki yönlü DC-DC dönüştürücü tasarlanmıştır. 1 kW'lık bir uygulama yapılarak test sonuçları verilmiştir [29].

Sharanya Jaganathan ve Wenzhong Gao tarafından yapılan çalışmada 3 seviyeli AC-DC dönüştürücü ve iki yönlü DC-DC dönüştürücü kullanılarak plug-in hibrit araçlar için batarya şarj cihazı tasarlanmıştır. Darbe şarj kontrol yöntemi ile batarya şarj edilmiş ve araçtan şebekeye modu simülasyon sonuçları verilmiştir [30].

Li Qin Ni'nin yaptığı çalışmada hibrit araç türleri ve enerji depolama teknolojileri incelenmiştir. Ultrakapasitör ve bataryalar arasında çalışan çok fazlı iki yönlü DC-DC dönüştürücü ve ikili enerji kaynağı kontrol yöntemleri üzerinde çalışma yapılmış ve simülasyon sonuçları verilmiştir [31].

C. C. Chan'nın yaptığı çalışmada elektrikli araçların, hibrit araçların ve yakıt pilli araçların geçmişi ve geleceği üzerinde durulmuştur. Günümüzde üretilmiş elektrikli araçların teknolojileri elektrikli, hibrit ve yakıt pilli araçların özellikleri incelenmiştir [32].

Ferdinando Luigi Mapelli ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Plug-in hibrit araçlarla ilgili bilgi verilmiştir. Emisyon oranlarını düşürmek için ideal stratejilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla enerji akışına özel dikkat gösterilerek Plug-in hibrit aracın tasarımı ve kontrolü için bir prototip gerçekleştirilmiştir [33].

Su man Dwari ve Leila Parsa tarafından yapılan çalışmada yüksek güç ve yüksek gerilim için geleneksel DC-DC yükselticinin verimsiz olması sebebiyle ikili bobinli DC-DC yükseltici tasarlanmıştır. İç içe geçmiş bu dönüştürücülerle yüksek güç verimliliği elde edilmiş ve çıkışta küçük boyutlarda filtre kullanılabilmiştir [34].

Gang Ma ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmada geniş yük aralığında bütün anahtarlar için sıfır gerilim ve sıfır akım anahtarlama yapabilen yumuşak anahtarlama iki yönlü DC-DC dönüştürücü üzerinde çalışılmıştır. Anahtarlama kayıplarının, gerilim-akım streslerinin ve diyot geri dönüşüm etkisinin azaltılması hedeflenmiştir. 1 kW gücünde bir uygulama yapılmış ve sonuçları verilmiştir [35].

M.K. Yoong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada faydalı frenleme hakkında bilgi verilmiştir. Volanların ve ultrakapasitörlerin DC-DC dönüştürücü ile birlikte faydalı frenlemede kullanılarak verimliliğin artırılması ve enerji geri dönüşümü sağlanması hakkında bilgi verilmiştir [36].

Al Sakka ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli araçlardaki güç aktarımı hakkında bilgi verilmiş ve bu güç aktarımı sağlayan üç farklı DC-DC dönüştürücü (geleneksel DC-DC yükseltici dönüştürücü, bağımsız bobinli 4 kat birleştirilmiş DC-DC yükseltici dönüştürücü ve tam köprü DC-DC yükseltici dönüştürücü) modeli üzerinde durulmuştur. Her bir model için ebatlar, ağırlık, akım ve gerilim dalgalanmaları, elektromanyetik girişim ve verimlilik dikkate alınarak 30 kW'lık bir DC-DC dönüştürücü tasarlanmıştır [37].

Khaled H. Ahmed ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada pillerin ömürlerinin çevrim olarak ifade edildiğini ve çevrimin bir şarj-deşarj toplamından oluştuğu söylenmiştir. Pillerin ömürlerini kısaltan dış etkenlerden bahsedilmiştir. Şarj edilebilir pillerin

başlangıç kapasitesinin %60-70 civarına düşmesi ile pilin ömrünü tamamladığı ve şarj edilebilir pillerin 500 ila 1500 çevrim ömürlerinin olabildiğinden bahsedilmiştir [38].

Mehmet Oğuz Özcan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli aracın piyasa araştırması yapılmış ve üretilmiş elektrikli araçlar hakkında bilgi verilmiştir. Elektrikli aracın güç hesaplaması, pil kapasitesinin hesaplanması hakkında bilgi verilmiş ve Türkiye'nin koşullarına ve ihtiyaçlarına uygun bir elektrikli aracın tasarlanması üzerine çalışmalar yapılmıştır [39].

TAP derneğinin 2018 yılında yayınladığı makalede taşınabilir pilin tanımı yapılarak tüketiciler tarafından sıklıkla kullanılan belli taşınabilir pillerin özellikleri hakkında kapsamlı bir bilgi verilmiştir [40].

Michael H. Westbrook tarafından yazılan kitapta elektrikli araçların tarihçesi hakkında bilgi verilmiş, enerji depolama birimleri hakkında kapsamlı inceleme yapılmış, batarya şarj sistemleri anlatılmış ve elektrikli araç tipleri anlatılarak günümüzdeki elektrikli araç konfigürasyonları hakkında bilgi verilmiştir [41].

Husain Iqbal tarafından yazılan kitapta elektrikli araçların tarihçesi verilmiştir. Elektrikli araçlarla içten yanmalı motorlara sahip araçların karşılaştırması yapılmıştır. Elektrikli ve hibrit araç türleri, bunların çekiş güç sistemleri, batarya türleri, batarya parametreleri, yakıt pili türleri ve özellikleri hakkında kapsamlı bilgi verilmiştir. Güç elektroniği anahtarlama elemanları hakkında bilgi verilerek izoleli ve izolesiz DC-DC dönüştürücü tipleri incelenmiştir. AC motor sürücülerin kontrolünde darbe genişlik modülasyonu ve histerezis akım kontrol yöntemleri verilmiştir [42].

Richard F. Post tarafından yapılan çalışmada geçmişten günümüze volanlardaki gelişmeler hakkında bilgi verilmiş ve volan teknolojindeki gelişmeler sayesinde enerji depolama birimleri arasında volanın geldiği nokta anlatılmıştır. Enerji yoğunluğu ve enerji verimliliği olarak volanların tüm enerji depolama birimlerinde daha yüksek değerlere sahip olduğu belirtilmiştir [43].

B. Ismail ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada tek fazlı darbe genişlik modülasyonu kullanan mikrodenetleyici tabanlı evirici geliştirilmiştir. Önce sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) anahtarlama tekniği gösterilmiş sonra kontrol devresi ve güç devresine değinilmiştir. 200 W gücünde uygulama geliştirilerek deneysel sonuçlar verilmiştir [44].

Marian P. Kazmierkowski ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada üç fazlı sistemler için mevcut gerilim kontrol yöntemlerine değinilmiş (oransal integral, geri beslemeli kontrol ve akım kontrol yöntemleri, histerezis ve delta modülasyon, sinir ağırları ve bulanık temelli kontrolör) ve karşılaştırılmıştır [45].

Ş. Demirbaş ve Hikmet Fidanboy tarafından yapılan çalışmada değişik akım kontrol tekniklerinin gerilim kaynaklı eviricilerde akım harmonikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu ve histerezis band akım kontrol yöntemi benzetimleri gerçekleştirilmiştir [46].

D. Sbordone ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada elektrikli araç şarj sistemleri üzerinde detaylı bilgi verilmiş ve Li-polimer bataryaya sahip elektrikli araç için, enerji depolama sistemi ile birlikte hızlı şarj sistemi istasyonu prototip uygulaması yapılmıştır [47].

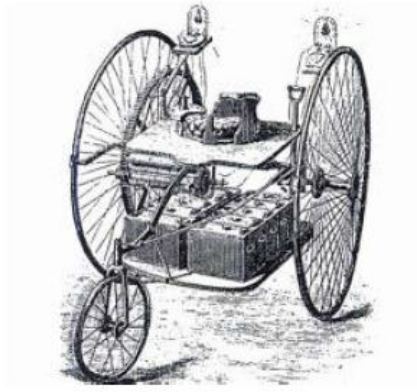
Mohsen Ahmadi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrikli araç şarj sistemleri incelenmiştir. Hızlı şarj sistemlerinin sahip olması gereken özellikler belirtilerek literatürdeki birkaç şarj istasyonu yapısı hakkında bilgi verilerek bunların hızlı şarj sistemi olarak kullanılmasının uygunluğuna değinilmiştir [48].





## 2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araçlar üzerine ilk çalışmalar içten yanmalı motorlara sahip araçların öncesine 19. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. İlk üretilen elektrikli araç şarj edilemeyen bataryalarla üretilmiş daha sonra geliştirilen şarj edilebilir bataryalar elektrikli araçlarla ilgili çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 2.1’de 1882 yılında İngiltere’de Ayrton ve John Perry tarafından yapılmış ilk elektrikli araç örneklerinden biri gösterilmiştir [14].



**Şekil 2.1 :** Ayrton Perry elektrikli aracı.

Araçta batarya olarak kurşun asit aküler kullanılmıştır. Yaklaşık 20 km menzili olan saatteki maksimum hızı 14 km bir araçtır [26, 33].

### 2.1 Günümüze Kadar Elektrikli Araçlar

Günümüze kadar elektrikli araçların tarihsel gelişimi aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1800 Volta primer hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1821 Faraday elektrik motorunun temel prensibini ortaya koydu.
- 1834 Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı.
- 1859 Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1869 Gramme 1 beygir gücü (BG)’ den daha fazla ilk DA elektrik motorunu yaptı.
- 1881 Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli aracı yaptı.

- 1885 Benz ilk İYM’li aracın uygulamasını gerçekleştirdi.
- 1887–98 Avrupa’da ve Amerika’da kullanılan EA’ların menzili geliştirildi.
- 1899 Jenatzy 105,9 km/saat ile dünya hız rekorunu kır ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur.
- 1900 Eşit sayıdaki buharlı, elektrikli ve benzinli araçlar birbirleriyle yarıştı.
- 1900–12 EA’ların altın dönemi yaşandı.
- 1921–60 Benzin motorlu araçlar tamamen yaygınlaşmaya EA’lar ise yok olmaya başladı.
- 1960–90 EA’lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başladı.
- 1990 Yeni batarya teknolojileri ile artan sayıda elektrikli araç görülmeye başladı.

1990’lü yıllardan günümüze kadar araç sektöründe birçok elektrikli araç modeli geliştirmiştir. Bunlardan bazıları özellikle hibrit modelleri seri üretime geçmiştir.

Önümüzdeki yıllarda araç sektöründe Elektrikli Araçların piyasaya daha kuvvetli girmesine ve yaygınlaşmasına imkân sağlayacak etkenleri aşağıdaki gibidir.

- Ulaşım maliyetlerinin azaltılması için yapılacak çalışmalar
- Fosil yakıtların kullanımının azaltılması yapılacak çalışmalar
- Havanın ulaşım sektörü nedeniyle daha az kirletilmesi zerine yapılan çalışmalar,
- Sera gazı oluşumunun azaltılması üzerine yapılan çalışmalar [14, 15, 27, 42].

## 2.2 Elektrikli Araç Tipleri

Kullanımda ve/veya geliştirme aşamasında, geleneksel içten yanmalı motorlara sahip araçların yanında enerji verimliliğinin artırılması, yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi, çevreye salınan zararlı gazların azaltılması, petrol bazlı akaryakıtlara olan bağımlılığın azaltılması için ve benzeri amaçlarla üretilen çekiş ve enerji kaynağı olarak farklı teknolojiler kullanan elektrikli araç tipleri vardır.

Bunlar sadece elektrik motoru kullanan ve şebekeden şarj edilebilen bataryalara sahip elektrikli araçlar, elektrikli motorun yanında içten yanmalı motora sahip hibrit araçlar ve enerji kaynağı olarak yakıt pili kullanan yakıt pilli araçlardır. Çizelge 2.1’ de gösterildiği gibi bu araçlar çekiş gücü kaynağı, enerji depolama birimi, enerji kaynağı gibi özellikleri bakımından farklılıklar göstermektedir [14, 16].

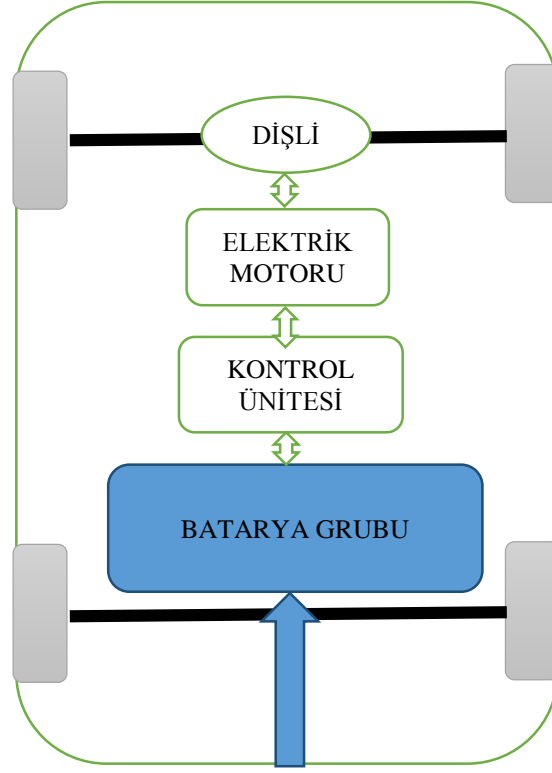
**Çizelge 2.1 : Elektrikli araçların, hibrit araçların ve yakıt pilli araçların karakteristik yapıları.**

	Elektrikli Araçlar	Hibrit E.A.	• Yakıt Pili E.A.
Çekiş	• Elektrik motoru	• Elektrik Motoru • İçten yanmalı motor	• Elektrik motoru
Enerji depolama birimleri	• Batarya • Süperkapasitörler	• Batarya • Süperkapasitör	• Yakıt pilleri • Batarya • Süperkapasitör
Enerji kaynağı altyapısı	• Şebeke elektriği	• Akaryakıt istasyonları • Şebeke Eleketriği(Plug-in Hibrit)	• Hidrojen • Hidrojen üretimi ve ulaşım altyapısı,
Tipik özellikleri	• Sıfır emisyon • Yüksek enerji verimliliği • Petrol bazlı yakıtlardan bağımsız olma • Yüksek imalat maliyeti • Ticari olarak üretilmekte • Kısıtlı sürüş menzili	• Çok düşük emisyon • İçten yanmalı motorlara sahip araçlara göre yüksek yakıt tasarrufu • Uzun sürüş menzili • Ham yakıtlara bağımlılık • Yüksek maliyet • Bataryaya, motorun çalışma gücüne ve sürüş tekniğine bağlı olarak yakıt ekonomisinde yükselme ve emisyonda düşme • Ticari olarak üretilmekte	• Sıfır emisyon, veya çok düşük emisyon • Yüksek enerji verimliliği • Ham yakıtlardan bağımsızlık • Sürüş menzili • Yüksek maliyet • Geliştirme aşamasında
Temel sorunları	• Batarya teknolojisi ve yönetimi • Şarj kurulumları • Fiyat • Düşük sürüş menzili	• Çoklu enerji kaynaklarının kontrolü, uyumu ve yönetimi • Batarya boyutları ve yönetimi	• Yakıt pili maliyeti, ömür ve güvenilirlik • Hidrojen altyapısı

### 2.2.1 Elektrikli araçlar

Elektrikli araçlarda tahrik için sadece elektrik motoru bulunur, içten yanmalı motor yoktur. Elektrikli araçlar sadece dışarıdan şarj edilebilen batarya gruplarından enerjisini sağlar. Elektromekanik ve kimyasal enerji depolama sistemlerinin henüz teknolojik gelişiminin yeterli seviyede olmamasından dolayı elektrikli araçlar ulaşım sektöründe kendisine yeteri kadar yer bulamamıştır. Elektrikli araçların tercih edilmemesinin ana nedenlerinden biri maksimum menzildir. Yakıt deposuna göre ortalama bir akaryakıtlı araç 1000 km yol gidebilirken elektrikli araçlar ortalama 180 km yol alabilmektedir.

Elektrikli araçlar batarya grubu, kontrol ünitesi, elektrik motoru ve dişli kutusundan oluşmaktadır. Elektrikli araçlarda bataryalardan elde edilen enerji kontrol ünitesi tarafından verilecek akımın miktarı ve yönü kontrol edilerek elektrik motoruna verilir. Elektrik motoru tarafından mekanik enerjiye dönüştürülen elektrik enerjisi dişli sistemine aktarılır ve dişli sisteminin tekerlikleri döndürmesi ile araç hareket eder. Elektrikli araçların temel diyagramı Şekil 2.2’de verilmiştir.



**Şekil 2.2 :** Elektrikli araç temel diyagramı.

Elektrikli Araçların bazı özellikleri aşağıda listelenmiştir.

- Gelişmiş güç elektroniği teknolojisine, verimli batarya şarj sistemine sahiptirler.
- Atık gaz ve sera gazı salınımı yoktur.
- Enerji kaynağı olarak batarya grupları, volanlar veya süperkapasitörler kullanılmaktadır.
- Üretim, bakım ve şarj gibi sektörlerde altyapı, eğitim ve standardizasyon sağlanması gerekli olacaktır.
- Güneş, rüzgar, hidroelektrik vb farklı kaynaklarından elektrik üretilbildiğinden petrol ürünü akaryakıtlara olan bağımlılık azaltılmış olacaktır.
- Gürültü seviyeleri akaryakıt kullanan araçlara nazaran çok daha azdır.

Elektrikli araçların ulaşım sektöründe daha geniş bir pazara sahip olmaları için öncelikle maliyetinin azaltılması gerekmektedir. Günden güne araştırmacıların bu alanda yaptığı çalışmalarla birlikte batarya teknolojisi gelişmekte ve güç elektroniği devrelerinin verimi artmaktadır. Böylece elektrikli araç maliyetlerinin otomobil üreticileri tarafından yapılan yeni tasarımlarla birlikte azalacağı düşünülmektedir. Elektrikli araçlara talebi arttırmanın bir diğer yolu da devlet destekli teşviklerin artırılmasıdır. Devletler akaryakıtlı araçların havayı kirletmesi ve özellikle sera etkisiyle küresel ısınmaya katkıda bulunmasından dolayı elektrikli araçların

kullanımının artması için yatırımcılara çeşitli teşvikler verebilirler. Teknoloji geliştikçe elektrikli araç maliyetin düşeceği, maliyet düştükçe elektrikli araçlara olan talebin artacağı ve talep arttıkça seri üretimi artan elektrikli araçların maliyetin düşeceği açıktır.

#### **2.2.1.1 Elektrikli araçların avantajları**

Elektrikli araçlarda sadece elektrik motoru vardır ve zararlı gazlar açığa çıkaran içten yanmalı motor yoktur. Bundan dolayı sıfır emisyonlu araç olarak tanımlanırlar. Ayrıca elektrikli araçlar içten yanmalı araçlara kıyasla oldukça sessiz çalışmaktadır. Faydalı frenleme sayesinde fren yaparken kaybolan enerji tekrar geri kazanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bataryalar şarj edilmektedir. Böylece hem enerjiden tasarruf edilir hem de fren sistemi daha az kullanılarak ömrü uzatılmış olur. Elektrikli araçların içten yanmalı araçlara kıyasla bakım ihtiyacı ve masrafı oldukça düşüktür. Ayrıca en önemli husus elektrikli araçların yakıt maliyeti içten yanmalı araçlara göre oldukça az olmasıdır.

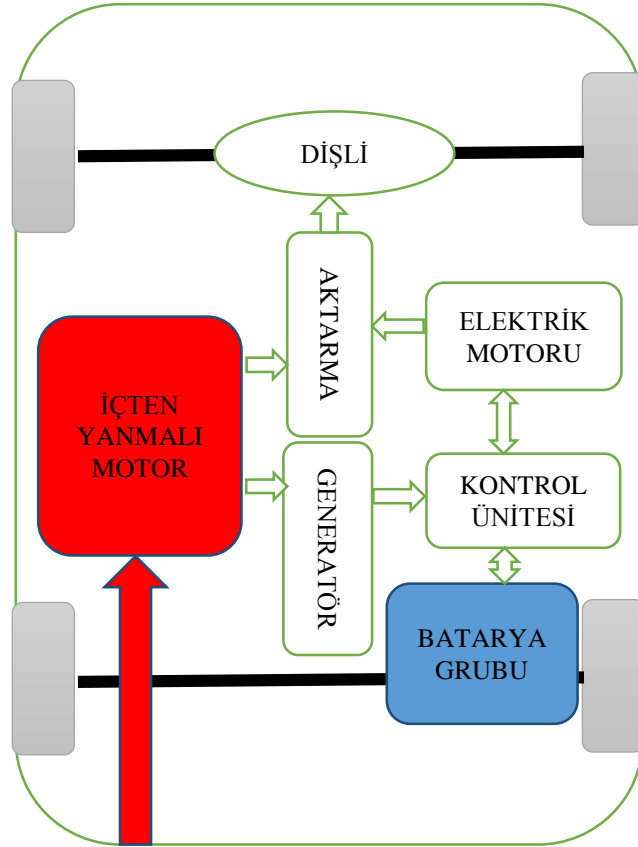
#### **2.2.1.2 Elektrikli araçların dezavantajları**

Elektrikli araçların üretim maliyetleri içten yanmalı motora sahip araçlara nazaran daha yüksektir. Bundan dolayı araç piyasasında yeterli pazar payına sahip olamamıştır. Elektrikli araçların ilk üretim maliyetinin önemli parçalarından biri olan bataryaların ömürlerinin sadece 3-5 yıl olmasından dolayı bataryalar sadece üretim maliyetini değil daha sonraki kullanım maliyetlerini önemli derecede artıran bir kalemdir.

İçten yanmalı motora sahip bir araç yakıt deposunun büyüklüğüne ve yakıt tüketimine bağlı olarak ortalama 1000 km maksimum menzile sahip olabilirken elektrikli araçlar ortalama 180 km maksimum menzile sahiptirler. Batarya teknolojisinin elektrikli araçların ihtiyacına göz önüne alındığında yeteri kadar gelişmemişlerdir ve istenilen menzile sahip bir elektrikli aracın sahip olması gereken enerjiyi depolayabilmek için yüksek miktarda bataryayı araca yerleştirmek gerekmektedir. Bu da çok daha büyük yük ve alan demektir. Ayrıca bataryaların şarj süresinin içten yanmalı motorlara sahip araçların akaryakıt alım süresine nazaran çok daha uzun olması elektrikli araçlar için önemli bir dezavantajdır. Batarya teknolojinin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarla birlikte bu dezavantajlar önemli ölçüde giderilebilecektir [14, 15, 28, 32, 42].

## 2.2.2 Hibrit araçlar

İçten yanmalı motora sahip bir geleneksel araca batarya grubu ve elektrik motorunun eklenmesi ve bu iki motordan elden edilen gücün aracın hareket ettirilmesinde birlikte kullanıldığı bir yapıya hibrit araç denir. Hibrit araçlarda amaç eklenen elektrik motorunun kullanılması ile verimin yükseltilmesidir. Elektrikli araçlardan herhangi bir zararlı gaz salınımı olmadığından çevreye verilen toplam zararlı gazlarda önemli ölçüde azalma yaşanmaktadır.



Şekil 2.3 : Hibrit araç blok diyagramı.

Hibrit araçlarda içten yanmalı motor çalıştığında elektrik motoru jeneratör olarak çalışır ve batarya gruplarını şarj eder. Ayrıca elektrik motoru yine frenleme sırasında da jeneratör olarak çalışır ve frenlemedeki kaybolan enerjinin tekrar elde edilerek bataryalarda depolanmasını sağlar. Elektrik motorunun jeneratör olarak çalışmasıyla yapılan faydalı frenleme ve içten yanmalı motorun batarya gruplarını şarj etmesi sayesinde hibrit araçlardaki batarya gruplarının boyutları elektrikli araçlarda bulunan batarya gruplarının boyutlarına göre daha küçük olmaktadır. Şekil 2.3'te hibrit elektrikli araç blok diyagramı verilmiştir.

### **2.2.2.1 Hibrit elektrikli araçların avantajları**

Elektrikli araçlarda tahrik için kullanılan elektrik motorunun yanına içten yanmalı motor eklenerek aracın menzili ve gücü artırılarak hibrit araçlar elde edilmiştir. Elektrikli araçların dezavantajlarından olan şarj edilme süresinin uzunluğu ve kısa menzil problemleri hibrit araçlarda önemli ölçüde giderilmiştir. İçten yanmalı motor ve elektrik motoru bataryalarla değişik yöntemlerle birleştirilerek farklı hibrit araç tipleri tasarlanmıştır. Hibrit araçlardaki içten yanmalı motorlar geleneksel araçlardaki gibi maksimum yükü değil ortalama yükü taşıyacak özelliklerde tasarlandıklarından daha küçüktür ve daha çok verimlidir. Hibrit elektrikli araçlar sadece içten yanmalı motora sahip geleneksel araçlara kıyasla çok daha tasarrufludur ve zararlı gazlar açığa çıkmadıkları için çok daha çevrecidirler.

### **2.2.2.2 Hibrit elektrikli araçların dezavantajları**

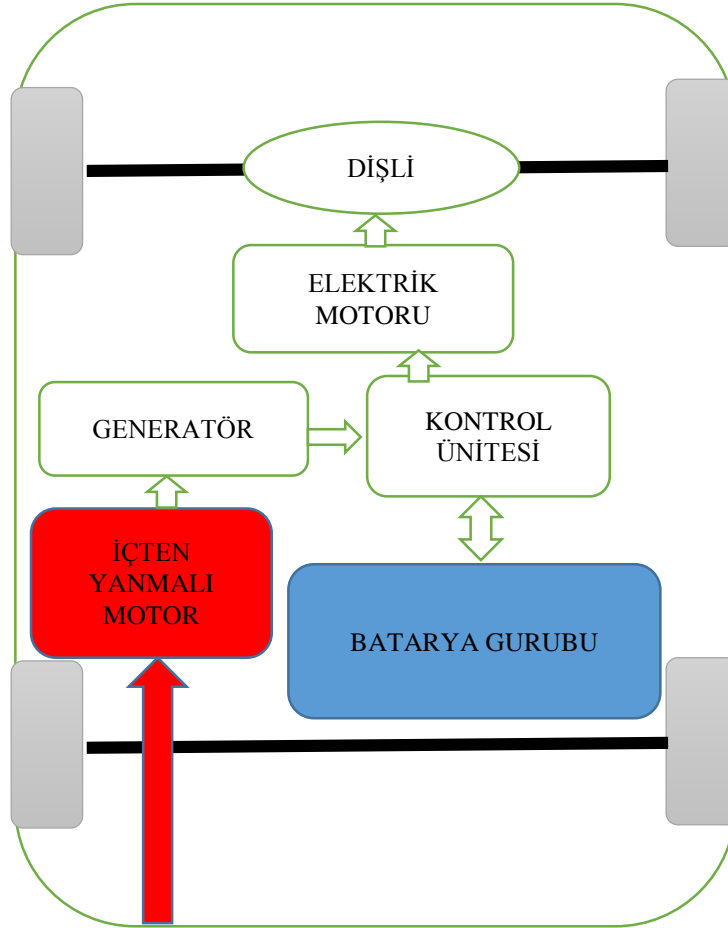
Bu sistemde içten yanmalı motor ve elektrik motoru olmak üzere iki farklı motor bulunmaktadır. İçten yanmalı motordan ve elektrik motorundan gelen gücün çekiş tekerlerine iletilebilmesi için ağır ve karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç duyulur ve bundan dolayı üretim maliyeti yüksektir. Hibrit araçlar elektrikli araçlara nazaran sessiz çalışma modu sağlamamaktadır. Hibrit araçlar seri hibrit araçlar, paralel hibrit araçlar ve seri-paralel hibrit araçlar olmak üzere üç farklı yapıda tasarlanabilmektedir [16, 28, 32, 42].

### **2.2.2.3 Seri hibrit araçlar**

Seri hibrit araç sisteminde içten yanmalı motorun görevi sadece mekanik olarak bağlı olduğu generatör üzerinden mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek batarya grubunu şarj etmektir. İçten yanmalı motorun tahrik sistemiyle herhangi bir mekanik bağlantısı yoktur.

İçten yanmalı motor sadece batarya grubunun şarj edilmesinde (bataryalar ayrıca faydalı frenleme ile de şarj edilir) kullanıldığından dolayı sabit hızda çalışmaktadır. Anlık yüklerde, hızlanmalarda, kalkışlarda aşırı yük binmemesinden dolayı devamlı en verimli durumda çalışır ve böylece yakıt tasarrufu sağlar. Bundan dolayı içten yanmalı motorlara sahip geleneksel araçlardaki gibi büyük boyutlu ve yüksek güçlü bir içten yanmalı motora gerek yoktur. Seri hibrit araçlarda tahrik gücü sadece elektrik motoru tarafından sağlanır. Bataryalarda depo edilen elektrik enerjisi ise elektrik

motorun da mekanik enerjiye dönüştürülerek tahrik tekerlerine gerekli olan güç sağlanır. Seri hibrit araçlar genelde dizel temelli tren ve gemi benzeri özel uygulamalar için tercih edilmektedir. Şekil 2.4'te seri hibrit elektrikli araç diyagramı gösterilmiştir [16, 31, 42].

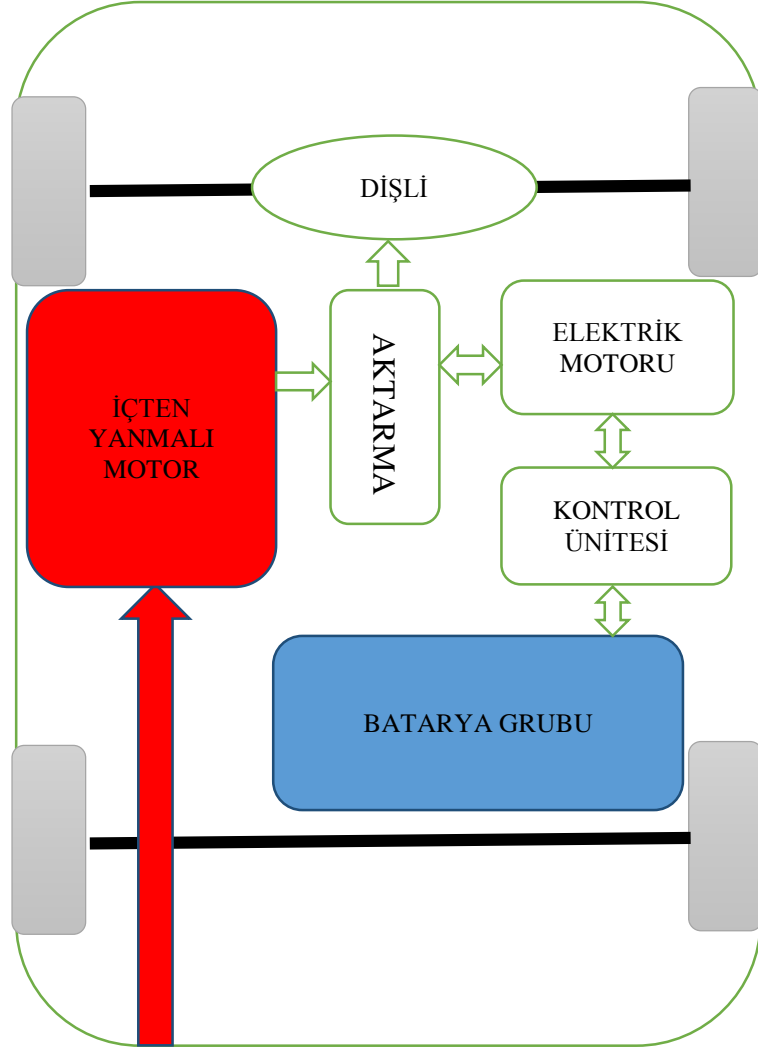


Şekil 2.4 : Seri hibrit elektrikli araç diyagramı.

#### 2.2.2.4 Paralel hibrit araçlar

Paralel hibrit araçların sisteminde tahrik için gerekli olan güç, hem içten yanmalı motordan hem de elektrik motorundan sağlanır dolayısıyla her iki motorunda tahrik sistemi ile bağlantısı vardır. Paralel hibrit araçlarda batarya grubu, aracın tahrik sistemine içten yanmalı motor tarafından mekanik enerji aktarıldığı anda ve frenleme anında faydalı frenleme kullanılarak elektrik motorunun generatör olarak çalışmasıyla şarj edilir. Ayrıca bazı uygulamalarda batarya grubunun dışarıdan şarj edilmesi de uygulanmıştır. Şekil 2.5'te paralel hibrit elektrikli araç diyagramı verilmiştir.



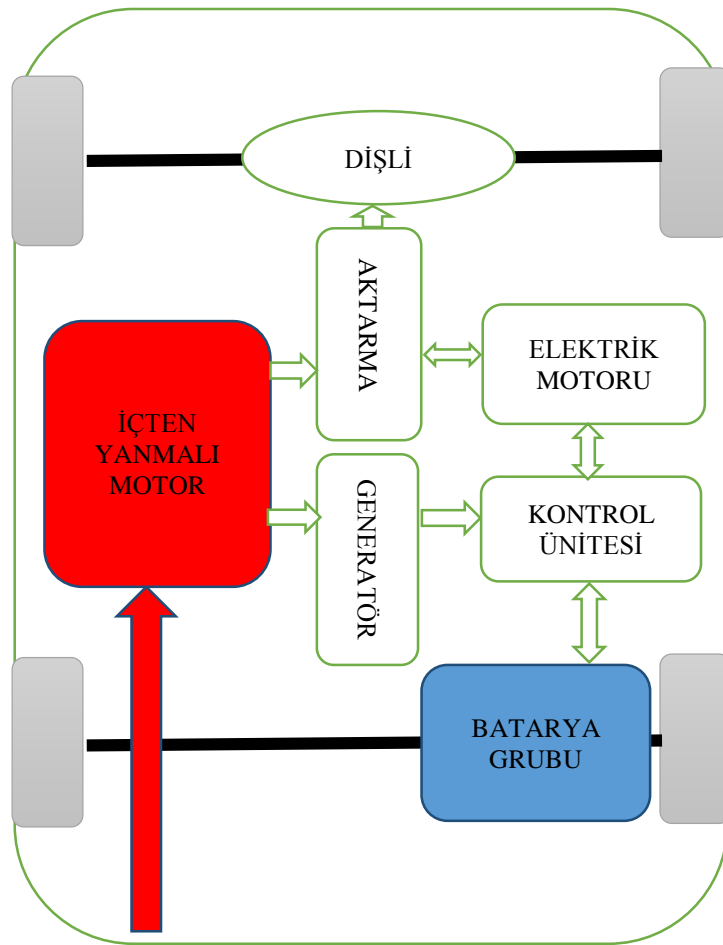


**Şekil 2.5 :** Paralel hibrit elektrikli araç diyagramı.

Paralel hibrit araçların günümüzde en yaygın olan türleri şehir içinde veya şehir dışında yakıt tasarrufunu daha etkin elde edebilmek ve çevreye verilen zararlı gazları daha aza indirebilmek için tasarlanan farklı çalışma seçeneklerine sahip olan modellerdir. Şehir içinde anlık ani yüklerin fazla olmasından dolayı yakıt tüketimi ve beraberinde gaz salınımı artmaktadır. Ayrıca kısa mesafeli yolculukların daha çok yapılmasından dolayı bu araçlarda daha verimli olan elektrik motorlu tahrik sistemi kullanılmaktadır. Şehirlerarası uzun mesafeli yolculuklarda araçlar genelde sabit hızla yol alırlar ve bunun sonucunda anlık ani yükler az olur ve böylece enerji tüketiminde ve salınan zararlı gaz miktarında önemli derecede azalma olur. Bundan dolayı, paralel hibrit araçlarda şehir dışında içten yanmalı motor ile elektrik motorlu tahrik sisteminde beraber kullanılır [31, 42].

### 2.2.2.5 Seri-Paralel hibrit araçlar

Bir başka hibrit araç çalışma modu ise seri-paralel hibrit araç modudur. Bu tip hibrit araçlar seri ve paralel çalışma modlarının birleşiminden meydana gelmektedir. İçten yanmalı motor hem tahrik sistemine hem de batarya grubunu şarj etmek için bir jeneratöre mekanik olarak bağlıdır. Şekil 2.6'da seri-paralel hibrit elektrikli araç diyagramı verilmiştir.

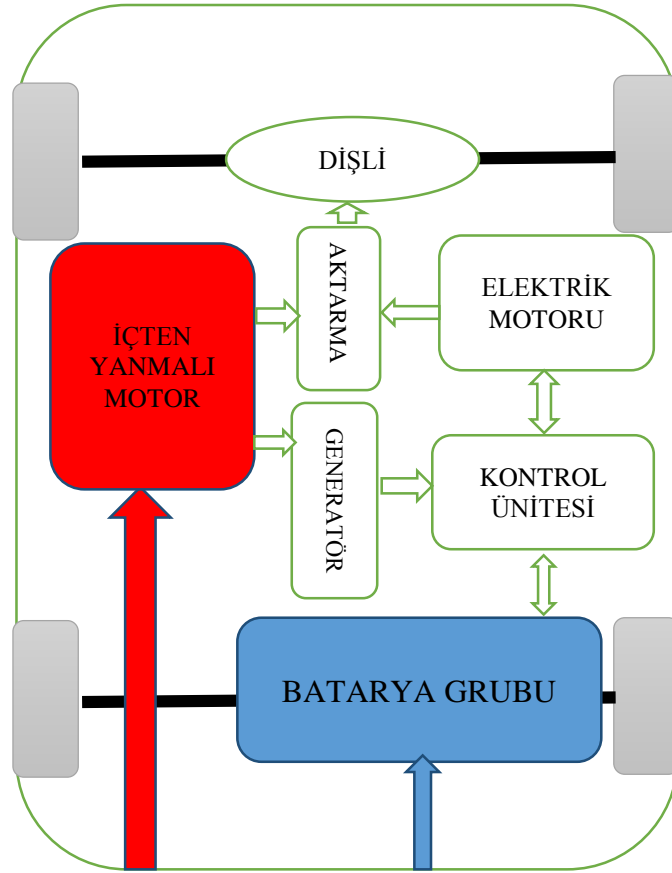


Şekil 2.6 : Seri-paralel hibrit elektrikli araç diyagramı.

Genellikle daha çok güç gerektiren kalkış gibi durumlarda kullanılan içten yanmalı motordan sağlanan enerji tahrik sisteminde kullanılarak araç hareketlendirilir ve batarya beslemesine ihtiyaç olmayan durumlarda motora bağlı jeneratörün ürettiği enerji ile batarya şarj edilir. Seri-paralel hibrit araçlar kontrol yöntemi ve mekanik yapı olarak diğer hibrit modellerden daha karmaşıktır ve bundan dolayı diğer hibrit türlerine nazaran daha yüksek maliyete sahiptir [31, 42].

### 2.2.2.6 Plug-in hibrit elektrikli araçlar

Hibrit araçlar elektrik motoru tarafından ve faydalı frenleme kullanılarak ve-veya içten yanmalı motora bağlı bir generatör tarafından şarj edilirken Plug-in hibrit araçlar ayrıca elektrikli araçlar gibi harici bir kaynaktan şarj edilebilir. Yüksek hızlarda ve-veya şarj edilmediğinde içten yanmalı motor devreye girer. Şekil 2.7’de plug-in hibrit elektrikli araç diyagramı verilmiştir. Plug-in hibrit elektrikli araçlarda hibrit araçlara nazaran batarya grubu daha büyüktür ve elektrik motoru daha güçlüdür [33].



Şekil 2.7 : Plug-in hibrit elektrikli araç diyagramı.

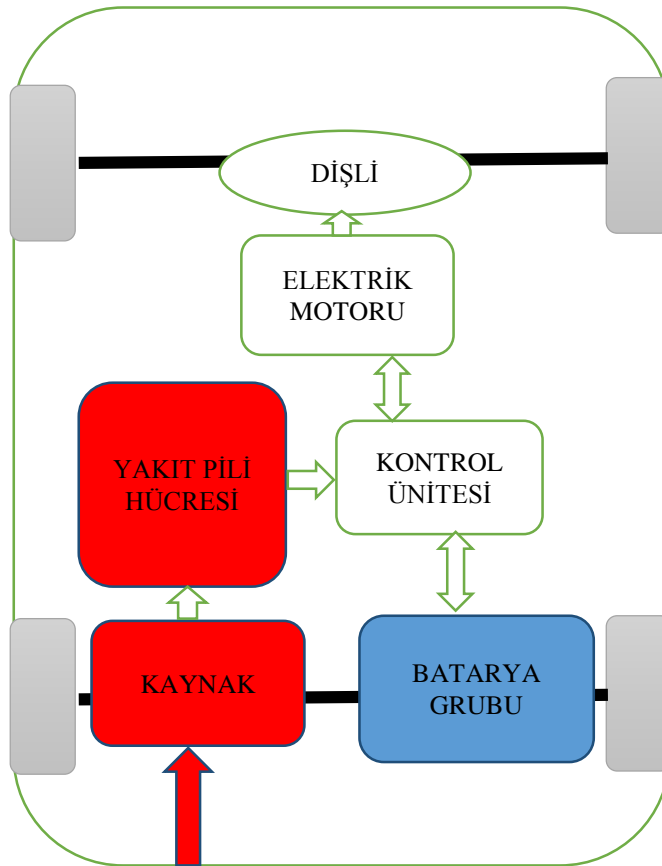
### 2.2.3 Yakıt pilli araçlar

Yakıt pilleri, geleneksel içten yanmalı motor teknolojisine kıyasla daha yüksek verimde ve çevreye daha az zararlı gaz salarak yakıtın kimyasal enerjiden elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerdir. Yakıt pilleri içten yanmalı motorlara nazaran daha sessiz çalışırlar ve modüler yapılarından dolayı daha uygulanabilirlerdir.

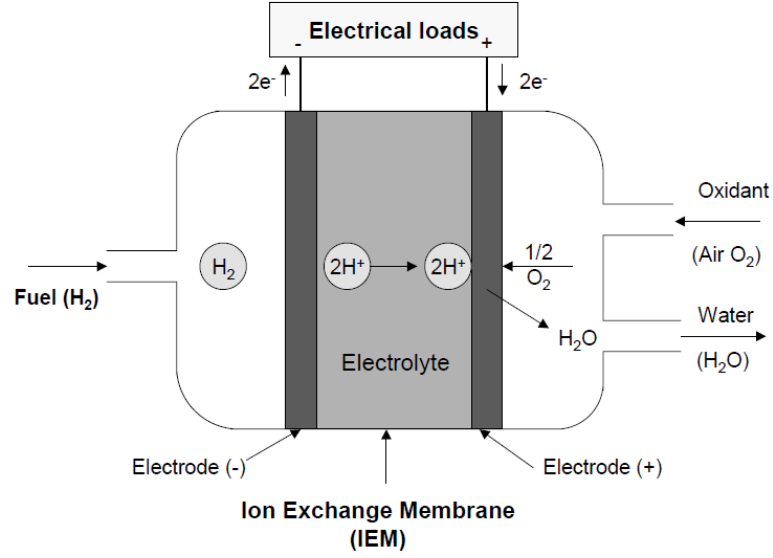
Yakıt pilli araçlar batarya grubunun şarj edilmesi için elektrikli araca yakıt pili eklenmesi ile elde edilir. Seri hibrit araçlardaki görevi sadece bataryaları şarj etmek olan içten

yanmalı motor ve generatör yerine direkt kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yakıt pili kullanılması mantığı ile yakıt pilli araç sistemi tasarlanmıştır.

Elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak sadece bataryaların kullanılması durumunda araç menzili bataryalarda depolanmış enerji miktarı ile sınırlıdır. Yakıt pillerinin kullanımı ile elektrikli araçların menzili önemli ölçüde artar ve elektrikli araçlar için en sınırlayıcı faktörlerden biri olan menzil probleminin giderilmesi sağlanır. Böylece elektrikli araçlar geleneksel araçlarla menzil açısından rekabet edebilir duruma gelecektir. Yakıt pili teknolojisi sayesinde zararlı gaz seviyesi düşük olan araçların üretimi çevre kirliliğine önemli bir çözüm sağlayacaktır. Bu nedenle dünyada yakıt pili teknolojisi üzerine yapılan araştırmalar yoğunluk kazanmıştır. Şekil 2.8’de yakıt pilli araçların temel prensip şeması verilmiştir. Yakıt pilli araçlarda yakıt hücresinin kaynağı olarak hidrojen, metanol vb gibi kaynaklar kullanılabilir. En yaygın yakıt hücresi kaynağı hidrojendir ve dışarıya atık olarak sadece su veya su buharı verir. Şekil 2.9’da temel hidrojen-oksijen yakıt pili şeması verilmiştir.



Şekil 2.8 : Yakıt pilli araçların temel prensip şeması.



**Şekil 2.9 :** Temel hidrojen-oksijen yakıt pili şeması.

### 2.2.3.1 Yakıt pilli araçların avantajları

Kimyasal enerjiden direkt elektrik enerjisi üretirken yakıt pilinde hareketli kısım olmadığından tamamen sessiz bir çalışma sağlamaktadır. Bu yönden seri hibrit araçlardan bile daha sessizdir. Normal ve kısmi yüklerde çalışma verimleri yüksektir. İçten yanmalı motora sahip geleneksel araçlara nazaran zararlı gaz değerlerinde ve bakım maliyetlerinde önemli ölçüde azalma olur. Yakıt pilinden kimyasal reaksiyon sonucu enerji üretilirken açığa çıkan atık sadece sudur veya su buharıdır, bundan dolayı ilerleyen yıllarda çevreci araç olarak kullanılması için üzerinde yapılan araştırmaların daha da fazla artacağı düşünülmektedir.

### 2.2.3.2 Yakıt pilli araçların dezavantajları

Yakıt pillerinin üretim, işletme ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi, elektriksel kararlılıklarının artırılması, yakıt sistemleri, hidrojen depolama sistemleri ve güvenlik teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir [5, 14, 28, 32].



### 3. GÜÇ ELEKTRONİĞİ VE ENERJİ DEPOLAMA BİRİMLERİ

#### 3.1 Güç Elektroniğinde Kullanılan Devre Elemanları

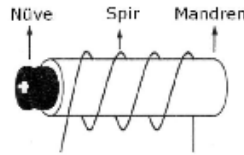
Elektrikli araçların kullanımındaki verimliliğin artmasındaki ana faktörlerden biri güç elektroniği alanındaki gelişmelerdir. Bataryaların şarj sistemlerinde AC-DC dönüşümünde, DC-DC dönüşümünde kullanılacak devre elemanları, elektrikli araçların verimli ve düzgün çalışması bakımından önem arz etmektedir.

Bir dönüştürücüde kullanılacak, bobin, kondansatör ve anahtarlama elemanlarının seçimi, dönüştürücünün çalışma gücüne, frekansına ve kullanım alanına göre değişiklik gösterebilmektedir [24].

##### 3.1.1 Bobin ve kondansatörler

###### 3.1.1.1 Bobin

Nüve adı verilen dayanıklı yalıtkan üzerine izoleli iletken tellerin sarmal bir şekilde yan yana ve üst üste sarılmasıyla elde edilen devre elemanına bobin denir. L harfi ile gösterilir ve birimi Henry (H)'dir.



Şekil 3.1 : Bobin.

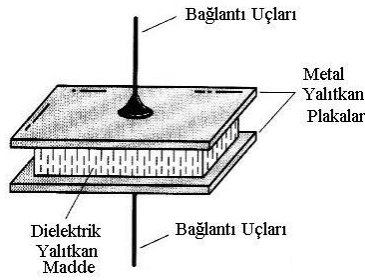
Bobinlerin üzerine sarıldığı çeşitli ölçüdeki parçalara mandren adı veilir. Mandren içerisindeki sabit veya hareketli parçaya nüve denir. Mandren ve nüve kullanılmadan yapılmış bobinler de mevcuttur. Bu tür bobinler hava nüveli bobinler olarak tanımlanır. Bobin telinin her bir sarımına spir denir. Şekil 3.1'de bobin ve bobinde kullanılan temel parçalar gösterilmiştir.

Bobinler DC ve AC gerilimlerde kullanılabilirler. DC gerilimde bobin üzerinde sabit bir manyetik alan meydana gelir ve bobin direnç gibi davranır. Bobinin DC'deki direnci, sarımda kullanılan telin direnci kadardır. Sabit ve ayarlı olmak üzere iki tip bobin vardır.

### 3.1.1.2 Kondansatör

İki iletken levha arasına di-elektrik adı verilen bir yalıtkan madde konulmasıyla elde edilen ve elektrik enerjisini depo edebilen devre elemanına kondansatör denir. C harfi ile gösterilir ve birimi farad (F)'dir. Şekil 3.2'de kondansatörün temel yapısı gösterilmiştir.

DC çalışmada kondansatör devrenin ilk çalışma anında kaynak gerilimine şarj olmaya başlar. Maksimum şarj işlemi gerçekleşene kadar kondansatör üzerinden geçici olarak ve gittikçe azalan kondansatör akımı akar. Bu akım kondansatör kaynak gerilimine şarj olduğunda durur.



Şekil 3.2 : Kondansatörün yapısı.

Kondansatör türleri kâğıtlı kondansatörler, plastik kondansatörler, seramik kondansatörler, mika kondansatörler, elektrolitik kondansatörler, alüminyum elektrolitik kondansatör, tantalyum elektrolitik kondansatör, SMD kondansatörler, ayarlanabilir (variable) kondansatörler, trimmer (düzeltici) kondansatörler olarak sıralanabilir.

### 3.1.2 Anahtarlama elemanları

Anahtarlama elemanlarının doğru seçimi ve kontrolü dönüştürücünün kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Anahtarlama, en temel şekilde yarı iletken olan devre elemanın iletim veya kesime gitmesi ile meydana gelmektedir.

Anahtarlama yapılırken meydana gelen kayıplar, iletme veya kesime girme sırasında akım ve gerilimin azalıp artması sonucunda meydana gelen güç kaybından oluşmaktadır ve anahtarlama frekansı ile doğru orantılı olarak değişir. Kayıp değerine bağlı olarak yarı iletkenlerin montaj edildiği soğutucu boyutu da değişmektedir. Yine güç kaybı değeri yarı iletken seçiminde de etkili olmaktadır. Anahtarlama kaybının frekans artışı ile birlikte artmasının yanında, endüktans ile kapasitans değerleri orantılı olarak düşer ve güç yoğunluğu artar.

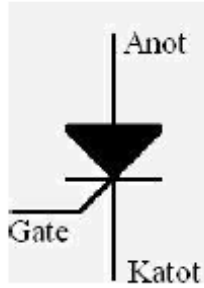


Anahtarlama elemanlarının seçimini yapılırken, dönüştürücünün gücü, anahtarlama frekansı, soğutma, hacim gibi parametreler dikkate alınır. Devrelerde kullanılan anahtarlama elemanları aşağıda verilmiştir [24, 42].

### 3.1.2.1 Diyot

Diyot, yarı iletken 4 katmanlı 3 ekleme sahip, 2 ana ve 1 kontrol ucu bulunan, kontrollü ve tek yönlü bir güç elemanıdır. Diyot büyük güç devrelerinde kullanılır. Dezavantajı anahtarlama hızları düşük olmasıdır. Şekil 3.3'te Diyot simgesi ve giriş çıkış ve kontrol ucu gösterilmiştir.

Diyot, tetikleme (gate) akımıyla daha büyük akımların kontrolünü yapabilen yarı iletken sessiz bir anahtarlama devre elemanıdır. Diyotun iletme geçirilebilmesi için için gate (+) tetikleme gerilimi verilmelidir. DC gerilimde, diyot iletken olduktan sonra tetikleme geriliminin kesilmesi durumunda bile iletimde çalışmaya devam eder fakat AC gerilimde tetikleme gerilimi kesildiğinde kesime geçer.

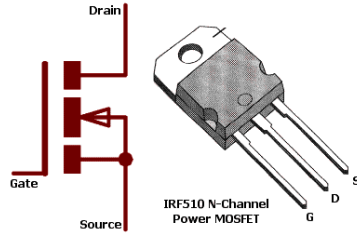


Şekil 3.3 : Diyot simgesi.

Diyot kesimdeyken anot–katot arası direnci çok yüksektir ve Diyottan akım geçmez. Gate ucuna tetikleme gerilimi uygulandığında Diyotun iletme geçmesiyle anot–katot arası direnci çok düşer ve Diyottan akım geçmeye başlar.

### 3.1.2.2 Mosfet

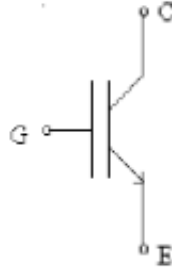
MOSFET (Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör) yüksek frekans, düşük ve orta güç uygulamalarda tercih edilen bir yarı iletken anahtarlama elemanıdır. Kesimde olan ve uçlarında pozitif gerilim bulunan bir MOSFET'in tetikleme kapısına gerilimin uygulaması ile iletme geçer ve kapı geriliminin kesilmesi ile kesime girer. Şekil 3.4'te MOSFET simgesi verilmiştir.



Şekil 3.4 : MOSFET simgesi ve görünümü.

### 3.1.2.3 IGBT

IGBT (İzole Kapılı Bipolar Transistörler) yüksek gerilim, yüksek akım ve düşük anahtarlama frekanslarında kullanılan bir yarı iletken anahtarlama elemanıdır. İletim kayıpları MOSFET'e göre daha düşüktür. Şekil 3.5'te IGBT simgesi verilmiştir.



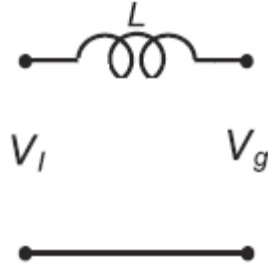
Şekil 3.5 : IGBT simgesi.

## 3.2 Pasif Filtreler

Evirici çıkışında üretilen gerilimde anahtarlama dolaylı harmonikler meydana gelmektedir. Üretilen enerji yüke veya şebekeye verilmesinden önce pasif filtreler yardımı ile filtrelenmeli ve harmonik miktarı izin verilen değerlere düşürülmelidir. Kondansatör ve bobin kullanılarak elde edilen pasif filtreler L, LC ve LCL filtre olarak adlandırılmaktadır.

### 3.2.1 L tipi filtre

Eviricilerin çıkışında yaygın olarak kullanılan bir filtreleme yöntemi L tipi pasif filtrelemedir. Şekil 3.6'da L tipi pasif filtre devre şeması verilmiştir. L tipi filtrede filtrelemenin yeterli olabilmesi için bobin değerinin yüksek olması veya eviricinin yüksek anahtarlama frekansında çalışması gerekmektedir. Anahtarlama frekansının 20 Khz den daha fazla arttırıldığı durumlarda filtre daha etkili çalışmaktadır [38].



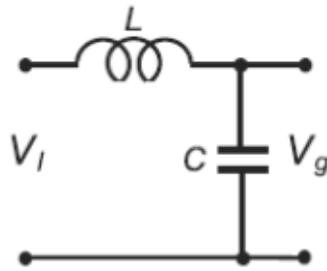
Şekil 3.6 : L tipi pasif filtre.

Filtrenin transfer fonksiyonu

$$G_f(s) = \frac{1}{L_s} \quad (3.1)$$

### 3.2.2 LC tipi filtre

L tipi filtrenin anahtarlama harmoniklerini filtrelemedeki yetersizliğinden dolayı L tipi pasif filtre devresine bir kondansatör paralel bağlanarak anahtarlama harmoniklerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu paralel bağlı kondansatör anahtarlama frekansında düşük direnç fakat çıkış frekansında yüksek direnç gösterecek bir değerde seçilmelidir. Şekil 3.7’de LC tipi pasif filtrenin devre şeması görülmektedir.



Şekil 3.7 : LC tipi pasif filtre.

Devrenin rezonans frekansı,

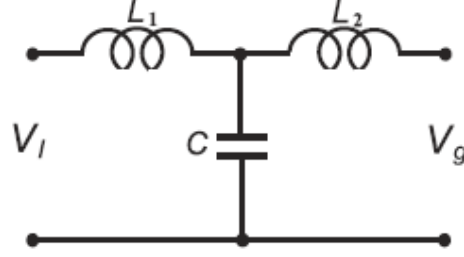
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.2)$$

LC pasif filtre devreleri evirici çıkışının pasif yük olduğu yerlerde kullanılmaktadır. LC pasif filtre devreleri, C üzerindeki yük empedansının anahtarlama frekansında ve üzerinde C ye kıyasla yüksek olduğu uygulamalarda kullanılmak için uygundur. Eklenen paralel kondansatörden dolayı LC pasif filtre devrelerinin maliyeti ve reaktif enerji tüketimi L pasif filtrelerden daha fazladır.

LC pasif filtrelerin dezavantajı ise, şebeke direncinin anahtarlama frekansında önemsiz olduğu yoğun şebeke ağlarına bağlandığında etkisiz olmasıdır [38, 39].

### 3.2.3 LCL tipi filtre

Evirici çıkışlarında yaygın olarak kullanılan diğer bir filtreleme yöntemi LCL pasif filtre tipidir. LCL tipi pasif filtre, evirici anahtarlama harmoniklerinde, L tipi ve LC tipi pasif filtrelerden daha iyi filtreleme yapmaktadır. Şekil 3.8’de LCL tipi pasif filtre devresi verilmiştir.



Şekil 3.8 : LCL tipi pasif filtre.

LCL tipi pasif filtrenin rezonans frekansı

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C}} \quad (3.3)$$

LCL filtre, endüktans değerinin L tipi filtrenin endüktans değerinden daha düşük olmasına rağmen harmonikleri daha etkin bir şekilde azaltmaktadır. Yüksek güç gerektiren düşük anahtarlama frekanslı uygulamalarda LCL tipi pasif filtre daha iyi filtreleme özelliğine sahip olduğundan tercih edilmektedir. Öte taraftan LCL pasif filtreler rezonanstan dolayı dinamik cevapta ve kararlı halde akım bozulmalarına sebep olabilir [38].

### 3.3 Enerji Depolama Birimleri

Elektrikli araçlarda enerji depolama birimi olarak Li-on, NiMH bataryaları ve süper kapasitörler kullanılmaktadır. Süperkapasitörler batarya sistemlerine göre daha uzun ömürlü olup kısa sürede yüksek enerji depolayabilirler. Elektrikli araçlarda verimliliği artırmak ve bataryaları darbeleri akımlara karşı korumak için Li-ion ve süperkapasitör birlikte de kullanılabilir. Çizelge 3.1’de elektrikli araçlarda kullanılan batarya tiplerine ait karşılaştırma verilmiştir.

**Çizelge 3.1** : Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların karşılaştırılması.

Batarya türü	Özgül-enerji (Wh/kg)	Enerji yoğunluğu (Wh/l)	Özgül-güç (W/Kg)	Şarj/deşarj ömrü (Cycle)	Maliyet (\$/kWh)
VLRA(K-A)	30-45	60-90	200-300	400-600	150
Ni-Cd	40-60	80-110	150-350	600-1200	300
Ni-MH	60-70	130-170	150-300	600-1200	200-350
Li-Polimer	155	220	315	600	-----
Li-İyon	90-130	140-200	350-450	800-1200	> 200

Batarya hücrelerinin paralel ya da seri olarak bağlanıp bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için batarya yönetim birimine gereksinim duyulmaktadır. Batarya yönetim sisteminin sahip olduğu özellikler ve sağladığı bilgiler aşağıda verilmiştir;

- Bataryanın güvenliğini akım, gerilim ve sıcaklık bilgilerine göre sağlamak.
- SOC (State Of Charge) oranını, Batarya SOH (state of health) ve SOF (state of function) bilgileri hesaplamak.
- Tehlike anında hata ve uyarı mesajları vermek.
- Bataryanın güvenliğini artırmak için watchdog birimi kurulmalıdır.
- Batarya sistemi devreye girmeden önce besleme geriliminin yeterliliğini, içerisinde bulunan kontaktörlerin, sensörlerin ve sigortanın sağlamlığını kontrol etmelidir.
- Bataryaların çarpma, kısa devre ve yangın gibi test planlarının çıkarılması gerekmektedir.

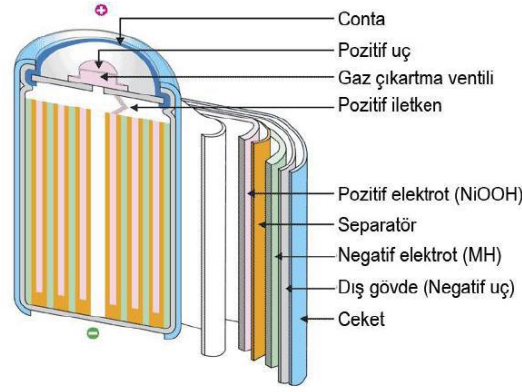
Enerji depolama birimlerinin, elektrikli araçlarda istenilen verim ve güvenlikte kullanılabilmesi için yukarıda verilen özelliklerin batarya yönetim sistemi tarafından sunulması gerekmektedir [35, 39, 42].

### 3.3.1 Nikel metal hidrit piller

Nikel Metal Hidrit Pillerin (NiMH) sistemi; pozitif nikel hidroksit elektrot, negatif elektrotu teşkil eden bir hidrojen alaşımı ve bazik esaslı bir elektrolitten meydana gelmektedir. Nikel Metal Hidrit Pil sisteminde yapılan çalışmalarla birlikte bu pillerin birim hacim enerji yoğunlukları NiCd pillerinden daha ileri seviyelere getirilmiştir ve

ömürleri NiCd pillerinin ömürlerine yaklaşmıştır. Şekil 3.9’da Nikel Metal Hidrit Piller (NiMH) pil yapısı gösterilmiştir.

NiMH pillerin iç dirençleri düşürülerek, ısı kayıpları azaltılmış ve böylece pil performansı arttırılmıştır.

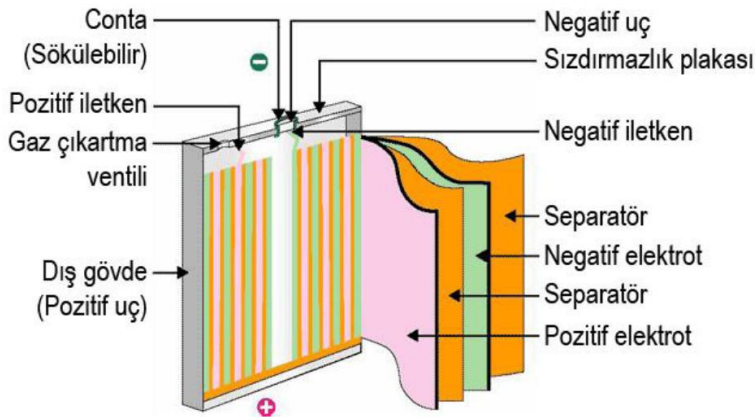


Şekil 3.9 : Nikel Metal Hidrit (NiMH) pil yapısı.

NiMH pillerde de NiCd pillerinde olduğu gibi sürekli uygulanan aşırı şarjlar ve pil kapasitesinin tamamen kullanılmadığı durumlarda oluşan “tembelleşmiş pil” sendromu yaşanır. Pilin deşarj gerilimin düşmesiyle ortaya çıkan bu durum tam şarj ve tam deşarj işleminin birkaç defa tekrarlanması ile giderilebilir [3, 15, 23, 40].

### 3.3.2 Lityum iyon piller

Özellikle hibrit türü elektrikli araçlar, cep telefonu ve taşınabilir bilgisayar gibi yüksek enerji yoğunluklarına ihtiyaç duyulan birçok cihazda enerji depolama birimi olarak lityum iyon piller (Li-Ion) kullanılmaktadır. Şekil 3.10’da lityum iyon pillerin genel yapısı verilmiştir.



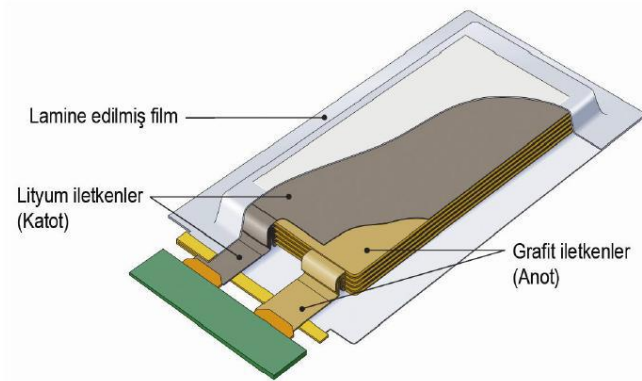
Şekil 3.10 : Lityum iyon pillerin genel yapısı.

Günümüzde Lityum İyon pillerinin enerji yoğunluğunun büyük ölçüde bağlı olduğu katot maddesi olarak genellikle kobalt oksit kullanılır.

Li İyon piller şarj edilebilir pillerdendir ve bu pil sistemlerinde hafıza veya tembellik sendromu yoktur. Ayrıca ağırlık ve hacim göz önüne alındığında enerji yoğunlukları en yüksek seviyelere ulaşabilen pillerdir [3, 15, 23, 31, 40].

### 3.3.3 Lityum polimer piller

Li polimer (Li-Polimer) piller elektrolit maddesine batırılmış gözenekli klasik separatör maddesi yerine polimer türde bir elektrolitle değiştirilmiştir. Böylece pildeki sızma olayı tamamen kaldırılarak, metalik bir pil dış kabı kullanımı yerine alüminyum veya metal folyolar kullanılabilmiştir. Polimer seperatör kullanılarak üretimi kolaylaştırılmış, daha güvenli piller elde edilmiş ve 1 mm inceliğe ulaşabilen folyo yapılı lityum piller yapılabilmektedir. Şekil 3.11’de Lityum polimer pillerin genel yapısı gösterilmiştir.



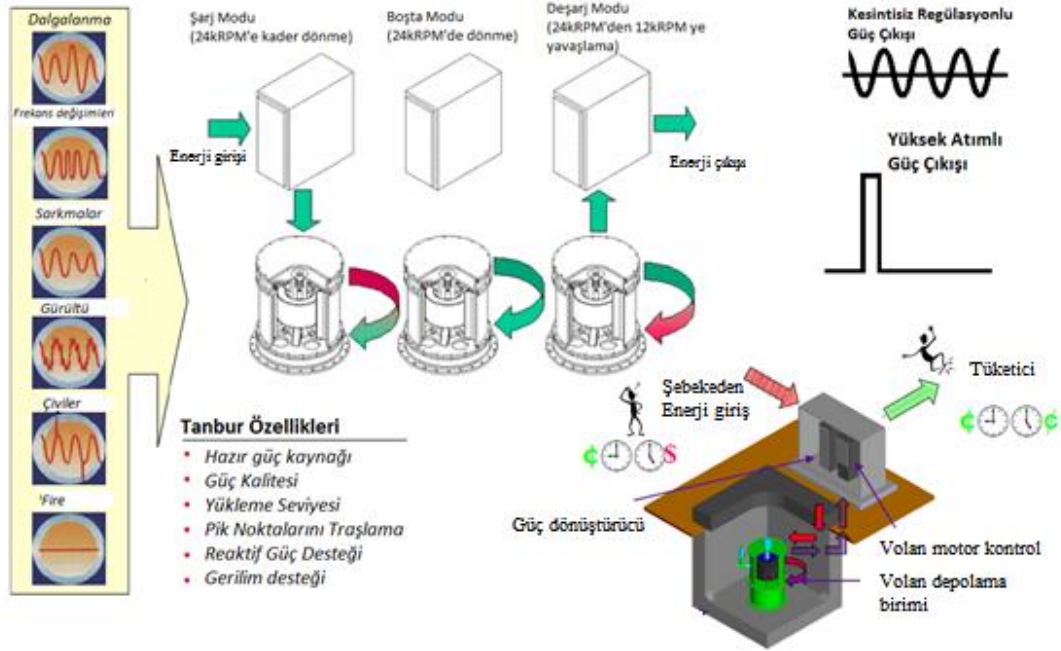
Şekil 3.11 : Lityum polimer pillerin genel yapısı.

Lityum polimer pillerde kullanılan seperatörün iletkenliği oldukça düşük olmasından dolayı artan iç direnç modern iletişim cihazlarının enerji ihtiyacına yetersiz kalmasına yol açmaktadır bu nedenle cep telefonu gibi yüksek enerji yoğunluğu gerektiren cihazlarda kullanılan Lityum polimer pillerin tamamı elektrolit maddesi içeren hibrit türlerdir [15, 31].

### 3.3.4 Volanlar

Volanlar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüp depolayan elektromekanik bir enerji depolama elemanıdır. Volan teknolojisi ile enerji depolama fikri eski bir fikir olmasına rağmen kullanılan metal volanlar ve mekanik rulmanlar teknolojinin gelişip yaygın kullanılması önünde bir engel oluşturmuştur. Günümüzde gelişen fiber ve

manyetik rulman teknolojileri ile çok daha küçük ebatlardaki volanlar ve manyetik rulmanlar sayesinde volan ile enerji depolama teknolojisinin kullanım alanları artmıştır. Geliştirilen ürünler ebat olarak ufaldıklarından dolayı hibrit ve elektrikli araçlarda, sanayide birçok alanda enerji depolamada kullanma imkânı doğmuştur. Süper iletkenli manyetik rulmanların geliştirilmesi ile mekanik rulmanlara ve elektromanyetik rulman kullanılan volanlara göre çok daha verimli volanlar üretilebilmiştir. Şekil 3.12’de volan depolama sisteminin çalışma akışı ve bağlandığı elektrik enerjisine dalgalanmaları, frekans değişimlerini, sarkmaları, gürültüyü, çivileri ortadan kaldırdığı ve kesinti durumunda kesintisiz regülatörlü güç çıkışı sağladığı gösterilmiştir [25, 36, 43].



**Şekil 3.12 : Volan depolama sistemi.**

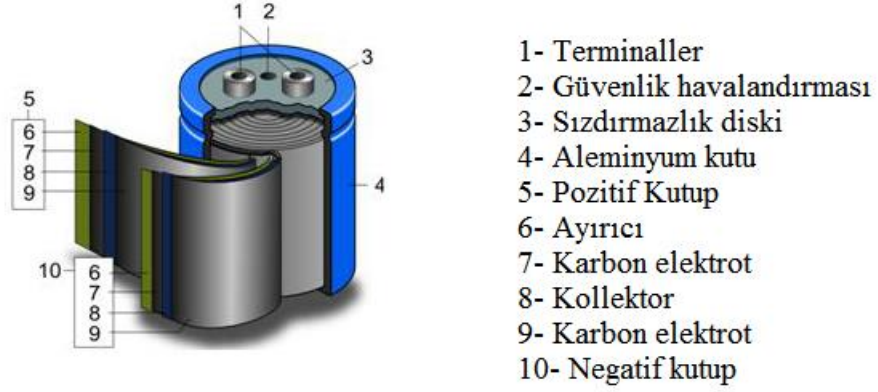
Volanların kullanılmasındaki avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [36, 43];

- Sadece mekanik yapısı olan bir sistemdir ve harici bir güç girişine ihtiyacı yoktur.
- Esnek tasarlanabilirlik ve yüksek iş görme özelliklerine sahiptir.
- Çalışmasında kimyasal dönüşüm bulunmaz.
- Anma devir sayısındaki verim %90 civarındadır.
- Hızlı şarj özelliğinin olmasına rağmen, bu özelliğinden dolayı ömründe azalma olmaz.
- 10 yıla kadar bakım yapmaksızın çalışabilirler.



### 3.3.5 Süperkapasitörler

Enerji depolama birimlerinde, teknolojinin gelişmesiyle elde edilen son ürünlerden biri olan süperkapasitörler elektrikli araçlar için en uygun enerji depolama birimi olmuştur. Ancak, maliyetinin yüksek olmasından dolayı henüz tercih edilmemektedir. Bundan dolayı maliyetinin düşürülmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Şekil 3.13'te Süperkapasitör yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Süperkapasitör yapısı.

Süperkapasitörler, elektrolitik kondansatöre göre 20 kat daha fazla şarj deşarj olabilirler ve 1000'den fazla şarj-deşarj olmasına rağmen performansında düşme olmaz. Paralel olarak çalıştığı batarya sisteminin ömrünü uzatır, frenleme anında enerji depolama birimine geri dönen enerji veya ani ivmelenme için gerekli olan yüksek güç talebi sebebiyle batarya grubunun hızlı şarj ve deşarj olmasını engeller.

Önümüzdeki yıllarda içerisinde yapılan maliyet düşürme çalışmalarının sonuç vermesiyle süperkapasitörlerin seri üretimde kullanılacağı ve elektrikli otomobillerin değişmez bir parçası olacağı düşünülmektedir [26, 31, 36].



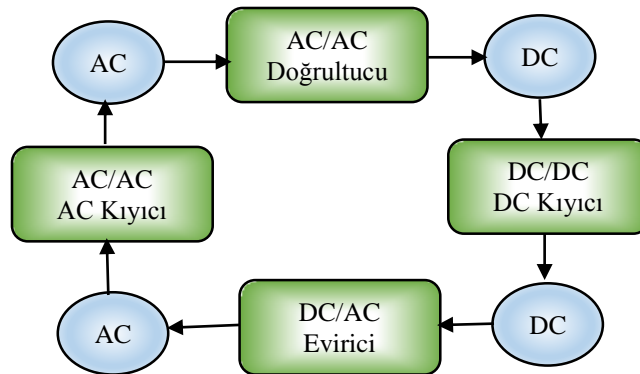
#### 4. GÜÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLER VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarında enerjinin üretilmesi, tüketilmesi ve depolanması gibi alanlarda güç elektroniği çok önemli bir yer tutmaktadır.

Otomobil sektöründe akaryakıt kullanan araçlara sektörün ilk doğduğu günden itibaren elektrikli araçlar bir alternatif olarak gündemde olmuştur. Fakat elektrik enerjisinin depolanmasının zorluğu nedeniyle elektrikli araçlar sektörde akaryakıtlı araç teknolojisinin gerisinde kalmıştır. Günümüzde güç elektroniği alanındaki gelişmeler sayesinde daha verimli elektrikli araçların yapılması mümkün olmuştur.

Güç sistemlerinde anahtarlama elemanı olarak transistör, tristör, MOSFET, IGBT gibi yarı iletken anahtarlar kullanılabilir. Bu anahtarlardan transistör ve MOSFET düşük ve orta güç uygulamalarında daha çok tercih edilir. MOSFET ayrıca hızlı anahtarlama yapabildiğinden yüksek frekans uygulamalarında da kullanılır. Tristör büyük güçlerde kullanılır ve anahtarlama hızları oldukça düşüktür. MOSFET ve transistörün iyi karakteristik özelliklerini almış olan IGBT ise günümüzün en çok kullanılan anahtarlama elemanıdır.

Bir güç elektroniği devresi güç dönüştürme işlemi yapar. AC-AC (AC kıyıcı-dönüştürücü), AC-DC (doğrultucu), DC-DC (DC kıyıcı-yükseltici) ve DC-AC (evirici) olmak üzere dört temel dönüştürme işlemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Enerji Dönüşümü.

AC-DC dönüştürücüler faz sayısına, doğrultma şekline ve kontrol yöntemine göre farklı şekilde gruplandırılabilirler [24].

Faz sayısına göre gruplandırıldığında tek fazlı ve çok fazlı,

Doğrultma şekillerine göre

- Yarım dalga doğrultma
- Tam dalga doğrultma

Kontrol yöntemlerine göre

- Kontrolsüz
- Yarı kontrollü
- Tam kontrollü

olarak ayrılırlar. Tez çalışmasında yapılan tasarımda tek fazlı-tam dalga doğrultuculu-tam kontrollü AC-DC dönüştürücü kullanılmaktadır.

DC-DC dönüştürücüler transformatör kullanımına bağlı olarak izoleli ve izolesiz olabilmektedir. Çalışma modu olarak sürekli ve süreksiz çalışma modlarında çalışabilmektedir.

Yalıtımsız türler

- Düşürücü (Buck)
- Yükseltici (Bost)
- Düşürücü-Yükseltici ( Buck-Bost)

İzolesiz türlerin tasarımı trafolu türlere çok daha kolaydır fakat en önemli dezavantajı giriş ile çıkış arasında izolasyon bulunmamasıdır.

İzoleli-trafolu türler

- Geri dönüşlü (flyback)
- İleri yönlü (forward)
- Tam köprü (full bridge)
- Yarım köprü (half bridge)
- Push-pull

İzoleli-trafolu türlerin en önemli özelliği giriş ile çıkış arasında bir trafo ile izolasyon sağlanmasıdır ve ayrıca birden fazla çıkış elde edilebilmesidir. Tez çalışmasında yalıtımsız düşürücü ve yükseltici devrenin çift yönlü kullanılması ile elde edilen iki yönlü DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır.

DC-AC eviriciler besleme kaynağı açısından, faz sayısına göre, kontrol açısından ve devre yapısına göre gruplandırılmaktadır.

Besleme kaynağına göre;

- Gerilim kaynaklı eviriciler
- Akım kaynaklı eviriciler

Faz sayısına göre;

- Tek fazlı eviriciler
- Üç fazlı eviriciler

Kontrol yapısına göre;

- Kare dalga eviriciler
- Boşluklu kare dalga eviriciler
- PWM eviriciler

Devre yapısına göre;

- Yarım köprü eviriciler
- Tam köprü eviriciler
- Push pull eviriciler

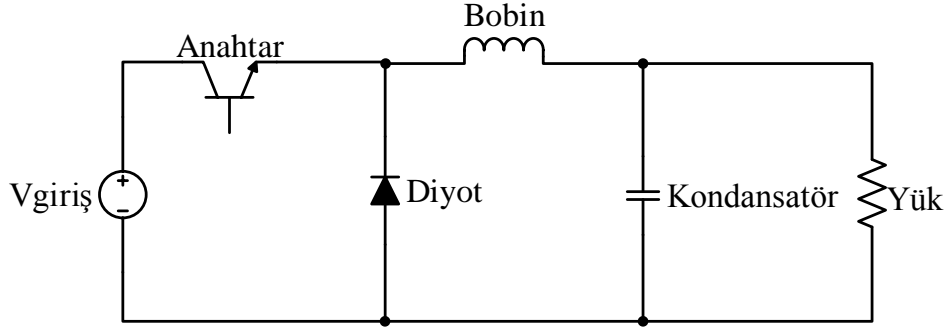
#### **4.1 DC-DC Dönüştürücüler**

DC-DC dönüştürücüler girişlerindeki DC gerilimi istenilen DC gerilime düşürmek veya yükseltmek için kullanılırlar. Bu bölümde sürekli akım modunda çalışan izolesiz DC-DC düşürücü, DC-DC yükseltici ve iki yönlü DC-DC dönüştürücü özelliklerine ve çalışma prensiplerine değinilecektir.

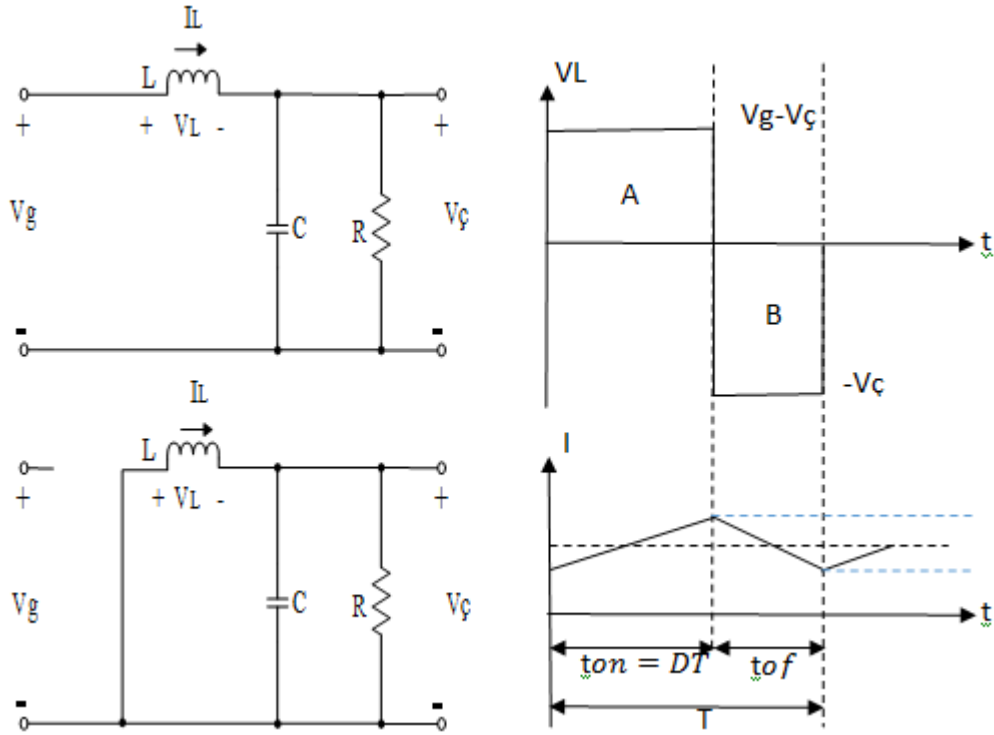
##### **4.1.1 DC-DC düşürücü dönüştürücü**

Bu dönüştürücü için temel devre şeması Şekil 4.2’de verilmiştir. Anahtarlama elemanı hesaplanan D görev oranıyla anahtarlama sinyali gönderilerek tetiklenmektedir. Anahtarlama elemanı iletimdeyken DC kaynak bobin üzerinden çıkışı besler.

Anahtarlama elemanı kesimdeyken bobin üzerinde indüklenen enerji diyot üzerinden döngüsünü tamamlayarak çıkışı besler. Böylece belirlenen D görev oranıyla orantılı bir şekilde çıkış geriliminde düşüş meydana gelir [1, 9, 14, 16, 24].



Şekil 4.2 : DC-DC düşürücü (buck) devresi.



Şekil 4.3 : Sürekli iletim modunda anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu anlar için bobin üzerindeki gerilim ve akım.

$$\int_0^{T_s} V_L(t)dt = \int_0^{t_{on}} V_L(t)dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L(t)dt = 0 \quad (4.1)$$

$$(V_g - V_ç)t_{on} = V_ç(T - t_{on}) \quad (4.2)$$

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_ç}{V_g} \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde görüldüğü üzere D görev oranı DC-DC düşürücü dönüştürücüde çıkış geriliminin giriş gerilimine oranına eşittir. Burada T periyottur.

Bobin değeri ise bobin üzerinden geçen akımın değişiminden (4.7)'deki gibi elde edilir.

$$V_L = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (4.4)$$

$$\frac{V_L(t)}{L} = \frac{di_L(t)}{dt} \quad (4.5)$$

$$\frac{V_g - V_\varphi}{L} = \frac{2\Delta i_L}{DT} \quad (4.6)$$

$$L = \frac{V_g - V_\varphi}{2\Delta i_L} DT \quad (4.7)$$

Kondansatör değeri ise kondansatörün akım ve geriliminin anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu anlardaki Şekil 4.4'te de gösterilen değişimlerinden aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt} \quad (4.8)$$

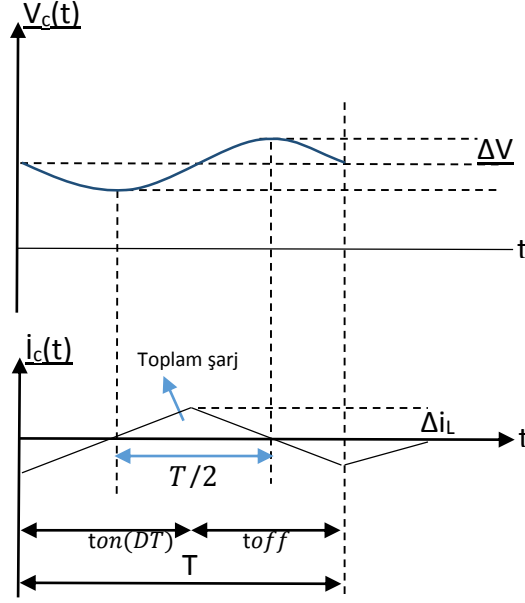
Kondansatörün depolanan toplam enerji E ise

$$E = C(2\Delta v) \quad (4.9)$$

ile hesaplanmaktadır. Aynı zamanda şarj boyunca kondansatör akımı altında kalan alanda kondansatörde depolanan toplam enerjiyi vermektedir.

$$E = \frac{1}{2} \Delta i_L \frac{T}{2} \quad (4.10)$$

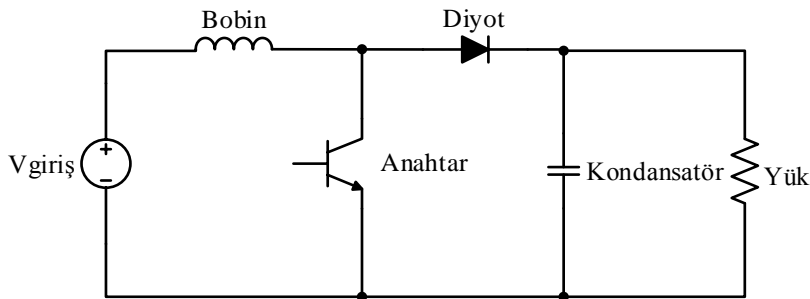
$$C = \frac{\Delta i_L T}{8\Delta v} \quad (4.11)$$



**Şekil 4.4 :** Kondansatör akımının ve geriliminin anahtarlama elemanının iletim ve kesim anındaki değişimi.

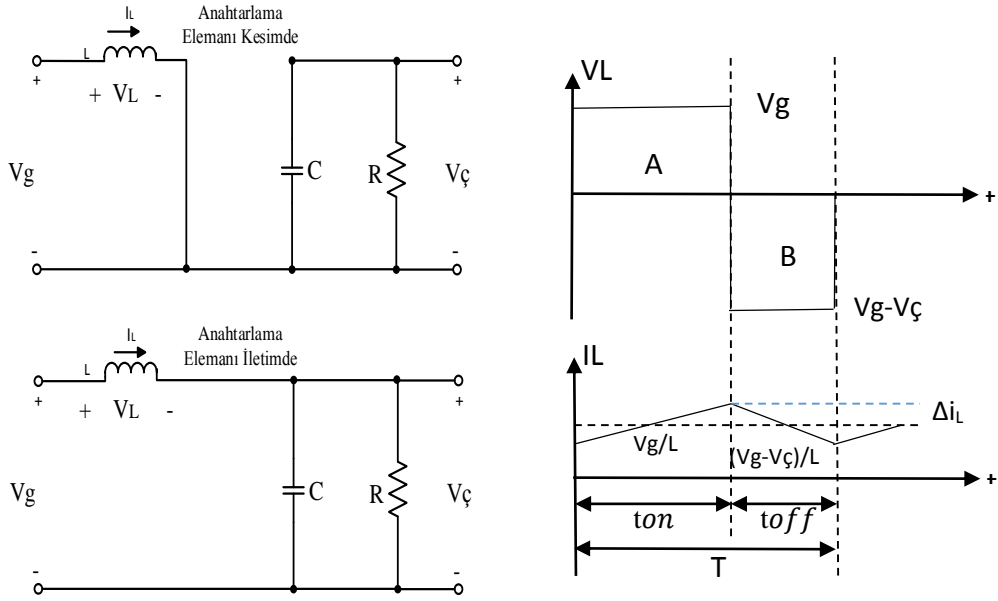
#### 4.1.2 DC-DC yükseltici dönüştürücü

Bu dönüştürücüde Şekil 4.5'te görülen anahtarlama elemanı hesaplanan D görev oranıyla anahtarlama sinyali ile tetiklenmektedir. Anahtarlama elemanı iletimdeyken DC kaynak bobin üzerinden devresini tamamlar bu sırada bobin üzerinde gerilim indüklenir. Anahtarlama elemanı kesime girdiğinde bobin üzerinde indüklenen gerilim ve DC kaynak geriliminin toplamı kadar gerilim çıkışı besler enerji diyot üzerinden döngüsünü tamamlayarak çıkışı besler. Böylece belirlenen D görev oranıyla orantılı bir şekilde bobin üzerinde indüklenen gerilimin DC kaynakla aynı anda çıkışı beslemesi sayesinde çıkış geriliminde yükselme meydana gelir [1, 9, 10, 16, 24, 34].



**Şekil 4.5 :** DC-DC yükseltici (boost) devresi.





**Şekil 4.6 :** Sürekli iletim modunda anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu anlar için bobin üzerindeki gerilim ve akım.

Şekil 4.6’da devre kararlı halde çalıştığından dolayı bobin üzerindeki gerilimin bir periyot boyunca integrali 0 olmalıdır. Bundan dolayı A ve B alanları birbirine eşit olmalıdır.

$$\int_0^{T_s} V_L(t)dt = \int_0^{t_{on}} V_L(t)dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L(t)dt = 0 \quad (4.12)$$

$$V_g t_{on} + (V_g - V_{\check{c}})(T - t_{on}) = 0 \quad (4.13)$$

$$D = \frac{t_{on}}{T} = 1 - \frac{V_{\check{c}}}{V_g} \quad (4.14)$$

(4.14) eşitliğinde DC-DC yükseltici dönüştürücünün D görev oranı için elde edilen denklem verilmiştir.

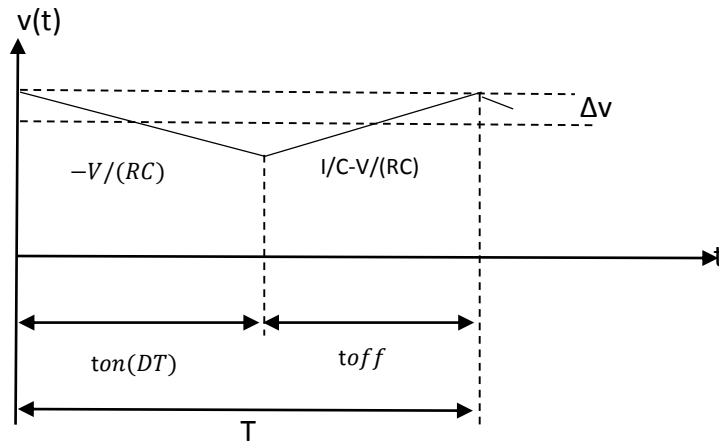
Bobin üzerinden anahtarlama elemanının iletimde olduğu sürece geçen akımın dalgalanma miktarı

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_L(t)}{L} = \frac{V_g}{L} \quad (4.15)$$

$$2\Delta i_L = \frac{V_g}{L} DT \quad (4.16)$$

$$L = \frac{V_g}{2\Delta i_L} DT \quad (4.17)$$

eşitlikleri ile elde edilirken kondansatör değeri ise anahtarlama elemanının iletimde ve kesimde olduğu anlardaki Şekil 4.7’de verilen kondansatör geriliminin değişim grafiğinden (4.20) eşitliğindeki gibi elde edilebilir.



Şekil 4.7 : Anahtarlama elemanının iletim ve kesim anlarında kondansatör üzerindeki gerilimin değişimi.

$$\frac{dv_{\zeta}(t)}{dt} = \frac{i_{\zeta}(t)}{C} = \frac{-V_{\zeta}}{RC} \quad (4.18)$$

Kondansatör üzerindeki geriliminin iletimdeki değişim miktarı aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilmektedir.

$$2\Delta v = \frac{V_{\zeta}}{RC} DT \quad (4.19)$$

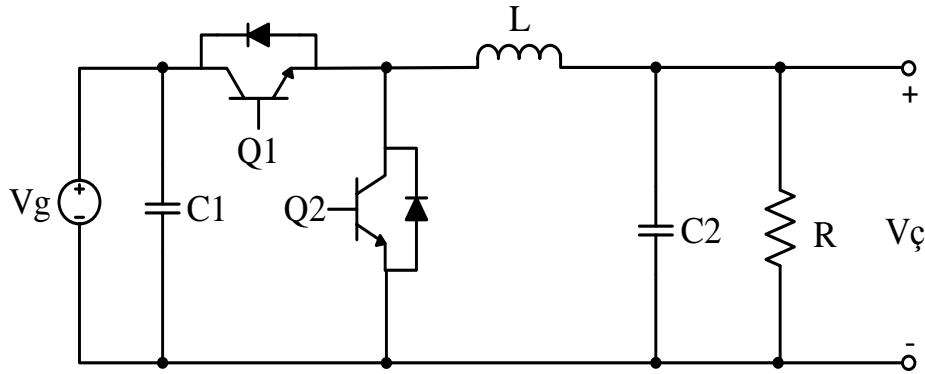
$$C = \frac{V_{\zeta}}{2R\Delta v} DT \quad (4.20)$$

### 4.1.3 DC-DC çift yönlü yükseltici-düşürücü dönüştürücü

Bu dönüştürücü yükseltici ve düşürücü devrelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Yükseltici veya düşürücü modunda çalışma durumuna göre farklı anahtarlama elemanı tetiklenmektedir ve enerji akışı yön değiştirmektedir. Bir anahtarlama elemanı girişten çıkışa enerji akışında kullanılırken diğeri ters yöndeki enerji akışı için kullanılmaktadır [1, 5, 8, 11].

#### 4.1.3.1 Düşürücü modunda çalışma

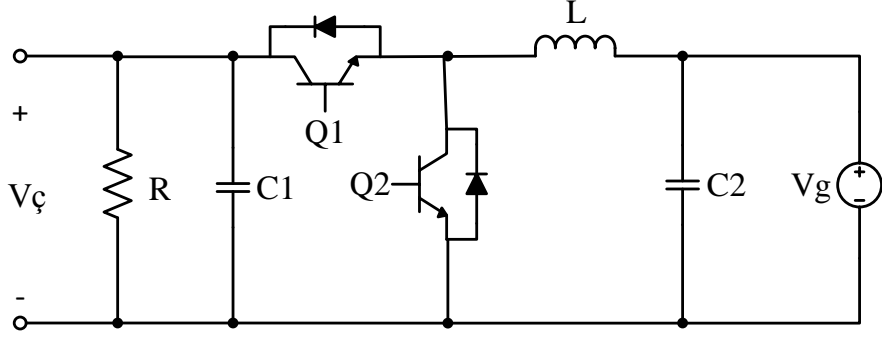
Bu dönüştürücüde Şekil 4.8'de gözüken  $Q_2$  anahtarlama elemanı devamlı kesimdedir ve  $Q_1$  anahtarlama elemanı hesaplanan  $D$  görev oranıyla tetiklenmektedir.  $Q_1$  anahtarlama elemanı iletimdeyken DC kaynak bobin üzerinden çıkışı besler.  $Q_1$  anahtarlama elemanı kesime girdiğinde bobin üzerinde indüklenen enerji  $Q_2$  diyot üzerinden döngüsünü tamamlayarak çıkışı besler. Çıkış gerilimi giriş gerilimine göre daha düşük olur.



Şekil 4.8 : DC-DC çift yönlü yükseltici-düşürücü dönüştürücünün düşürücü modunda çalışması.

#### 4.1.3.2 Yükseltici modunda çalışma

Bu dönüştürücünün temel devre şeması Şekil 4.9'da verilmiştir. Devrede gözüken  $Q_1$  anahtarlama elemanı devamlı kesimdedir ve  $Q_2$  anahtarlama elemanı hesaplanan görev oranıyla  $D$  anahtarlama sinyali ile tetiklenmektedir.  $Q_2$  anahtarlama elemanı iletimdeyken DC kaynak bobin üzerinden devresini tamamlar ve bu sırada bobin üzerinde gerilim indüklenir.  $Q_2$  anahtarlama elemanı kesime girdiğinde bobin üzerinde indüklenen gerilim ve DC kaynak geriliminin toplamı kadar gerilim çıkışı besler. Akım  $Q_1$  anahtarlama elemanının diyotu üzerinden döngüsünü tamamlayarak çıkışı besler. Böylece belirlenen görev oranıyla orantılı bir şekilde bobin üzerinde indüklenen gerilimin DC kaynakla aynı anda çıkışı beslemesi sayesinde çıkış geriliminde yükselme meydana gelir.

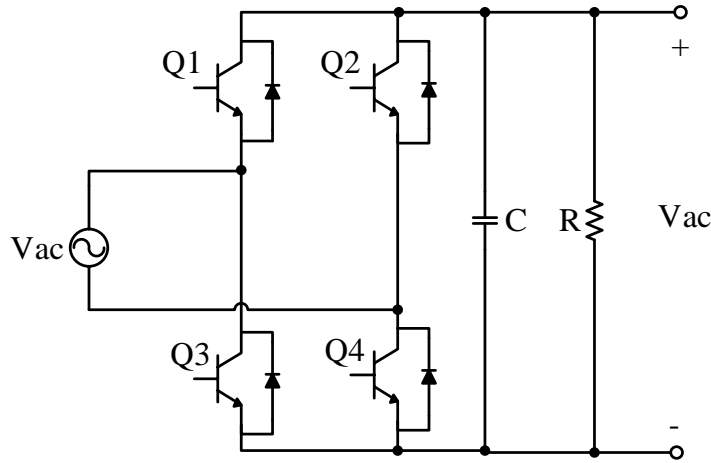


Şekil 4.9 : DC-DC çift yönlü yükseltici-düşürücü dönüştürücünün yükseltici modunda çalışması.

## 4.2 AC-DC Dönüştürücüler

### 4.2.1 AC-DC dönüştürücü (doğrultucu)

AC-DC dönüştürücüler AC gerilimden DC bir gerilim elde etmek için kullanılan güç elektroniği devreleridir. Bu dönüştürücüler doğrultucu olarak da adlandırılmaktadır. Kontrol bakımından kontrollü ve kontrolsüz doğrultucu, doğrultulan dalga tipine göre yarım dalga ve tam dalga doğrultucu çeşitleri vardır. Tez çalışmasında bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu kullanılmıştır. AC-DC dönüştürücünün devre şeması Şekil 4.10'da verilmiştir [1, 4, 7, 9].

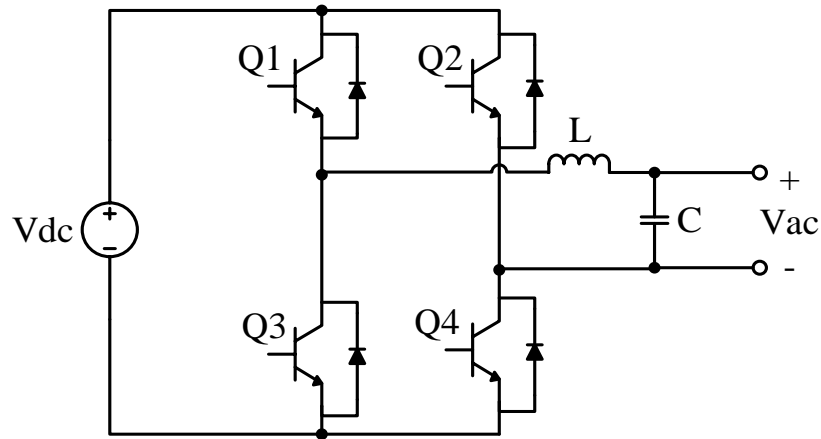


Şekil 4.10 : AC-DC PWM dönüştürücü.

### 4.2.2 DC-AC dönüştürücü (evirici)

Eviriciler DC kaynak gerilimini AC gerilime dönüştürüp AC yükleri besleyen güç elektroniği devreleridir. Eviricilerden beklenen, ürettiği alternatif akım ve gerilimin istenilen genlik ve frekansta olması ve harmonik içeriğinin düşük seviyelerde olmasıdır. Eviricilerin girişinde aküler, güneş pilleri, yakıt hücreleri benzeri doğru

akım kaynakları ya da alternatif bir kaynaktan beslenen doğrultucuların çıkışları kullanılabilir. Eviriciler hem tek fazlı sistemlerde hem de üç fazlı sistemlerde kullanılabilir. Akım beslemeli ya da gerilim beslemeli eviriciler arasında yapılacak seçim yükün özelliklerine göre değişir. Genellikle gerilim beslemeli olarak kullanılan eviricilerde giriş enerji kaynağı olarak gerilim kaynağı kullanılır. Gerilim beslemeli eviricilerde çıkış gerilim dalga biçimi, giriş doğru gerilimi ve anahtarlama yöntemi ile belirlenir [1, 4, 9, 11, 24].



Şekil 4.11 : DA-AC evirici (tek fazlı tam dalga doğrultucu).

Şekil 4.11’de girişe uygulanan  $V_{dc}$  gerilimi, anahtarlama elemanlarının kullanılabilen farklı yöntemlerden biri ile tetiklenmesi ile çıkışta  $V_{ac}$  gerilimine dönüştürülmüştür.  $Q_1$  ve  $Q_4$  iletimdeyken  $Q_2$  ve  $Q_3$  kesimdedir bu durumda girişteki DC gerilim aynen çıkışa aktarılır.  $Q_1$  ve  $Q_4$  kesimdeyken  $Q_2$  ve  $Q_3$  iletimdedir ve bu durumda girişteki DC gerilim çıkışa ters olarak aktarılır ve negatif çıkış gerilimi üretilmiş olur.

#### 4.2.3 AC-DC-AC çift yönlü dönüştürücüler

Bu çift yönlü dönüştürücüler temelde DC-AC dönüştürücü ve AC-DC eviricinin birleştirilmesi ile elde edilir. AC-DC dönüşümünde AC kaynaktan sistem beslenir ve kontrollü veya kontrolsüz doğrultucu ile farklı kontrol yöntemlerinden biri kullanılarak doğrultma işlemi yapılır. DC-AC dönüşümünde ise dönüştürücünün DC tarafındaki DC kaynaktan sistem beslenir ve AC kontrol yöntemi kullanılarak anahtarlama işlemi gerçekleştirilir. AC tarafında uygun bobin ve kondansatör kullanılarak filtreleme yapılır ve sinüzoidal gerilim elde edilir [1, 8, 9, 12, 17, 21, 23].

### 4.3 Anahtarlama Sinyallerini Elde Edilmesi

Anahtarlama sinyalinin elde edilmesinde farklı yöntemler kullanılabilir. Dönüştürücü tipine göre AC veya DC darbe genişlik modülasyonu yöntemleri kullanılarak anahtarlama sinyali elde edilebilir.

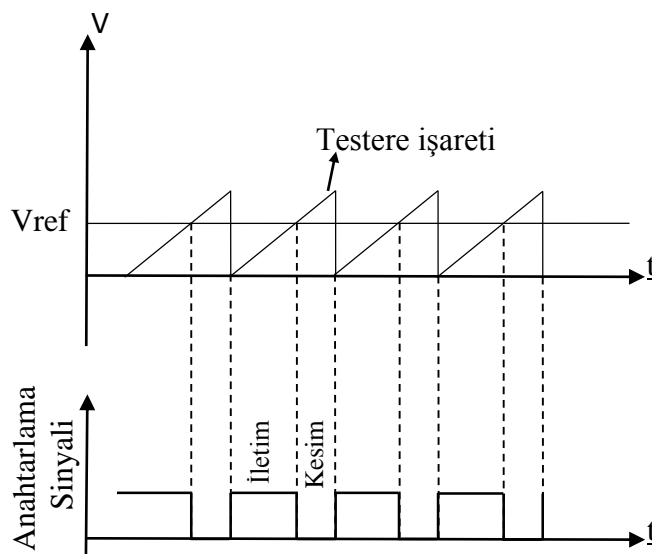
#### 4.3.1 Darbe genişlik modülasyonu

Bir üçgen veya testere gerilim sinyali ile çıkışta istediğimiz gerilimin referansı olan bir sinyalin karşılaştırılmasına dayalıdır. Her iki gerilim de tek yönlü veya çift yönlü olabilir [1].

##### 4.3.1.1 DC-PWM

Yaygın olarak DC-DC dönüştürücülerde ve diğer bazı uygulamalarda kullanılan DC-PWM kontrol yöntemi, en kolay ve en basit yöntem olarak bilinmektedir. Buradaki  $V_{ref}$  gerilimi DC-DC dönüştürücü çıkışından alınmak istenen gerilimin belli bir katsayıyla ölçeklendirilmiş halidir. Böylece, referans gerilimi ile ayarlanabilen  $D$  görev oranına sahip anahtarlama sinyali üretilmiş olmaktadır. Şekil 4.12’de DC-DC PWM sinyalinin nasıl üretildiği grafik üzerinde gösterilmiştir [16, 24].

Testere dişi taşıyıcı sinyal ile  $V_{ref}$  kontrol sinyali karşılaştırılarak kontrol sinyalinin taşıyıcı sinyalden büyük olduğu aralıklarda anahtar iletim sinyali (ON) üretilmektedir. Ters durumda ise sıfır sinyali (OFF) üretildiğinden anahtarlama elemanı kesime sokulur.

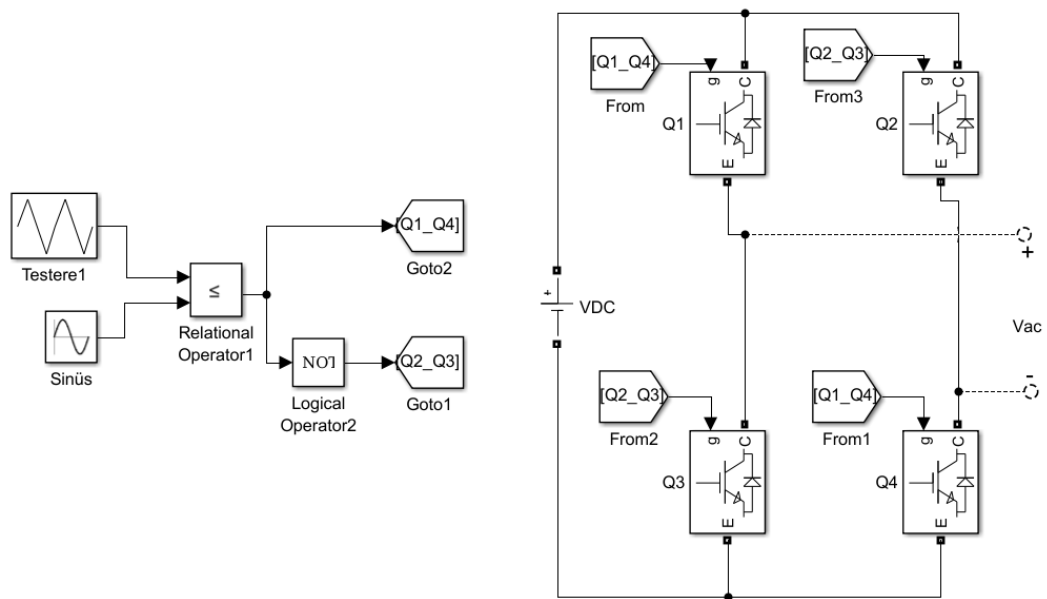


Şekil 4.12 : DC-PWM çalışma prensibi.

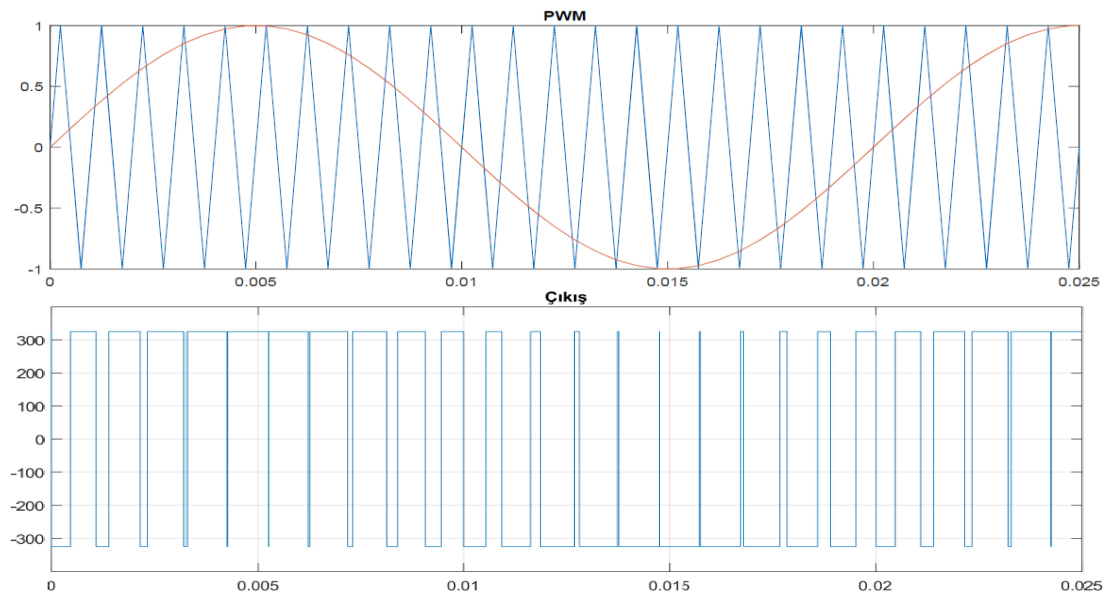
### 4.3.1.2 Çift yönlü AC-PWM

Çıkışta elde edilmek istenen gerilim referansı ile anahtarlama frekansındaki üçgen dalga karşılaştırılarak referans sinyalin büyük olduğu yerlerde ON sinyali üretilir. Bu sinyal Şekil 4.13'te görülen Q<sub>1</sub> ve Q<sub>4</sub> elemanlarını tetiklerken sinyalin tersi Q<sub>2</sub> ve Q<sub>3</sub> elemanlarının tetiklenmesinde kullanılır. Çift yönlü PWM de çapraz konumdaki IGBT/diyot ikilisi aynı anda iletim ve kesimde bulunmaktadır.

Uygun değerlerdeki endüktans ve kondansatörden oluşan bir LC filtre çıkışa bağlanarak sinüzoidal gerilim elde edilmektedir. Şekil 4.14'te çift yönlü PWM simülasyon sonuçları verilmiştir [16, 24].



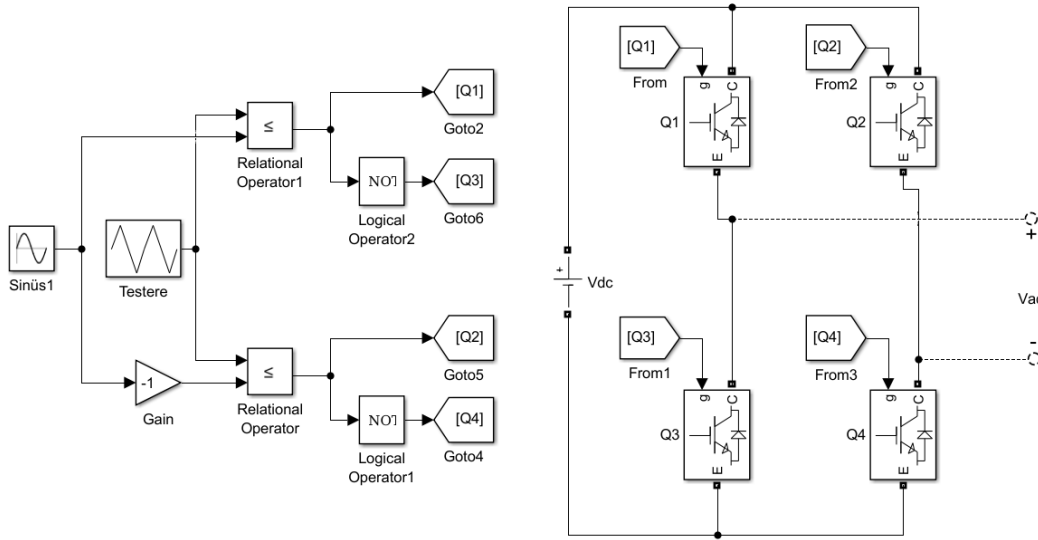
Şekil 4.13 : Kontrollü tek fazlı eviricinin çift yönlü AC-PWM tekniği ile kontrol edilmesi.



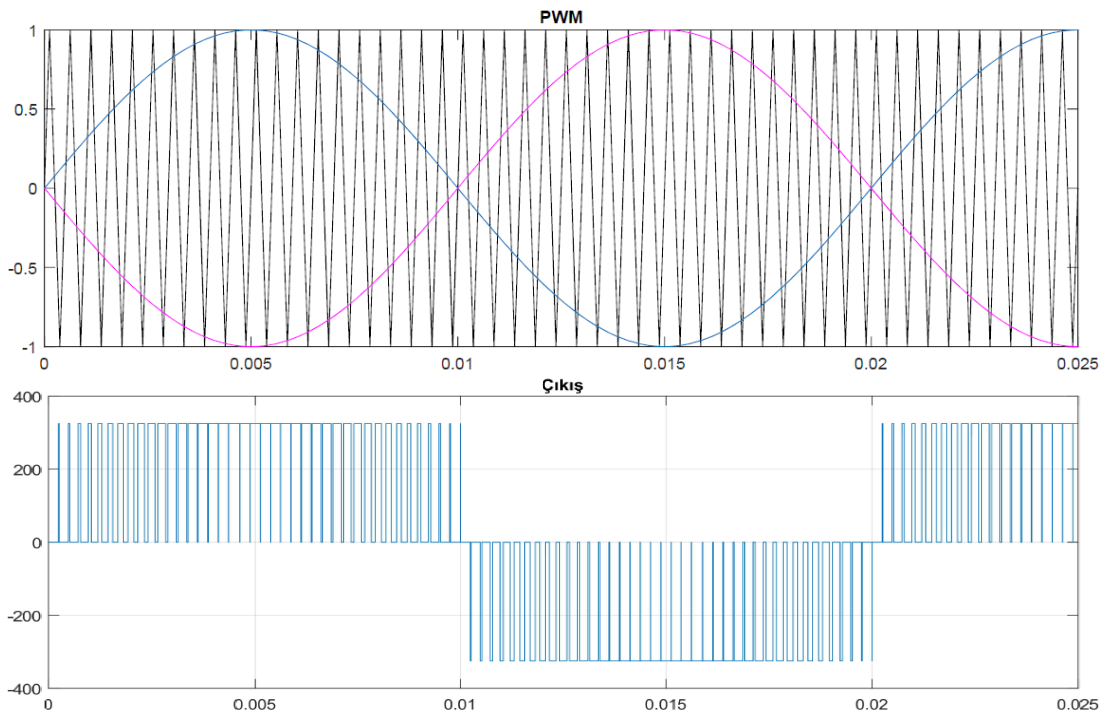
Şekil 4.14 : Çift yönlü AC-PWM tekniğinin çalışma prensibi.

### 4.3.1.3 Tek yönlü AC-PWM

Tek yönlü kontrolde çift yönlü kontrolden farklı olarak iki adet kontrol sinyali kullanılmaktadır. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi iki farklı karşılaştırma işlemi yapılmaktadır. Aynı taşıyıcı ile sinyal ile karşılaştırılan iki kontrol sinyali arasında Şekil 4.16'da görüldüğü gibi  $180^0$  faz farkı bulunmaktadır. Her bir kontrol sinyalinden elde edilen anahtarlama sinyalleri bir faz kolunun anahtarlarında kullanılmaktadır. Çift yönlü kontrolden farklı olarak karşılaştırma sonucunda iki adet sinyal ve bu sinyallerin tersleri alınarak toplam dört adet sinyal elde edilmektedir [16, 24].



Şekil 4.15 : Kontrollü tek fazlı eviricinin tek yönlü AC-PWM tekniği ile kontrolü.



Şekil 4.16 : Tek yönlü AC-PWM tekniğinin çalışma prensibi.



### **4.3.2 Kapalı çevrim kontrol**

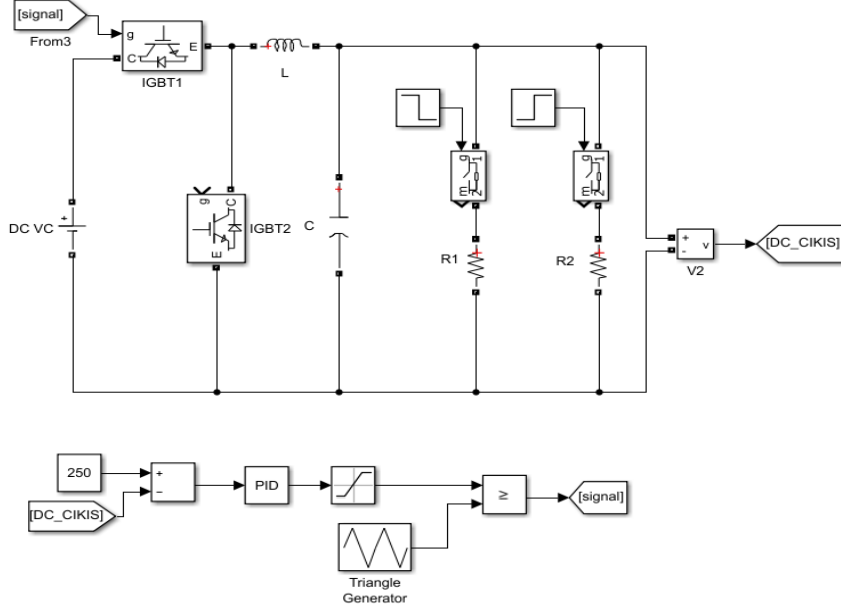
Kapalı çevrim kontrol sistemi çeşitli bozucu etkenlere ve giriş gerilimi, yük değeri gibi sistem parametrelerindeki değişimlere karşı kararlı halde çalışarak sistemin istenilen çıkışı üretmesini sağlayan kontrol yapısıdır. Sistem parametrelerindeki değişime karşın kontrol çevrimi modülasyonda kullanılan kontrol sinyalini ayarlayarak referans değerin üretilmesi için gerekli D değerini hesaplar. Böylece sistem bozucu etkenlerden etkilenmeden kararlı halde istenilen şekilde çalışmaya devam edebilmektedir.

#### **4.3.2.1 DC-DC düşürücünün kapalı çevrim kontrolü**

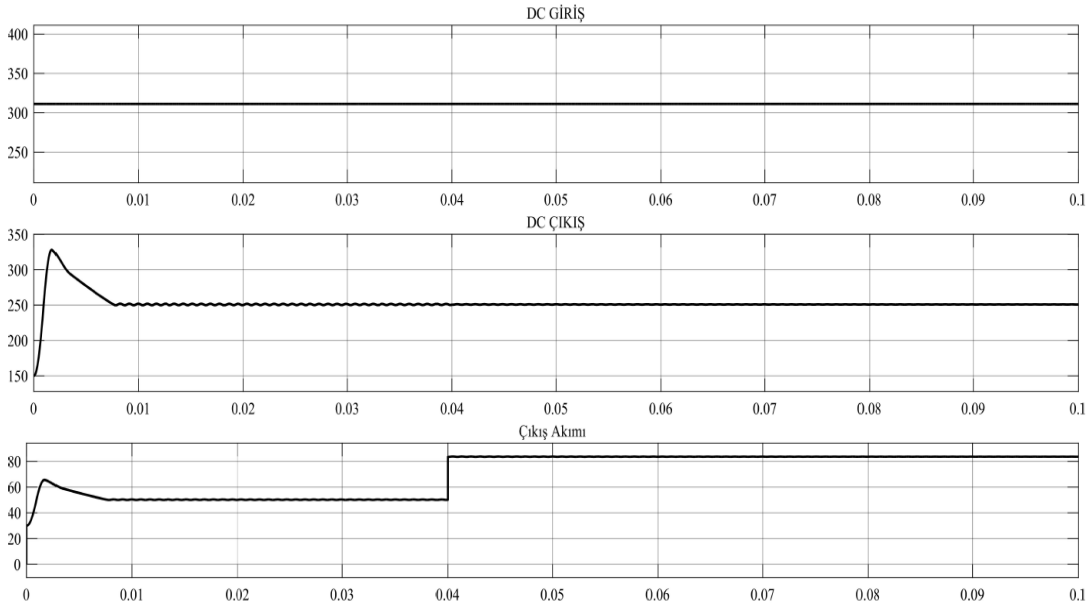
DC-DC dönüştürücüde giriş ve çıkış sinyallerinin DC olmasından dolayı DC-PWM kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Kapalı çevrimde kontrol sinyalinin üretilmesi için referans değer ile ölçülen değer farkı alınarak hata elde edilir. Bu değer PI kontrolörden geçilerek anahtarlama sinyallerini üretecek olan kontrol sinyali elde edilmektedir. PI kontrolör hatayı sıfır yapmak için gerekli olan kontrol sinyali genliğini ayarlayarak gerek giriş gerilimi gerekse çıkış yükü gibi sistem parametrelerinde meydana gelen değişimlere karşı sistemin istenilen cevabı vermesini sağlamaktadır.

Şekil 4.17'deki DC-DC düşürücü devrede giriş gerilimi 311 V ve çıkış gerilimi 250 V'tur. Çıkışta iki farklı yük bulunmaktadır ve Şekil 4.18'de görüldüğü gibi 40ms anında çıkış yükü yaklaşık iki katına çıkmaktadır. Yükteki ani değişime karşı çıkıştaki DC gerilimin sabit kalabilmesi için D görev oranının yeniden hesaplanması gerekmektedir. Şekil 4.17'de görüldüğü gibi referans gerilimi çıkış gerilimi ile karşılaştırarak hata PI kontrolöre verilmekte ve D görev oranını yük değişimlerine göre yeniden ayarlanmaktadır [1].

Kapalı çevrim sayesinde Şekil 4.18'de görüldüğü gibi yükteki değişim anında çıkış geriliminde kısa süreli bir dalgalanma meydana gelmekte ve kontrolör çok kısa sürede çıkışı referans değere ulaştırmaktadır.



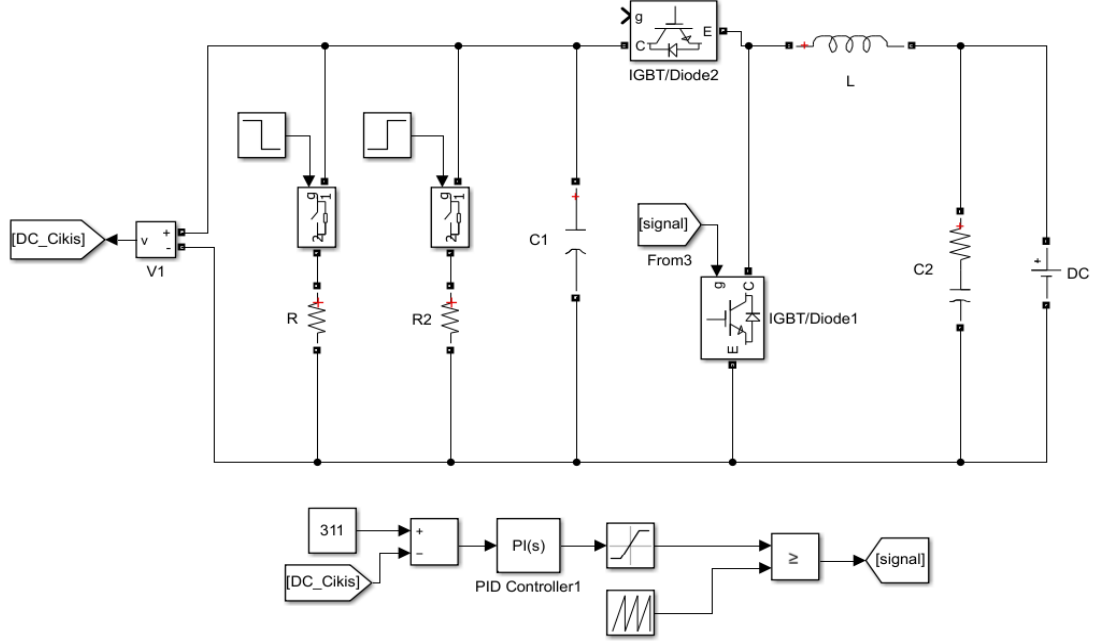
Şekil 4.17 : DC-DC düşürücü dönüştürücünün kapalı çevrim kontrolü.



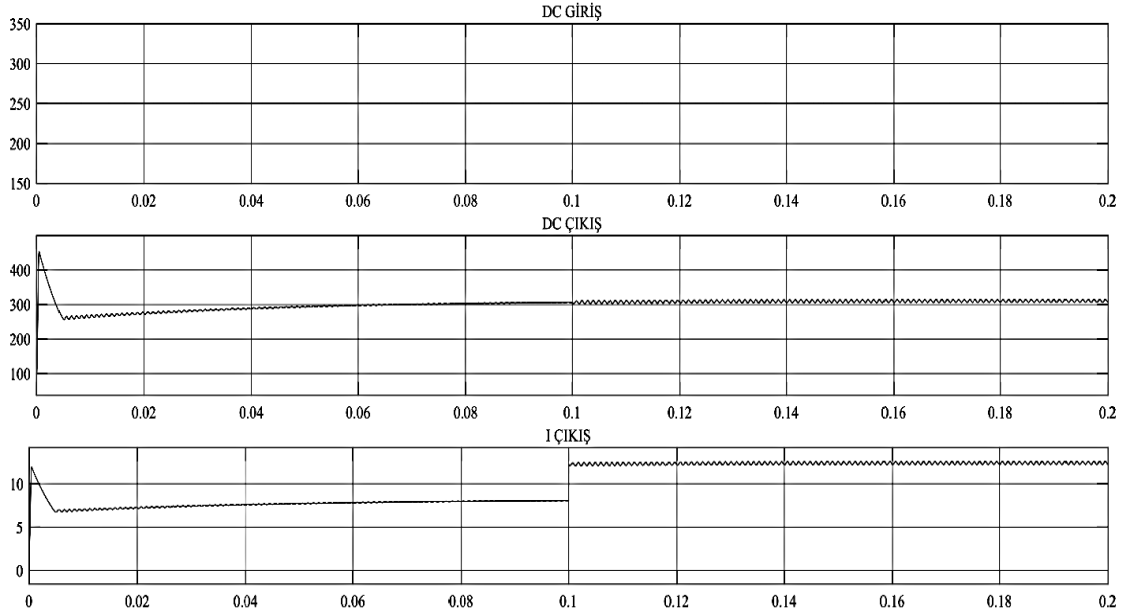
Şekil 4.18 : DC-DC düşürücü dönüştürücünün kapalı çevrim kontrollü simülasyon sonucu.

#### 4.3.2.2 DC-DC yükseltici kapalı çevrim kontrolü

Yükseltici dönüştürücü kapalı çevrim kontrolü ile düşürücü dönüştürücünün kapalı çevrim kontrolü aynıdır. Şekil 4.19'daki yükseltici devre 250 V DC gerilimden 311 V DC gerilim elde etmektedir. Şekil 4.20'de görüldüğü çıkıştaki yükün %50 artmasına rağmen kapalı çevrim kontrol çıkış geriliminin sabit kalmasını sağlamıştır.



Şekil 4.19 : DC-DC yükseltici dönüştürücünün kapalı çevrim kontrolü.



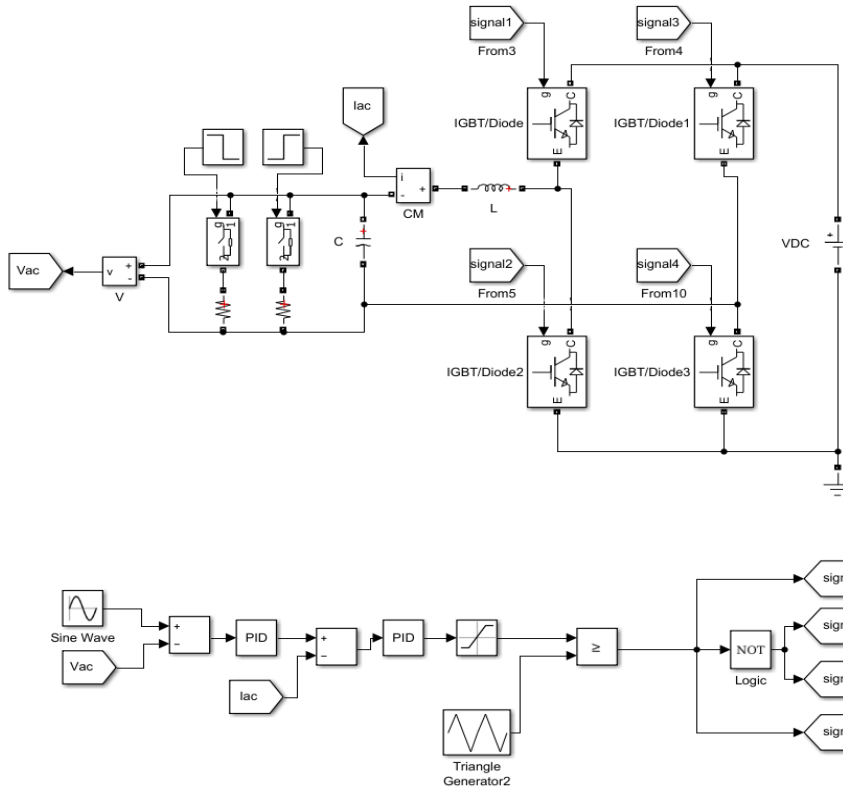
Şekil 4.20 : DC-DC yükseltici dönüştürücü kapalı çevrim kontrol simülasyon sonucu.

#### 4.3.2.3 Evirici kapalı çevrim kontrolü

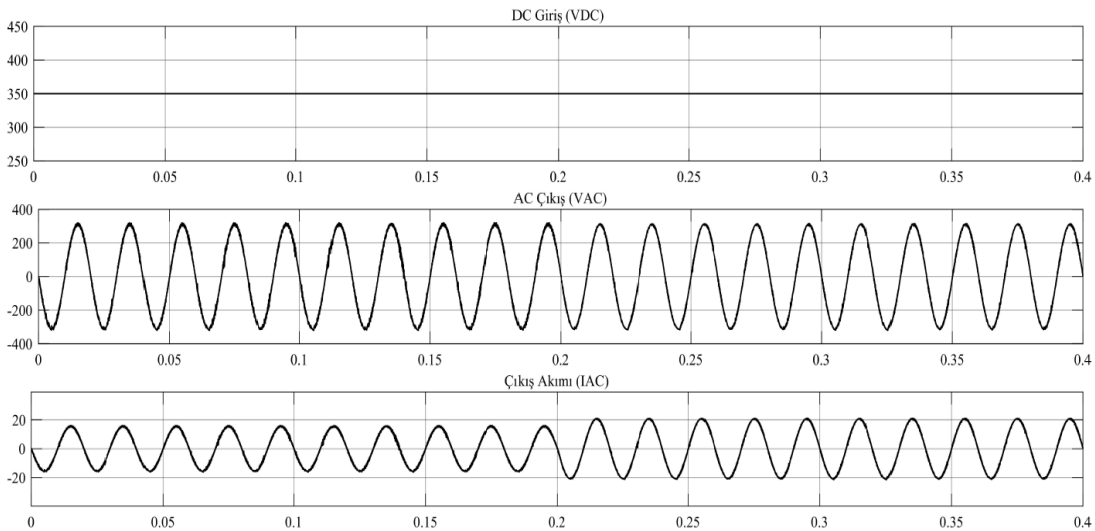
Evirici çıkışında AC gerilim üretildiğinden dolayı kontrol sinyali DC-DC dönüştürücünden farklı olarak AC sinyaldir. Kontrol sinyalinin AC olmasından dolayı taşıyıcı sinyal alternatif üçgen sinyaldir. Kontrol algoritması DC-DC dönüştürücü kontrolünde olduğu gibi hatanın PI kontrolörden geçirilmesine dayanmaktadır. Şekil 4.21’de iki kontrol çevrimi olan kapalı çevrim kontrol yapısı görülmektedir. İlk

çevrimde referans gerilim ile ölçülen gerilim arasındaki hata PI kontrolörden geçirilmekte ve bobin akımı referansı elde edilmektedir. Bu referans akım ikinci çevrimde kullanılarak akım hatası hesaplanır ve PI kontrolör ile kontrol sinyali elde edilmektedir. Bu sinyal üçgen dalga ile karşılaştırılarak anahtarlama sinyalleri üretilmektedir [1].

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi kapalı çevrim kontrol sayesinde 0.2 sn anındaki yük değişimine karşın çıkış gerilimi referans değerinde kalmıştır.



Şekil 4.21 : DC-AC dönüştürücü kapalı çevrim kontrolü.



Şekil 4.22 : DC-AC dönüştürücü kapalı çevrim kontrol simülasyon sonucu.

#### 4.3.2.4 AC-DC doğrultucu kapalı çevrim histerezis akım kontrolü

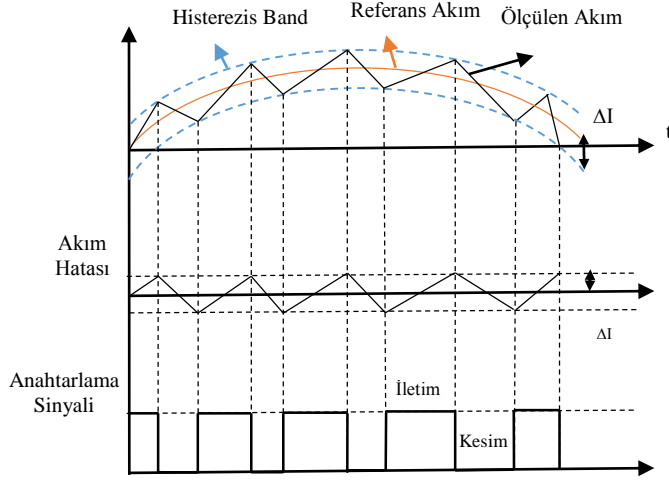
Histerezis akım kontrol yöntemi, ölçülen bobin akımının referans akımı ile karşılaştırılarak elde edilen akım hatasının belirlenen maksimum akım hatası bandı içinde hareket etmesini sağlamaya dayalı bir kontrol yöntemidir.

Kolay uygulanabilirliği, sistemin hızlı cevap verebilmesi ve sistem parametrelerinden etkilenmemesi histerezis akım kontrol yönteminin avantajlı yönleridir. Bundan dolayı histerezis akım kontrol yöntemi gerilim kaynaklı uygulamalarda anahtarlama elemanlarının kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Histerezis akım kontrol yönteminde anahtarlama frekansı sabit değildir ve bobin üzerindeki gerilime bağlı olarak bir periyot boyunca değişmektedir. Bundan dolayı filtre tasarımı zorlaşmaktadır. Bant genişliğinin düşük tutulması akım kalitesini yükseltmekte fakat anahtarlama frekansını ve anahtarlama kayıplarını arttırdığından dolayı verim düşmektedir.

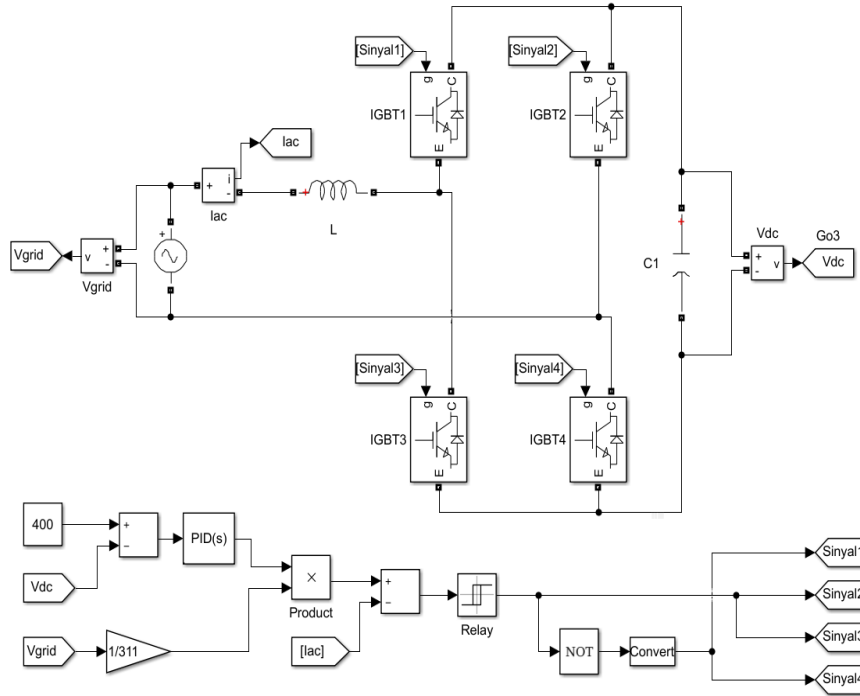
Ölçülen akım referans akım ile karşılaştırılarak akım hatası elde edilir ve Şekil 4.23'te görüldüğü gibi anahtarlama yapılarak hatanın histerezis bandı içinde kalması sağlanır. Histerezis akım kontrol yönteminde çıkış akımı bandın üst ve alt sınırı içerisinde hareket etmektedir. Akım hatası artıp bandın üst sınırına geldiğinde faz akımının azalması için faz anahtarı kesime sokulur. Ölçülen akım azalınca akım hatasının bandın alt sınırına gelmesi ile faz anahtarı iletme sokulur ve böylece akım hatası histerezis bandı içinde tutulur.

Tam dalga doğrultucunun çıkışındaki gerilimin istenen çıkış gerilimi ile farkı alınarak akım hatası bulunur ve bu sinyal PI kontrolörden geçirilir. Elde edilen sinyal giriş gerilimin belli bir katsayıdaki değeri ile çarpılarak sinüzoidale dönüştürülür ve giriş akımı ile farkı alınarak histerezis kontrolden geçirilerek anahtarlama sinyali elde edilir [42, 45, 46].

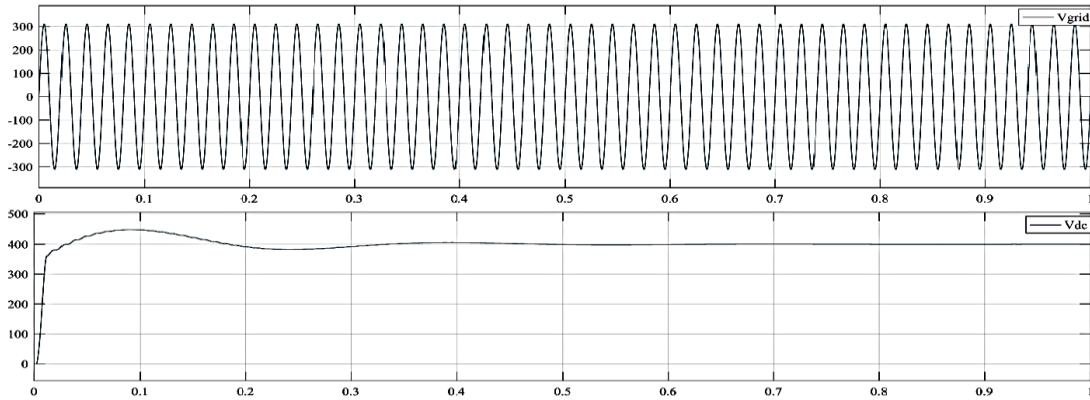
Şekil 4.24'de kapalı çevrim histerezis kontrol ile kontrol edilerek girişindeki 220 V AC gerilimden çıkışta 400 V DC gerilime dönüştüren devre ve anahtarlama sinyalinin elde edilişı verilmiştir. Şekil 4.25'de bu devrenin simülasyon sonucu verilmiştir.



Şekil 4.23 : Histeresis akım kontrol yöntemi ile anahtarlama sinyalinin elde edilmesi.



Şekil 4.24 : Kapalı çevrim histeresis PWM kontrollü tam dalga doğrultucu.



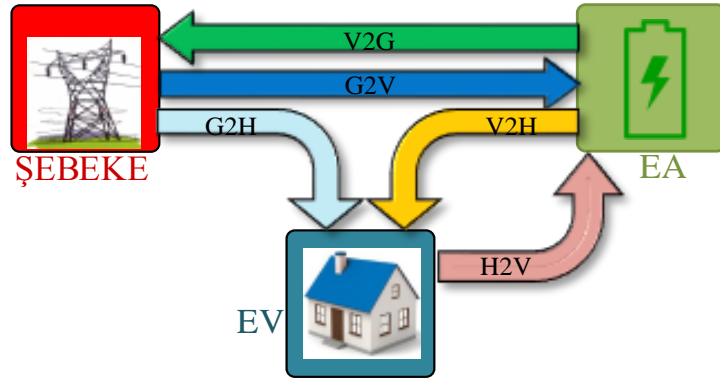
Şekil 4.25 : Kontrollü tam dalga doğrultucu simülasyon sonucu.

## 5. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İK YÖNLÜ ŞARJ DEVRESİ TASARIMI

Elektrikli araçların son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte taşımacılık sektörüne yeni bir yaklaşım sunarak, zararlı sera gazlarının salınımının azaltılmasına ve taşımacılık sektörünün akaryakıt fiyatlarından bağımlılığının azaltılmasına olanak sağlamıştır.

Elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılan akü grubunun şarj sistemleri konumsal olarak evsel şarj sistemi ve şehir içi istasyon şarj sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Şehir içi şarj istasyonları iş yeri, otopark, alışveriş merkezleri gibi şehrin farklı noktalarında gün içi kullanım sırasında akü kapasitesinin azalması durumlarında kullanılmaktadır. Evsel şarj sistemlerinde yer alan şarj noktaları ise aracın kullanım dışı olduğu süre zarfında ve ucuz enerji maliyetinin olduğu zaman aralıklarında şarj imkânı sunmaktadır.

Şarj sistemleri araç içi veya istasyon içinde (araç dışı) yer alabilmektedir. Bazı araçlar araç dışı şarj sistemleri ile uyumlu olsa da elektrikli araçlar genellikle araç içi şarj sistemlerine sahiptirler. Araç içi iki yönlü akü şarj sistemleri doğrudan AC elektrik şebekesine bağlanmaktadır. Bu sistemlerde yavaş şarj gerçekleşmektedir ve genellikle 3,5 kW altı güçlerde tasarlanmaktadır. İstasyon içi şarj sistemlerinde ise şarj sistemi araç dışında yer almakta ve doğrudan akü gerilimine ulaşmaktadır. Bu sistemler aküyü hızlı bir şekilde şarj etmek için kullanılmaktadır. Bu sistemlerin güç kapasitesi ise 20 kW üzerindedir [47, 48].

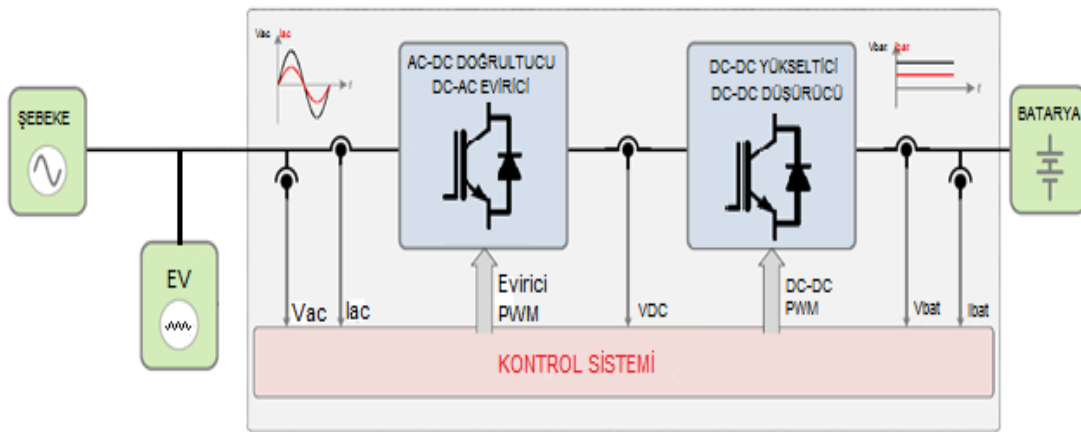


Şekil 5.1 : Elektrikli araç çalışma modları.

Şekil 5.1’de elektrikli araçlarda kullanılan şarj sistemlerindeki güç akış yönleri ve çalışma modları verilmiştir. Burada şebekeden araca (G2V), araçtan şebekeye (V2G), araçtan eve (V2H) ve evden araca (H2V) şeklinde dört farklı çalışma modu ortaya çıkmaktadır. Şebekeden eve (G2H) enerji akışı ise beşinci çalışma modu olarak araçtan bağımsız eve şebeke üzerinden enerji verilmesi modudur. Bu tez çalışmasında elektrikli araçların bataryalarının şebeke üzerinden direk şarj edilmesi (G2V), elektrikli araç bataryasının ev üzerinden şarj edilmesi (H2V), eve elektrikli araç üzerinden enerji verilmesi (V2H) ve elektrikli aracın batarya kitinin ev üzerinden şarj edilirken ani elektrik kesintilerine karşı kesintisiz güç kaynağı olarak (UPS) durumları incelenmiştir.

Bu çalışma modları için 2,5 kW gücünde iki yönlü batarya şarj sistemi tasarlanmıştır. Çalışmada, ağırlık ve hacim göz önüne alındığında enerji yoğunluğu olarak en verimli pillerden olduğundan 80 amper saatlik lityum iyon batarya tercih edilmiştir. Devre simülasyonu Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

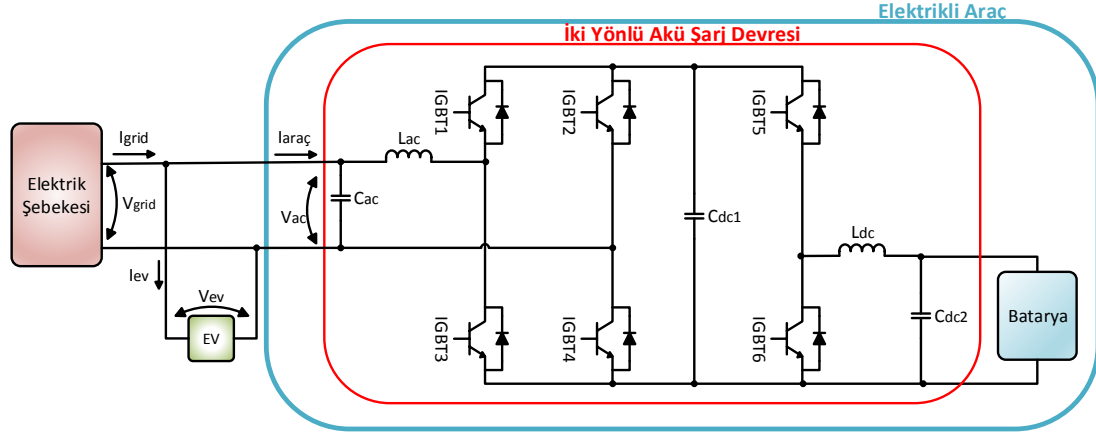
Şekil 5.3’de iki yönlü akü şarj sistemi blok diyagramı gösterilmiştir. Sistemde iki yönlü çalışan bir DC-DC dönüştürücü ve yine iki yönlü çalışan AC-DC PWM dönüştürücü kullanılmaktadır. Sistem kontrolünde şebeke akım ve gerilimi, DC bara akımı, batarya akım ve gerilimi ölçülerek çalışma modları belirlenmekte ve kontrol sinyalleri üretilmektedir. Batarya grubunun şarj veya deşarj olma durumuna göre anahtarlama elemanlarının durumuna kontrol sistemi karar vermektedir.



Şekil 5.2 : İki yönlü akü şarj sistemi blok diyagramı.



Tasarlanan sistemde şebeke akımı ve gerilimi, DC bara akımı, batarya akımı ve gerilimi ölçülerek kontrol sisteminde PWM sinyalleri üretilmektedir. Bataryaların şarj veya deşarj olacağına kontrol sistemi tarafından karar verilerek üretilecek PWM sinyaline karar verilmektedir [1, 6, 9, 11, 13, 18, 19].



Şekil 5.3 : İki yönlü akü şarj devresi.

Elektrikli araç batarya şarj sisteminin en önemli parçaları iki yönlü AC-DC ve DC-DC dönüştürücüdür. Elektrikli aracın bataryaları şarj edildiği zaman AC-DC dönüştürücü AC enerjiyi DC enerjiye dönüştürür. Elektrikli aracın bataryalarının deşarj olması durumunda da AC-DC çift yönlü dönüştürücü DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürür. DC-DC dönüştürücü ise akım kontrol tekniği ile çift yönlü güç akışını sağlar. DC-DC dönüştürücü şarj modunda düşürücü olarak deşarj durumunda da yükseltici olarak çalışmaktadır. Şekil 5.3'te iki yönlü akü şarj devresi gösterilmiştir.

Sistemin gücü hesaplanırken DC bara gerilimi olarak 400 V alınmıştır ve sistemin gücü 2,5 kW alındığında sistemin çıkış direnci (5.1)'de olduğu gibi bulunur.

$$R = \frac{V^2}{W} = 64\Omega \quad (5.1)$$

D görev oranı ise sistem yükseltici olarak çalıştığında (4.14) denkleminde

$$D = 1 - \frac{V_g}{V_c} = 1 - \frac{250}{400} = 0,375 \quad (5.2)$$

olarak bulunmaktadır. Sistemde bulunan  $L_{dc}$  değeri hesaplanırken (4.17) denklemi kullanılarak (5.3)'teki gibi elde edilmiştir. Burada giriş gerilimi batarya gerilimi olan  $V_g=250$  V, çıkış gerilimi DC bara gerilimi olan  $V_{dc}=V_c=400$  V'tur. IGBT anahtarlama frekansı  $f=20$  kHz olan devrede çıkıştaki akım dalgalanması maksimum  $\Delta i_L=0,5$  A olarak alınmıştır.

$$L_{dc} = \frac{V_g}{2\Delta i_L} DT = \frac{V_g D}{2\Delta i_L f} = \frac{250 \times 0,375}{2 \times 0,5 \times 20 \times 10^3} = 450 \times 10^{-6} \text{ H} \quad (5.3)$$

$C_{DC1}$  kondansatör değeri hesaplanırken (4.20) denklemi kullanılarak (5.4)'teki değer hesaplanmıştır. Burada çıkıştaki gerilim dalgalanması  $\Delta v = 0.01 \text{ V}$  alınmıştır.

$$C_{dc1} = \frac{V_\zeta}{2R\Delta v} DT = \frac{V_\zeta D}{2R\Delta v f} = \frac{400 \times 0,375}{2 \times 64 \times 0,01 \times 20 \times 10^3} = 5860 \times 10^{-6} \text{ F} \quad (5.4)$$

Düşürücü dönüştürücüde giriş gerilimi 400 V çıkış gerilim gerilimi 250 V için düşürücüdeki D görev oranı (4.3) denklemi ile (5.5)'teki gibi hesaplanır.

$$D = \frac{V_\zeta}{V_g} = \frac{250}{400} = 0,625 \quad (5.5)$$

Bobin değeri olarak yükselticideki bobinin değerini kullanacak olursak çıkıştaki akım dalgalanması (4.7)'den  $\Delta i_L$  çekilerek hesaplanırsa;

$$\Delta i_L = \frac{V_g - V_\zeta}{2L_{DC}} DT = \frac{(V_g - V_\zeta)D}{2L_{DC}f} = \frac{(400-250) \times 0,625}{2 \times 450 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3} = 5,2 \text{ A} \quad (5.6)$$

olarak bulunur. Düşürücü modundaki 5A üzerindeki akım dalgalanması bataryaların ayarlanan şarj akımına göre devrenin kesintili modda çalışmasına sebebiyet verebilir. Düşürücü modda akım dalgalanmasının değerinin düşürülmesi için bobin değerinin daha büyük olması gerekmektedir. Düşürücü modda çıkış akımındaki dalgalanmayı  $\Delta i_L = 1 \text{ A}$  olarak bobin değerinin hesaplanması için (4.7) den (5.7) gibi hesaplanırsa;

$$L_{DC} = \frac{V_g - V_\zeta}{2\Delta i_L} DT = \frac{(V_g - V_\zeta)D}{2\Delta i_L f} = \frac{(400-250) \times 0,625}{2 \times 1 \times 20 \times 10^3} = 2,345 \times 10^{-3} \text{ H} \quad (5.7)$$

bulunur. Bu durumda yükseltici modunda çıkıştaki akım dalgalanması (4.16)'dan

$$\Delta i_L = \frac{V_g DT}{2L} = \frac{V_g D}{2Lf} = \frac{250 \times 0,375}{2 \times 2,345 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3} = 0,096 \text{ A} \quad (5.8)$$

gibi hesaplanacaktır ki bobin değeri için (5.7) hesaplanan değeri kullanmak daha uygun olacaktır.  $C_{DC2}$  değerini hesaplarken (4.11)'deki eşitlikten (5.9) gibi hesaplanır.

$$C_{DC2} = \frac{\Delta i_L T}{8\Delta v} = \frac{\Delta i_L}{8\Delta v f} = \frac{1}{8 \times 0,01 \times 20 \times 10^3} = 624 \times 10^{-6} \text{ F} \quad (5.9)$$

## 5.1 Bataryaların Şarj-Deşarj Süreci

Aynı anda birçok elektrikli aracın şebekenin yoğun olduğu zamanlarda şarj edilmesi durumunda şebeke aşırı yüklenecektir. Şebekenin yoğun olmasına göre elektrikli aracın şarj veya deşarjına (evin elektrikli araçtan beslenmesi) karar verilmesi durumunda elektrikli araç şarjı şebekeye yük olmaktan çıkacaktır. Ayrıca, şebekenin yoğunluğuna göre belirlenen farklı elektrik birim fiyatları göz önüne alındığında; aracın birim fiyatın düşük olduğu zamanlarda şarj edilmesi ve birim fiyatın yüksek olduğu zamanlarda evin elektrikli araçlardan beslenmesi ile hem şebekeye binen yük azalacak hem de önemli derecede ev tüketiminin maliyetinden tasarruf sağlanacaktır. Bu durumlar, bataryaların şarjının veya deşarjının kontrollü ve kontrolsüz olarak yapılması olmak üzere iki farklı yöntemden kaynaklanmaktadır.

Kontrollü yöntemde, bataryalar şebekenin gücüne ve ihtiyacına göre, araç sahibinin uygunluğuna göre şarj veya deşarj edilir. Bu durumda elektrik enerjisi fiyatları ve batarya şarj durumu (SOC) gibi bazı parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir.

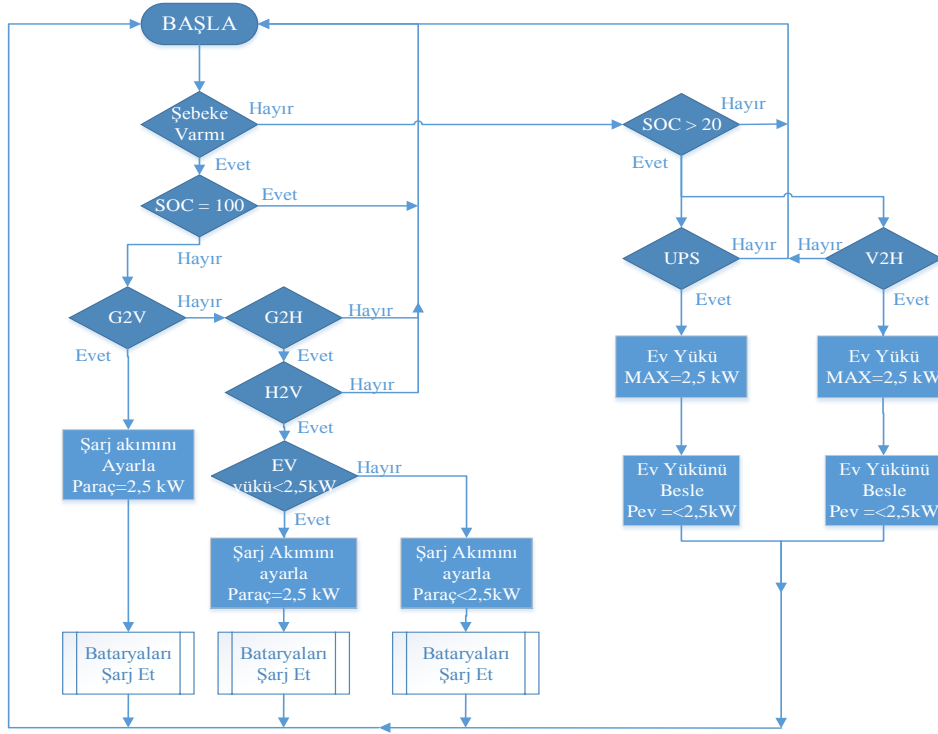
Kontrolsüz yöntemde, adındanda anlaşıldığı üzere şarj sisteminde herhangi bir kontrol yoktur. Tek kontrol, elektrikli aracın şarj veya deşarj edilmesi kararı ile başlarken bu karar aracın sahibinin uygunluğuna ve kararına bağlıdır. Şarj süreci aracın şebekeye bağlanmasından hemen sonra başlar. Bundan dolayı, yüksek sayıdaki elektrikli aracın aynı anda şebekeye bağlanması durumunda güç tüketiminde aşırı yük ve ani yüklenme problemleri ortaya çıkabilmektedir. Buna rağmen günümüzde kontrolsüz yöntem en yaygın yöntem olarak kullanılmaktadır.

DC-DC dönüştürücünün kontrolü; şarj kontrolü ve deşarj kontrolü olmak üzere iki kısma ayrılır. Öncelikle şarj ve deşarj modları arasında karar vermek için şebeke gerilimine ve batarya kapasitesine bakılır. Şebeke geriliminin var olduğu ve batarya kapasitesinin %100'den düşük olduğu durumlarda batarya şarj edilir. Şebeke geriliminin olmadığı ve batarya kapasitesinin %20 den fazla olduğu durumlarda ise bataryadan yük beslenerek deşarj modunda çalışır. %20 lik batarya seviyesi elektrikli aracın acil ihtiyaçlar durumunda kullanılabilmesi için minimum şarj seviyesi olarak korunmaktadır.

Şarj modunda ölçülen batarya akımı ile referans batarya akımı arasındaki hata hesaplanır. Bu hata PI kontrolden geçirilerek darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanılarak IGBT 5'i tetiklemek için anahtarlama sinyali üretilir. Şarj modu sırasında

IGBT 6 devre dışıdır ve kapalı durumdadır. Şekil 5.4'te elektrikli aracın bataryalarının şarj/deşarj edilmesinde karar akış diyagramı verilmiştir.

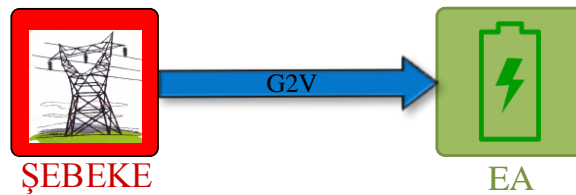
Deşarj modunda referans DC bara gerilimi ve ölçülen DC bara gerilimi arasındaki hatayı hesaplar ve bu hata PI kontrolden geçerek ayarlanır. PI kontrol çıkışı PWM'ye girer ve çıkışta IGBT 6 için bir anahtarlama sinyali elde edilir. Deşarj modunda IGBT devre dışıdır ve kapalı moddadır [2, 3, 6, 9, 18, 23].



Şekil 5.4 : Elektrikli aracın modlarına karar verilmesi.

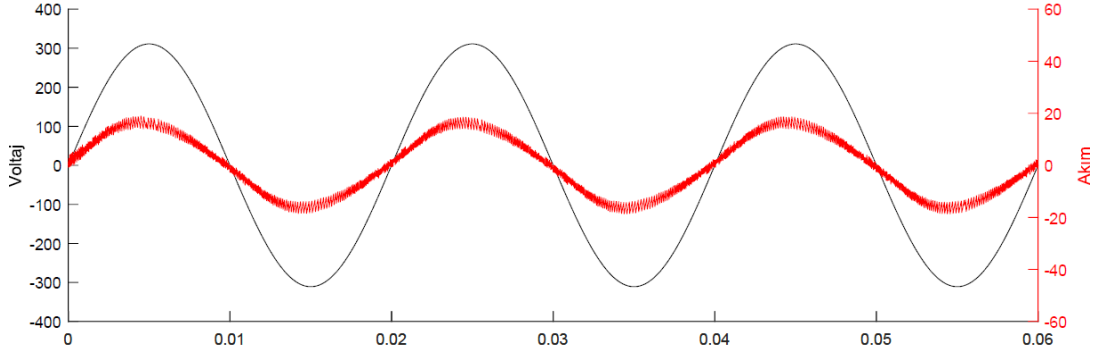
## 5.2 Şebeke Üzerinden Aracın Şarj Edilmesi (G2V)

Şebekeden elektrikli araca (G2V) modu elektrikli aracın bataryalarının direkt şebekeden şarj edilmesinde kullanılan en temel ve basit çalışma modudur. Şebeke sistemi ve elektrikli araç batarya şarj sistemi arasında herhangi bir iletişim yoktur. Bu yöntem, günümüzde elektrikli araçlar için en çok kullanılan yöntemdir.



Şekil 5.5 : G2V elektrikli araç çalışma modu enerji akışı.

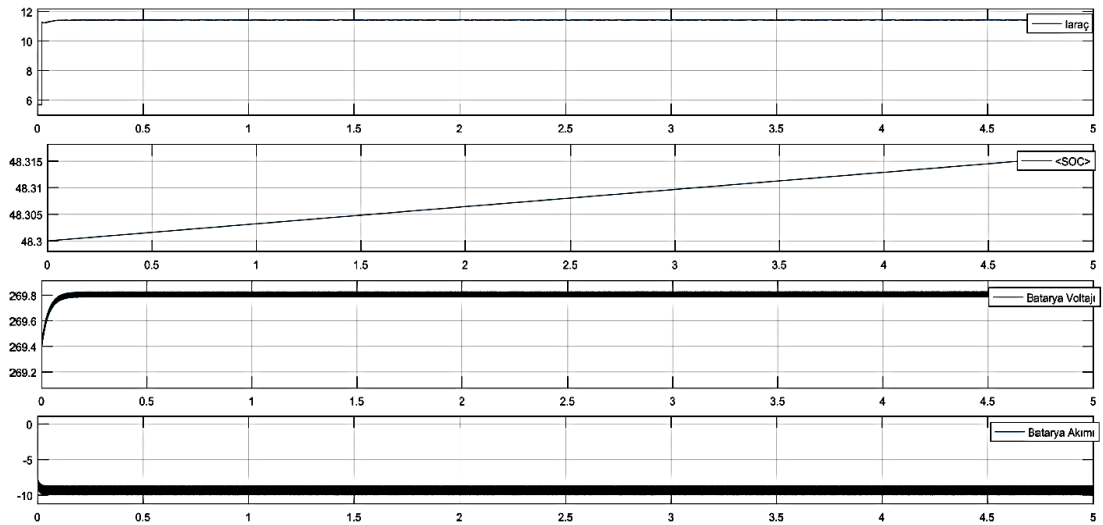
Şekil 5.6'da şebekeden elektrikli aracın şarj edilmesi (G2V) modunda şebeke gerilimi ve elektrikli aracın çektiği akım değişimi verilmiştir. Görüldüğü üzere şebeke frekansı ve elektrikli aracın çektiği akımın frekansı aynıdır ve akım ile gerilim senkron dur.



Şekil 5.6 : G2V modunda şebeke gerilimi ve elektrikli aracın çektiği akım.

Bu modda AC-DC PWM doğrultucu şebeke gerilimini doğrultup 400 V DC bara gerilimine yükseltir ve DC-DC dönüştürücü düşürücü modda çalışır. DC-DC düşürücü 400 V DC baradan bataryayı şarj etmektedir. Batarya şarj akımı 2,5 kW gücünde şarj devresi gücü referans alınarak kontrol sistemi tarafından sabit tutulmaktadır. DC-DC düşürücüde akım kontrolü yapılarak anahtarlama elemanlarına tetikleme sinyali üretilmektedir.

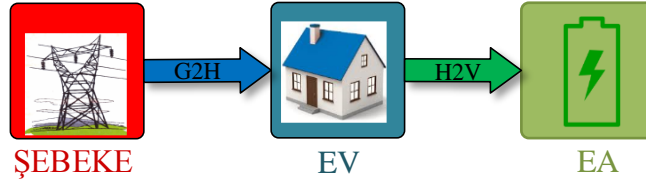
Şekil 5.7'deki simülasyon sonuçlarında batarya şarj durumunun artışı gözükmektedir. Bataryalar 269,8 V gerilimde yaklaşık 9,3 A akım ile şarj olmaktadır. 80 Ah bataryaların tamamen boşken dolmasının yaklaşık 9 saat süreceği hesaplanmıştır. Batarya şarj cihazı 2,5 kW güç ile çalışacak şekilde batarya akımı ayarlanmıştır.



Şekil 5.7 : G2V modunda elektrikli aracın çektiği RMS akım, bataryanın şarj durumu, batarya gerilimi ve bataryanın çektiği akımın değişimi.

### 5.3 Ev Üzerinden Aracın Şarj Edilmesi (G2H-H2V)

Evden aracın şarj edilmesi (H2V) ile şebekeden evin beslenmesi (G2H) modları şebekeden aracın şarj edilmesi (G2V) modunun alt modları olarak incelenebilir. G2V modunda şebekeden çekilen güç elektrikli aracın çektiği güce göre ayarlanır. H2V modunda ise eve şebeke tarafından sağlanan maksimum güç ile hem elektrikli araç bataryaları şarj edilir hem de evin yükleri beslenir. Bu modda öncelikli olarak evin elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanır. Şebekeden eve sağlanabilecek olan toplam maksimum güç ve evin ihtiyacı arasındaki güç farkı ile elektrikli aracın bataryaları şarj edilir. H2V modunda ev yüküne göre elektrikli aracın çektiği akım ayarlanır bundan dolayı ev yükünün fazla olduğu durumlarda şarj süresi uzayabilir. Şekil 5.8’de G2H-H2V Elektrikli araç çalışma modu enerji akışı görülmektedir.

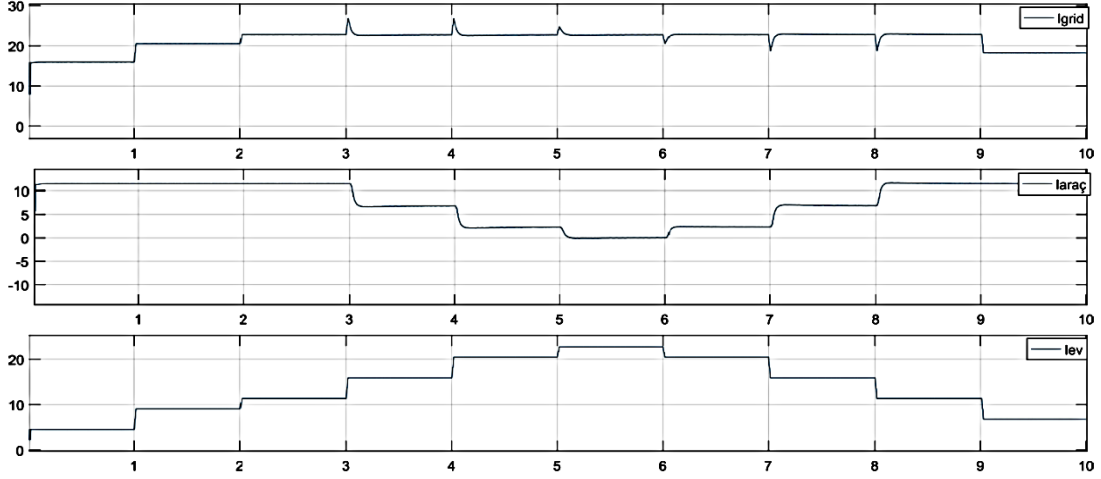


Şekil 5.8 : G2H-H2V elektrikli araç çalışma modu enerji akışı.

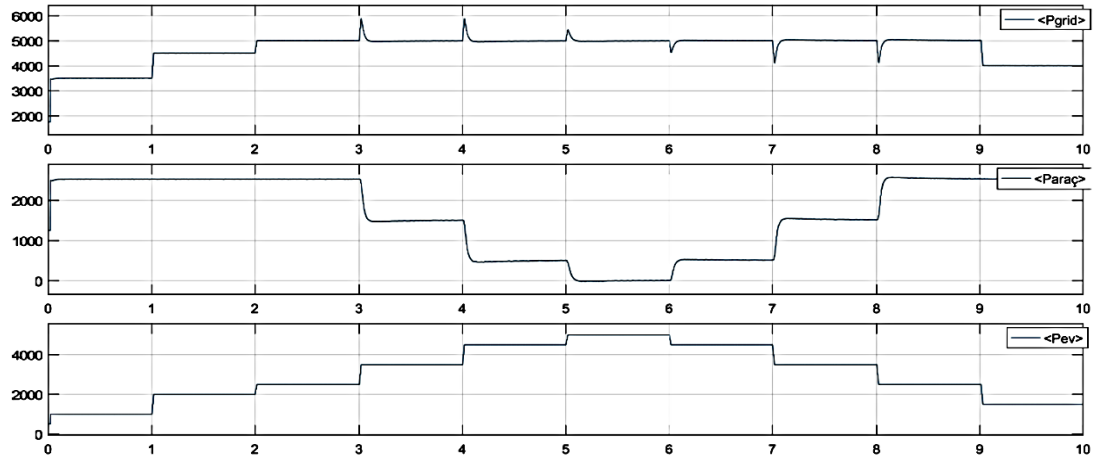
Ev üzerinden aracın şarj edilebilmesi (H2V) için AC-DC dönüştürücü doğrultucu modunda çalışmalı ve girişindeki şebeke gerilimini DC bara gerilimine çevirmelidir. Ayrıca DC-DC dönüştürücünün de düşürücü modunda çalışarak DC bara gerilimini sistemdeki bataryaların şarj edilebilmesi için düşürmelidir [9, 17, 19].

Şekil 5.9’da elektrikli aracın bataryalarının ev üzerinden (G2H-H2V) şarj edilmesi durumundaki simülasyon sonuçları verilmiştir. İlk grafik şebekeden çekilen akımın RMS değerini, ikinci grafik elektrikli aracın çektiği şarj akımının RMS değerini ve üçüncü grafik ise evin yükünün çektiği akımın RMS değerini göstermektedir. Şekil 5.10’da elektrikli aracın bataryalarının ev üzerinden (G2H-H2V) şarj edilmesi durumunda şebekenin, evin ve elektrikli aracın güçlerinin değişimleri verilmiştir. Şebekeden eve maksimum 5 kW’lık güç verilebilmektedir. Ev yükü 2,5 kW’ın altında iken elektrikli araç bataryaları iki yönlü akü şarj devresi ile 2,5 kW’lık bir akımla şarj edilmektedir. Ev akımı 2,5 kW üzerine çıktığında şebekeden ev için tahsis edilen 5 kW’lık toplam kapasitede öncelik ev yüküne verilerek geri kalan güç kapasitesi ile elektrikli araç bataryalarının şarjına devam edilmektedir. 5 kW gücün üzerindeki şebekeden çekilen pik akımları yaklaşık olarak 0,05 saniye olup bu pik akımlar sistem

elektrikli aracın şarj akımını kısıtığında kaybolmaktadır. Söz konusu pik akımlar süre itibariyle kısa olması ve şebekeden çekilen akımın küçük katlarında olduğundan ev girişinde seçilen B veya C tipi sigortaların akım toleransları içinde kalmaktadır. Ev yükü tekrar 2,5 kW'ın altına düştüğünde ise kontrol sistemi tekrar elektrikli araç tarafından çekilen akımı arttırmaktadır.



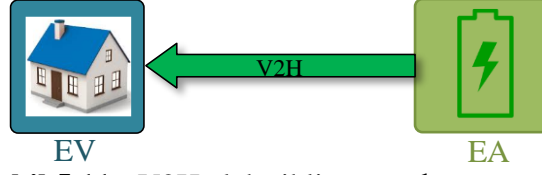
**Şekil 5.9 :** G2H-H2V modlarında şebekeden evin ve elektrikli aracın çektiği RMS akımlar.



**Şekil 5.10 :** G2H-H2V modlarında şebekeden evin ve elektrikli aracın çektiği güçler.

#### 5.4 Eve Araç Üzerinden Enerji Verilmesi (V2H)

Araçtan eve modu (V2H) elektrikli araç bataryalarında depolanan enerji ile ev yükünün beslenmesi durumudur. Elektrik şebekesinin hiç olmadığı yerlerde veya şebekenin uzun süre kullanılmadığı durumlarda evdeki elektrik enerjisi ihtiyacı elektrikli araç üzerinden karşılanabilir. Plug-in hibrit araçlarda içten yanmalı motor ile veya şebekenin olduğu bir yerde şarj edilmiş elektrikli araç bataryaları üzerinden ev beslenebilir. Şekil 5.11'de V2H Elektrikli Araç çalışma modu gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : V2H elektrikli araç çalışma modu.

Ayrıca şebekenin olduğu yerlerde elektrik fiyatının düşük olduğu zaman diliminde elektrikli aracın şarj edilmesi ve elektrik fiyatının yüksek olduğu zaman diliminde ev yükünün elektrikli araç üzerinden beslenmesi ile tasarruf sağlanabilir. Bu durumda batarya şarj sisteminin akıllı bir sistemle kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu akıllı sistemin elektriğin hangi saatlerde daha uygun fiyatta olduğunu hangi saatlerde fiyatının yüksek olduğunu bilmesi gerekir. Kontrol sistemi, elektrik fiyatının düşük olduğu saatlerde elektrikli aracın bataryaları şarj eder ve elektrik fiyatının pahalı olduğu saatlerde ev yükü araçtan besler. Böylece hem enerji maliyetinde önemli tasarruf sağlanır hem de şebekenin yoğun olduğu zaman diliminde aşırı yüklenmiş şebekeyi rahatlatır.

Şebekenin çok zamanlı fiyatlandırılması durumunda elektriğin fiyatının uygun olduğu anda araçta depolanması ve fiyatın yüksek olduğunda evin elektrik ihtiyacının araçtan sağlanması ile tasarruf yapılması düşünülmektedir.

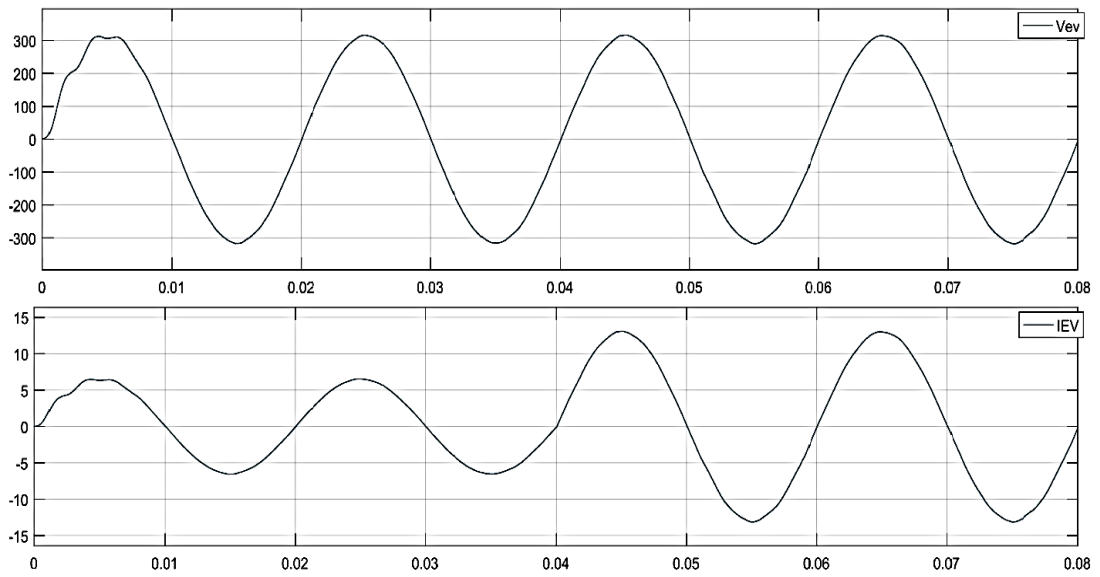
Bir kişisel elektrikli aracın günlük kullanımı yaklaşık olarak günün %10'una denk gelmektedir. Günün geri kalanında araç park halinde olduğu sırada eve bağlanması ve evin tükettiği elektrik enerjisinden tasarruf etmek için kullanılması mümkündür.

Araçtan evin beslenmesi için DC-DC dönüştürücü yükseltici modunda çalışacaktır ve girişindeki batarya gerilimini DC bara gerilimine yükseltecektir. AC-DC dönüştürücü evirici modunda çalışarak DC bara gerilimini çıkışında AC şebeke gerilimine dönüştürecektir. Araçtan eve teknolojisi elektrikli araçların evin elektrik ihtiyacı için bir kaynak olarak kullanılmasına imkân veren bir sistemdir. Bu sistem daha önce anlatıldığı gibi bir çift yönlü AC-DC dönüştürücüye ihtiyaç duyar. V2H modunda çalışırken, AC-DC dönüştürücü elektrikli ev aletlerini beslemek için istenen frekans ve genlikte sinüzoidal gerilim üretir. Elektrikli araç bataryalarında depolanan enerjinin şebekeye AC-DC çift yönlü dönüştürücü tarafından geri verilebilmesi için DC bara geriliminin şebeke geriliminin tepe değerinden daha büyük olması gerekmektedir. Bundan dolayı elektrikli araç bataryalarının geriliminin şebeke gerilimi maksimum değerinden daha düşük olduğu durumlarda çift yönlü DC-DC dönüştürücünün



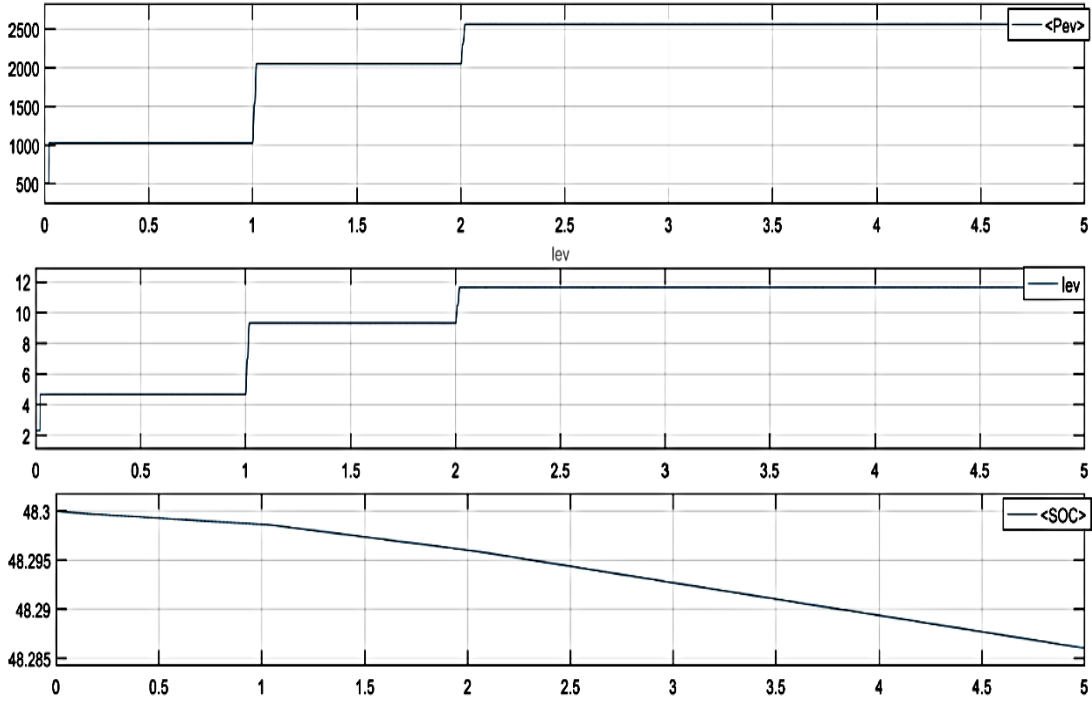
yükseltici dönüştürücü olarak çalışması gerekmektedir. Devre DC bara kısmında birleşen iki güç dönüştürücünden oluşmaktadır. Bunlardan biri elektrik şebekesine diğeri elektrikli araç bataryasına bağlıdır [6, 9, 11, 17, 18, 20, 22].

Şekil 5.12’da elektrikli araçtan evin beslenmesi durumunda ev yükü gerilimi ve akımı gözükmektedir. Simülasyon sonuçlarında gözüktüğü üzere gerilim ve akım yarım periyot yani 0,01 saniyeden sonra kararlı hale gelmiştir. 0,04 saniyede 1 kW olan ev yükü 2 kW’a çıkarılmıştır. Evirici çıkışındaki gerilimde bozulma meydana gelmemiş ve ev yükünün çektiği akım iki katına çıkmıştır.



**Şekil 5.12 :** Elektrikli araçtan evin beslenmesi durumunda evirici çıkışındaki gerilim ve ev yükünün çektiği akım.

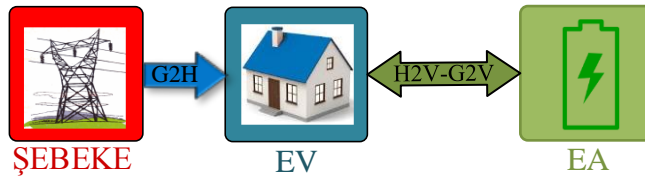
Şekil 5.13’da elektrik şebekesinin hiç olmadığı bir yerde veya şebekenin belli bir süre kullanılamaması durumlarında elektrikli araçtan ev yükünün beslenmesi (V2H) durumu simülasyon sonuçları verilmiştir. Batarya şarj durumundaki azalıştan anlaşıldığı gibi bataryalar deşarj olmaktadır. Değişken ev yükü 2. saniyede 2,5 kW’a ulaşmaktadır. Şebeke enerjisi kesintisi sırasında ev yükü 2,5 kW olduğundan bu güç tamamen elektrikli araç bataryalarından sağlanabilmektedir. 2,5 kW yükü tam şarjlı elektrikli araç bataryaları ile 9 saate kadar beslemek mümkündür. DC-DC dönüştürücü yükseltici modunda çalışarak batarya gerilimini DC bara gerilimi olan 400 Volta çıkarmıştır. DC-DC dönüştürücü gerilim ve akım kontrollü kapalı çevrim PWM ile kontrol edilmektedir.



Şekil 5.13 : İki yönlü akü şarj sisteminin değişken ev yükünün elektrikli araç üzerinden beslenmesi (V2H) durumu.

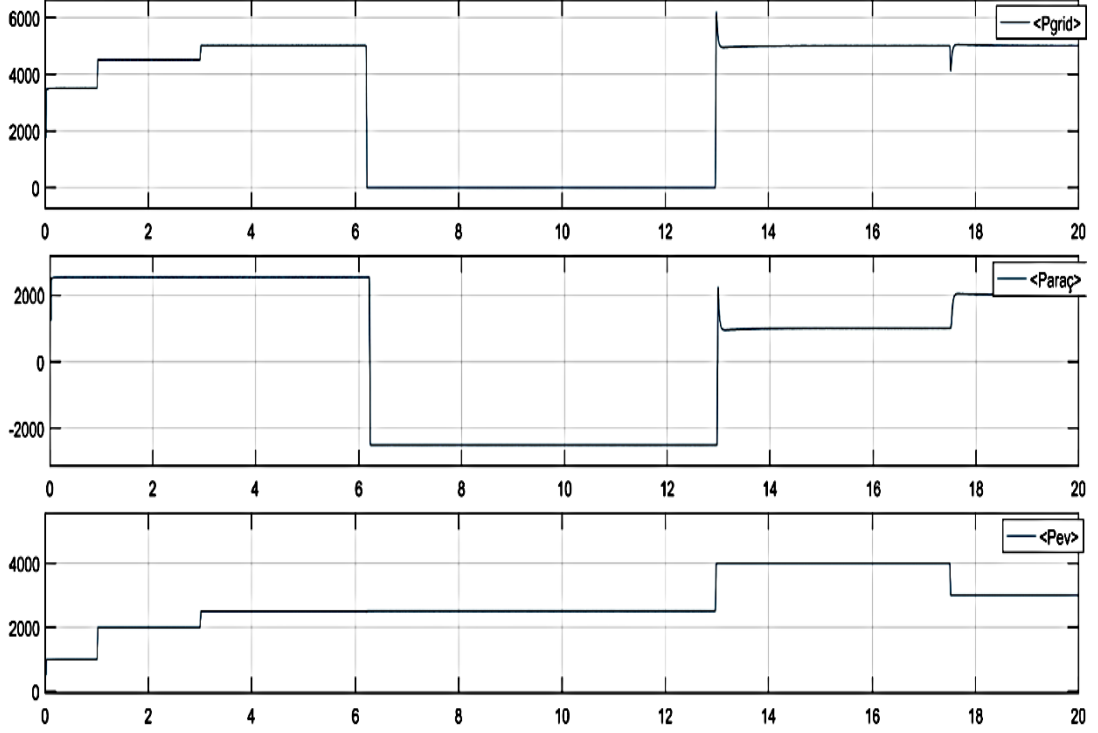
### 5.5 Aracın Kesintisiz Güç Kaynağı Modu (H2V-V2H)

Elektrikli aracımız iki yönlü akü şarj sistemi sayesinde şebekenin kısa süreli ani kesintilerinde kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılabilir. Bu sistem yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte çalıştırılarak sistemin verimliliği artırılabilir. Şekil 5.14'de UPS (H2V-V2H) Elektrikli Araç Çalışma Modu gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : UPS (H2V-V2H) elektrikli araç çalışma modu

Aracın kesintisiz güç kaynağı olarak çalışması durumunda evin enerji kesintilerinde geçici olarak enerjisinin elektrikli aracın aküsünden sağlanması düşünülmektedir. Bu mod aslında evden araca (H2V) ve araçtan eve (V2H) modlarının birlikte çalışmasıdır. Şebekenin olduğu durumlarda elektrikli aracın bataryalarının şarj edilmesi ve kesinti durumlarda elektrikli araçtan evin kesintisiz olarak beslenmesi modlarını içermektedir [9, 11, 18].

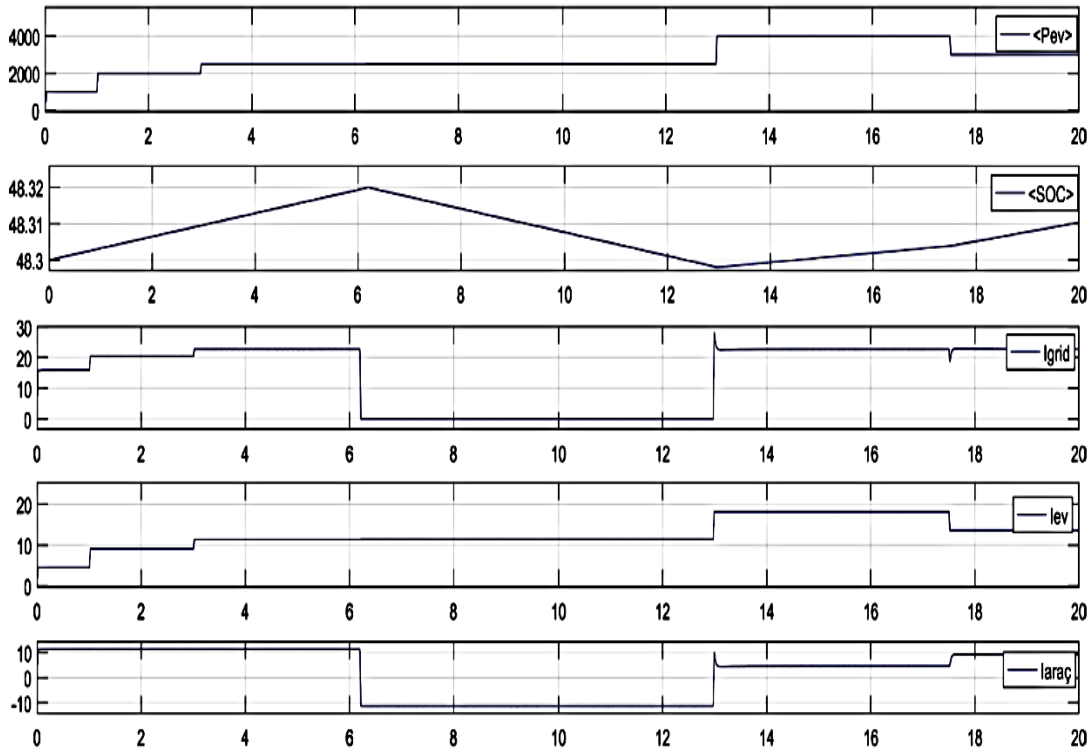


**Şekil 5.15 :** İki yönlü akü şarj devresinde kesintisiz güç kaynağı (H2V- V2H) modu. Şebekeden çekilen güç ( $P_{grid}$ ), elektrikli aracın çektiği güç( $P_{araç}$ ) ve ev tarafından çekilen güç ( $P_{ev}$ ).

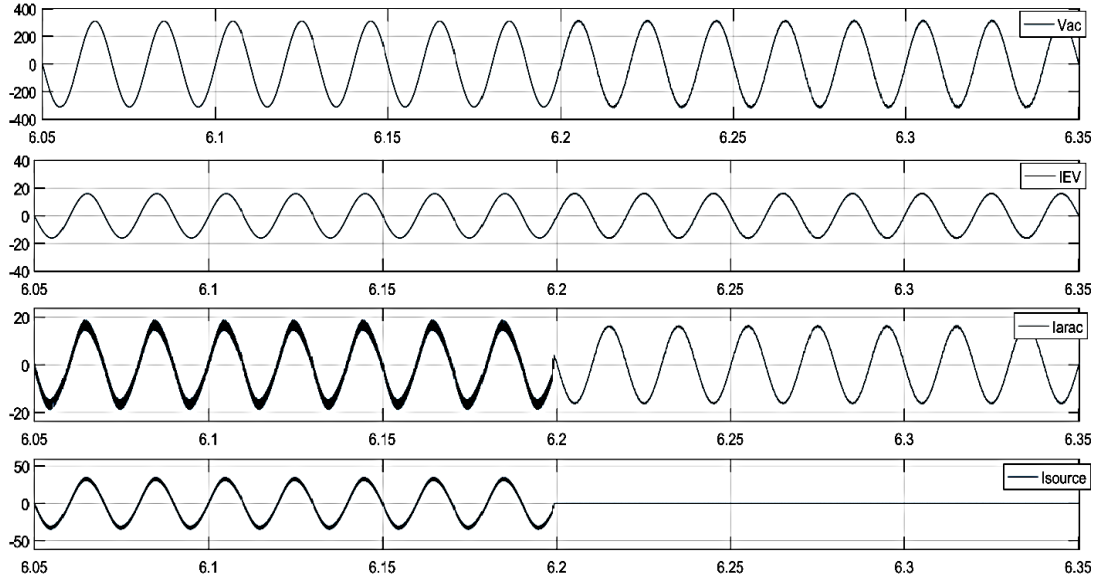
Şekil 5.15’de iki yönlü akü şarj sistemi kesintisiz güç kaynağı çalışma modunda çalışırken şebekeden çekilen güç, evden çekilen güç ve elektrikli aracın gücü verilmiştir. 6,2 saniye anında şebeke kesilmiş ve 13. saniyede gelmiştir. Kesinti sırasında ev yükü otomatik ve kesintisiz bir şekilde elektrikli aracın bataryaları üzerinden beslenmiştir. Ev yükünün sadece 2,5 kW’a kadar olan önemli yükleri şebeke kesintisi sırasında elektrikli araç tarafından beslenmiştir. 13. Saniyeden sonra elektrikli araç şarj edilirken grafikteki 13-17,5 saniye arasında ev yükü 4 kW’a çıkmıştır. Bu sırada şebekenin ev için tahsis ettiği toplam güç olan 5 kW aşıldığı kontrol sistemi tarafından algılanarak 0,2 saniye kadar bir süre içinde elektrikli aracın şarj akımı kısılarak ev sigortaları atmadan şebekeden çekilen toplam güç 5 kW’ın altına indirilmiştir.

Şekil 5.16’de iki yönlü akü şarj devresinin H2V ve V2H modlarının beraber kullanılması ve sistemin kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılması simülasyon sonuçları verilmiştir. Simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi ev yükü 5 kW’a kadar değişken yüküdür. Grafikte bataryanın kapasite durumundan şebekenin olduğu anda şarj edildiği ve şebekenin gittiği anda ev yükünü beslediği için deşarj olduğu

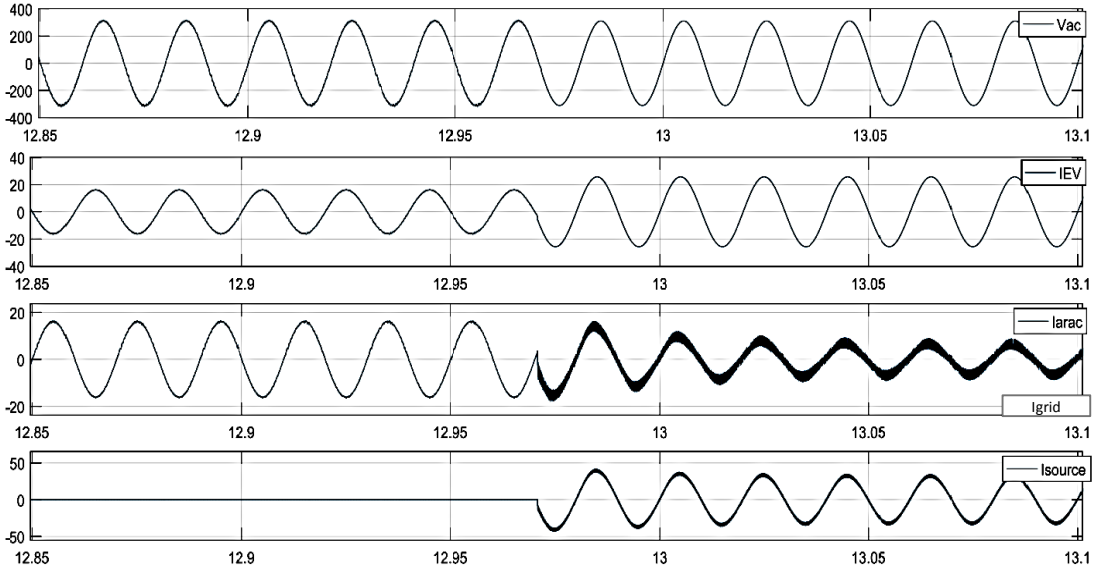
gözükmemektedir. Şebeke kesintisi sırasında toplam 5 kW'lık ev yükünün beslenmesinde öncelikli olan 2,5 kW'lık yük kontrol sistemi tarafından otomatik olarak elektrikli araç tarafından beslenmektedir. Diğer kalan 2,5 kW'lık kısım, ev yüküne elektrikli araç tarafından enerji verildiği anda kontrol sistemi tarafından devre dışı bırakılmaktadır. Şebeke olduğunda, şebeke tarafından eve 5 kW'lık toplam güç tahsis edilmiştir. İki yönlü batarya şarj cihazı kontrol sistemi ev yükü 2,5 kW'a kadar olduğunda elektrikli aracı 2,5 kW ile şarj etmektedir. Ev yükü 2,5 kW üzerine çıktığı anda şebeke tarafından eve tahsis edilen toplam güce göre elektrikli aracın bataryalarını şarj akımı kontrol sistemi tarafından ayarlanmakta ve geri kalan güç elektrikli aracın bataryalarını şarj etmektedir. Şekil 5.17'te görüldüğü gibi 6,2 saniye anında şebeke kesildiğinde iki yönlü batarya şarj sistemi kesintiyi algılayıp ev yükünü herhangi bir gerilim ve akım kesinti olmaksızın beslemeye devam etmektedir. Şekil 5.18'te sistem çalışmasının yaklaşık 13. saniyesinde şebeke enerjisi geldiğinde iki yönlü batarya şarj devresi ups çalışma modundan çıkmaktadır ve ev yükü şebeke tarafından kesintisiz bir şekilde beslenmeye devam etmektedir.



**Şekil 5.16 :** İki yönlü akü şarj sisteminde kesintisiz güç kaynağı (UPS) modu simülasyon sonuçları.



**Şekil 5.17** : Aracın kesintisiz güç kaynağı modunda kullanılması sırasında şebeke kesilmesi anında gerilim ve akımlar.



**Şekil 5.18** : Aracın kesintisiz güç kaynağı modunda kullanılması sırasında şebeke gelmesi anında gerilim ve akımlar.

Şebeke kesildiği ve geldiği anda elektrikli aracın akımının yönü değişmektedir. Evi besleyen AC gerilimde herhangi bir değişme yaşanmamıştır. Ev tarafından çekilen akımda geçişlerde simülasyon sonucunda gözüktüğü gibi herhangi bir değişme ve gecikme yaşanmamıştır.



## 6. SONUÇ

Bu projede Plug-in hibrit araçlar için 2,5 kW gücünde iki yönlü batarya şarj devresi tasarımı Matlab/Simulink 2016b kullanılarak, şebekeden araca (G2V), evden araca (H2V), araçtan eve (V2H) ve kesintisiz güç kaynağı (UPS) modları gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları elde edilmiştir.

G2V modunda şebekeden direkt elektrikli aracın bataryaları şarj edilir. Gerçekleştirilen simülasyon sonucuna göre bu mod ile direkt şebekeden (araç şarj istasyonu v.b.) elektrikli araç şarj işlemi gerçekleştirilmiştir.

H2V modunda ise eve ayrılan 5 kW'lık güçten aynı zamanda elektrikli aracın şarj edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu mod sayesinde elektrikli aracımızı, enerji sağlayıcısı tarafından evimize verilen enerjiden, herhangi bir şarj istasyonuna gitme zorunluluğu olmadan şarj edebiliriz.

V2H modu eve elektrikli araçtan enerjinin verildiği moddur. Bu çalışma modu sayesinde şebeke enerjisinin olmadığı yerlerde veya uzun kesintinin söz konusu olduğu durumlarda evin beslenmesi gereken maksimum 2,5 kW'lık yükünün elektrikli araçtan beslenmesi modu gerçekleştirilmiştir.

H2V ve V2H modlarının beraber kullanılmasıyla enerji fiyatının uygun olduğu zamanlarda elektrikli aracın bataryalarının şarj edilmesi ve enerji fiyatının yüksek olduğu zamanlarda ev yükünün elektrikli araçtan beslenmesi ile önemli ölçüde enerji maliyetinden tasarruf sağlanabilir. Örneğin ülkemizde enerji tarifesi 3 zamana ayrılmıştır.

**Çizelge 6.1 : 2018 yılı ülkemizdeki birim fiyatlar.**

Mesken Tarifesi	Gündüz (06:00 - 17:00)	Puant (17:00 - 22:00)	Gece (22:00 - 06:00)
Tek Zamanlı	0,5972 TL		
Üç Zamanlı	0,6050 TL	0,8886 TL	0,3783 TL

Çizelge 6.1’de gözüktüğü gibi elektriğin fiyatının uygun olduğu gece evden şarj edilen elektrikli araç ile en pahalı olduğu puan zamanında ev yükünün elektrikli araçtan beslenmesi durumunda elektriğe bu 5 saatlik sürede 0,8886 TL yerine 0,3783 TL ödenecektir. Böylece hem ev kullanıcı tasarruf sağlamış olacak hem de elektrik dağıtım firmasının şebeke hattına bu saatlerde düşen yük yoğunluğu azaltıldığından şebekede bir rahatlama söz konusu olacaktır.

UPS modunda elektrikli aracın eve bağlı olduğu ve şarj edildiği durumlarda ani enerji kesintisinde ev yükünün herhangi bir enerji kesintisine ve dalgalanmasına maruz kalmadan elektrikli araçtan beslenmesi ve enerjinin gelmesinden itibaren ev yükünün tekrar enerjide herhangi bir kesinti ve dalgalanma yaşanmadan şebekeden beslenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu mod sayesinde elektrikli araç bir kesintisiz güç kaynağı gibi çalışmaktadır.

Elektrikli araçlar için akü şarj sistemi ile elektrikli aracın G2V, H2V, V2H, UPS çalışma modları Matlab üzerinde tasarlanmış ve her mod simülasyon sonuçları alınarak gerçekleştirilmiştir. Daha ileri çalışmalara konu olabilecek elektrikli araçtan şebekeye (V2G) modu şebeke ile elektrikli araç şarj yönetim sistemi arasında veri alışverişi gerekli önlemler alınarak yapılması ile mümkün olabilir. V2G modu ile şebeke dalgalanmaları azaltılması, voltaj piklerinin engellenmesi, harmoniklerin engellenmesi, enerji fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda bataryalarda enerji depolayarak yüksek olduğu anda şebekeye geri enerji verilmesi ile enerji maliyetinin azaltılması mümkündür.



## KAYNAKÇA

- [1] **Choe, G. Y., Kim, J. S., Lee, B. K., Won, C. Y., & Lee, T. W.** (2010). A Bi-directional battery charger for electric vehicles using photovoltaic PCS systems. In Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Lille France, 1-3 September.
- [2] **Jalakas, T., Roasto, I., & Vinnikov, D.** (2012). Analysis of battery charger topologies for an electric vehicle. In Electronics Conference (BEC), 2012 13th Biennial Baltic (pp. 223-226). Tallinn, Estonia, 3-5 October.
- [3] **Hussein, A. A. H., & Batarseh, I.** (2011). A review of charging algorithms for nickel and lithium battery chargers. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(3), 830-838.
- [4] **Çolak, I., & Kabalci, E.** (2008). A review on inverter topologies and developments. *Proceedings of Eleco*
- [5] **Kanchan, D. S., & Hadagali, N.** (2014). Bidirectional DC/DC converter system for solar and fuel cell powered hybrid electric vehicle. In Emerging Research Areas: Magnetics, Machines and Drives (AICERA/iCMMD), 2014 Annual International Conference on (pp. 1-6). Kottayam, India, 24-26 July.
- [6] **Tan, K. M., Ramachandramurthy, V. K., & Yong, J. Y.** (2014). Bidirectional battery charger for electric vehicle. In *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, 2014 IEEE pp. 406-411.
- [7] **Sridhar, A. R. P. A.** (2015). *Bidirectional AC-DC converter for vehicle-to-grid (V2G) applications*, Milwaukee, Wisconsin (Doctoral dissertation) Marquette University.
- [8] **Erb, D. C., Onar, O. C., & Khaligh, A.** (2010). Bi-directional charging topologies for plug-in hybrid electric vehicles. In Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Palm Springs, CA, USA, 21-25 February.
- [9] **Monteiro, V., Gonçalves, H., Ferreira, J. C., & Afonso, J. L.** (2012). Batteries charging systems for electric and plug-in hybrid electric vehicles. In New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering. InTech, 2012 pp.149-168.
- [10] **Hasan, K. N., Haque, M. E., Negnevitsky, M., & Muttaqi, K. M.** (2008). Control of energy storage interface with a bidirectional converter for photovoltaic systems. In Power Engineering Conference, AUPEC'08. Sydney, Australia, 14-17 December
- [11] **Sen, G., Boynuegri, A. R., Uzunoglu, M., Erdinc, O., & Catalão, J. P.** (2016). Design and application of a power unit to use plug-in electric vehicles as an uninterruptible power supply. *Energies*, 9, no:3, 171.

- [12] **Liaw, C. M., Chen, T. H., Wang, T. C., Cho, G. J., Lee, C. M., & Wang, C. T.** (1991, May). Design and implementation of a single phase current-forced switching mode bilateral convertor. *In IEE Proceedings B (Electric Power Applications)*. Vol. 138, No. 3, pp. 129-136.
- [13] **Dent, T.** (2017). Developing Bi-directional Charging Functions for Electric Vehicles.
- [14] **Gökden F. B.** (2013). *Elektrikli Araçlar İçin İki Fazlı Yalıtımsız Faz Kaydırmalı Çift Yönlü Da-Da Dönüştürücü Tasarımı Ve Uygulaması*, Ankara, (yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi.
- [15] **Hızal, G., Aras, M.**(2010). *Elektrikli Otomobil*, Erzurum, ( Lisans bitirme tezi) Atatürk Üniversitesi.
- [16] **Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün F., Tırıs, M.** (2013). Elektrikli Araçlar, Marmara Araştırma Merkezi Tübitak, Kocaeli.
- [17] **Pinto, J. G., Monteiro, V., Gonçaves, H., & Afonso, J. L.** (2014). Onboard reconfigurable battery charger for electric vehicles with traction-to-auxiliary mode. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 63, 1104-1116.
- [18] **Monteiro, V., Pinto, J. G., & Afonso, J. L.** (2016). Operation modes for the electric vehicle in smart grids and smart homes: present and proposed modes. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65, 1007-1020.
- [19] **Monteiro, V., Ferreira, J. C., & Afonso, J. L.** (2014). Operation modes of battery chargers for electric vehicles in the future smart grids, *In Technological Innovation for Collective Awareness Systems*, pp. 401-408, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20] **Guo, D., Yi, P., Zhou, C., & Wang, J.** (2015). Optimal electric vehicle scheduling in smart home with V2H/V2G regulation. In Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA), Bangkok, Thailand, 3-6 November.
- [21] **Shi, L., Meintz, A., & Ferdowsi, M.** (2008). Single-phase bidirectional AC-DC converters for plug-in hybrid electric vehicle applications. In Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, China, 3-5 September.
- [22] **Haines, G., McGordon, A., Jennings, P., & Butcher, N.** (2009). *The simulation of vehicle-to-home systems—using electric vehicle battery storage to smooth domestic electricity demand*. EVER Monaco.
- [23] **Kisacikoglu, M. C.** (2013). *Vehicle-to-grid (V2G) reactive power operation analysis of the EV/PHEV bidirectional battery charger*, Knoxville, (Doctoral dissertation), The University of Tennessee.
- [24] **MEB.** (2013). *Yenilebilir Enerji Teknolojileri Doğrultucu ve Evirici Devreleri*, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- [25] **Roe, G.** (2012). *Boeing flywheel energy storage technology*. Boeing Research & Technology, The presentation available at [http://www.uaf.edu/files/acep/BoeingFlywheelOverview\\_06\\_20\\_2012.pdf](http://www.uaf.edu/files/acep/BoeingFlywheelOverview_06_20_2012.pdf).

- [26] **Lium, F.** (2007). 30 kW Power Boost System for Drive Trains for Electric Vehicles Based on Supercapacitor Technologies, (Master's thesis), Norwegian University of Science and Technology
- [27] **Transport Electrification Panel (TEP).** (2011). *Plug-in Electric Vehicles: A Practical Plan for Progress*, Indian, School of Public and Environmental Affairs Indian University.
- [28] **Lai, J. S.** (2001). *Electric Vehicles and Power Electronics*, Valparaiso, Chili, Universidad Technica.
- [29] **Gargies, S., Wu, H., & Mi, C.** (2006). *Isolated Bidirectional DC-DC Converter for Hybrid Electric Vehicle Application* (No. TARDEC-15669), Army Tank Automotive Research Development Center Warren MI.
- [30] **Jaganathan, S., & Gao, W.** (2009). Battery charging power electronics converter and control for plug-in hybrid electric vehicle. In Vehicle Power and Propulsion Conference, Dearborn, MI, USA , 7-10 September.
- [31] **Ni, L.** (2010). *Energy storage and management for a small series plug-in hybrid electric vehicle*. Lincoln, Nebraska, (Doctoral dissertation) The University of Nebraska.
- [32] **Chan, C. C.** (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, vo.95 no.4, pp.704-718.
- [33] **Mapelli, F. L., Tarsitano, D., & Stefano, A.** (2012, March). Plug-in hybrid electrical commercial vehicle: Modeling and prototype realization, In International Electric Vehicle Conference, Greenville, SC, USA, 4-8 March.
- [34] **man Dwari, S., & Parsa, L.** (2007). A novel high efficiency high power interleaved coupled-inductor boost DC-DC converter for hybrid and fuel cell electric Vehicle, In Vehicle Power and Propulsion Conference, Arlington, TX, USA 9-12 September.
- [35] **Ma, G., Qu, W., Yu, G., Liu, Y., Liang, N., & Li, W.** (2009). A zero-voltage-switching bidirectional dc-dc converter with state analysis and soft-switching-oriented design consideration. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 56(6), pp. 2174-2184.
- [36] **Yoong, M. K., Gan, Y. H., Gan, G. D., Leong, C. K., Phuan, Z. Y., Cheah, B. K., & Chew, K. W.** (2010). Studies of regenerative braking in electric Vehicle, In 2010 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology, 20-21 November
- [37] **Al Sakka, M., Van Mierlo, J., & Gualous, H.** (2011). DC/DC converters for electric vehicles, *In Electric Vehicles-Modelling and Simulations*, InTech, pp 309-332.
- [38] **Ahmed, K. H., Finney, S. J., & Williams, B. W.** (2007). Passive filter design for three-phase inverter interfacing in distributed generation, *Electrical Power Quality and Utilisation*, Journal Vol. 8, No. 2 pp. 49-58
- [39] **Özcan, M. O., Ağlar, E. Ü., & Yıldız, A. B.** (2010). Doğrultucularda ve Eviricilerde Kullanılan Pasif Filtre Türlerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması, *Elektrik Mühendisleri Odası*, Ankara.

- [40] **Taşınabilir Pil Türleri.** *TAP Derneği.* Alındığı tarih, 21.02.2018 adres:  
[http://tap.org.tr/\\_rsm/dosyalar/87/TASINABILIRPILTURLERI.pdf](http://tap.org.tr/_rsm/dosyalar/87/TASINABILIRPILTURLERI.pdf)
- [41] **Westbrook, M. H.** (2001). *The electric and hybrid electric car*, London, The Institution of Engineering and Technology, London.
- [42] **Husain, I.** (2003). *Electric and hybrid vehicles: design Fundamentals*, Washington, D.C., CRC press.
- [43] **Post, R. F.** (1996). *A new look at an old idea-The electromechanical battery*, United States, Science and Technology Review.
- [44] **Ismail, B., Taib, S., Saad, A. M., Isa, M., & Hadzer, C. M.** (2006). Development of a single phase SPWM microcontroller-based inverter, In Power and Energy Conference, Putra Jaya, Malaysia, 28-29 November.
- [45] **Kazmierkowski, M. P., & Malesani, L.** (1998). Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters: A survey, *IEEE Transactions on industrial electronics*, 45(5), 691-703.
- [46] **Demirbaş, Ş., & Fidanboy, H.** (2011). Akım Kontrollü Gerilim Kaynaklı Evirici İle Sürülen RL Yüğü Üzerindeki Akım Harmoniklerinin İncelenmesi, *In Proceeding of 6th International Advanced Technologies Symposium*, (pp. 230-235) Elazığ, Turkey, 16-18 May
- [47] **Sbordone, D., Bertini, I., Di Pietra, B., Falvo, M. C., Genovese, A., & Martirano, L.** (2015). EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm, *Electric Power Systems Research*, 120, 96-108.
- [48] **Ahmadi, M., Mithulanathan, N., & Sharma, R.** (2016). A review on topologies for fast charging stations for electric vehicles, In 2016 IEEE International Conference on Power System Technology, Wollongong, NSW, Australia, 28 September-1 Oktober

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** :Hüseyin TARLAK

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Siirt/Baykan

**E-Posta** :htarlak@tp.gov.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2003, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İşletme Yönetimi Tezsiz Yüksek Lisans Programı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı 2005- Mühendis

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

**Tarлак, H, İşen, E .** (2018 Haziran). ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE AKÜ ŞARJ SİSTEMLERİ. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4 (1), 124-141.Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/klujes/issue/37436/398993>