

**GÜNEŞ PİLİ VE HİDROJEN YAKIT PİLİNDEN BESLENEN KÜÇÜK BİR
ELEKTRİKLİ ARAÇ İÇİN BATARYA ŞARJ SİSTEMİ TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Nabeel ALTANNEH

**YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2012

ANKARA

Nabeel ALTANNEH tarafından hazırlanan “GÜNEŞ PİLİ VE HİDROJEN YAKIT PİLİNDEN BESLENEN KÜÇÜK BİR ELEKTRİKLİ ARAÇ İÇİN BATARYA ŞARJ SİSTEMİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR
Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, G.Ü.

Üye : Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, G.Ü.

Üye : Y. Doç. Cüneyt BARLAK
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara Üniversitesi.

Tarih : 30/05/2012

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Nabeel ALTANNEH

GÜNEŞ PİLİ VE HİDROJEN YAKIT PİLİNDEN BESLENEN KÜÇÜK BİR ELEKTRİKLİ ARAÇ İÇİN BATARYA ŞARJ SİSTEMİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

**Nabeel ALTANNEH
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2012**

ÖZET

Bir yandan dünya nüfusunun artması ve bir yanda fosil tabanlı enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi doğal olarak arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına en çok gereksinim duyulan uygulamalardan biri otomobillerdir. Son yıllarda birçok otomobil üreticisi elektrikli araç üretmek için çalışmalar yürütmektedir. Mevcut durumda bu araçların bataryaları şarj istasyonlarında doldurulmaktadır. Bu istasyonların enerjisi ise normal şebekeden sağlanmaktadır.

Bataryalı elektrikli araçların yaygın kullanım alanlarından biri de golf arabalarıdır. Bu tez çalışmasında, bataryalı bir golf arabasının güneş ve hidrojen yakıt pillerinden beslenebilmesi için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Daha önce bir başka tez çalışmasında geliştirilen maksimum güç noktası izlemeli güneş enerjisi sistemine destek olacak bir hidrojen yakıt pili sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem yalnızca güneş enerjisinin yeterli olmadığı veya yükün ihtiyacının yüksek olması durumlarında devreye girmektedir. Böylece enerji kaybının düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, 1.2 kW gücünde bir yakıt pilinin gerilimini aracın bataryalarını doldurabilecek gerilime dönüştüren bir

DA/DA dönüştürücü geliştirilmiştir. Yalnızca belli dönemlerde devreye alınan yakıt pili sabit akımda çalıştırılmıştır. Belirlenen akım değerlerinde yakıt pili gerilimi 36 V olan batarya geriliminden düşük olduğundan dönüştürücü yükselten türden seçilmiştir. Geliştirilen güç devresi ve denetleyici sistem laboratuvar ortamında denenmiştir.

Bilim Kodu :905.1.038

Anahtar Kelimeler :Yakıt Pili , Güneş Enerjisi, Karma Elektrikli Araç

Sayfa Adedi :74

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR

BATTERY CHARGE SYSTEM DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR A SMALL ELECTRIC CAR USING PV PANELS AND FUEL CELL

(M.Sc. Thesis)

Nabeel ALTANNEH

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2012

ABSTRACT

Increasing world population and diminishing of fossil based energy sources have naturally increased the interest towards to new and renewable energy sources. An area where this interest is very high is electrical cars. Several automobile producers have been working on electrical cars these days. At the current stage the batteries of these cars are charged at charge stations that are fed by electrical grid.

Golf cars are electrical cars that are widely used in several countries. A golf car employing a battery bank has been modified as part of this thesis work to use PV panels and hydrogen fuel cell as energy sources. A fuel cell system has been designed as a support unit for the MPPT solar energy battery charger system developed previously in a different thesis work. The fuel cell system is utilized only when there is not enough solar energy to overcome the load requirement. The purpose of doing this is to limit the efficiency loss. A DC/DC converter that converts the output voltage of a 1.2 kW fuel cell to a level suitable to charge the batteries of the car has been designed. The fuel cell is operated at constant current mode at the intervals that it is utilized. The fuel cell voltage is below the battery voltage at the determined current level, and therefore a boost converter

has been chosen for the application. The power and control systems developed have been tested in the laboratory.

Science Code : 905.1.038

Key Words : Solar Cells , Fuel Cell and Hybrid Electrical Vehicle

Page Number :74

Adviser : Assoc. Prof. Dr. M. Timur AYDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşime ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim kıymetli anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, bu tez çalışmasında kullanılan araç ve donanımın sağlandığı 06/2007-46 kodlu “Güneş Pili ve Yakıt Hücresi Kullanan Küçük Bir Kara Taşıtının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” başlıklı proje desteği için Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Bataryalar	9
2.1.1. Kurşun asit (Pb-acid) bataryalar.....	10
2.1.2. Nikel tabanlı bataryalar	10
2.1.3. Ni-Cd bataryalar	11
2.1.4. Ni-Zn bataryalar	11
2.1.5. Ni-MH bataryalar	12
2.1.6. Metal-hava bataryalar.....	12
2.1.7. Zn/Air batarya	13
2.1.8. Al/Air batarya.....	13
2.1.9. Sodyum-beta bataryalar.....	14
2.1.10. Na/S batarya	14
2.1.11. Na/NiCl ₂ batarya.....	14
2.1.12. Ortam – sıcaklıklı lityum bataryalar.....	15
2.1.13. Lityum-polimer bataryalar	15
2.1.14 . Lityum iyon bataryalar	16
2.1.15 . Bataryaların karşılaştırılması.....	16

2.2. Güneş Pilleri	19
2.3. Yakıt Hücresi.....	23
2.4. Elektriksel İtki Sistemleri ve Motor Seçimi	26
2.5. DA/DA Dönüştürücüler	29
2.5.1. Yükselten (boost) DA-DA dönüştürücü.....	30
3. SİSTEM TANITIMI	36
3.1. Elektrikli Araç (GOLF Arabası).....	36
3.2. Güneş Enerjisi ile İlgili Çalışmalar [21].....	38
3.3. Yakıt Pili ile İlgili Çalışmalar	39
3.4. Elektrikli Aracın Denetim Sistemi	42
3.4.1. DA/DA dönüştürücü kullanan bataryalı ve yakıt hücreli itki sistemleri.....	43
4. TASARIM.....	44
4.1. Giriş	44
4.2. Yükselten DA/DA Dönüştürücünün Güç Devresinin Tasarımı	45
4.2.1. İndüktör seçimi.....	48
4.2.2. Yarıiletken anahtar ve diyot elemanlarının seçimi.....	49
4.2.3. Çıkış kondansatörünün seçimi	51
4.2.4. DA-DA dönüştürücü denetleyici tasarımı.....	51
4.3. Genel Denetleyici	56
5. DENEYSEL SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	64
EKLER.....	67
EK-1 Yakıt pili sistem.....	68
Ek-2. Akım sensörü.....	71
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1: Kullanılan Bataryaların Belirli Parametrelere Göre Karşılaştırılması ..	17
Çizelge 2.2: EA Bataryalarının Önemli Özelliklerinin Karşılaştırılması	17
Çizelge 2.3: ET Uygulamalarında Kullanılan Motorların Değerlendirilmesi.....	28
Çizelge 3.1: Elektrikli golf arabasının teknik özellikleri	37
Çizelge 3.2: Tablo 1. Nexa güç modülü özellikleri	39
Çizelge 4.1: Tasarım parametreleri	48
Çizelge 4.2: IXFK 150N10 MOSFET'in teknik özellikleri.....	50
Çizelge 4.3 DSEI60 diyodun teknik özellikleri	50
Çizelge 5.1. Karşılaştırmalı test senaryoları	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Elektrikli aracın basit gösterimi.	3
Şekil 1.2. Saf elektrikli aracın sistem düzeyinde gösterimi	3
Şekil 1.3. Yakıt pilli aracın sistem düzeyinde gösterimi (HONDA FCX)	5
Şekil 1.4. Seri ve paralel KEA araç yapıları; (a) paralel KEA (b) seri KEA	6
Şekil 1.5. Güneş pili aracın genel yapısı [8].	7
Şekil 2.1. Bataryaların temel çalışma ilkesi	9
Şekil 2.2. Güneş pili eşdeğer devre modeli.....	19
Şekil 2.3. Güneş pilinin akım-gerilim ve güç karakteristikleri	20
Şekil 2.4. Güneş pilinin değişen koşullara göre I-V karakteristiği	21
Şekil 2.5. Güneş pilinin değişen koşullara göre P-V karakteristiği	22
Şekil 2.6. Kullanılan Elektrik Motorları İçin İdeal Moment/Güç – Hız Eğrisi	29
Şekil 2.7. Boost DA/DA dönüştürücü.....	30
Şekil 2.8. Sürekli akımda çalışan yükselten dönüştürücünün devre yapısı	31
Şekil 2.9. Yükselten dönüştürücü ideal akım ve gerilim dalga şekilleri	34
Şekil 2.10 Kesikli akımda çalışan yükselten dönüştürücünün akım ve gerilimleri ...	35
Şekil 3.1. Güneş pili gerilim akım değişimi (2 pil seri bağlı).....	38
Şekil 3.3 Nexa sistemi şeması.....	41
Şekil 3.2. Araç için tasarlanan denetim sistemi	42
Şekil 4.1. Araç için tasarlanan denetim sistimi	45
Şekil 4.2. Ballard Nexa 1.2kW PEM yakıt hücresinin polarizasyon eğrisi	46
Şekil 4.3. Yükselten dönüştürücü devresi.....	51
Şekil 4.4. Genel denetleyici yapısı.....	52
Şekil 4.5. Mikrodenetleyici Yapısı.....	53

Şekil 4.6. Gerilim algılayıcı devre	53
Şekil 4.7. Mosfet sürücü devresi	54
Şekil 4.8 Akım algılayıcısı şematik çizim.....	54
Şekil 4.9. Alçak gerilim güç kaynağı	55
Şekil 4.10. YH Kontrol stratejisi.....	57
Şekil 4.11. Programa ilişkin algoritma	58
Şekil 5.1. Yakıt pilinden çalışan DA/DA dönüştürücünün dalga biçimleri	61
Şekil 5.2. Yakıt pilinden çalışan DA/DA dönüştürücünün dalga biçimleri.....	61
Şekil 5.3. Geliştirilen dönüştürücünün farklı çalışma akımlarında verimi	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Güneş pilleri ile donatılmış aracın fotoğrafı	37
Resim 3.2. Nexa güç modülü (önünde).....	40
Resim 3.3. Nexa güç modülü (arkasından.)	40
Resim 5.1. Geliştirilen deneysel düzenek	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
d	Duty Cycle
I_{pk}	Tepe (peak) Akım
I_{rms}	Etkin Akım
I_{max}	Maksimum Akım
Kısaltmalar	Açıklama
EA	Elektrikli Araç
İYM	İçten Yanmalı Motor
MGNİ	Maksimum Güç Noktası İzleyici
MPPT	Maximum Power Point Tracking
KEA	Karma Elektrikli Araç
YH	Yakıt Hücresi
YPA	Yakıt Pili Araç
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
GEA	Güneş Enerjili Araç
EAEM	Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları
NEM	Normal Endüstriyel Motorlar
DAM	Doğru Akım motorları
DA	Doğru Akım
PWM	Pulse With Modulation
PEMFC	Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
ADC	Analog To Digital Conversion

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli enerji kaynağı olan petrolün neden olduğu çevre kirliliği ve ayrıca tükenmeye yüz tutmuş olması, insanlığı yeni ve yenilenebilir enerji türleri araştırmaya yöneltmiştir. Bu enerji kaynaklarından en önemlisi güneştir. Hidrojen de, bir enerji taşıyıcısı olarak gelecekte çok büyük önem taşıyacağını kanıtlamıştır. Bu nedenle, güneş enerjili ve hidrojenli taşıtlar üzerine hem üniversitelerde hem de büyük otomobil firmalarında ciddi araştırmalar yürütülmektedir. Ülkemizde de bu yönde önemli araştırmalar yürütülmekte, hükümet elektrikli araçların teşvike edilmesi için çalışmalar yapmaktadır.

Günlük yaşamımızın vaz geçilmez bir unsuru haline gelen otomobiller uzun bir evrim sürecinin ardından bugünkü şekillerine ulaşmıştır. İlk olarak buhar gücüyle çalıştırılan otomobiller, içten yanmalı motorların icat edilmesiyle birlikte yaygınlaşmıştır [1].

Son dönemlerde çok ilgi çeken elektrikli taşıtlar da aslında uzun bir geçmişe sahiptir. Elektrikli motor icadından bu yana, elektrikli araç yaklaşık olarak 150 yıldır piyasadadır. Basit şarj edilmeyen elektrikli araçlardan günümüzün modern teknolojisine uzanan süreç üç evreye ayrılabilir: ilk yıllar, orta dönem, ve bugün [2].

Aslında elektrikli araçlar, içten yanmalı motor kullanan araçlardan daha eskidir. 1920’li yıllarda trafikteki elektrikli araçlar benzinli araçların yaklaşık üç katı kadardı[3]. Ancak 1930’lu yıllarda durum tersine dönmüştür. Benzinli araçların teknolojilerinin hızlı gelişiminin sonucu hem fiyatları düşmüş hem de performansları artmıştır. Dolayısıyla bu araçlar hızla yaygınlaşmıştır. Karayollarının yaygınlaşmasıyla seyahat mesafeleri de artmıştır. Elektrikli araçlar ise bu mesafeler için uygun değildi. Ne bu araçların şarj edilebilmesi için gerekli alt yapı hazırды, ne de elektrik enerjisinin uzun mesafelere güvenilir biçimde taşınması söz konusuydu. Sonuç olarak elektrikli araçlar bu mücadeleyi kaybetmiş ve ortadan kaybolmuştur.

Uzun süre gündeme gelmeyen elektrikli araçlar, 1970’li yıllarda baş gösteren petrol krizinin ardından tekrar tartışılmaya başlanmıştır. Ancak, performansın yeteri kadar yüksek olmaması ve altyapının hazır olmaması nedenlerinden dolayı bu ilgi çok yoğun olmamıştır.

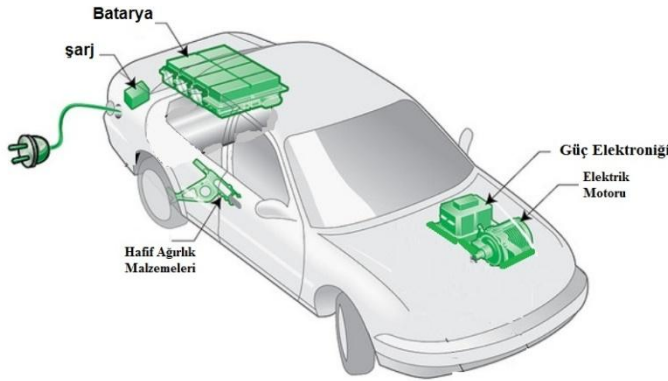
1990’lı yıllarda büyük otomobil üreticileri tekrar konu ile ilgilenmiş ve filo uygulamaları için elektrikli araçlar geliştirmiştir. Bu araçların menzili yaklaşık 160 km (100 mil) civarında kalmış, siyasi ve ekonomik gelişmeler, ve güvenlik gerekçeleriyle bu dalga da sönmüştür.

Elektrikli araçların yeniden ilgi odağı olması, 2000’li yılların başında üretilen karma (hibrit) elektrikli araçlarla sağlanmıştır. Bu araçlar sayesinde araçların performansları yükselmiş ve sürüş mesafeleri yükselmiştir.

Saf elektrikli araç tek bir enerji kaynağına sahip olduğundan diğerlerine nazaran daha basittir. Bu kaynak da genellikle elektrokimyasal batarya, nadiren de güneş pili veya yakıt pildir.

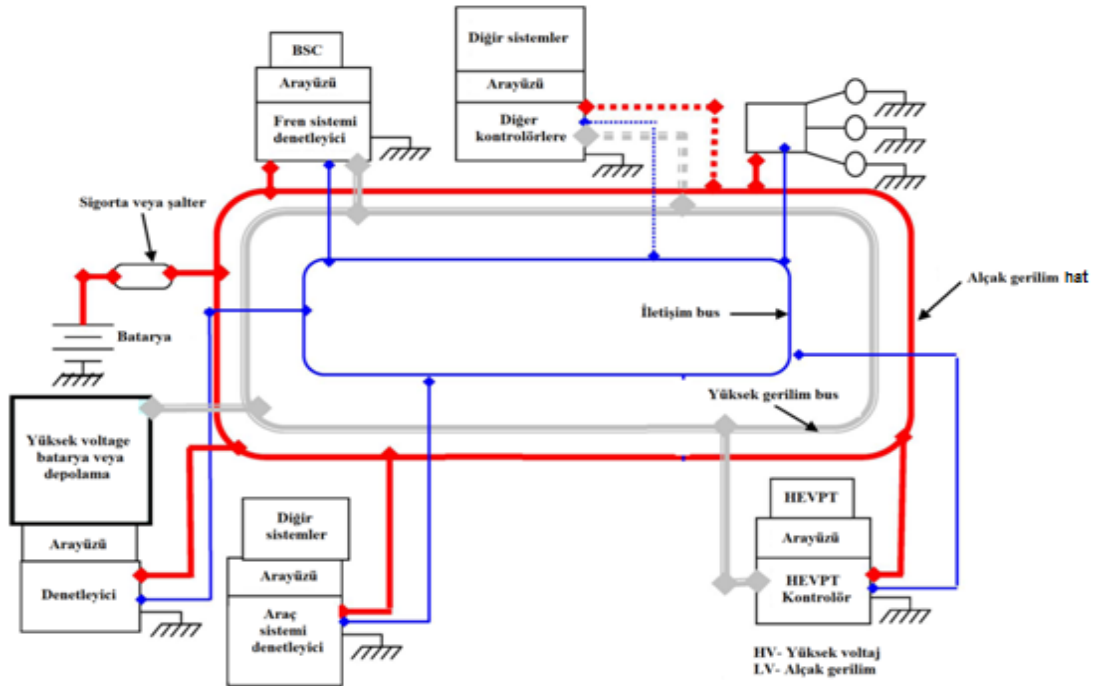
Elektrikli araç (EA) herhangi bir yakıt enjektörü gerektirmez; çeşitli karmaşık motor kontrollerine ve motor ve vites ile ilişkili diğer yan donanımlara ihtiyaç duymaz. Daha az sayıda parçaya ve daha basit bir sisteme sahiptir. Elektrikli araç sıfır emisyon aracıdır. Ayrıca, elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçlardan çok daha sessiz çalışırlar. İçten yanmalı araçların pistonları, tork üretirken büyük titreşimlere ve uğultuya neden olurlar. Titreşimler, motorun volanı yardımıyla azaltılmaya ve tork yumuşatılmaya çalışılır. Elektrik motorları ise doğal olarak yumuşak tork üretebilirler. Bu nedenle volan kullanımına gerek duymazlar. Böylece hem ağırlık azalmış hem de malzemeden ve üretim maliyetinden tasarruf edilmiş olur. Son olarak da belirtmek gerekir ki, içten yanmalı motorların verimi oldukça düşüktür. Benzinli motorlar yaklaşık % 30-37, dizel motor da yaklaşık %40 verime sahiptir. Diğer taraftan, elektrikli motorların verimi oldukça yüksektir (yaklaşık %90). Motoru çalıştıran batarya ve güç elektroniğinin de yüksek verimliliği vardır.

Bu parçaların her birinin yaklaşık %90 verimi olması halinde, batarya enerjisi motor milini terk edene kadar toplam verim %70 civarında olacaktır. Bu yine de içten yanmalı motorlarınkinden önemli ölçüde daha yüksektir[3].



Şekil 1.1. Elektrikli aracın basit gösterimi[4].

Şekil 1.1’de saf elektrikli araçların genel yapısı basitçe gösterilmektedir. Şekil 1.2’de ise tüm bileşenler ve bunlar arasındaki ilişki sistem düzeyinde daha ayrıntılı olarak verilmektedir.



Şekil 1.2. Saf elektrikli aracın sistem düzeyinde gösterimi [5].

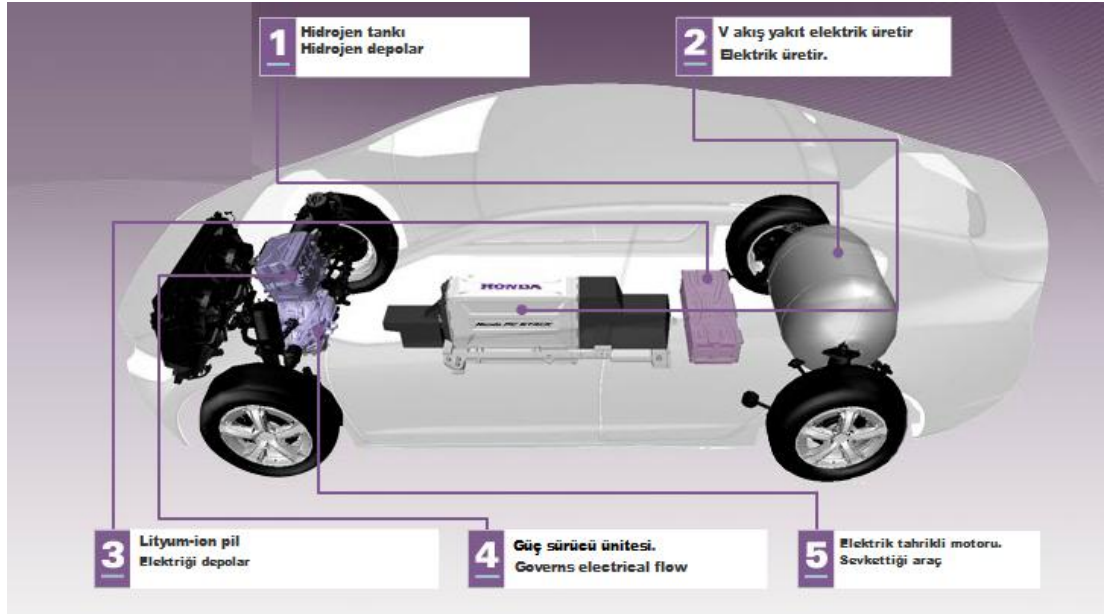
Elektrikli araçlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak için uzun yıllardır çalışmalar yürütülmektedir. Bu amaçla en çok üzerinde durulan kaynaklar güneş pilleri ve yakıt pilleridir. Güneş pilleri, pil maliyetleri, güneş enerjisinin sürekli aynı düzeyde olmaması gibi nedenlerle daha çok akademik ilgi düzeyinde kalmıştır. Ancak yakıt pili kullanan araçlar günümüzde trafikte görülmeye başlanmıştır.

Yakıt pili araç mimarisi ile Şekil 1.2’de verilen ve yalnızca elektrokimyasal batarya kullanan araç yapısı arasında pek bir fark bulunmamaktadır. Yalnızca, bu bataryaların yerini yakıt pilleri ve hidrojen tüpleri almaktadır.

Yakıt pili kullanan araçlar yakıt olarak, doğrudan kullanılabilir hidrojen gazı halinde kimyasal enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Hidrojenin bir tankta muhafaza edilmesi gerekmektedir. Yakıt pilleri çalışmaya başlamadan önce bir ısınma süresine gereksinim duyduğundan araçlarda küçük bir bataryanın bulunması gerekebilir. Ancak yakıt pili başlatılır başlatılmaz kendi kendini idame eder [5].

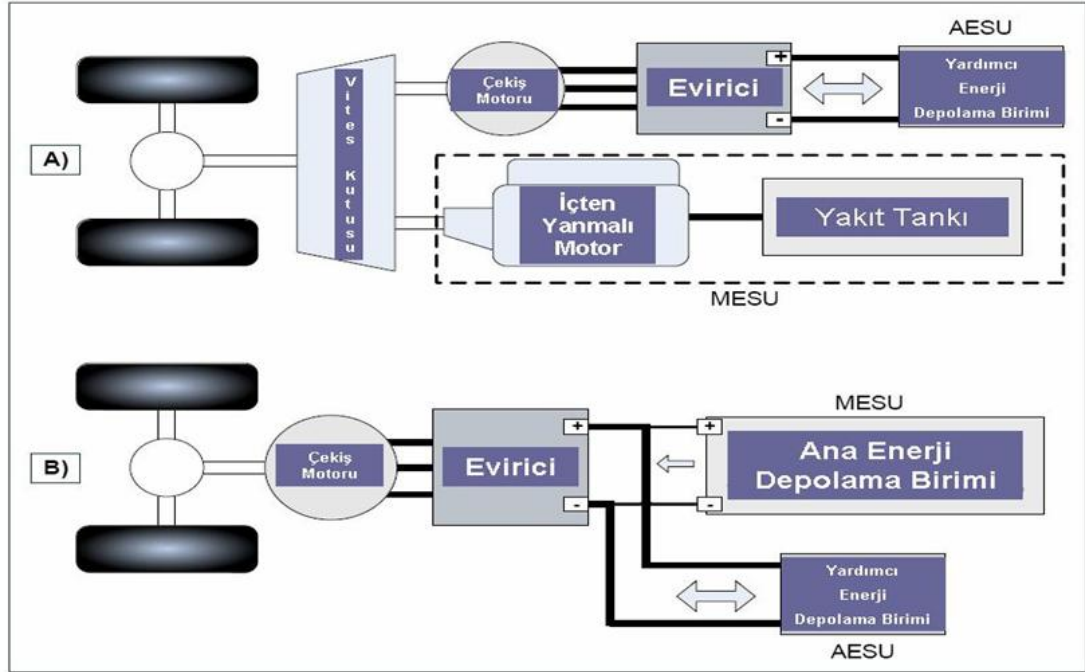
Yakıt pilinin en önemli üstünlükleri kirliliğe yol açmaması ve sessiz olmasıdır. Ancak teknolojilerinin içten yanmalı motor teknolojisi düzeyinde olgunlaşması için hala daha süreye ihtiyaç vardır. Yakıt pilinin kısıtlamalarından biri ise tek yönlü bir cihaz olmasıdır. Yani güç verebilmekte ancak batarya ya da ultrakapasitörler gibi ters yönde güç alamamaktadırlar. Yakıt pilleri ile ilgili bir başka sorun da pili oluşturan hücrelerin gerilimleri ile ilgilidir. Yakıt pilinin sağlığı iyi değilse hücre gerilimleri değişkenlik gösterebilir.

Yakıt pilli aracın sistem düzeyinde gösterimi Şekil 1.3’de verilmektedir.



Şekil 1.3. Yakıt pilli aracın sistem düzeyinde gösterimi (HONDA FCX) [6]

Elektrikli araçlarda genel eğilim karma (hibrit) yapı kullanma yönündedir. Karma Elektrikli Araçlar (KEA), elektrikli çekiş sistemi ile içten yanmalı motoru (İYM) bir arada barındırır. KEA'lar, hem elektrikli araçların hem de içten yanmalı motorların avantajlı yönlerine sahiplerdir ve bu iki teknolojinin kısıtlayıcı yönlerini azaltmaktadırlar. Yüksek verime, elektrikli araçların düşük emisyonlu olma özelliğine, içten yanmalı motorların uzun menzil ve çabuk yakıt doldurabilme yeteneğine sahiptirler. Temelde tasarım olarak, paralel ve seri karma elektrikli araçlar olmak üzere, iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Şekil 1.4'de her iki yapı da gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Seri ve paralel KEA a raç yapıları; (a) paralel KEA (b) seri KEA

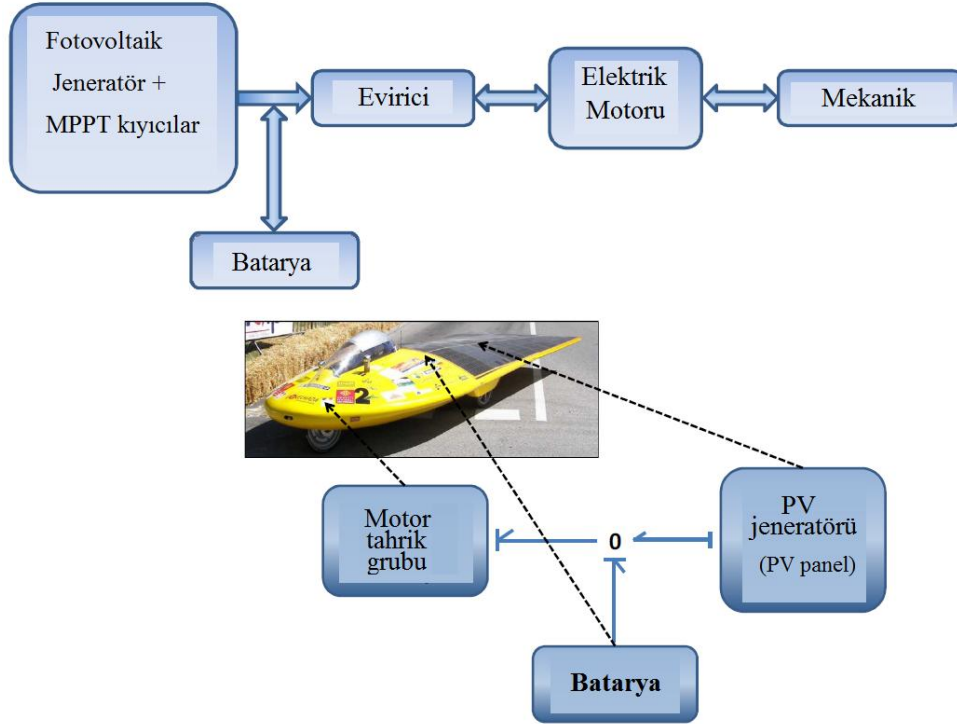
Paralel KEA’larda hem elektrik hem de içten yanmalı motorlar aynı anda tekerleklere güç aktarabilirler. Seyir esnasında iki sistemden birisi görevini yapamayacak hale gelirse diğeri ile araç hareket etmeye devam edecektir. Seri karma yapıda ise içten yanmalı motor ya elektrik motoru için gerekli gerilimi üretmek ya da bataryayı şarj etmek için görev yapar. Bu topoloji ancak ana enerji kaynağı batarya ya da yakıt hücresi olduğu zaman mümkündür.

Karma araçların sunduğu avantajlardan bazıları aşağıdaki gibidir[4]:

- Geleneksel araçlarda mevcut olmayan, enerji geri kazanımlı frenleme gibi verim artırıcı teknoloji.
- Daha iyi yakıt ekonomisi sağlayan daha az motor rölantisi ve verimli motor çalışması.
- Elektrikli motor özellikleri yol yükü ile daha iyi eşleştiği için daha iyi sürülebilirlik.
- Sera gazlarının emisyonunu azaltma potansiyeli.
- Azalmış fosil yakıt tüketimi.

Ancak karma elektrikli motorlar geleneksel araçlar ile karşılaştırıldığında maliyetin yüksek olması, elektromanyetik girişim, sistem karmaşıklığından kaynaklanan güvenlik ve güvenilirlik kaygıları, denetim ve güç yönetimi açılarından dezavantajlara sahiptir[7].

Güneş enerjisi kullanan elektrikli araçlar (GEA) güneşten aldıkları enerji ile bataryaları şarj ederler. Şekil 1.5’de bir güneş enerjili arabanın yapısı gösterilmektedir. Bu araçlarda batarya yönetim sistemi, güneş pilinden maksimum olası gücün çekilmesini sağlayacak biçimde denetim görevini yerine getirir. Batarya gerilimi bir evirici aracılığıyla elektrik motorunu sürmekte kullanılır.



Şekil 1.5. Güneş pili aracın genel yapısı [8].

Bu tez çalışmasında, mevcut bir bataryalı aracın güneş pilleri ve yakıt pili ile çalıştırılmasını sağlayacak bir denetleyici yapısı üzerinde çalışılmıştır. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde bulunan, 36 V gerilimli bir batarya bankasından beslenen Club marka bir golf arabası için daha önce geliştirilen güneş

enerjisi şarj sistemine ek olarak, Ballard Nexa 1.2kW yakıt pilinden aracın bataryasını şarj edecek bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde, yakıt pilinin çıkışındaki doğru gerilimi batarya şarj gerilimi düzeyine çıkaracak bir yükselten (boost) dönüştürücü bulunmaktadır. Ayrıca geliştirilen bir ana denetleyici, yakıt pilinin devreye ne zaman girip çıkacağına ve yakıt pili devreye alındığında hangi akım referansı ile çalışacağına karar vermektedir. Yakıt pilinin daha verimli çalışabilmesi için sabit akım modunda çalışması tercih edilmiştir.

Tasarımı yapılan güç devresi ve denetleyici gerçekleştirilerek, daha önce geliştirilen güneş enerjisi sistemi ile birlikte laboratuvar ortamında farklı senaryolarda denenmiştir. Uygun hidrojen tüpünün bulunamaması nedeniyle araç üzerinde deneme yapılamamıştır.

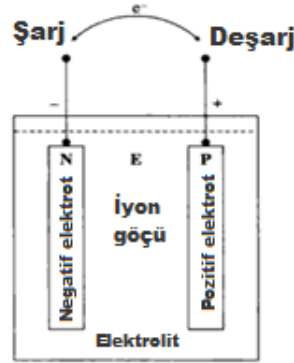
Tezin 2. Bölümünde, elektrikli araçların çok önemli bir bileşeni olan bataryalarla ilgili bilgiler verilmiştir. 3. Bölüm’de üzerinde çalışılan elektrikli aracın genel tanıtımı yapılmıştır. 4. Bölüm’de, geliştirilen sistemin tasarımı ayrıntılı olarak verilmiştir. 5. Bölüm’de deneysel sonuçlar sunulmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, yakıt pili ve hidrojen kullanan araçların temel bileşenleri olan bataryalar, yakıt pilleri ve güneş pilleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilecektir.

2.1. Bataryalar

Bataryayı oluşturan en temel eleman elektrokimyasal hücredir. Bu hücrelerin bir miktarının seri bağlanarak bir araya getirilmesi ile bir batarya oluşturulur. Şekil 2.1 bir elektrokimyasal hücrenin veya bir bataryanın temel çalışma prensibini göstermektedir.



Şekil 2.1. Bataryaların temel çalışma ilkesi

Bataryanın pozitif ve negatif elektrotları bir elektrolit ile birbirinden ayrılmıştır. Deşarj olayı esnasında negatif elektrot, elektronları dış devreye sürecektir şekilde bir oksitlenme (oxidation) reaksiyonu meydana getirirken pozitif elektrotta ise bir indirgenme (reduction) reaksiyonu oluşmaktadır. Şarj esnasında, pozitif elektrotta oksidasyon meydana getirmek için elektronlar serbest bırakılırken negatif elektrotta ise indirgeme oluşturmak için elektron enjekte edilir. Elektrikli araç uygulamalarında en sık kullanılan enerji depolama aygıtı olup valf regüleli kurşun-asit (VRLA), nikel kadmiyum (Ni-Cd), Nikel Çinko (Ni-Zn), Nikel-metal hidrit (Ni-H), çinko/Hava (Zn/Air), Aliminyum/Hava (Al/Air), Sodyum/Sülfür (Na/S),

Sodyum/ Nikelklorid (Na/NiCl_2), Lityum-Polimer (Li-Polymer) ve Lityum-İyon (Li-Ion) türleri bu tür uygulamalara daha uygundur. Bahsedilen bataryalar literatürde genellikle kurşun asit tabanlı, nikel tabanlı, çinko/halojen, metal/hava, sodyum-beta ve ortam sıcaklığındaki lityum bataryalar olarak sınıflandırılmıştır [9-10].

2.1.1. Kurşun asit (Pb-acid) bataryalar

1860 yılında icat edilen bu batarya asırlardır popüler bir ticari ürün olarak kullanılmaktadır. Çok yaygın bir kullanımının olmasının nedeni, basit teknolojisi ve düşük fiyatıdır. Bu bataryaların nominal hücre gerilimi 2V, özgül enerjisi 35 Wh/kg, enerji yoğunluğu 70 Wh/l ve özgül güç yoğunluğu 200 Wh/kg'dır. Negatif elektrot olarak metal kurşun, pozitif elektrot olarak kurşun dioksit, elektrolit olarak ise sülfirik asit solüsyonu kullanılmaktadır. Bu bataryaların açık devre gerilimi sadece asit konsantrasyonuna bağlı olup, hücre içinde bulunan kurşun, kurşun-sülfat ve kurşun dioksitten bağımsızdır. Bu türdeki bataryaların avantajları: basit teknoloji, yüksek hücre gerilimi, elektrikli araçlarda (EA) iyi performans sağlaması, yüksek etkinlik ve çok çeşitli ölçü ve tasarımlarda bulunmasıdır. Öte yandan kurşun-asit batarya özgül enerjisinin ve enerji yoğunluğunun diğerlerine nazaran daha düşük olması, kendiliğinden deşarj süresinin diğerlerine nazaran yüksek olması (25°C 'de günde %1), kullanım ömrünün düşük olması (500 şarj/deşarj), sülfür kullanımından doğan elektrot korozyonundan dolayı uzun ömürlü olmaması gibi dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantajları gidererek EA'larda daha etkin bir kullanım sağlamak için farklı teknolojiler geliştirilmektedir. VRLA bunlardan biri olup bir VRLA bataryanın özgül enerjisi 43 Wh/kg, enerji yoğunluğu 80 Wh/l'dir [9-10].

2.1.2. Nikel tabanlı bataryalar

Pozitif elektrotunda aktif materyal olarak nikel-oksihidroksit kullanan bir çok batarya türü bulunmaktadır (Ni-Cd, Ni-Zn, Ni-Zn vb.). Bu tür bataryaların arasında elektrik

araçları için en uygun ve yaygın olarak kabul gören türü kanıtlanmış teknolojisi ve başarılı performans gösterimi nedeniyle Ni-Cd'dir. Ayrıca Ni-MH türü bataryalarında giderek gelişmekte olup ilerleyen yıllarda Ni-Cd bataryaların yerini alabileceği öngörülmektedir [9-10].

2.1.3. Ni-Cd bataryalar

Bu tip bataryalar ağır sanayide çok uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Ni-Cd bataryaların nominal parametreleri 1.2V, 56Wh/kg, 110Wh/l ve 225 Wh/kg'dır. Aktif materyalleri negatif elektrot için metalik kadmiyum ve pozitif elektrot için nikel oksihidroksittir. Elektrolit olarak ise sıvı alkalın potasyum hidroksit kullanılmaktadır. Bu tür bataryaların önem kazanmasının nedeni yüksek özgül güce, yüksek ömürlü şarj/deşarj sayısına, mekanik ve elektriksel olarak zor şartlar altında çalışma özelliğine sahip olmasına, genişdeşarj akımı değişimine karşı sabit bir gerilim profiline sahip olmasına, kendiliğinden boşalma özelliğinin son derece az olmasına, korozyona uzun zaman dayanabilmesine olanak sağlamasından kaynaklanmaktadır. Dezavantajları ise maliyetinin yüksek olması, düşük hücre gerilimine sahip olması ve çevre için zararlı olmasıdır [9-10].

2.1.4. Ni-Zn bataryalar

Bu tip bataryalar kısa ömürlü çinko elektrot kullandığı için yeteri kadar ticari önem kazanamamıştır. Kullanım ömrünün arttırılması konusunda yapılan çalışmalar sayesinde, yüksek özgül enerjisi ve düşük materyal maliyeti nedeniyle ilerideki zamanlarda önem kazanabileceği değerlendirilmektedir. Ni-Zn bataryalar nominal olarak 1.6 V, 600 Wh/kg, 120 Wh/l ve 300 W/kg parametrelerine sahiptir. Ni-Zn bataryalarda, negatif elektrot olarak çinko, pozitif elektrot olarak nikel oksihidroksit, elektrolit olarak alkalın potasyum hidroksit solüsyonu kullanılmaktadır. Diğer nikel tabanlı bataryalar ile karşılaştırıldığında, yüksek özgül enerji ve güce sahip olması

(60 Wh/kg, 200 W/kg), yüksek hücre gerilimi (1.6 V), düşük projelendirme maliyeti, zehirli olmaması, yüksek şarj ve deşarj oranlarında çalışmaya uygun olması ve geniş çalışma sıcak aralığı gibi avantajlara sahiptir. En temel dezavantajı ise kullanım ömrünün kısa oluşudur [9-10].

2.1.5. Ni-MH bataryalar

Karakteristikleri Ni-Cd bataryalara benzemektedir. Aralarındaki temel farklılık, bu tür bataryaların negatif elektrot olarak kadmiyum yerine metal içine absorbe ettirilmiş hidrojen kullanılmasıdır. Kadmiyum kullanmaması ve özgül enerjisinin Ni-Cd den daha iyi olması bu tür bataryaları Ni-Cd bataryalarından üstün kılmaktadır. Nominal çalışma parametreleri 1.2 V, 65 Wh/kg, 150 Wh/kg, 200 W/kg olarak belirtilmektedir. Aktif materyalleri negatif elektrotta metal hidrit formunda hidrojen, pozitif elektrotta nikel oksihidroksittir. Bataryada kullanılan metal hidrit sayesinde batarya şarj ve deşarj olurken hidrojen absorbe etmesine ve neşretmesine olanak sağlar. Elektrolit olarak kullanılan temel bileşen ise potasyum hidroksittir. Halen gelişmekte olan bu teknolojinin başlıca avantajları, yüksek özgül enerji ve enerji yoğunluğuna sahip olması, çevre dostu olması, düz bir deşarj profiline sahip olması, hızlı şarj edilebilir olması şeklinde özetlenebilir. Başlıca dezavantajları ise yüksek maliyet, hafıza etkisine sahip olabilmesi ve şarj durumunda ekzotermik olmasıdır [9-10].

2.1.6. Metal-hava bataryalar

Reaktif negatif elektrodun bir hava elektrodu ile birleştirilmesi ile metal/hava bataryalarına, tüketilemez bir pozitif tepken (reactant) elektrot sağlamaktadır. Batarya çevrede bulunan havayı ve çok bulunan metalleri kullandığı için, çok yüksek özgül enerji ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu performansı nedeniyle, geliştirilmesi için çok çaba harcanmaktadır. Elektriksel ve mekaniksel olarak şarj edilebilir

sürümleri geliştirilmiştir. Düz bir deşarj gerilimine sahip olup kapasitesi sıcaklık ve yükten bağımsızdır [9-10].

2.1.7. Zn/Air batarya

Bu tür bataryalar hem elektriksel hem de mekanik olarak şarj edilebilir şekilde geliştirilmiştir. Her ikisine de yetkin olmasına rağmen EA uygulamalarında mekanik şarj tercih edilmektedir. Genellikler açık devre hücre gerilimi 1.2 V ve özgül enerjisi 180 Wh/kg, enerji yoğunluğu 160 Wh/l ve özgül gücü 95 Wh/kg civarında olmaktadır. Negatif elektrotta çinko parçacıkları, pozitif elektrotta hava elektrotlar kullanılır. Elektrolit olarak ise potasyum hidroksit kullanılmaktadır [9-10].

2.1.8. Al/Air batarya

Metal/Hava batarya geliştirme çalışmalarında en çok odaklanılan metal materyal doğada çok yaygın bulunmasından, düşük maliyetli olmasından ve kullanımının kolay olmasından dolayı alüminyumdur. Bu bataryanın açık devre hücre gerilimi 1.4 V'dur. Negatif elektrot olarak alüminyum pozitif elektrot olarak deşarj işlemi sırasında çalışacak tek fonksiyonlu (unifunctional) hava elektrot kullanılmaktadır. Elektrolit olarak tuzlu bir solüsyon ya da potasyum hidroksit solüsyonu kullanılmaktadır. Tuzlu elektrolit solüsyonu sadece düşük güç uygulamalarında ilgi çekicidir. Bu tür bataryalar yüksek özgül enerji (250 Wh/kg) ve enerji yoğunluğuna (200 Wh/l) sahiptir ve yüksek güç uygulamalarına uygundur. Ancak özgül güç bu bataryalar için 7 W/kg'a kadar düşmektedir. Özgül gücün aşırı düşük olması nedeniyle EA uygulamalarında yalnız başına güç kaynağı olarak kullanılamaz. Çok yüksek özgül enerji ve enerji yoğunluğunu avantaj olarak kullanabilmek için diğer bir batarya ile birlikte kullanılarak EA'nin menzilini artırmada kullanılabilir [9-10].

2.1.9. Sodyum-beta bataryalar

Sodyum-Beta batarya teknolojileri, Na/S ve Na/NiCl₂'ye dayanan, sıvı sodyumun tepken olarak kullanıldığı ve beta-alümine seramiğin de elektrolit olarak kullanıldığı tasarımları içermektedir. Son 25 yıldan beri geliştirmektedir [9-10].

2.1.10. Na/S batarya

Söz konusu batarya 300-250 santigrat derece sıcaklıkta çalışır, nominal hücre gerilimi 2 v, özgül enerjisi 170 Wh/kg, enerji yoğunluğu 250 Wh/l ve özgül gücü 360 W/kg'dır. Ancak batarya yapılandırmasına göre bu karakteristik değerler daha düşük bir değere de sahip olabilmektedir. Negatif elektrotta erimiş sodyum, pozitif elektrotta erimiş sülfür/sodyum polisülfid kullanılır. Beta-alümine seramik elektrolit katı ortam iyon iletici ve ergimiş elektrotlar arasında doğrudan deşarjı engelleyecek bir ayıraç ortamı oluşturmaktadır. Başlıca özellikleri, yüksek özgül güç, yüksek enerji etkinliği, geniş değerlerde değişim gösteren çalışma koşullarında esnek çalışabilme, çevresel koşullara duyarlı olmadan çalışabilmedir. Bunun yanında, güvenlik problemleri, termal düzenlemeye ihtiyaç duyulması gibi daha geliştirilmesi gereken kısıtlamaları ve dezavantajları da vardır [9-10].

2.1.11. Na/NiCl₂ batarya

Bu batarya türünde aktif materyaller negatif elektrot için ergimiş sodyum ve pozitif elektrot için katı nikel klorittir. Na/S bataryalarda kullanıldığı gibi beta-alümina seramik elektrolite ek olarak ikincil bir elektrolit (sodyum-alüminyum klorit) pozitif elektrotta kullanılmaktadır. İkincil elektrolit, birincil beta-alümina elektrottaki sodyum iyonlarını, katı nikel klorit pozitif elektrotlara iletiminde işlev gösterir. Çalışma sıcaklığı 250-350 santigrad derece olup, nominal hücre gerilimi 2.5 V'dur.

Batarya yapılandırmasına dayanarak, özgül enerjisi 86 Wh/kg, enerji yoğunluğu 149 Wh/l ve özgül gücü ise 150 W/kg olmaktadır. Na/S ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir açık devre hücre gerilimine sahiptir. Daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilmektedir. Daha güvenlidir ancak maliyeti çok yüksektir [9-10].

2.1.12. Ortam – sıcaklıklı lityum bataryalar

Yeniden şarj edilebilir ortam sıcaklıklı lityum bataryaların tasarımı için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Temel yaklaşım negatif elektrot için metalik lityum kullanılması ve pozitif elektrot için katı halde eklenmiş inorganik materyal kullanılmasıdır. Elektrolit ise katı polimer bir materyaldir. Daha popüler olmakta olan bir yaklaşım da metalik lityum kullanımının yerine lityumlandırılmış karbon metal kullanımınıdır. Lityum iyonlarının şarj ve deşarj esnasında pozitif ve negatif elektrotlar arasında hareket etmesinden dolayı lityum-iyon bataryalar adını almaktadır [9-10].

2.1.13. Lityum-polimer bataryalar

Bu tip bataryalar negatif elektrot olarak lityum metali ve pozitif elektrot olarak arasında oksit bulunduran bir geçiş metali (M_yO_z) kullanır. M_yO_z metali şarj/deşarj esnasında içerisine lityum iyonlarının girebileceği ya da deşarj esnasında içerisinden iyonlarının uzaklaştırılabileceği katmanlı bir yapıya sahiptir. 3 V'luk bir nominal hücre gerilimine sahip olup, özgül enerjisi 155 Wh/kg, enerji yoğunluğu 220 Wh/l, özgül gücü 315 W/kg'dır. Yüksek hücre gerilimi, yüksek özgül enerji ve enerji yoğunluğu, çok düşük kendiliğinden deşarj olma oranı (ayda %0.5), çok çeşitli ebatlarda ve şekillerde üretilebilmeleri ve güvenli oluşları başlıca avantajlarıdır. Bunun yanında, iyonik iletimden dolayı düşük sıcaklıklarda zayıf bir performans göstermesi başlıca dezavantajıdır [9-10].

2.1.14 . Lityum iyon bataryalar

Bu tip bataryalar ilk üretildiğinden beri en çok önem kazanan geleceğin umut vadeden yeniden şarj edilebilir bataryası olmuştur. Halen geliştirilmesine devam edilmesine rağmen, EA uygulamalarında yaygın şekilde kabul görmüştür. Lityum-İyon bataryalar Li_xC lityumlandırılmış karbon metali negatif elektrot olarak kullanmakta olup, pozitif elektrot için ise lithiated transition metal excalation oxide ($\text{Li}_{1-x}\text{M}_y\text{O}_z$) kullanmaktadır. Elektrolit için katı bir polimer ya da sıvı bir organik solüsyon kullanılmaktadır. Şarj ve deşarj işlemi esnasında lityum iyonları elektrolit içersinde pozitif ve negatif elektrotlar arasında hareket etmektedir. Nikel tabanlı Li-iyon batarya 4 V'luk bir açık devre hücre gerilimine, 120 Wh/kg özgül enerjiye, 200 Wh/l enerji yoğunluğuna ve 260 W/kg özgül güce sahiptir. Kobalt tabanlı türleri daha yüksek değerli özgül enerji ve enerji yoğunluğu gösterirler ancak önemli derecede kendiliğinden deşarj olma oranına ve daha yüksek üretim maliyetini de beraberlerinde getirmektedirler. Manganez tabanlı tür en düşük maliyete sahiptir ve özgül enerjisi ve enerji yoğunluğu değeri, kobalt tabanlı ile nikel tabanlı türler arasındaki bir değere sahiptir. Li-İyon bataryanın geliştirilmesi sonucunda doğada çok bulunmasından, çevre dostu olmasından ve en önemlisi düşük maliyetli olmasından dolayı manganez tabanlı türe doğru yönelim olacağı düşünülmektedir. En yüksek değerli açık devre hücre gerilimine sahip oluşu, yüksek değerli özgül enerji ve enerji yoğunluğuna sahip olması, en güvenli tasarıma sahip oluşu, çok sayıda şarj/deşarj edilebilme özelliği bu tür bataryaların en önemli avantajlarıdır. Bununla birlikte bu tip bataryalar, ayda %10 luk bir kendiliğinden deşarj oranına sahip olmaları dezavantajına sahiptir [9-11].

2.1.15 . Bataryaların karşılaştırılması

Yukarıda anlatılan batarya türlerinin, özgül enerji, enerji yoğunluğu, özgül güç, şarj/deşarj ömrü ve maliyet gibi bazı önemli parametreleri de kapsayacak biçimde karşılaştırılması Çizelge 2.1'de göstermiştir.

Çizelge 2.1: EA’lerde kullanılan bataryaların belirli parametrelere göre karşılaştırılması [9-11]

Batarya türü	Özgül-enerji (Wh/kg)	Enerji yoğunluğu (Wh/l)	Özgül-güç (W/Kg)	Şarj/deşarj ömrü (Cycle)	Maliyet (\$/kWh)
VLRA	30-45	60-90	200-300	400-600	150
Ni-Cd	40-60	80-110	150-350	600-1200	300
Ni-Zn	60-65	120-130	150-300	300	100-300
Ni-MH	60-70	130-170	150-300	600-1200	200-350
Zn/Air	230	269	105	-----	90-120
Al/Air	190-250	190-200	7-16	-----	-----
Na/S	100	150	200	800	250-450
Na/NiCl ₂	86	149	150	1000	230-350
Li-Polimer	155	220	315	600	-----
Li-İyon	90-130	140-200	350-450	800-1200	> 200
USABC	200	300	400	1000	< 100

Çizelge 2.1’de gösterilen değerler verilerin farklı üreticiler için değişim gösterebileceğinden dolayı sadece gösterim amaçlıdır. Aynı üreticinin farklı modelleri arasında bile ciddi değişimler gözlenebilmektedir.

Çizelge 2.2: EA bataryalarının önemli özelliklerinin karşılaştırılması [9-11]

Batarya türü	EA uygulamalarında avantaj ve dezavantajları	Potansiyel
VLRA	Olgunlaşmış teknoloji, düşük maliyet, hızlı şarj edilebilme, yüksek özgül güç/düşük özgül enerji	Yakın vade / çok yüksek
Ni-Cd	Olgunlaşmış teknoloji, hızlı şarj edilebilme, yüksek özgül güç/yüksek maliyet, düşük özgül enerji	Yakın vade / yüksek
Ni-Zn	Yüksek özgül enerji, yüksek özgül enerji, düşük maliyet, kısa ömür	Orta vade / yüksek
Ni-MH	Yüksek özgül enerji, yüksek özgül güç, hızlı şarj edilebilme, yüksek maliyet	Yakın vade / çok yüksek
Zn/Air	Mekanik olarak şarj edilebilme, düşük maliyet, çok yüksek özgül enerji, rejeneratif enerji kullanamaz	Orta vade / çok yüksek
Al/Air	Mekanik olarak şarj edilebilme, düşük maliyet, çok yüksek özgül enerji, rejeneratif enerji kullanamaz	Yakın vade / düşük
Na/S	Yüksek özgül enerji, yüksek özgül güç/yüksek maliyet, güvenlik sorunları, ısı düzenleme gereksinimi	Orta vade / yüksek

Çizelge 2.2 (devam)

Na/NiCl₂	Yüksek özgül enerji/yüksek maliyet, ısı düzenleme gereksinimi	Orta vade / yüksek
Li-Polimer	Çok yüksek özgül enerji, yüksek özgül güç/zayıf düşük sıcaklık performansı	Orta vade / yüksek
Li-İyon	Çok yüksek özgül enerji, çok yüksek özgül güç/yüksek maliyet	Orta vade / çok yüksek

Çizelge 2.2’de yukarıda anlatılan bataryaların avantaj/dezavantajları gösterilmektedir [9-11].

Çizelge 2.2’den görüleceği üzere, yakın zamanda kullanımı mümkün ve yüksek kullanım olasılığı gösteren bataryalar VLRA, Ni-Cd, ve Ni-MH’dir. Ni-MH’nin olgunlaşmamış teknolojisinin dışındaki özelliklerinin, Ni-Cd’den daha üstün olmasından dolayı, Ni-MH, Ni-Cd bataryaların yerini almaktadır. Gerçekte EA uygulamaları için Ni-Cd bataryaları üreten bazı üreticiler çabalarını Ni-MH bataryalar üretmeye yöneltmiştir. Böylece yakın vadede VRLA, olgunlaşmış teknolojisi ve düşük maliyeti nedeniyle hala popüler olacaktır ancak Ni-MH başarılı performansı nedeniyle çekici bulunmaktadır. Öte yandan orta vadede Ni-Zn, Zn/Air, Na/NiCl₂, Li-Polimer ve Li-İyon bataryalar yüksek potansiyele sahiptir. Li-İyon bataryalar bir çok üretici tarafından orta vadede en önemli EA bataryası olarak görülmektedir. En büyük dezavantajı ise üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Zn/Air bataryalar da yüksek özgül enerjileri ve mekanik olarak hızlı şarj edilebilmeleri nedeniyle önemlidir. Ancak mekanik olarak şarj edilebildikleri için rejeneratif enerjiyi üzerlerinde biriktiremezler. Ni-Zn bataryaların başlıca dezavantajı kısa ömürlü olmasıdır. Na/NiCl₂ diğerlerine nazaran EA uygulamaları için daha yüksek sıcaklığa sahip kabul edilebilir bataryadır. Eğer batarya performansı arttırılabilirse, orta vadede umut vadeden bir bataryadır. Li-Polimer bataryalar EA uygulamalarında başarılı performanslar sergilemektedirler. Eğer daha fazla batarya üreticisi bu batarya için araştırmalarını arttırırsa, o zaman orta vadece mühim bir batarya olacaktır [9-11].

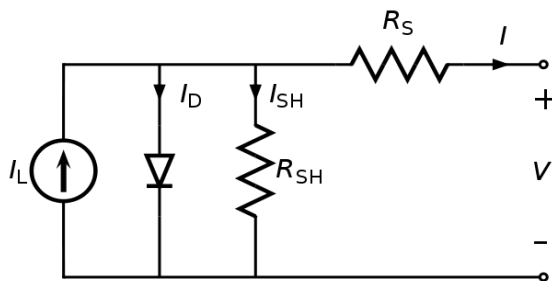
2.2. Güneş Pilleri

Güneş pilleri güneş ışınlarından aldığı enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yarıiletken hücrelerden oluşur. Bu hücreler seri ve paralel diziler halinde birleştirilerek panelleri oluşturur. Belirli koşullar altında, ışığın (fotonların) yarıiletken üzerine soğurulması ile elektrik akımı oluşur.

Güneş pilleri ağırlıklı olarak silisyum tabanlı olsa da, maliyetleri düşürmek ve verimi yükseltmek için farklı türden güneş pilleri üzerine de çalışmalar sürmektedir. “Hydrogenated amorphous silicon”, “cadmium teluride” ve “CIGS thin film cells” bu alternatif türlerden bazılarıdır [12-14].

Güneş pillerinin yakıt gereksinimi olmaması önemli bir avantajdır ancak kuruluş maliyetlerinin yüksek olması sınırlandırıcı bir etki yapmaktadır. Ayrıca, güneş ışınlarının şiddetinin ve açısının mevsimsel ve saatlik değişimleri nedeniyle ya güneş pilleri enerji depolama elemanları ile birlikte kullanılmalı ya da üretilen elektrik enerjisi doğrudan şebekeye aktarılmalıdır.

Şekil 2.2’de güneş pilinin basit eşdeğer devresi gösterilmektedir. Eşdeğer devrede kullanılan akım kaynağının değeri hücre üzerine düşen foton enerjisi ile ilişkilidir. Ancak, bu enerjinin ne kadarının yüke aktarılacağını yük belirlemektedir. Eşdeğer devredeki diyot güneş hücresinin gerilim-akım karakteristiğini belirleyen elemandır.



Şekil 2.2. Güneş pili eşdeğer devre modeli

Eşdeğer devre üzerinde bulunan R_s direnci maksimum güç noktası ile açık devre gerilimi arasındaki eğrinin gerçeğe daha yakın olmasını sağlamaktadır. R_{SH} direnci ise sızıntı akımını temsil etmekte olup genellikle ihmal edilmektedir.

İdeal bir hücrede $R_s = 0$ ve $R_{SH} = \infty$ kabul edilmektedir.

Devrenin çıkışındaki net akımın ifadesi Eş. 2.1 de verilmiştir [4].

$$I = I_D - I_L \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte kullanılan değişkenlerin anlamları şu biçimdedir:

I_D = Diyotun doyma akımı (A)

I_L = Hücre akımı (A)

V = Hücre gerilimi (V)

q = Elektron yükü = $1,602177 \times 10^{-19}$ (C)

k = Boltzmann sabiti = $1,380662 \times 10^{-23}$ (J/K)

T = Sıcaklık (K)

n = diyotun kalite çarpanı

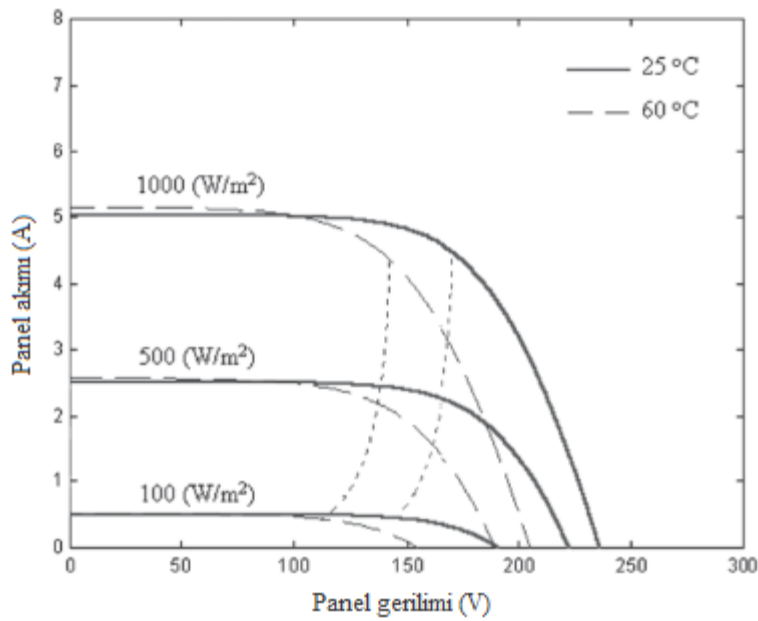
Bir güneş pilinin sabit ışıma ve sıcaklık koşullarındaki gerilim-akım ve güç karakteristikleri Şekil 2.3’de verilmiştir;



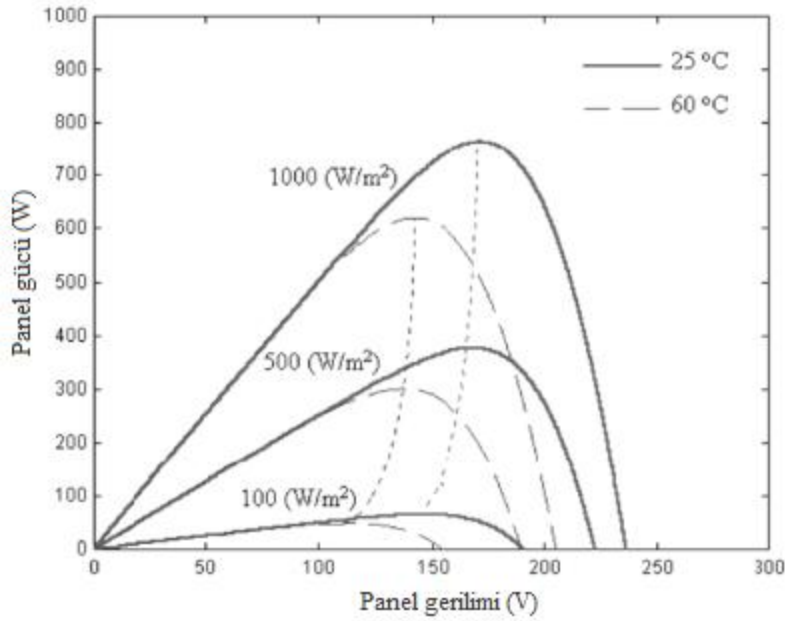
Şekil 2.3. Güneş pilinin akım-gerilim ve güç karakteristikleri

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi güneş pilinden çekilen akım değerlerinin düşük olması durumunda panel gerilimi yaklaşık olarak sabitken, akımın kısa devre akım değerine yaklaşmasıyla birlikte gerilim hızla düşmektedir. Değişimin hızlandığı dirsek noktası aynı zamanda panelden alınabilecek gücün en yüksek değere ulaştığı noktadır. Bu nokta maksimum güç noktası olarak adlandırılır ve çalışmanın yüksek verimli olabilmesi için sistemin bu noktada çalıştırılması arzu edilir.

Güneş pilinin gerilim akım karakteristiği güneş ışınlarının şiddetine, açısına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak sürekli değişmektedir. Bu durumda maksimum güç noktası da sağa, sola, yukarıya veya aşağıya doğru yer değiştirebilmektedir. Bu durumu açıklayan grafikler Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de verilmiştir [15].



Şekil 2.4. Güneş pilinin değişen koşullara göre I-V karakteristiği



Şekil 2.5. Güneş pilinin değişen koşullara göre P-V karakteristiği

Güneş enerjili sistemlerde güneş pillerinin anlık olarak üretebildiği güçten maksimum derecede yararlanabilmek için maksimum güç noktasını izleyebilen çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Maksimum güç noktasının izlenmesi için yükün değiştirilmesi işlemi, DA-DA dönüştürücü yapılar ile sağlanmaktadır. DA-DA dönüştürücülerde doluluk oranı (duty cycle) değişimi ile çıkıştaki yüklenme miktarı değiştirilebilmektedir. Doluluk oranının değişimi sonucunda, güneş pilinin gerilim-akım değerleri ölçülerek güneş pilinin çalışma güç noktası tayin edilir.

Maksimum güç noktası izlenmesi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır.

Bu yöntemler içerisinde en yaygın olanı değiştir ve gözlemle (perturb and observation) algoritmasıdır [16-19]. Artımlı iletkenlik (incremental conductance) algoritması [16-18], [20] maksimum güç noktasında çıkış gücünün gerilime göre türevinin (dP/dV) sıfıra yaklaşmasının kullanıldığı bir yöntemdir. Bu yöntemin en büyük avantajı hızlı tepki vermesidir. Ancak bu yöntemde düşük güneşlenme koşullarında türev işlemleri zor olabilir ve elde edilen sonuçlar tatmin edici olmayabilir. Geliştirilmiş değiştir ve gözlemle (modified perturb and observation) yöntemi [18] ile değiştir ve gözlemle yönteminin ani değişimlere karşı verdiği

kararsız tepkilerin dekupe edilerek yok edilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemde arka arkaya devam eden iki mod bulunur. Birinci mod ile güç değişiminin atmosfer şartlarına göre değişimini izlemek için çıkış sabit tutulur (önceki değerde korunur). İkinci modda ise güç değişimi değerlendirilerek bir sonraki pozisyon için tahminde bulunularak çıkış güncellenir. Bir diğer MGNİ algoritması da üç noktalı ağırlıklı karşılaştırma (three weight comparison) [21] yöntemidir. Değiştir ve gözlemler (P&O) yönteminde arka arkaya iki defa okunan değerlerin karşılaştırılması yapılırken, üç noktalı ağırlıklı karşılaştırma yönteminde üç farklı noktadan okunan değerlerin karşılaştırılması yapılarak karar mekanizması çalıştırılır. Değiştir ve gözlemler yönteminde maksimum güç noktasındaki salınımlar gerçekleşmekte ve bunun sonucunda güç kayıpları olmaktadır. Bu yöntemde ise maksimum güç noktasındaki ani değişimlerin önüne geçilmektedir.

Maksimum güç noktası izleme yöntemleri ile ilgili oldukça ayrıntılı ve karşılaştırmalı bir değerlendirme [22]'de verilmektedir.

2.3. Yakıt Hücresi

Yakıt hücreleri (YH), kimyasal reaksiyon sonucu oluşan enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal cihazlardır. Teorik olarak elektrotlarına yakıt ve oksidan maddeler sağlandığı sürece elektrik üretme yetisine sahiptirler. Yakıt hücreli taşıtların içten yanmalı motorlara göre en önemli üstünlükleri, yanma olmadan doğrudan enerji dönüşümü sağlamaları, her hangi bir oynak parçasının bulunmaması nedeniyle sessiz ve esnek çalışmaları, düşük enerji tüketimleri, ölçüleri küçüldüğünde etkinliğinin çok daha az oranda düşmesi ve çevreye tamamen zararsız olmasıdır. Yakıt hücresinden beslenen araçların bataryalardan beslenen araçlara göre üstünlükleri ise, enerji yoğunluklarının bataryalara göre daha fazla olması ve bataryalara göre çok daha kısa sürede yakıt dolumu sağlamasıdır.

Yakıt işleyici biriminde gazolin ya da metanol yakıtları hidrojene dönüştürülür. Eğer araç hidrojen ile beslenmiyorsa, gerekli yakıtı saklamak için metanol ya da gazolin düzenleyicisi (reformer) ve bir yakıt tankı kullanılır. Eğer yakıt olarak sisteme

doğrudan hidrojen sağlanacaksa bu birime ihtiyaç duyulmayabilir. YH bloğu, basınçlı oksijen ve yakıt işleyiciden gelen yakıt ile elektrik üretir. Soğutma sistemi, sistemin uygun bir sıcaklıkta çalışmasını sağlar. Su dolaşım sistemi ile tüm sistemin nem oranının düzenlenmesi ve YH zarının ıslak kalması sağlanır. DA/DA dönüştürücü yakıt hücresi çıkış geriliminden, istenen düzeyde sabit bir gerilim elde etmek amacıyla kullanılır. Evirici, sabit DA gerilimden, motor için gerekli ayarlanabilir genlik ve frekanslı AA gerilimi üretir. Başlangıç durumunda veya anlık olarak gereksinim duyulan yüksek güç gereksinimini karşılamak için sistemde batarya ve/veya bir ultrakapasitör kullanılır. Proton Değişim Zarlı (PEM) yakıt hücresi, düşük çalışma sıcaklığı, yüksek güç yoğunluğu, yüksek özgül güç, yüksek verim, diğer türlere göre daha uzun ömür ve güç taleplerine karşı daha hızlı tepki verebilme özelliklerine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı PEM yakıt hücreleri otomotiv uygulamalarında tercih edilmektedir [23-24].

Diğer türdeki yakıt hücrelerine göre daha basit bir yapıya sahip olduklarından PEM YH'sinin bakım ve onarımı da daha kolaydır ve kompozit yapıları sayesinde, taşıtın sürüş esnasında maruz kaldığı şok ve titreşimlere dayanabilirler.

PEM yakıt hücresinde gözlenen bir problem CO konsantrasyonunun 100 ppm'nin altına düşürülmesi gerekliliğidir. Yakıt içerisinde çok küçük miktarda CO bulunması bile, YH'nin performansını aşırı derecede düşürür. Bir diğer problem de, diğer türlere nazaran pahalı metalleri bünyesinde bulundurması nedeniyle PEM YH maliyetinin fazla olmasıdır.

Yakıt hücresi ile itki sağlayan taşıt sistemleri literatürde, yakıt hücreli elektrik ve yakıt hücreli karma (hibrit) olarak sınıflandırılmaktadır. Yakıt hücresi elektrik itki sistemlerinde batarya, ultrakapasitör gibi destek bileşenleri bulunmayıp sadece YH kullanılmaktadır. Yakıt hücreleri, aynı bataryadan beslenen sistemlerde olduğu gibi, aracın sürüş sistemi (drive train) için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Sürüş sistemi genelde yakıt hücresinden gelen gücü değişken frekanslı AA güce dönüştürerek sürüş motorunu besler ve bir aktarım sistemi ile bu güç tekerleklerle aktarılır. Yakıt hücreli karma itki sisteminde, bir batarya ya da ultrakapasitör veya her ikisi birden yakıt hücresine destek olmak amacıyla, yakıt hücresine paralel olarak çalıştırılır.

Yakıt hücresinin yüksek enerji yoğunluğu ve bataryanın yüksek güç yoğunluğu nedeniyle yakıt hücreli karma sistem en güvenilir sistemdir. Bu sistemin özellikleri şu biçimde sıralanabilir [11] ,[15] :

- İvmelenme süresince gereksinim duyulan yüksek güç, batarya tarafından karşılanır. Talep edilen güç daha az olduğunda (sabit hızla sürüş süresince) ihtiyaç duyulan güç yakıt hücresi tarafından sağlar. Bu süre boyunca yardımcı destek sistemleri batarya ve/veya ultrakapasitör şarj edilir. İhtiyaç duyulan güce göre YH gerekli sabit sürüş gücünü, yardımcı destek elemanları ve batarya da maksimum gücü (peak power) sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Bataryanın kullanılması, YH'nin hızlı şekilde çalışmaya başlatılabilmesine yardım eder. Taşıtın çalışması için YH'nin önceden ısıtılması gerekliliğini ortadan kaldırır. Çalışma esnasında hücre geriliminin terslenmeye (cell reversal) karşı korunmasını sağlar.
- Batarya aracın sürüş esnasında karşılaştığı yük değişimine daha az sürede cevap vermesini sağlayarak tepki zamanını iyileştirir.
- Batarya kullanılan yakıt hücreli karma taşıt sistemi, iyi performans, uzun yolculuk mesafesi, hızlı yakıt dolumunu mümkün kılmaktadır.

Bu sistemin kötü yanı ise, bataryanın taşıt için ek maliyet, ağırlık ve hacim getirmesidir. Bataryanın maliyeti genellikle depolayabildiği enerji miktarı ile orantılıdır. YH'nin maliyeti ise verebildiği güç ile orantılıdır.

Yakıt hücreli itki sistemlerinde kullanılan yakıt hücresinin ve bataryanın karakteristikleri uyumlu ise, yakıt hücresi ile batarya arasında ayrıca bir DA/DA dönüştürücü kullanımına gerek kalmaz. Ancak karakteristikler uyumlu değilse, yakıt hücresi çıkış gerilimini bir DA/DA dönüştürücü ile bataryanın gereksinim duyduğu gerilim düzeyine dönüştürmek gerekir. Bazı sistemlerde ise batarya da kullanılmamaktadır.

2.4. Elektriksel İtici Sistemleri ve Motor Seçimi

EA'larda kullanılan motorlar genellikle çok sık durup kalkabilme, yüksek değerlerde ivmelenebilme/frenlenebilme, yokuş tırmanma durumunda yüksek moment düşük hız, normal sürüş durumunda düşük moment yüksek hız ve çok geniş bir aralıkta çalışabilme gibi özelliklere sahip olmalıdır. EA'lerde kullanılan elektrik motorlarının normal sanayide kullanılan türlerine göre temel farklılıkları aşağıda özetlenmiştir.

- Ani olarak hızlanma, yokuş tırmanma durumlarında EA'lerde kullanılan elektrik motorları (EAEM) anma momentlerinin 4-5 katı kadar bir maksimum momente ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak normal endüstriyel motorların (NEM) maksimum momentleri anma momentlerinin iki katı kadar olabilmektedir.
- EAEM'ler normal sürüş durumunda anma hızlarının 4-5 katı kadar hızlara çıkabilmektedir. Ancak sabit güç bölgesinde NEM ise anma hızının en fazla iki katı kadar bir hıza çıkabilmektedirler.
- EAEM'ler taşıtın sürüş profiline göre tasarlanmalarına karşın NEM'ler genellikle tipik çalışma durumlarına göre tasarlanırlar.
- EAEM'lerin kullanımında, kontrol edilebilirliğinin yüksek olması, sürekli durumda yüksek güvenilirlikli hız, yüksek dinamik performans gibi özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak NEM'lerde ihtiyaç duyulan en önemli özellik performansının iyi olmasıdır.
- EAEM'lerin hareketli taşıtlara yerleştirilmesinden dolayı yüksek sıcaklık, kötü hava koşulları ve aşırı titreşim gibi çevresel etkenlere maruz kalmaktadır. Ancak NEM'ler ise ihtiyaç duyuldukları sabit alanlara yerleştirilirler [11],[15],[20-21].

EAEM tasarımı çalışma geriliminin seçiminden oldukça fazla etkilenmektedir. Eğer seçilen çalışma gerilimi yüksekse, çok fazla miktarda bataryanın seri olarak bağlanması gerekmektedir. Ayrıca maliyet artar, araç içersinde kullanılacak olan boş alan azalır, aracın ağırlığı artar ve performansı düşer.

Doğru akım motorları (DAM) uyarma ve endüvi sargılarının bir birine dik olarak yerleşmiş konumlarından dolayı kontrolleri çok kolaydır. DAM'ların alan sargılarının sürekli mıknatıslar ile değiştirilmesiyle, sürekli mıknatıslı DA motorlar elde edilir ve radyal alanın etkin biçimde kullanılmasından dolayı bu motorların stator yarıçapları küçüktür. Sürekli mıknatısların manyetik geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı, endüvi reaksiyonu azalır ve komütasyon artar. DAM'lardaki temel problem bunların komütatörler ve fırçalara sahip olmasıdır. Ama yine de oturmuş teknolojisi ve kolay kontrol edilebilme özelliği sayesinde seri, şönt, serbest uyarımlı, sürekli mıknatıslı uyarımlı türleri elektrikli taşıtlarda kullanılmışlardır. İlerleyen teknoloji sayesinde komütatör ve fırça kullanılmayan motorlar geliştirilmiştir [22-23],[26].

Asenkron motorlar EA'lerde düşük maliyetli, yüksek güvenilirlikli ve bakım gerektirmiyor olmasından dolayı yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak asenkron motorun geleneksel kontrol yöntemi olan değişken frekans – değişken gerilim metodu istenilen performansı sağlayamamaktadır. Sayısal kontrol teknolojilerinin gelişmesiyle bu sorun küçülmüş ve alan yönlendirmeli kontrol (field oriented control) geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemle asenkron motorun doğrusal olmayan özelliğinden kaynaklanan karmaşık kontrol problemi çözülmüştür. Ancak yine de hafif yüklenmede alan yönlendirmeli kontrol düşük etkinliğe sahiptir ve sabit güç çalışma bölgesi sınırlıdır [22-23],[26].

Senkron motorların alan sargılarının sürekli mıknatıslarla değiştirilmesiyle sürekli mıknatıslı senkron motorlar elde edilir. Bu tür motorlar sinüs biçimli ya da PWM gerilimlerle çalıştırılmaktadır. Sürekli mıknatıslar motor yüzeyine monte edildiğinde söz konusu motor çıkık kutuplu olmayan senkron motor gibi davranır. Bu mıknatısların rotorun içine gömülme suretiyle bağlanmasıyla elde edilen çıkıklık sayesinde, sabit güç bölgesinde daha geniş bir hız aralığı elde edilir. Bu tip motorlarda da alan yönlendirmeli kontrol yapılabilir. Yüksek güç yoğunluğu ve yüksek etkinliği nedeniyle EA uygulamalarında kullanımı yönünden asenkron motorlara meydan okuyabilmektedir. Fırçasız doğru akım motorları da sürekli mıknatıslar kullanan özel bir tür DA motordur. Bu tipteki motorlar dikkörtgensel

akımlarla beslenmektedir. En önemli avantajı DA motordan fırçaların kaldırılması nedeniyle birçok bakım probleminin aşılmış olmasıdır. Akı ve dikdörtgensel akımın etkileşimi ile daha büyük değerli momentler elde edilebilmektedir. Ayrıca fırçasız yapı sayesinde armatür sargısı için daha geniş bir kesit alanı elde edilmektedir. Bu motorların kontrolünde de konum algılayıcıları kullanılmaktadır [22-23],[26].

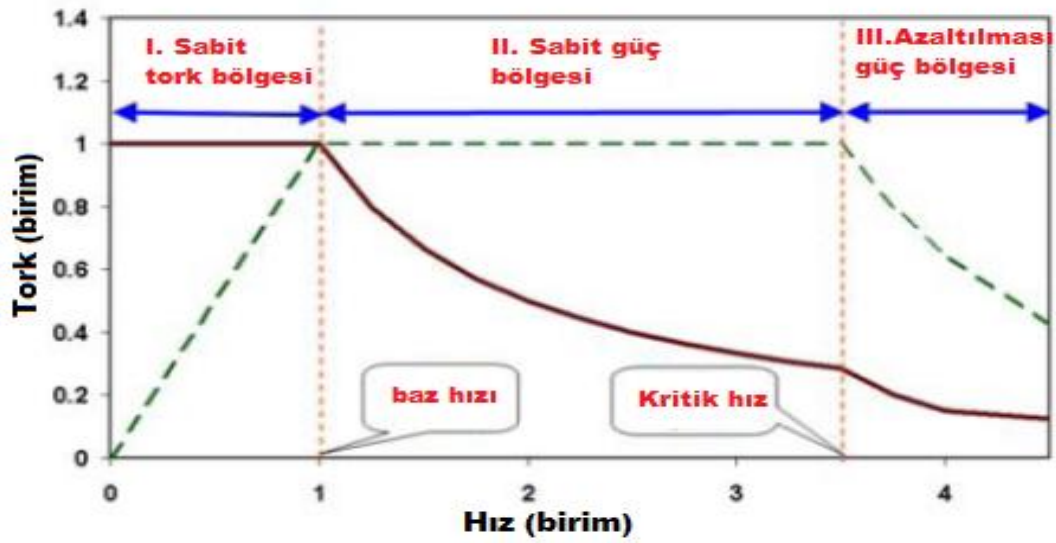
Anahtarlama relüktans motorları da EA uygulamalarında kullanılmaktadır. Temelde bunlar tek-yıgınlı değişken relüktans adım motorlarının bir türevidir. Anahtarlama relüktans motorlarının avantajları, basit yapıları, düşük üretim maliyetleri, EA uygulamalarında kullanım için çok başarılı moment hız karakteristiklerine sahip olmasıdır. Yapısal olarak çok basit olmasına karşın, tasarım ve kontrolü o kadar da kolay değildir. Kutuplarındaki saçaklanma etkisinden ve kutup başlarındaki aşırı doyma olayından dolayı tasarımları ve denetlemeleri çok zordur. Genellikle akustik gürültü oluştururlar. Çizelge 2.3’de elektrik taşıtları için günümüzde kullanılan motorların değerlendirilmesi gösterilmektedir. Her bir motorun çeşitli özelliğine 1 ile 5 arası rakamlar verilerek bir sonuç elde edilmiştir [22-23],[26].

Çizelge 2.3: Elektrikli Taşıt Uygulamalarında Kullanılan Motorların Değerlendirilmesi

Özellik	DAM	ASM	SMFDAM	ARM
Güç yoğunluğu	2,5	3,5	5	3,5
Verim	2,5	3,5	5	3,5
Denetlenebilirlik	5	4	4	3
Güvenilirlik	3	5	4	5
Teknolojik gelişim	5	5	4	4
Maliyet	4	5	3	4
TOPLAM	22	26	25	23

Sürüş uygulamalarında kullanılacak elektrik makineleri için gerekli olan moment-hız karakteristiği Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Asenkron motorlar, DA motorlar, Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar, Anahtarlama Relüktans Motorları Şekil 2.6’daki karakteristiklere uyacak şekilde tasarlanmaktadır. I. Bölgede motor sabit moment

bölgesinde çalışmakta olup gerekli maksimum moment yeteneği eviricinin akım taşıyabilme özelliğine bağlı olarak belirlenebilir. II. Bölgede ise motor alan yayıflatma ya da komütasyon bölgesinde çalışmakta olup komütasyon faz ilerletmesi eviricinin gerilim ve akım limitleri nedeniyle uygulanmaktadır. III. Bölgede zıt-emk kuvvetinin etkisi yüzünden moment ve güç azalır [22-23],[26].



Şekil 2.6. EA'lerde Kullanılan Elektrik Motorları İçin İdeal Moment/Güç – Hız Eğrisi

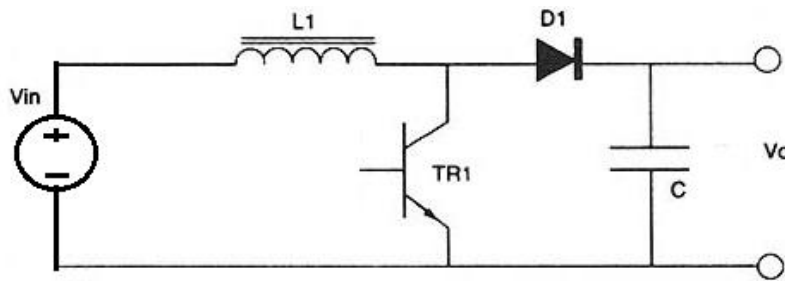
2.5. DA/DA Dönüştürücüler

Yakıt hücresi, EA uygulamalarında ana enerji kaynağı olarak kullanılabilir ancak YH'nin güç yoğunluğu düşüktür. Geçici durumda maksimum gücü sağlamak ve yakıt hücresinin dinamik tepkisinin çok yavaş olmasından kaynaklanan sorunları gidermek amacıyla bir batarya depolama biriminin de sisteme eklenmesi gerekmektedir. DA/DA dönüştürücüler yardımıyla YH çıkış gerilimi, motor denetleyicisi için gerekli giriş gerilimine dönüştürülmektedir. Bu işlem için dikkate alınması gereken bir nokta da DA/DA dönüştürücülerin maliyetinin düşük olması ve taşıt içerisinde az yer kaplamasıdır [10-11], [27-28].

DA/DA dönüştürücülerin EA uygulamalarında güç elektroniği arabirimi olarak kullanılması için tasarlanmaları bazı nedenlerden ötürü çok zor bir iştir. İlk olarak bu dönüştürücülerin yüksek güç ve düşük gerilim düzeylerinde çalışmak zorunda olmalarından dolayı taşımaları gereken akım yüzlerce amper değerinde olabilmektedir. Yüksek değerli akımlar yalnız aktif ve pasif devre elemanları üzerinde ısı ve elektriksel zorlamayı arttırmakla kalmaz aynı zamanda DA/DA dönüştürücünün verimini de azaltır. İkinci olarak giriş geriliminin geniş bir aralıkta değişmesinden dolayı, bu değişim çıkış geriliminin giriş gerilimine oranını değiştireceğinden dolayı aktif ve pasif bileşenler üzerindeki akım ya da gerilim baskısını da arttıracaktır. Üçüncü olarak yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı dönüştürücüler, maliyet etkin ve az yer kaplayacak şekilde üretilmesini de zorlaştırmaktadır. EA uygulamalarında rejeneratif oluşumların da desteklenmesi ve güç kurtarma işlemleri için DA/DA dönüştürücülerin kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir [10-11], [27-28].

2.5.1. Yükselten (boost) DA-DA dönüştürücü

Şekil 2.7’de, yenilenebilir enerji kaynakları ile sıklıkla kullanılan yükselten (boost) DA-DA dönüştürücü devrenin basit yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Boost DA/DA dönüştürücü

Yükselten dönüştürücüler giriş geriliminden daha yüksek gerilimler elde etmek için kullanılırlar. En önemli avantajları da girişlerindeki endüktör nedeniyle giriş

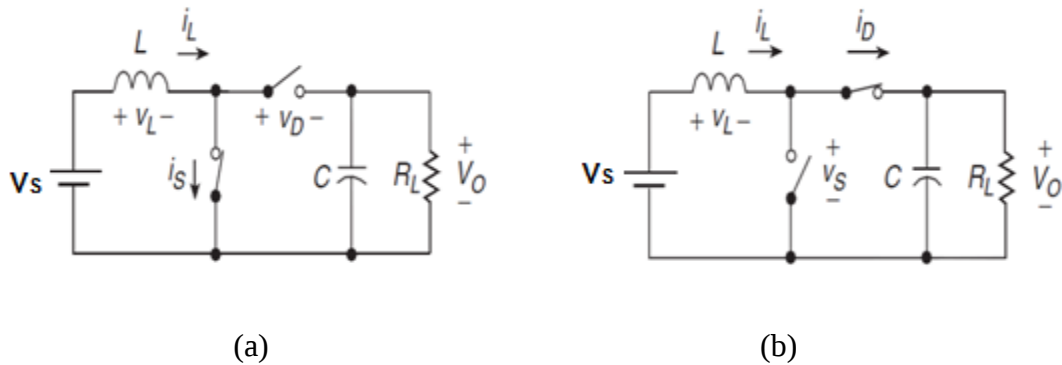
akımlarının sürekli olabilmesidir. Sürekli akım, özellikle yakıt pili uygulamaları için önemlidir. Akımın kesikli olması durumunda yakıt pilinin kimyasal yapısında sorunlar oluşabileceği için, sürekli akım durumu tercih edilmektedir.

Dönüştürücünün kazancı, anahtarlama işaretinin doluluk oranı (duty cycle; d) ile ayarlanır.

Yükselten (boost) dönüştürücünün analizi

Bu bölümde dönüştürücünün bir anahtarlama periyodu içinde oluşan çalışma aralıkları açıklanmış ve her bir çalışma aralığının matematiksel analizi verilmiştir.

Endüktör akımının hiçbir zaman sıfırda kalmaması durumunda dönüştürücünün sürekli akım ile çalıştığı söylenir. Bu durumda devre anahtarın iletim ve tıkama konumları için iki ayrı şekle bürünür. Bu konumlar Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Sürekli akımda çalışan yükselten dönüştürücünün devre yapısı: (a) Yarıiletken anahtar iletim konumunda (Aralık 1). (b) Yarıiletken anahtar kesim durumunda (Aralık 2)

Şekil 2.8a’da gösterilen konumda anahtar iletimdedir. Tüm giriş gerilimi endüktörün uçlarına uygulanır ve akım doğrusal olarak yükselir. Bu sırada çıkış gerilimi diyot uçlarına ters yönde uygulandığında diyot kesimdedir.

Bu süreç boyunca devrenin çalışmasını tanımlayan bağıntılar şu biçimdedir:

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.2)$$

$$i_L = i_{L-min} + \frac{V_s}{L} t \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte i_{L-min} endüktör akımının başlangıç değerini gösterir. Periyodik sürekli durumda, bu aynı zamanda endüktör akımının en küçük değeridir.

Anahtar $t = dT$ anında kesime sokulduğunda ise endüktörde depolanmış olan enerji diyot üzerinden yüke aktarılır. Bu süreçte devreyi tanımlayan bağıntılar şu biçimdedir:

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.4)$$

$$i_L = i_{L-max} - \frac{V_o - V_s}{L} t \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte i_{L-max} endüktör akımının başlangıç değerini gösterir. Periyodik sürekli durumda, bu aynı zamanda endüktör akımının en büyük değeridir.

İlk aralıkta endüktöre uygulanan gerilim pozitif olduğundan bu aralıkta uygulanan gerilim ters yönde olmalıdır. Aksi takdirde endüktörün volt-zaman değeri sıfırdan farklı olacağından akımın sürekli yükselmesi gerekir ki bu sürekli durumda mümkün değildir. Bu nedenle, çıkış geriliminin her zaman giriş geriliminden yüksek olacağı açıkça anlaşılmaktadır.

Endüktörün iç direnci ihmal edildiğinden, her iki konumda da akımın değişimi doğrusal olacaktır. Akım, kesim sürecinin sonunda ($t = (1 - d)T$) yine en küçük değerine inecektir.

En küçük ve en düşük akım değerleri arasındaki ilişki şu biçimde bulunur:

$$i_{L-max} = i_{L-min} + \frac{V_s}{L} dT \quad (2.6)$$

Buradan endüktör akımının dalgalanması hesaplanabilir:

$$\Delta I_L = i_{L-max} - i_{L-min} = \frac{V_s}{L} dT \quad (2.7)$$

Devrenin çalışmasını gösterir şekiller Şekil 2.9’da verilmektedir. Gerek analizde ve gerekse çizimlerde, çıkış geriliminin sabit olduğu ve anahtar konumları arasında geçişlerin sıfır zamanda gerçekleştiği varsayılmaktadır.

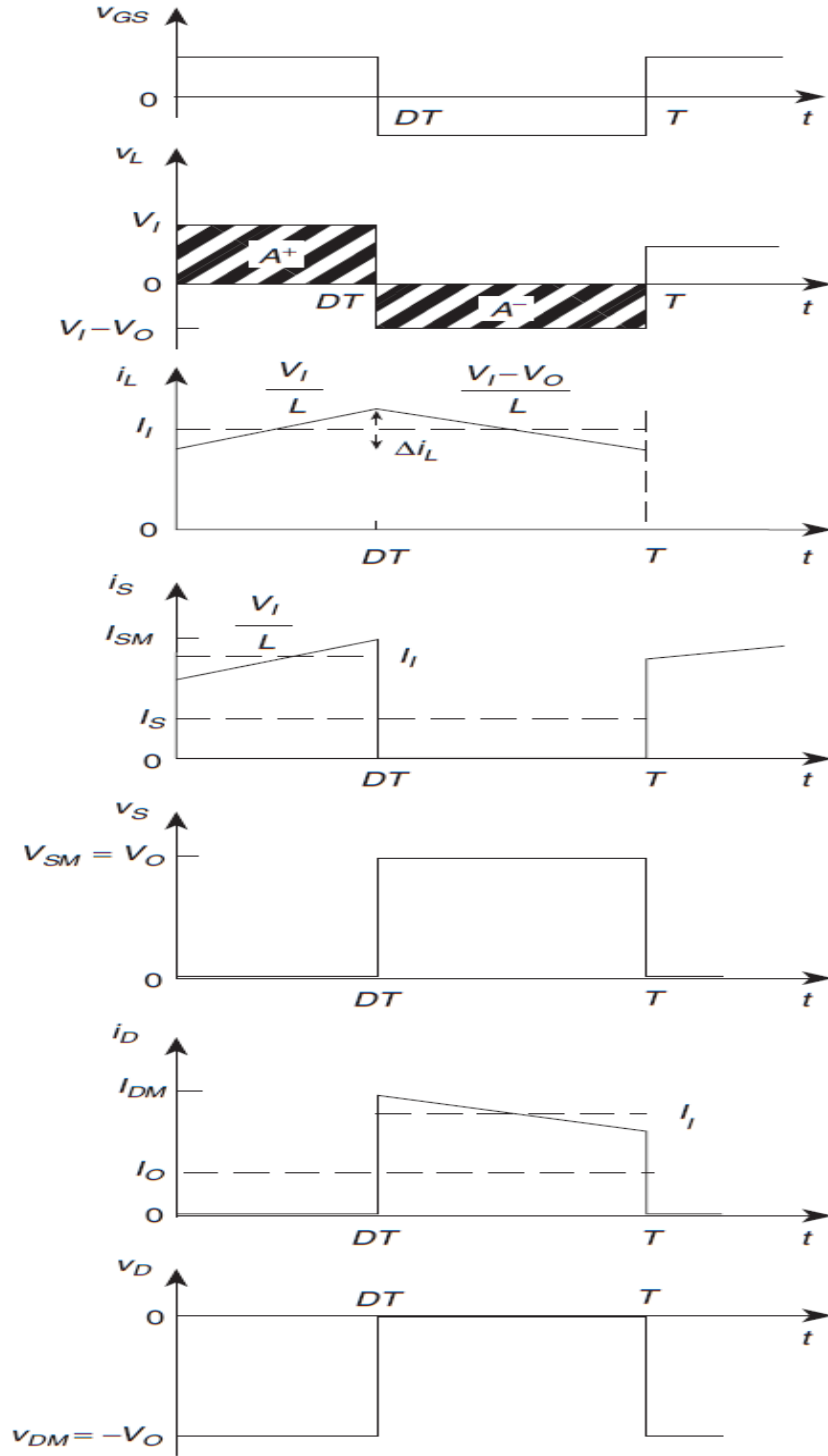
Endüktör geriliminin volt-saniye değerinin sıfır olabilmesi için

$$V_s \times dT = (V_o - V_s) \times (1 - d)T \quad (2.8)$$

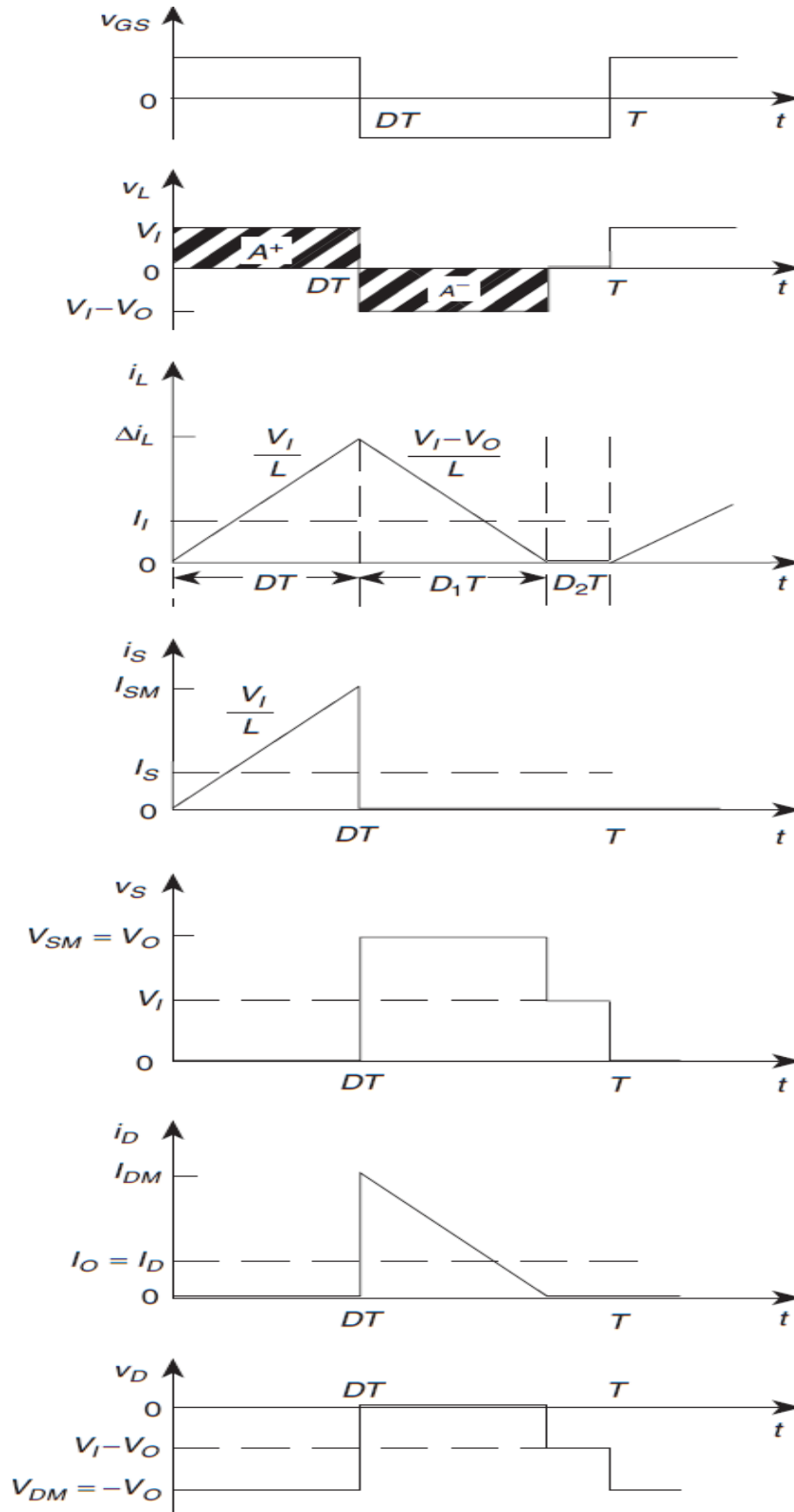
koşulunun sağlanması gereklidir. Bu koşuldan devrenin giriş çıkış ilişkisi elde edilebilir:

$$V_o = \frac{V_s}{1-d} \quad (2.9)$$

Devrede kullanılan endüktör yeteri kadar büyük değilse, anahtar kesimde iken endüktörün akımı periyot bitiminden önce sıfıra düşer ve anahtar tekrar ilettime sokulana kadar orada kalır. Bu durumda devrenin kesikli akımda çalıştığı söylenir. Eğer akım tam periyot sonunda sıfıra düşüyorsa, bu durumda da devrenin sınırda çalıştığı söylenir. Kesikli akım ile çalışan devrenin akım ve gerilim şekilleri Şekil 2.10’de verilmektedir.



Şekil 2.9. Yükselten dönüştürücü ideal akım ve gerilim dalga şekilleri(sürekli iletim modu)



Şekil 2.10 Kesikli akımda çalışan yükselten dönüştürücünün akım ve gerilimleri

3. SİSTEM TANITIMI

Tez kapsamında, bataryalı bir golf arabası hidrojen yakıt pili destekli çalışabilecek biçimde modifiye edilmiştir. Daha önce bir başka tez çalışması kapsamında aracın çatısına üç adet güneş pili yerleştirilmiş, güneş pilinden gelen gerilim maksimum güç noktası izleyen algoritma ile çalışan bir denetleyici aracılığıyla aracın bataryalarını doldurmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, batarya geriliminin belli bir düzeyin altına düşmesi durumunda devreye girerek yakıt pili çıkışını batarya gerilimine yükselten bir DA-DA dönüştürücü ile, bu dönüştürücünün devreye alınıp çıkartılmasını sağlayan denetleyici tasarlanmıştır. Bu bölümde bu dönüştürücü devresi ve denetleyici yapısı anlatılmaktadır[22].

3.1. Elektrikli Araç (GOLF Arabası)

Geliştirilen sistemin denenebilmesi için GÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından sağlanan proje desteği (Proje No: 06/2007-46: Güneş Pili ve Yakıt Hücresi Küçük Bir Kara Taşıtının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi) ile ikinci el bir bataryalı araç satın alınmıştır. Golf oyuncularından kullanılan bu araçta 36 V gerilimle çalışan bir seri DA motor bulunmaktadır. Aracın özellikleri çizelge 3.1'te açıklanmıştır.

Çizelge 3.1:Elektrikli golf arabasının teknik özellikleri [28]

Öğeler	Özellikleri
Model	DS Club Car (Golf Arabası)
Boyutlar (U x G x Y)	1.2 x 2.4 x 1.8 m
Net ağırlık	226 kg (Batarya hariç)
Motor	36V DA , 3000 RPM 3.2 HP (seri motor)
Batarya	6 x 6 Volt
Maksimum hız	19 Km/Saat

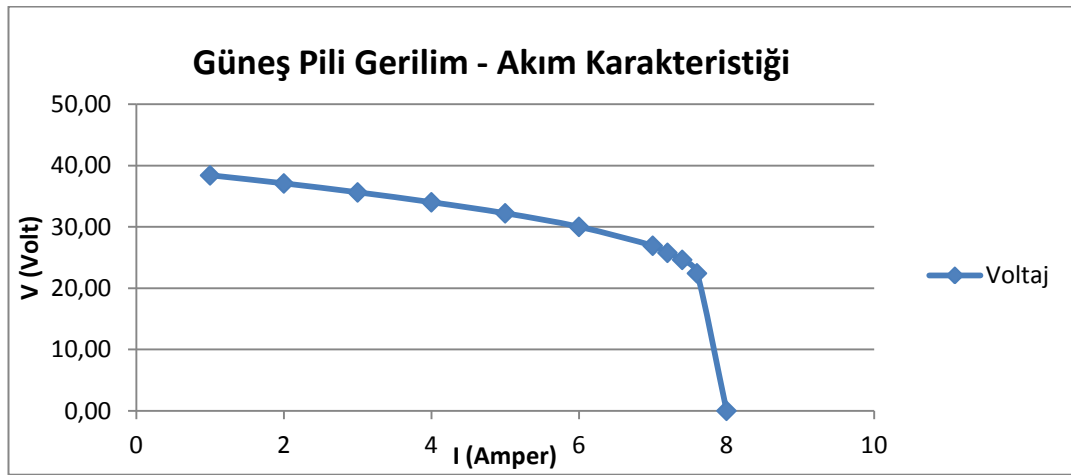
Resim 3.1’de, üzerine güneş pilleri yerleştirilmiş aracın fotoğrafı gösterilmektedir.



Resim 3.1. Güneş pilleri ile donatılmış aracın fotoğrafı

3.2. Güneş Enerjisi ile İlgili Çalışmalar [21]

Aracın çatısı sökülmüş ve çatıya üç adet güneş pili yerleştirilmiştir. Kullanılan piller 130 W gücünde olup maksimum güçlerini 17 V civarında verebilmektedir. İki güneş pili seri bağlı iken deneysel olarak elde edilen akım-gerilim karakteristiği Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Pillerle ilgili teknik bilgi Ekler bölümünde verilmektedir.



Şekil 3.1. Güneş pili gerilim akım değişimi (2 pil seri bağlı)

Aracın bataryası 36 V olduğu için, güneş pili gerilimini (17 V veya daha az) 36 V’a çıkaran bir yükselten (boost) DA/DA devresi tasarlanmıştır. Bu dönüştürücüde, güneş pilini maksimum güç noktasında çalıştırabilmek için bir Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNİ) algoritma kullanılmıştır. Bu amaçla, genel kabul gören Değiştir ve Gözle (Perturb and Observe) algoritmasından yararlanılmıştır.

Deneysel sonuçlar, deney koşullarında elde edilebilecek maksimum gücün 188 W civarında olduğu ve 7A, 26.92 V koşullarında elde edildiği görülmektedir. Bu deneyin hemen ardından panel çıkışına geliştirilen MGNİ devresi bağlanmış ve 36 V (3x12) bir batarya şarj edilmiştir. Bu durumda panellerden 6.8 A çekilirken panel uçlarında 27.4 V gerilim okunmuş ve panelden 186,32 W çekilmiştir. Bu da, geliştirilen devrenin görevini yaptığını göstermektedir [22].

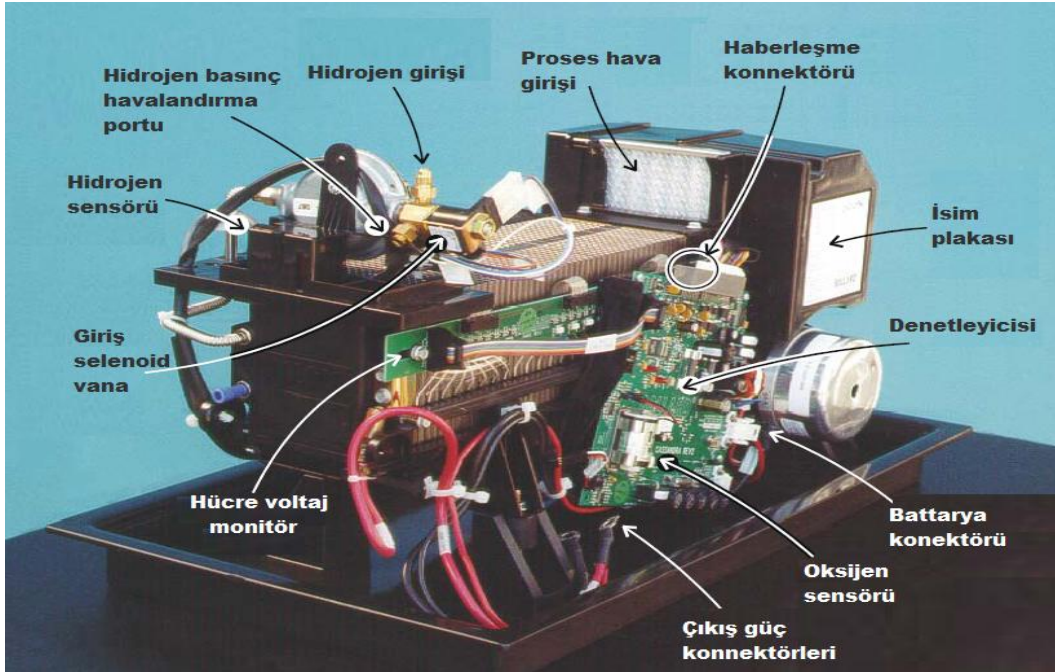
3.3. Yakıt Pili ile İlgili Çalışmalar

Aracın üzerine yerleştirilen 1.2 kW gücündeki yakıt pilinin (Nexa 1.2kW modül) anma akımı 50 A, anma gerilimi de 26 V olarak tanımlanmıştır. Yüksüz durumdaki gerilimi ise 42 V civarındadır. Nexa modülü, hava soğutmalı PEM yığını (stack) ve gerekli yakıt, elektrik ve kontrol arayüz ve bağlantılarını içeren komple bir yakıt pilidir. Modül 1200 Watt'a kadar regüle edilmemiş DA elektrik gücünü hidrojen ve havadan (oksijen) üretir. Kullanılan yakıt pilinin teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

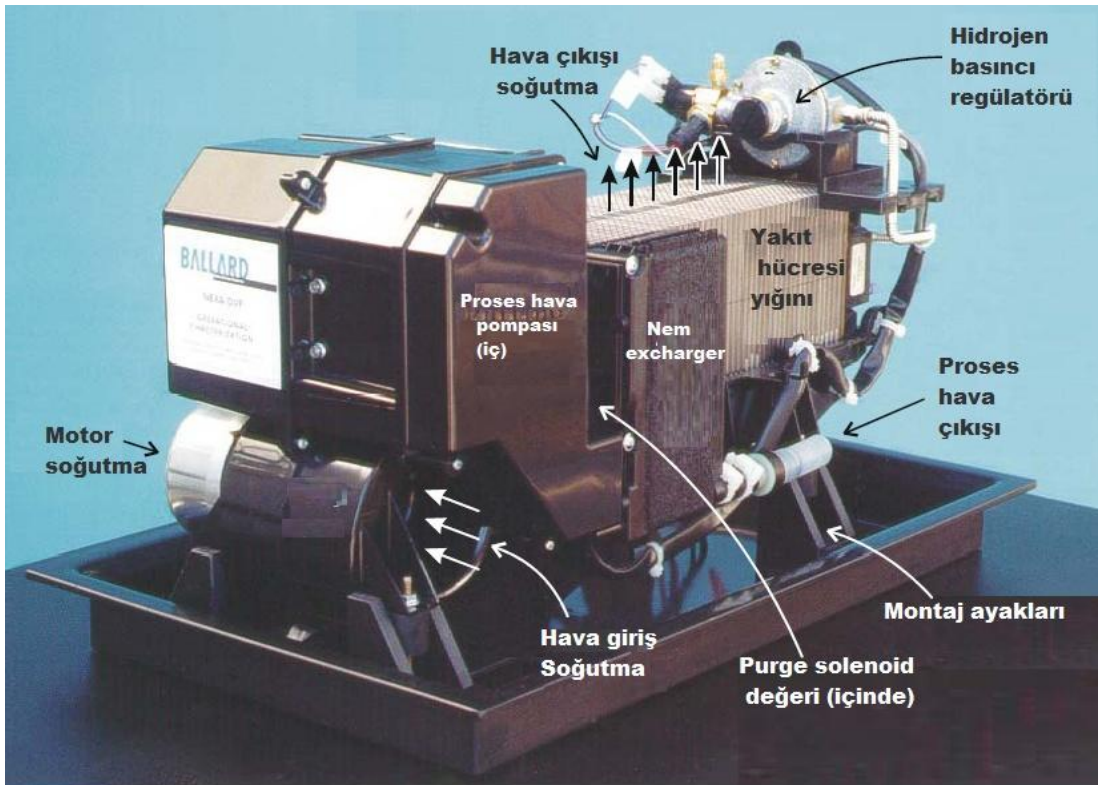
Çizelge 3.2: Nexa güç modülü özellikleri .

Performans	Güç Akım Gerilim Ömür	1,200 W 46 A DA 26 V DA 1,500 saat
Yakıt	Safılık Basınç	%99.99 10 - 250 PSIG
Çalışma Ortamı	Ortam sıcaklığı Nem Kapalı açık yerler	3.3 ila 30 derece (°C) % 0 -% 95 yoğuşmasız birim, kötü hava, kum, toz ,deniz ve dondurucu hava şartlarından korunmalıdır.
Emisyon	Saf su CO, CO2, Nox, SO2 Parçacık Gürültü	870 mL/saat 0 ppm 72 dBA @ 1 m
Fiziksel	Uzunluk x Genişlik x Yükseklik Ağırlık	56 x 25 x 33 cm 13 kg

Hava kompresörü, soğutma fanı, nemlendirme eşanjörü, gaz süpürme valfi, basınç regülatörü ve mikroişlemci gibi sistemin çalışması için gerekli olan ek aksamalar sisteme entegre edilmiş haldedir (Şekil 3.2 , Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).

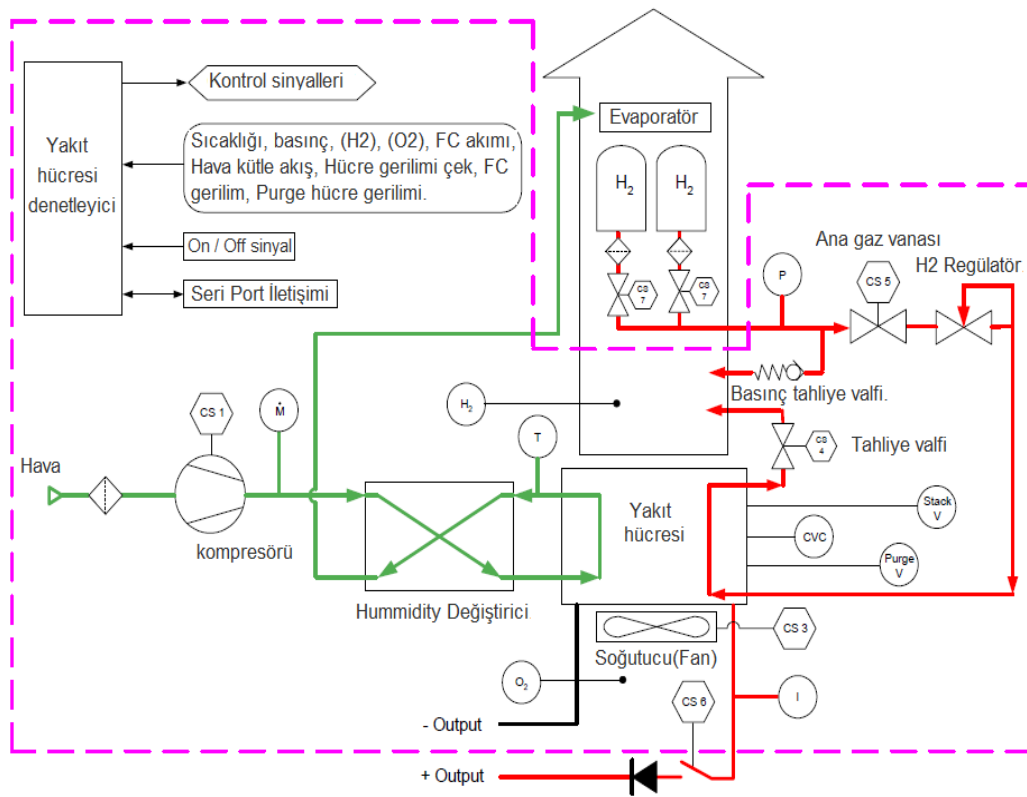


Resim 3.2. Nexa güç modülü (ön görünüm).



Resim 3.3. Nexa güç modülü (arka görünüm.).

Nexa modülü PEM (Polymer Electrolyte Membrane) tipi bir yakıt pili olup, PEM tipi piller günümüzde elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda en umut verici cihazlardandır. Bunun başlıca sebepleri, düşük kirlilik oranları, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları ve düşük çalışma sıcaklıklarıdır. Yakıt özelliklerinden bağımsız olmaları sabit elektrik üreten alternatiflerinden daha umut verici olmalarını sağlamaktadır. Halen yakıt hücrelerinin çalışma şekilleri mühendislik uygulamalarında kullanabilmek için optimize edilmeye çalışılmaktadır .



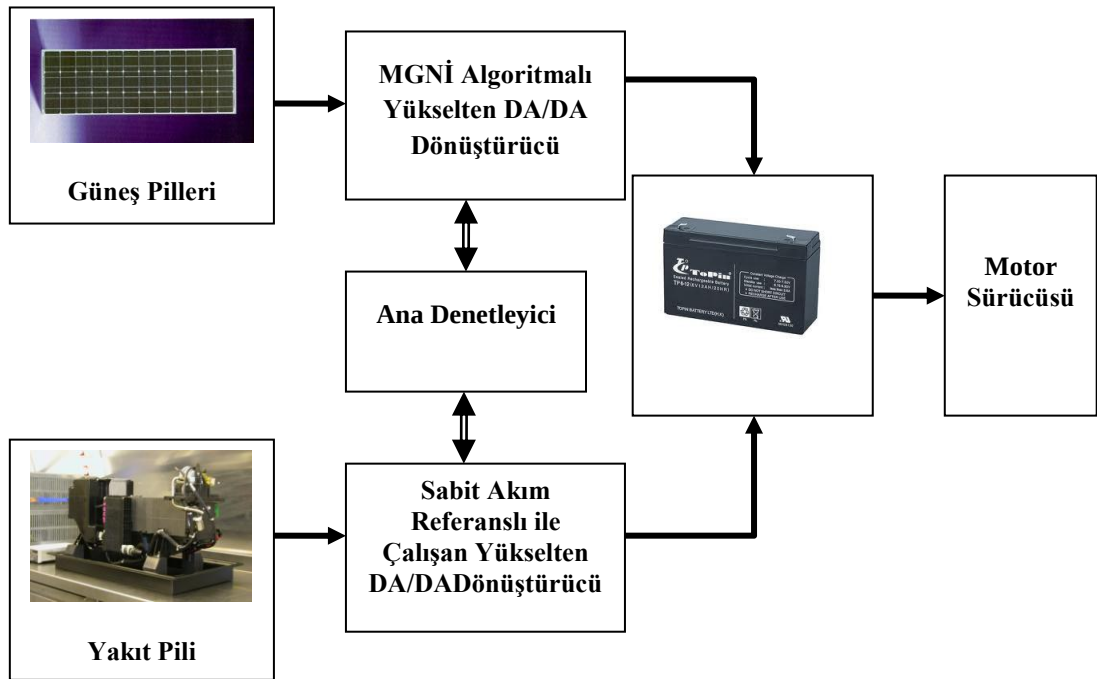
Şekil 3.3 Nexa sistemi şeması

Bir PEM yakıt hücresi iyon geçirici membran, anot ve katot katalizör tabaka, anot ve katot gaz difüzyon tabakası, gaz kanalları ve iki adet çift kutuplu tabakadan oluşur. Hidrojen ve oksijen anot ve katota girer. Anot katalizör tabakasında hidrojenin oksitlenmesi sonucu hidrojen iyonları ve elektron açığa çıkar. Hidrojen iyonları membran vasıtasıyla katot katalizör tabakaya iletilir. Burada oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu su ve ısı oluşur.

3.4. Elektrikli Aracın Denetim Sistemi

Aracın bataryası normal koşullarda güneş pilinden doldurulacaktır. Ana denetleyici sürekli olarak batarya gerilimini izleyerek batarya geriliminin düşük veya aşırı yük durumunda olup olmadığını denetler. Eğer batarya gerilimi izin verilen değerden (32 V) düşükse ana denetleyici yakıt pilini devreye alır. Bu durumda yakıt pilinden anma akımı çekilerek hem yük beslenir hem de batarya doldurulur. Yakıt pili devredeyken güneş pili de devrede olabilir ve eğer bir enerji sağlayabiliyorsa bu enerji alınır. Batarya gerilimi 36 V'a yükseldiğinde yakıt pili devreden çıkartılır. Batarya gerilimi izin verilen üst sınıra (36 V) yükseldiğinde ise güneş pili de devreden çıkartılır.

Araç için tasarlanan denetim sisteminin blok çizimi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Araç için tasarlanan denetim sistemi

3.4.1. DA/DA dönüştürücü kullanan bataryalı ve yakıt hücreli itki sistemleri

Şekil 3.2’da DA/DA dönüştürücü kullanan, bataryalı yakıt hücresi sistemi gösterilmektedir. Söz konusu sistemde itki birimi yakıt hücresi geriliminden daha yüksek bir gerilimde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle yakıt hücresi gerilimini daha yüksek değerdeki batarya ve motor sisteminde kullanılacak gerilime çevirecek bir yükselten (boost) dönüştürücü kullanılmıştır. Bataryayı doldurmak için de kullanılacak olan bu dönüştürücü yakıt hücresinin maksimum güç özelliklerine göre tasarlanmalıdır. Bu dönüştürücünün YH çıkışında kullanımının tercih edilmesinin bir nedeni de, yükselten dönüştürücü giriş akımının dalgalanmasının az olmasıdır. Yüksek akım dalgalanması hücre içerisindeki reaksiyona olumsuz etki yapacağından, bu durum engellenmelidir. YH’nin çıkışında bulunan diyot ise YH’ye ters yönde akım akmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Ters yönde akım akması, yakıt hücresinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonun tersine dönmesine ve cihazın zarar görmesine neden olur.

YH’den çekilen güç, DA/DA dönüştürücünün çıkış akımı üzerinden denetlenir. Güç ihtiyacını belirleyen komut, sürüş için sağlanması gereken güç ile orantılı olup, akım referansı bu güç gereksinimi batarya gerilimine bölünerek elde edilir. Elde edilen akım referansı, ölçülen akım değeri ile karşılaştırılarak bir hata işareti elde edilir. Buradan DA/DA dönüştürücünün çıkış gücünü kontrol etmek için gerekli doluluk oranı (duty cycle) elde edilir. Bu tip denetim yönteminde, DA/DA dönüştürücünün çıkış akımı kontrol edildiğinden, güç, batarya geriliminin bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

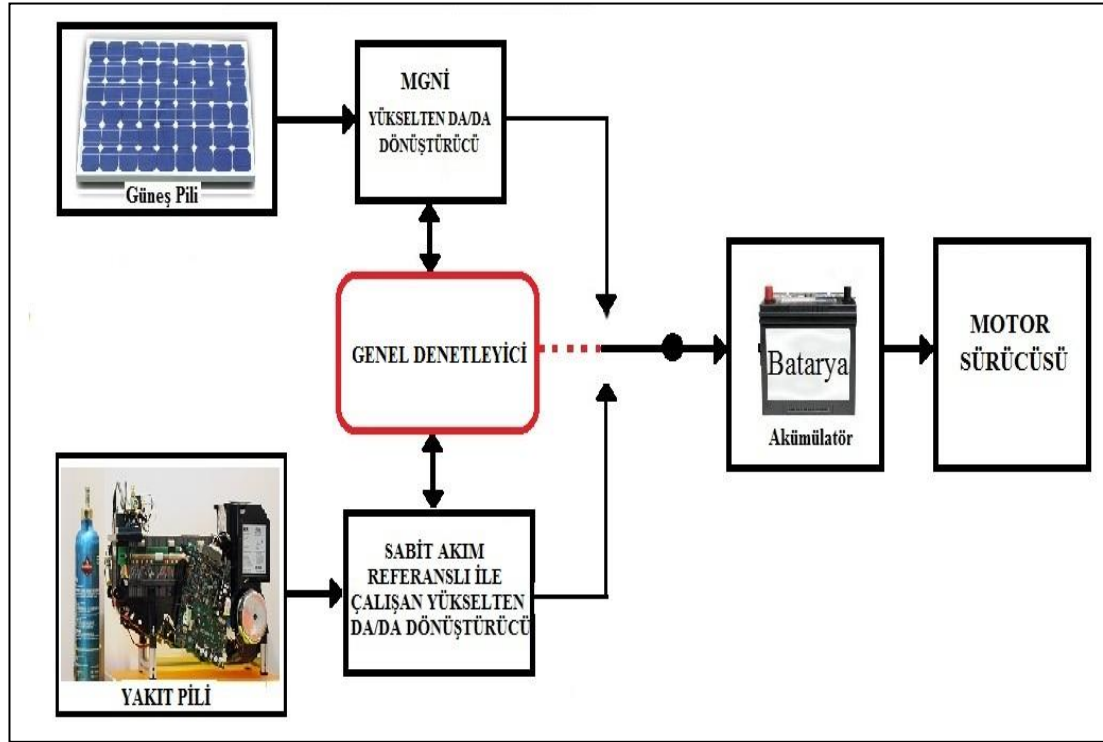
4. TASARIM

Elektrikli aracın ana enerji kaynağı olan güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumda eğer batarya gerilimi belli bir değerin altına düşerse gerekli enerji depolanmış durumdaki hidrojenin yakıt pilinde kullanılmasıyla elde edilir. Bu süreçte yakıt pili, batarya gerilimini belli bir aralıkta tutabilmek için, bataryayı anma akımı ile doldurmaya çalışır. Bu bölümde, yakıt pili ile batarya arasında kullanılan DA-DA dönüştürücü devresi tanıtılmakta, tasarımı yapılmakta ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

4.1. Giriş

Genel denetleyici sürekli olarak elektrikli taşıtın (EA) batarya gerilimini izleyerek batarya geriliminin düşük veya aşırı yük durumunda olup olmadığını denetler. EA'nin bataryası normal koşullarda güneş pilinden doldurulacaktır. Üzerinde çalışılan aracın batarya bankasında 6 adet 6 V'luk batarya seri bağlı olduğundan, toplam batarya gerilimi 36 V'dur. Bu nedenle, batarya gerilimi için alt sınır 32 V, üst sınır da 40 V olarak belirlenmiştir. Eğer batarya gerilimi alt sınırdan (32 V) düşükse genel denetleyici yakıt pilini devreye alır. Bu durumda yakıt pilinden sabit akım çekilerek hem yük beslenir hem de batarya doldurulur. Yakıt pili devredeyken güneş pili de devrede olabilir ve eğer bir enerji sağlayabiliyorsa bu enerji alınır. Yakıt pilinin çalıştırılacağı sabit akım değeri ve yakıt pilinin ne zaman devreden çıkartılacağı, güneş enerjisinin ve yükün durumuna göre belirlenir. Batarya gerilimi izin verilen üst sınıra (40 V) yükseldiğinde ise güneş pili de devreden çıkartılır.

EA için tasarlanan denetim sisteminin blok çizimi Şekil'4.1 de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Araç için tasarlanan denetim sistemi

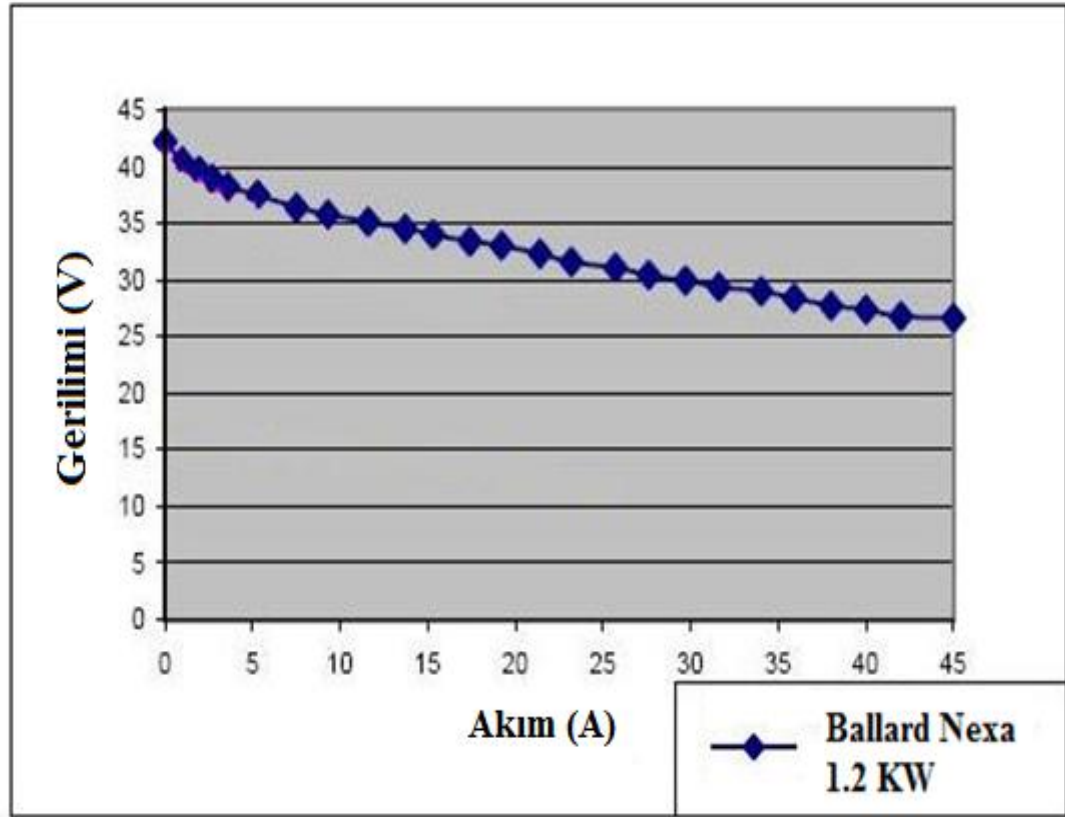
Kullanılan yakıt pilinin anma gerilimi (26 V) batarya geriliminden düşük olduğu için yakıt hücresi ile batarya arasında yükselten tür bir dönüştürücü kullanılmıştır. Bu dönüştürücü, yakıt pilinden sabit akım çekecek biçimde denetlenmektedir.

4.2. Yükselten DA/DA Dönüştürücünün Güç Devresinin Tasarımı

Bu bölümde yükselten dönüştürücünün tasarımı anlatılmıştır. Dönüştürücünün nasıl çalıştığı önceki bölümlerde anlatılmıştı. Bu bölümde yalnızca tasarım adımları gösterilecektir.

Dönüştürücü, Ballard firmasının 1.2kW Nexa model yakıt pilinin çıkışından aldığı doğru gerilimi elektrikli aracın kullandığı DA düzeyine, yani 36 V'a dönüştürecektir.

Yakıt pilinin akım-gerilim karakteristiği Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Ballard Nexa 1.2kW PEM yakıt hücresinin polarizasyon eğrisi

Modülün anma akımı olan 45 A için gerilim 26 V civarındadır. Dolayısıyla, kullanılacak DA-DA dönüştürücü, yükselten (boost) türünde olmalıdır. Yakıt pili devredeyken dönüştürücünün çıkış akımının iki sabit akım değerinden biriyle çalışması planlanmıştır. Düşük akım çalışma değeri 15 A, yüksek akım çalışma değeri 30 A olarak seçilmiştir. Bu akım değerlerinin yakıt pilinde hangi akıma karşı geldiğini hesaplamak için, yakıt pili karakteristiğinin yaklaşı doğrusal olduğu bölgenin denkleminde yararlanılabilir.

Şekil 4.2'den, karakteristiğin doğrusal bölümü (12A-45 A arası)

$$V_{YP} = V_S = 38,86 - 0,286 I_{YP} = 38,86 - 0,286 I_S \quad (4.1)$$

olarak elde edilir.

Dönüştürücü devrenin giriş ve çıkış akımları arasındaki ilişki, verimin 1 olduğu varsayımıyla

$$I_s = I_{YP} = \frac{1}{1-d} I_o \quad (4.2)$$

olduğundan

$$V_s = 38,86 - 0,286 \frac{1}{1-d} I_o = 38,86 - 0,286 \frac{V_o}{V_s} I_o \quad (4.3)$$

yazılabilir. Bu denklem de 2. mertebeden bir denklem olarak yazılabilir:

$$V_s^2 - 38,86 V_s + 0,286 V_o I_o = 0 \quad (4.4)$$

Bu denklemin kökleri

$$V_s = 19,43 \mp \sqrt{377,52 - 0,286 V_o I_o} \quad (4.5)$$

biçiminde elde edilir. V_o , batarya gerilimi olup 36 V olarak kabul edilebilir. Bu durumda, I_o akımının minimum (15 A) ve maksimum (30 A) değerleri için denklemin kökleri elde edilirse şu sonuçlar bulunur:

$$I_o = 15 \text{ A için:} \quad (4.6)$$

$$V_s = 34,5 \text{ V, } I_s = 15,71 \text{ A} \quad (4.7)$$

$$I_o = 30 \text{ A için:} \quad (4.8)$$

$$V_s = 27,7 \text{ V, } I_s = 38,97 \text{ A} \quad (4.9)$$

Burada belirtmek gerekir ki, 30 A üzerindeki akımlar yakıt pilinin aşırı yüklenmesi, 15 A altındaki akımlar da yakıt pili geriliminin 36 V'un üzerinde olması, yani dönüştürücünün yükseltme özelliğini yerine getirememesi anlamına gelmektedir.

Dönüştürücünün tasarımında kullanılan parametreler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Tasarım parametreleri

Parametre	Açıklama	Değer
P_{max}	Maximum çıkış gücü	1200 W
f_{sw}	Anahtarlama frekansı	60 kHz
V_s	Nominal giriş gerilimi (yakıt pili çıkışı)	26 V
V_s^{max}	Maksimum giriş gerilimi (yakıt pili çıkışı)	30,5 V
V_o	Nominal çıkış gerilimi (batarya gerilimi)	36 V
I_o^{min}	Çıkış akımı minimum değeri (dönüştürücü çıkışı)	15 A
I_o^{max}	Çıkış akımı maksimum değeri (dönüştürücü çıkışı)	38 A
V_r/V_o	Çıkış gerilimi dalgalanması	< %1
ΔI_s	Endüktör akımı tepeden tepeye dalgalanma değeri	< 5A
η	Hedeflenen dönüştürücü verimi	%92

4.2.1. İndüktör seçimi

Yakıt hücresinin çıkış gerilimi, hedeflenen çalışma koşullarında 27,7 V ile 35 V aralığında olacaktır. Bu yüzden doluluk oranının (d) uç değerleri

$$d = 1 - \frac{V_s}{V_{out}} \quad (4.10)$$

bağıntısından $d_{min} = 0,03$ ve $d_{max} = 0,23$ olarak hesaplanır. Burada hesaplanan d_{min} değeri pratikte daha büyük olacaktır.

Akımın yükselmesi aşamasında endüktör gerilimi ifadesi şu biçimdedir:

$$V_s = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta i}{\Delta t} = L \frac{\Delta i}{d \times T} \quad (4.11)$$

Buradan, endüktörün değeri

$$L = V_s \frac{d \times T}{\Delta i} \quad (4.12)$$

biçiminde elde edilir. Değerler yerine konulursa endüktans değeri hesaplanır.

d_{min} için

$$L_{min} = \frac{35 \times 0,03 \times 16,67 \cdot 10^{-6}}{5} = 3,5 \mu\text{H} \quad (4.13)$$

d_{max} için

$$L_{max} = \frac{27,7 \times 0,23 \times 16,67 \cdot 10^{-6}}{5} = 21,24 \mu\text{H} \quad (4.14)$$

hesaplanır. Devrede, akımın sürekliliğini garanti etmek için 30 μH değerinde bir endüktör kullanılmıştır. Endüktörün iletkenleri 50 A için seçilmiştir.

4.2.2. Yarıiletken anahtar ve diyot elemanlarının seçimi

Çalışma akım ve gerilimleri göz önüne alındığında anahtar olarak MOSFET kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir. MOSFET üzerinde oluşan akım ve gerilim değerleri bulunarak bunlara uygun eleman seçilmesi gereklidir.

Anahtar tıkamada iken MOSFET üzerinde görülecek gerilim batarya gerilimidir. Dolayısıyla:

$$V_{max} = 40 \text{ V} \quad (4.15)$$

MOSFET ilettime sokulduğunda içerisinden yakıt pilinin akımı akacaktır. Yakıt pilinden hep sabit akım çekilecek olup, en büyük ortalama akım değeri 39 A'dir. Anahtar akımın tepe değeri, yakıt pili akımının tepe değerine eşit olacaktır. Hedeflenen akım dalgalanması düşünüldüğünde anahtar akımının tepe değeri

$$I_{max} = I_{ave} + \frac{I_r}{2} = 39 + 2,5 = 41,5 \text{ A} \quad (4.16)$$

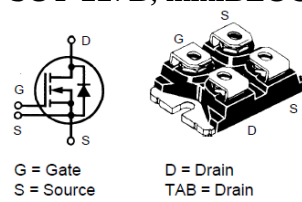
olarak bulunur. Anahtar akımının etkin değeri ise yaklaşık olarak

$$I_{rms} = \sqrt{d}I = \sqrt{0,23} \times 41,5 = 19,5 \text{ A} \quad (4.17)$$

olarak hesaplanır.

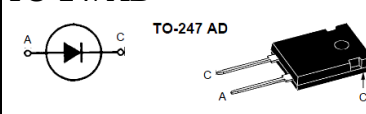
Devrede kullanılmak üzere IXYS firmasının HiperFet ürünü olan IXFK 150N10 MOSFET seçilmiştir. Bu elemana ait veriler Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2: IXFK 150N10 MOSFET’in teknik özellikleri

FET türü	MOSFET N-kanallı metal oksit
$R_{ds-on} (max) @ I_d, V_{gs}$	12 m Ω @ 75A, 10V
Drain - Source Gerilimi (V_{dss})	100V
Akım- Sürekli Drain (I_d) @ 25° C	150A
$V_{gs(th)} (max) @ I_d$	4V @ 8mA
Kapı yükü (Q_g) @ V_{gs}	360nC @ 10V
Giri Kapasitansı (C_{iss}) @ V_{ds}	9000pF @ 25V
Paket / Kılıf	SOT-227B, miniBLOC  G = Gate S = Source D = Drain TAB = Drain

Yine belirlenen akım ve gerilim sınırları için IXYS firmasının ürünü olan DSEI60 diyotlardan iki tanesinin paralel kullanılması uygun görülmüştür. Diyodun teknik özellikleri Çizelge 4.3’de verilmektedir.

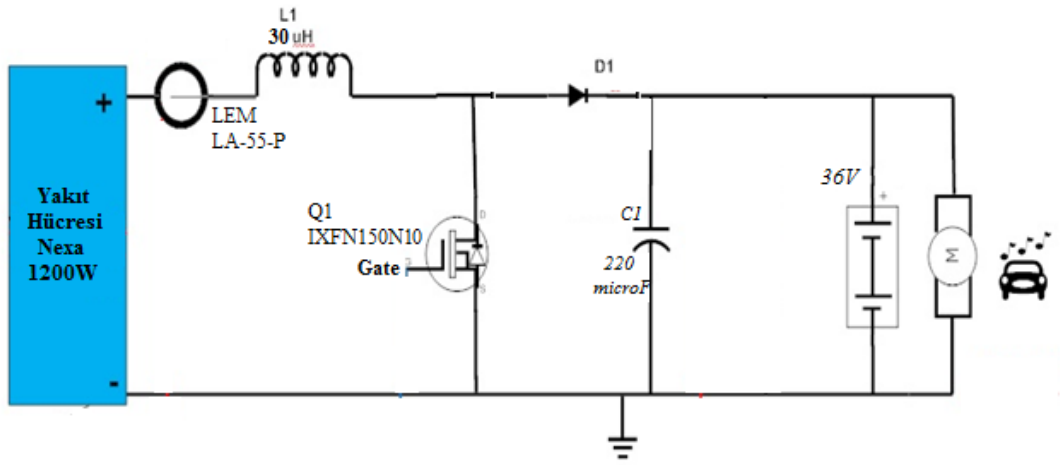
Çizelge 4.3 DSEI60-02 diyodun teknik özellikleri

Gerilim–Ters DA (V_r) (max)	200V
Akım–Ortalama doğrultulmuş (I_o)	69A
Gerilim - İletim (V_f) (Max) @ I_f	1,8V @ 60A
Hız	Hızlı toparlanma $\leq 500ns$, > 200mA (I_o)
Ters toparlanma süresi (t_{rr})	50ns
Akım – Ters sızıntı @ V_r	50 μ A @ 200V
Paket / Kılıf	TO-247AD  A = Anode, C = Cathode

4.2.3. Çıkış kondansatörünün seçimi

Geliştirilen devrenin çıkışı bir batarya bağlanacağı için büyük bir çıkış kondansatörüne gereksinim yoktur. Yalnızca, akımın yüksek frekans bileşenlerini süzmek için küçük bir kondansatör kullanılması yeterlidir. Bu nedenle devrenin çıkışına 220 μ F değerinde bir kondansatör bağlanmıştır.

Tasarlanan güç devresinin çizimi Şekil 4.3’de verilmektedir.



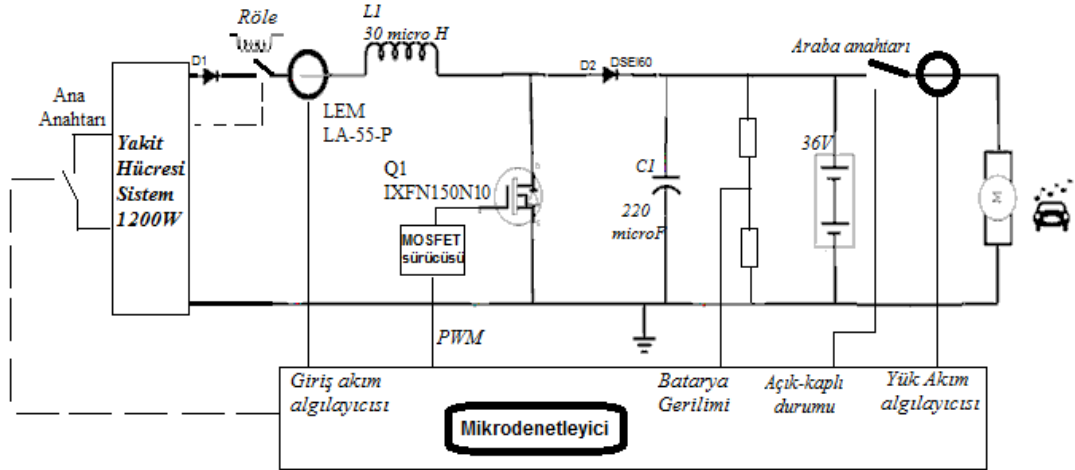
Şekil 4.3. Yükselten dönüştürücü devresi

4.2.4. DA-DA dönüştürücü denetleyici tasarımı

Tasarlanan sistemde yakıt pili yedek güç kaynağı olarak düşünülmektedir. Dolayısıyla, yalnızca güneş yeterli olmadığında ve batarya geriliminin alt sınıra düşmesi durumunda devreye girerek hem yükü besleyecek hem de bataryayı dolduracak biçimde çalıştırılacaktır. Bu süre içerisinde de yakıt pilinden sabit akım çekilecektir. Bu nedenle, tasarlanan dönüştürücüyü sabit akımda çalıştıracak bir denetleyiciye gereksinim vardır.

Dönüştürücünün akım referansı, dönüştürücünün denetleyicisi tarafından ihtiyaca göre belirlenir. Bu referans, ölçülen akım değeri ile karşılaştırılarak bir hata sinyali

elde edilir. Bu hata işareti bir denetleyiciden geçirilerek DA/DA dönüştürücünün doluluk oranı elde edilir. Genel yapı Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Genel denetleyici yapısı

Bu tip kontrol yönteminde, DA/DA dönüştürücünün çıkış akımı kontrol edildiğinden dolayı, güç batarya geriliminin bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

Denetleyiciden şu işlemleri yapması beklenmektedir:

- Dönüştürücü giriş ve çıkış akımlarını okuyarak kontrol altında tutmak.
- Dönüştürücü giriş ve çıkış gerilimlerini okuyarak kontrol altında tutmak
- Batarya gerilimini izlemek
- Ana denetleyiciden gelen güneş pili sisteminin durum bilgisini değerlendirmek.

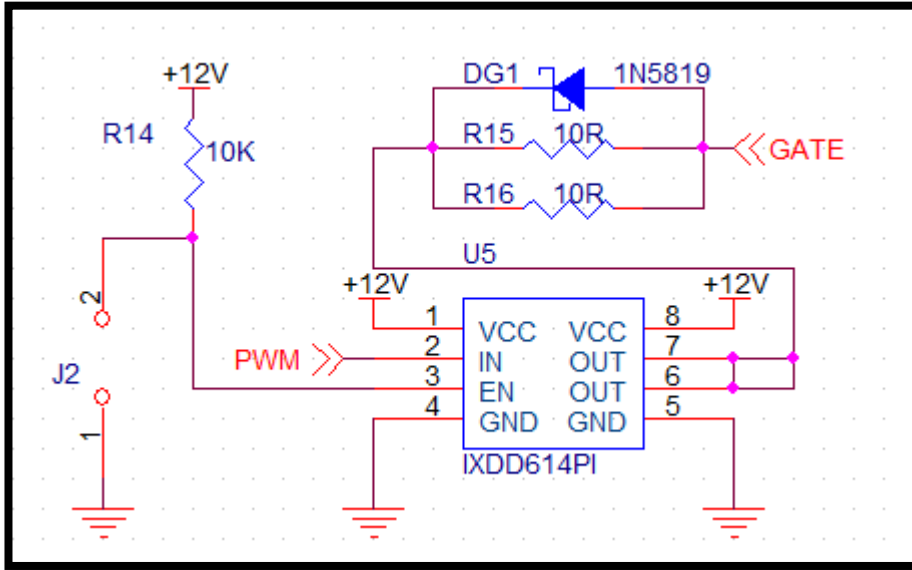
Tasarlanan sistemde mikrodenetleyici olarak Mikrochip firmasının ürünü olan PIC16F877A-S ürünü seçilmiştir. Geliştirilen sistemde, mikrodenetleyicinin yapısındaki şu birimler kullanılmıştır:

- 4 adet 8 bit Analog/dijital dönüştürücü
- 1 adet 60 kHz çıkış verebilecek PWM donanımı
- 10 tane genel amaçlı dijital Giriş /Çıkış (I/O)
- Kesme arayüzü

Gerilim bölücünün bölüştürme oranı 1/11 olarak seçilmiştir. Direnç değerleri 3.3 k Ω ve 33 k Ω olarak belirlenmiştir.

MOSFET sürücüsü

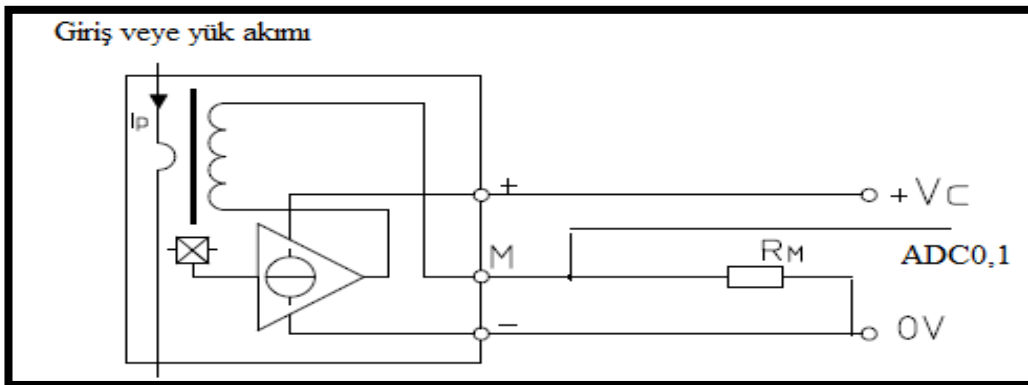
MOSFET sürücü olarak IXDD614PI sürücü entegresi kullanılmıştır. Sürücü devrenin çizimi Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Mosfet sürücü devresi

Akım algılayıcısı (sensörü)

Yük ve giriş akımlarının örneklenebilmesi için sistem LEM LA 55-P ($I_{pn}=50A$) markalı hall etkili algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcının katalog değerlerine bakıldığında, uygulamamız üzerindeki akım okuma hassasiyeti 100 mV/A olarak görülmektedir.



Şekil 4.8 Akım algılayıcısı şematik çizim

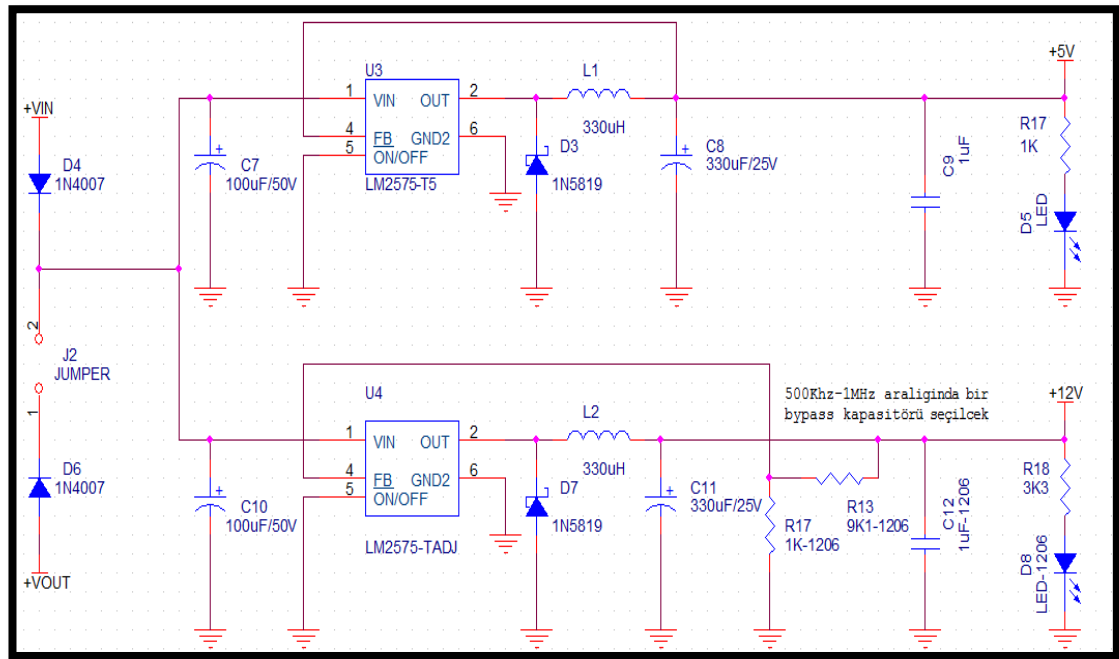
PWM işaretinin üretilmesi

Akım ve gerilim örneklemeleri PIC16F877A mikroişlemcinin 8 bit'lik ADC'leri ile yapılmıştır. Okunan değerler kullanılarak gerekli PWM işaretleri üretilmiştir. PWM işaretinin akımlar bilgisi PIC16F877A mikrodeneleyicinin ADC0 ve ADC2 kapısından, gerilim bilgisi de ADC1 ve ADC3 kapısından okunur. Bu analog sinyaller işlemci içerisinde dijital olarak çevrilerek hata hesaplanır ve PWM doluluk oranı güncelleştirilir. PWM çıkış sinyali mikrodeneleyicinin CCP1 çıkış kapısından alınmaktadır.

Dahili güç beslemeleri

Denetim kartının gerek duyduğu 5 Volt ve (12-15)Volt dahili güç kaynakları için iki adet LM2575 regülatör kullanılmıştır. Regülatör girişleri aracın bataryasına bağlanmıştır.

Devrenin çizimi Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Alçak gerilim güç kaynağı

4.3. Genel Denetleyici

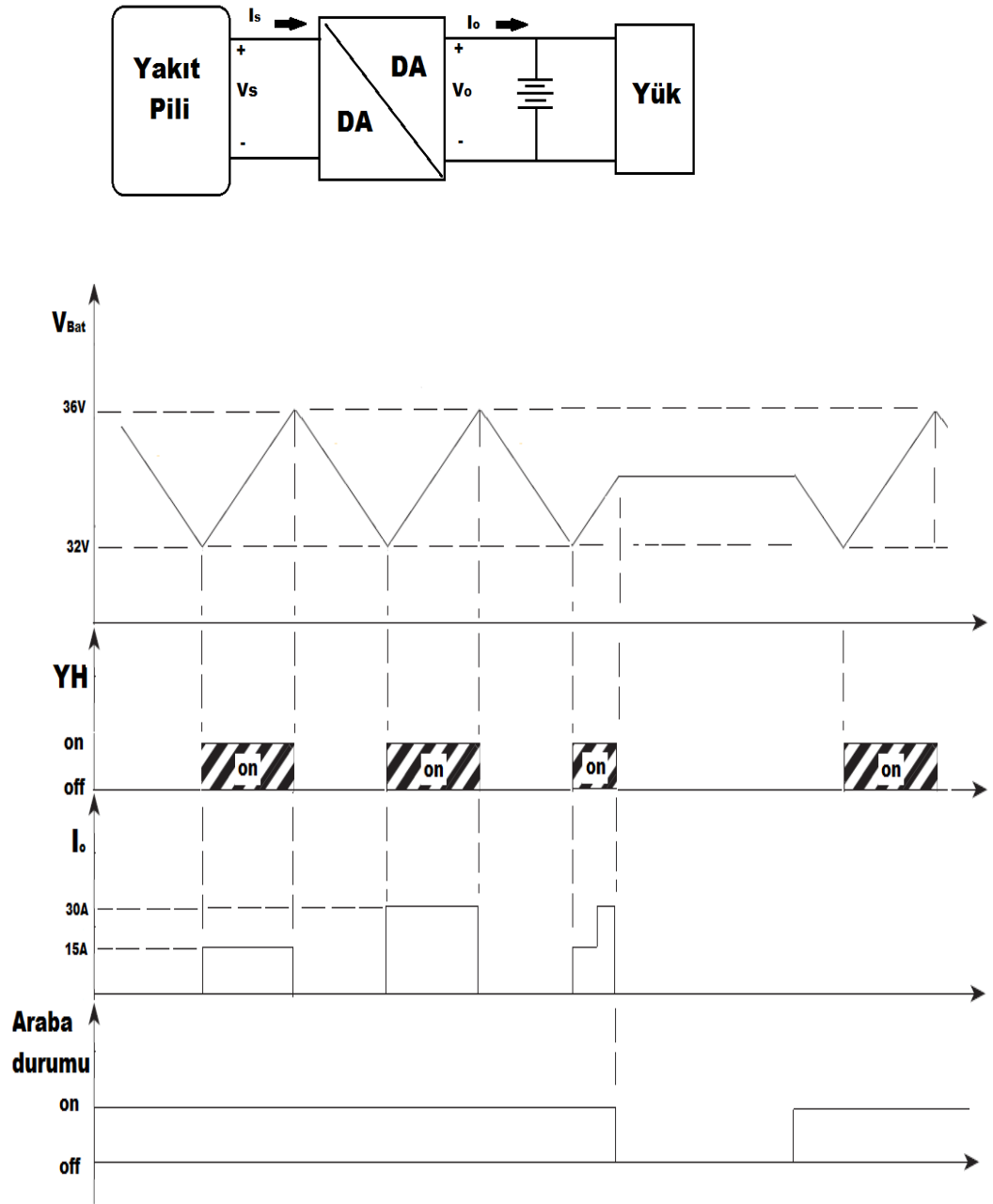
Genel denetleyicinin kullanım amacı, güneş enerjisinin ve yükün durumuna göre yakıt pilinin devreye girip çıkmasını sağlamaktır.

Aracın bataryası normal koşullarda güneş pilinden doldurulacaktır. Ana denetleyici sürekli olarak batarya gerilimini izleyerek batarya geriliminin düşük veya aşırı yük durumunda olup olmadığını denetler. Eğer batarya gerilimi belirlenen alt değere kadar (32 V) düşerse ana denetleyici yükün durumuna göre yakıt pilinin devreye girmesi için gerekli komutu üretir.

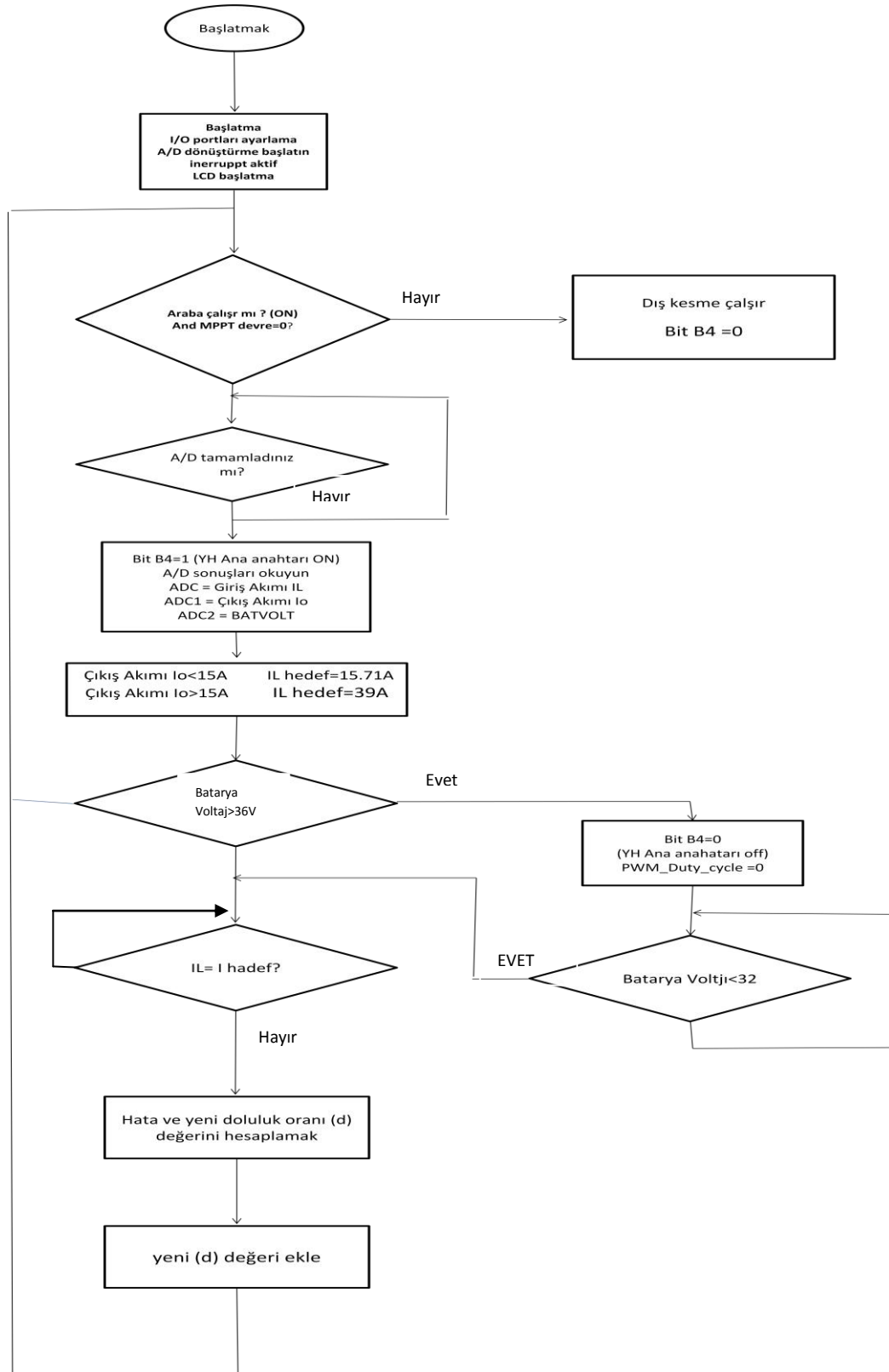
Denetleyicinin izlediği mantık şu biçimde özetlenir:

- Eğer sistemin yük gereksinimi yoksa yakıt pili devreye alınmaz.
- Eğer yük gereksinimi yüksekse ($>15A$), DA/DA dönüştürücü çıkış akımının referans değeri 30 A olarak belirlenir.
- Eğer yük gereksinimi düşükse (0-15A), bu durumda çıkış akımının referans değeri 15 A olarak belirlenir.

Bu kontrol mantığının uygulanmasındaki amaç, hidrojeni bir yedek kaynak olarak kullanmaktır. Eğer yük yoksa, bataryayı doldurmak için gereksiz yere hidrojen harcanmaz.



Şekil 4.10. YH Kontrol stratejisi

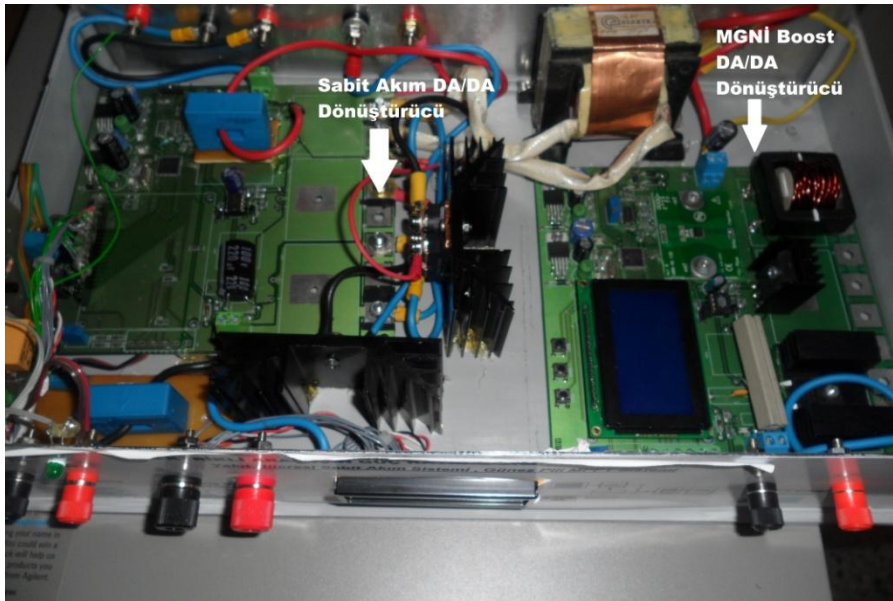


Şekil 4.11. Programa ilişkin algoritma .

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, proje kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

Kullanılan 1.2 kW gücündeki yakıt pilinin (Nexa 1.2kW modül) anma akımı 45 A, anma gerilimi 26 V olarak tanımlanmıştır. Ancak, gerçekleştirilen devrede yakıt pili ihtiyaç durumunda devreye alınmakta ve dönüştürücü çıkış akımı 15 A / 30 A değerlerinden birinde sabit olacak biçimde çalıştırılmaktadır. Bu işlevi yerine getirecek devrenin resmi Resim 5.1’de verilmektedir. Resimde, yakıt pili çıkışına bağlanan yükselten dönüştürücü, güneş pilinden MGNİ yöntemi ile batarya şarjını gerçekleştiren devre ve ana denetleyici devre birlikte gösterilmektedir.



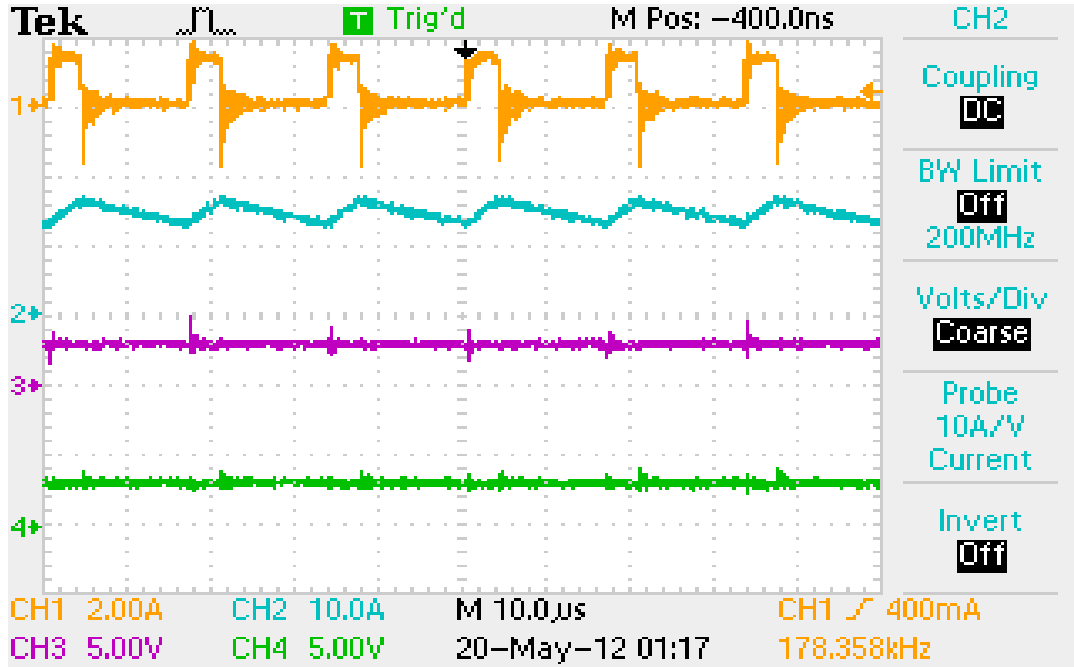
Resim 5.1. Geliştirilen deneysel düzenek .

Laboratuvar testlerinde, geliştirilen genel denetleyici devresi farklı çalışma koşulları oluşturularak denenmiştir. Alınan sonuçlar Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

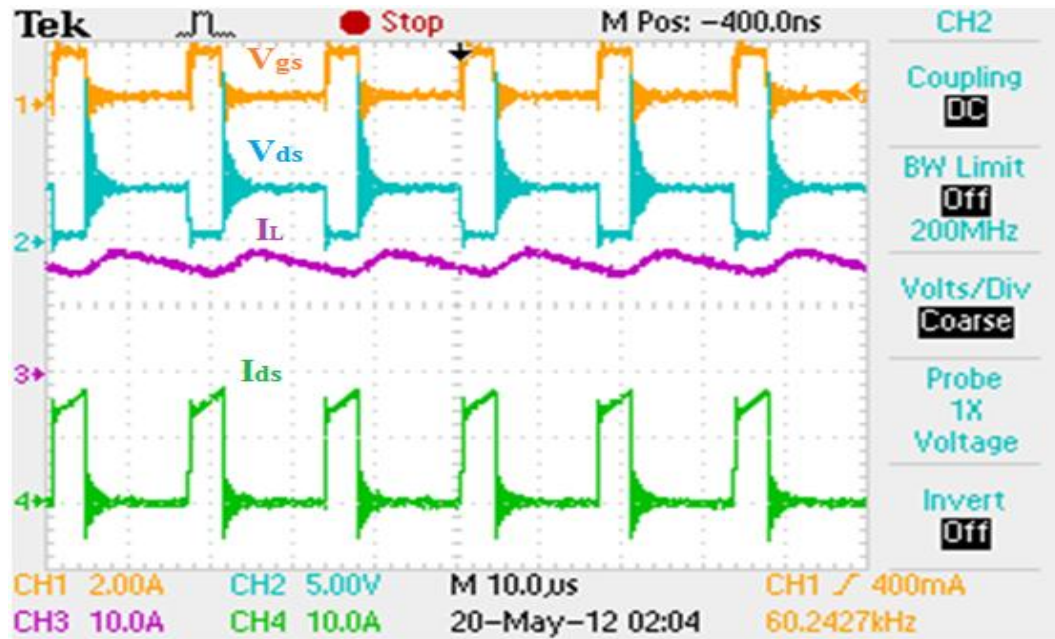
Çizelge 5.1. Karşılaştırmalı test senaryoları

YÜK	V _{bat}	Röle	ANA anahtar (YP anah.)	I _{yük}	Çıkış akımı	LED	LCD Ekran Üzerindeki Görüntü
Var	<36	ON	ON	<15A >15A	=15A =30A	Yeşil Yeşil	
Var	>36	OFF	OFF	Yük akımı	----	Kırmızı	
			VBat <32 tekrar çalışabilir.				
Yok	---	OFF	OFF	0	0	Kırmızı	

Gerçekleştirilen devre ile yapılan denemeler sırasında alınan osiloskop çıktıları Şekil 5.1 ve 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Yakıt pilinden çalışan DA/DA dönüştürücünün dalga biçimleri (15 A yük akımı); kapı gerilimi (CH1; 10 V/div), endüktör akımı (CH 2; 10A/div), çıkış gerilimi (CH3; 50 V/div) ve yakıt pili gerilimi (CH4; 50 V/div).

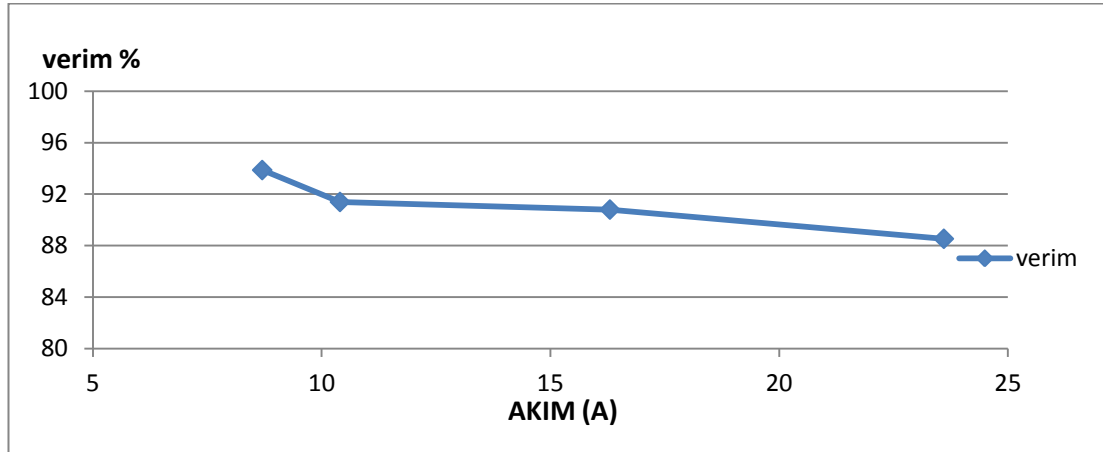


Şekil 5.2. Yakıt pilinden çalışan DA/DA dönüştürücünün dalga biçimleri; kapı gerilimi (CH1; 20 V/div), MOSFET gerilimi (CH2; 50 V/div), giriş akımı (CH 3; 10A/div) ve MOSFET akımı (CH 4; 10A/div).

Şekil 5.1’de gösterilen çalışmada, yakıt pili akım referansı 15 A olarak verilmiştir. Bu akım değerinde yakıt pili çıkışı 34 V olmuştur. Dolayısıyla, dönüştürücü küçük bir doluluk oranıyla çalışarak gerilimi 36 V’a yükseltmiştir.

Şekil 5.2’de gösterilen çalışmada yakıt pilinin akım referansı 30 A olarak verilmiştir. Bu akım değerinde pil çıkışı 25 V civarında olmuştur. Dönüştürücü bu gerilimi 0.4 civarında bir doluluk oranıyla 36 V düzeyine çıkartmaktadır.

Şekil 5.3’de geliştirilen güç devresinin farklı çalışma akımlarındaki verimi gösterilmektedir. Devrenin verimi genel olarak %90 civarında ölçülmüştür.



Şekil 5.3. Geliştirilen dönüştürücünün farklı çalışma akımlarında verimi

6- SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında üzerinde güneş panelleri bulunan bataryalı bir aracın yakıt pili destekli çalıştırılabilmesine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Bu amaçla ilk olarak yakıt pili çıkışı araç üzerindeki bataryaların gerilimi olan 36 V'a yükselten bir DA-DA dönüştürücü tasarlanmıştır. Ayrıca, bataryanın durumuna göre yakıt pilinin devreye alınmasına veya devreden çıkartılmasına karar veren bir ana denetleyici tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen devreler araç üzerinde test edilmiştir.

Üzerinde çalışılan araç bünyesinde 6 adet 6 V'luk batarya bulundurmaktadır. Araçta kullanılan 3 kW gücünde doğru akım motoru seri uyarma sargılarına sahiptir. Bu çalışmada aracın yapısı değiştirilmemiş, yalnızca bataryalarını güneş panellerinden ve yakıt pilinden dolduracak bir sistem tasarlanmıştır. Daha anlamlı bir sistem kurulabilmesi için optimum batarya kapasitesi hesaplanarak batarya hacmi ve ağırlığı düşürülmelidir. Ayrıca, aracın seri uyarımalı doğru akım motoru ve sürücü devresi, fırçasız doğru akım motoru ile değiştirilerek daha verimli ve tepki hızı yüksek bir sürücü sistemi elde edilebilir. Son olarak, aracın frenleme anında ısı enerjisi olarak açığa çıkan enerjisi bataryaya veya ultrakapasitörlere aktarılabilir. Bu çalışmalar bir başka yüksek lisans tezi çalışmasında gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Gorham,R., “Air Pollution From Ground Transportation”, ***Division for Sustainable Development ,Department of Economic and Social Affairs***, United Nations,1-8,(2002).
2. Situ,L., “Electric Vehicle Development: The Past, Present & Future ”, ***IEEE International Conference on Power Electronics Systems and Applications***, Hong Kong, Digital Reference: K210509135 (2009).
3. Mi,C.,Abul Masrur, M.,Gao,D. W, “Introduction” ,***Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications***, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester (2011).
4. Masrur, M.A.,” Penalty for fuel economy – system level perspectives on the reliability of hybrid electric vehicles during normal and graceful degradation operation”, ***IEEE Systems Journal***, 2 (4), 476–483 (2008).
5. İnternet : HONDA şirketi , “Fuel Cell Electric Vehicle”
<http://world.honda.com/FuelCell/FCX/> (2011).
6. Li,Z., Shouquan, D., Chengning,Z., Zhifu,W., “Study on Electromagnetic Interference Restraining of Electric Vehicle Charging System” , ***IEEE Power Electronics Systems and Applications*** , Digital Object Identifier: 10.1109/PESA 5982893,Beijing (2011).
7. Hussin,M., Abdalla,A. N., Ishak,R., Abdullah,R., Ali,Z. M., “Study on Improving Electric Vehicle drive range using Solar Energy” ***IEEE International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering***,373-376,(2011).
8. Ehsani,E., Gao, Y., Gay,S., Emadi,A., “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles-Fundamentals Theory and Design”, ***CRC Press*** (2005).

9. C.C.Chen, K.T. Chau, "Modern Electric Vehicle Technology", **Oxford University Press**, (2001).
10. Emadi,A., "Handbook of Automatic Power Electronics and Motor Drives", **CRC Press**, (2005).
11. Fraas, L., Partain, L., "Introduction to solar cells", Solar Cells And Their Applications Second Edition, **Kai Chang, John Wiley & Sons, Inc.**, Canada, 3-16, (2010).
12. Brendel, R., "Introduction", Thin-Film Crystalline Silicon Solar Cells , **WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA**, Weinheim, 1, (2003).
13. Goetzberger, A., Knobloch, J., Voß, B., "Crystalline Silicon Solar Cells", Rachel Waddington, **John Wiley & Sons, Chichester**, xi-3, (1998).
14. Nafeh, A. E.-S. A., "Novel maximum-power-point tracking algorithm for grid-connected photovoltaic system", **International Journal of Green Energy**, 7:6, 600-614, (December 2010)
15. Esmar, T., Chapman, P. L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 22:2, 439-449, (June 2007).
16. Faranda, R., Leva, S., "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems", **Wseas Transactions On Power Systems**, 1:3, 446-455 (June 2008).
17. Liu, C., Wu, B., Cheung, R., "Advanced Algorithm For Mppt Control Of Photovoltaic Systems", **Canadian Solar Buildings Conference**, Montreal, 2-4, (August 2004).
18. Hohm, D. P., Ropp, M. E., "Comparative study of maximum power point tracking algorithms", **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 11:1, 47-62, (2003).
19. Yu, T.-C., Lin, Y.-C., "A Study on Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems", **Department of Electrical Engineering Lunghwa University of Science and Technology**, 27-35, (December 2010).

20. D'Souza, N. S., Lopes, L. A. C., Liu, X., "An intelligent maximum power point tracker using peak current control", **36th Annual IEEE Power Electron. Specialists Conf.**, 172-177, (2005).
21. Bülbul,A., "Güneş Panelleri İçin Bir Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmaları Sınama Düzenliğinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, , Ankara, (Eylül 2011).
22. Ehsani, M.,Rahman,K.M.,Toliyad,H.A., "Propulsion System Design Of Electric and Hybrid Vehicles", **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Vol 44, No 1,(1997).
23. Rajashekara,K., "Propulsion System Strategies for Fuel Cell Vehicles", **SAE 2000 World Congress**, (2000).
24. Gay,S.E.,Gao,H.,Ehsani, M., "Fuel Cell Hybrid Drive Train Configurations and Motor Drive Selection", **IEEE Vehicular Technology Conference** , 1007 – 1010, (2002).
25. Moore,S.W.,Rahman,K.M.,Ehsani, M.,"Effect on Vehicle Performance of Extending the Constant Power Region of Electric Drive Motors.", Society of **Automotive Engineers**, SAE #99P-221,(1999).
26. Schupbach, R.,Balda,J.C., "Comparing DC-DC Converters for Power Management in Hybrid 28-Electric Vehicles", **IEEE International Electric Machines and Drives Conferenc**, 1369 – 1374, (2003).
27. Marei, M.I., Lambert, S.,Pick, R.,Salaman, M.M.A. , "DA/DA Converters for Fuel Cell Powered Hybrid Electric Vehicle", **IEEE Conference of Vehicle Power and Propulsion**, 125-129, (2005).
28. İnternet :CLUP CAR şirketi, "DS Player",
<http://www.clubcar.com/golfoperations/fleetgolf/pages/dsplayer.aspx> (2011).

EKLER

EK-1 Yakıt pili sistem

Nexa® Power Module with Integration Kit

Heliocentris presents the Nexa® Power Module by Ballard Power Systems, the world's first volume produced proton exchange membrane fuel cell module.



The Nexa® Power Module comprises an air cooled fuel cell stack using Ballard's approved PEM technology. Consuming hydrogen and oxygen (from ambient air) it generates up to 1200 W of unregulated DC electrical power.

To achieve a complete power module with easy to use interfaces, all necessary auxiliary components are built in: air compressor, cooling fan, humidity exchanger, valves, pressure regulator and microprocessor controller.

The Nexa® Power Module is well-suited for a variety of engineering purposes. The system design enables the integration into a wide range of applications such as

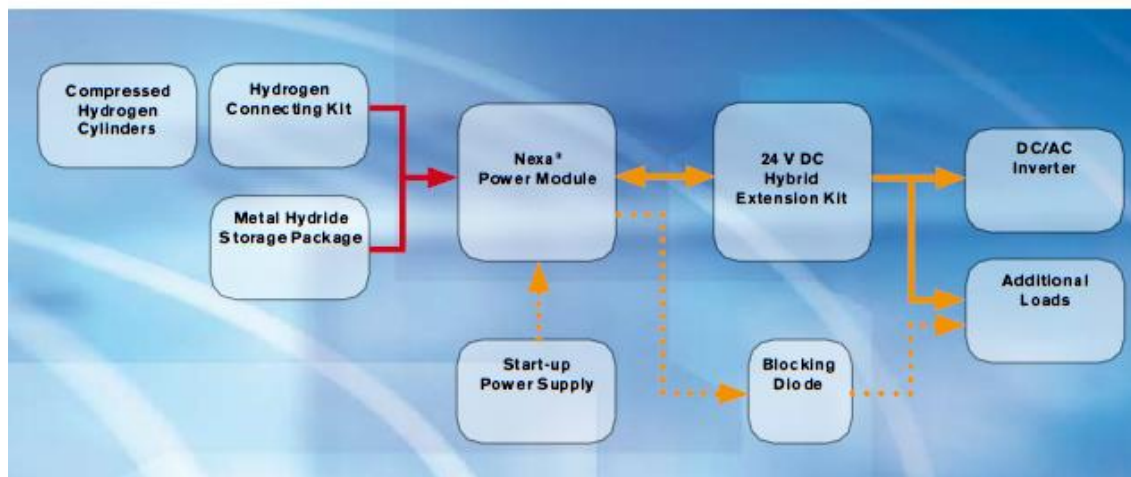
- Stationary power supply systems
- Back-up power generators
- Recreational and portable products.

The Nexa® Power Module comes with a set of start-up components facilitating convenient set-up and integration.

A variety of accessories like hydrogen supply options and power electronics are also available. Please inquire for a customized solution that meets your needs.

EK-1 (Devam) Yakıt pili sistem

The Integration Concept



Hybrid Extension Kit

As with all PEM fuel cell systems, the Nexa® Power Module requires an external power source for start-up. Since the fuel cell output voltage varies depending on the current drawn, an additional voltage regulation is necessary.

Our Hybrid Extension Kit is a solution for both requirements. It comprises a DC/DC converter, a rechargeable battery, system control software and all necessary cables.

Custom designed for the Nexa®, the DC/DC converter includes a battery charger for hybrid operation as well as back current protection.

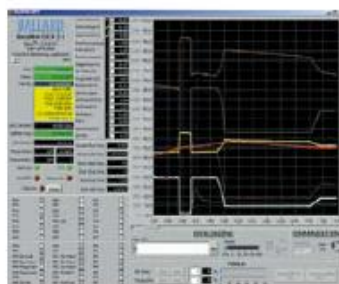
Hydrogen Supply Options

Heliocentris offers various solutions for supplying hydrogen to the system.

The most cost effective solution is our Hydrogen Connection Set. Everything is included to take you from the compressed hydrogen cylinder to the Nexa®.

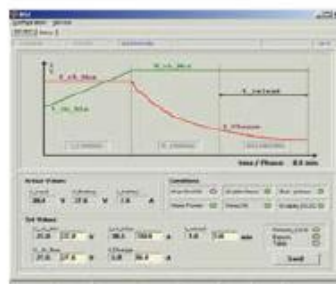
The most comfortable solution is our Metal Hydride Storage Package. It comprises a set of 3 HS 900 storage canisters and all necessary tubes and connectors.

The Monitoring Software



The Nexamon® OEM control software allows the user to set parameters and monitor operational data of more than 20 system variables of the Nexa® Power Module, e.g.

- Stack voltage, current, temperature
- Hydrogen pressure and consumption
- Ambient Temperature
- Air Mass Flow Rate
- System operating time
- ...



The control software of the Hybrid Extension Kit visualizes all data related to hybridization and battery management. It also allows the user to set different battery types and optimize the charging and discharging parameters.

EK-1 (Devam) Yakıt pili sistem

Technical Data

Nexa® Power Module with Start-up Kit

Power	Rated net power	1200 W
	DC voltage range	22...50 V
	Rated voltage	26 V DC
	Rated current	46 A
Fuel		Hydrogen
	Quality	≥ 4.0 (99.99 vol %)
	Pressure	0.7...17 bar g (0...250 psi g)
	Consumption	18.5 sl/min (@ rated power)
Emissions	Water	870 ml/hr (@ rated power)
	Noise	≤ 72 dBA @ 1 m
Physical	L x W x H	56x25x33 cm (22x10x13 in)
	Weight	13 kg (29 lbs)
Start-up kit content		Mounting tray, Hydrogen tub Load relay, start switch RS485 to RS232 converter Monitoring software

Hydrogen Cylinder Connection Set

Cylinder pressure	max. 200 bar g (2900 psi g)
Delivery pressure	0...15 bar g, adjustable (0...220 psi g)

Metal Hydride Storage Package

Total hydrogen capacity*	240 g (= 2.7 sqm)
Total discharge rate*	21 sl/min
Refilling pressure	max. 17 bar g (250 psi g)
Refilling time	~ 1 hour in flowing ambient air
H2 quality for refilling	air
Safety devices	≥ 5.0 (99.99 vol %) Thermal/pressure relief certified to CGA S-1.1
Diameter x Length **	90 mm x 425 mm
Weight**	7 kg

* Nominal, condition dependent ** Single canister

Hydrogen Sensor

Sensor type	Hydrogen 4 %
Measuring principle	3-electrode sensor
Standard range	0.00...4.00 % vol.
Sensitivity	1.0...2.5 nA/ppm
Operating conditions	-20...+40 °C, 10...95 % r.h.
Life time	4 years

Hybrid Extension Kit

Converter	Nominal output voltage	24 VDC
	Output voltage range	22...30 VDC
	Output current	max. 55 A
	Output power	max. 1200 W
	Input voltage range	26...48 VDC
	Efficiency	96 %
	Protections	Short-circuit proof Back current and thermal protection
Batteries	Nominal voltage	24 V (2 x 12 V)
	Capacity	≥ 15 Ah

DC/AC Inverter

Type	Sine wave (THD < 3 %)
Output voltage	110 / 230 V (60 / 50 Hz)
Continuous output power	1500 W
Short time output power	2000 W
Input voltage	24 V
Efficiency (full load)	87/89 % (110/230 V)

Blocking Diode

Type	Fast recovery diode including heat sink
Forward current IF(AV)	70 A
Reverse blocking voltage	200 V
Max. reverse recovery time	200 ns

Start-up Power Supply

Output voltage	24 V (-10/+20 %)
Output current	5.2 A (+7 %)
Output power	150 W
Input voltage	90...264 V (60/50 Hz)
Efficiency	78 %

Ek-2. Akım sensörü



Current Transducer LA 55-P/SP1

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



16024

Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	50	A
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 100	A
R_M	Measuring resistance	$T_A = 70^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ R_{Mmin} R_{Mmax} R_{Mmin} R_{Mmax}	
	with $\pm 12\text{ V}$	@ $\pm 50\text{ A}_{max}$	0 215 0 210 Ω
		@ $\pm 100\text{ A}_{max}$	0 35 0 30 Ω
	with $\pm 15\text{ V}$	@ $\pm 50\text{ A}_{max}$	0 335 30 330 Ω
		@ $\pm 100\text{ A}_{max}$	0 95 30 90 Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA
K_N	Conversion ratio	1 : 2000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15\text{ V}$) + I_S	mA

Accuracy - Dynamic performance data

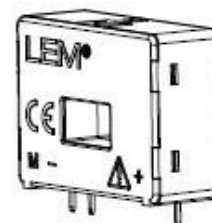
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15\text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.65	%
		@ $\pm 12 \dots 15\text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.90	%
ε_L	Linearity error		< 0.15	%
I_O	Offset current @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		Typ Max	
I_{OM}	Magnetic offset current ¹⁾ @ $I_P = 0$ and specified R_M , after an overload of $3 \times I_{PN}$		± 0.10	mA
I_{CT}	Temperature variation of I_O	- $25^\circ\text{C} \dots + 85^\circ\text{C}$	± 0.05 ± 0.30	mA
		- $40^\circ\text{C} \dots - 25^\circ\text{C}$	± 0.10 ± 0.50	mA
t_{10}	Reaction time to 10 % of I_{PN} step		< 500	ns
t_1	Response time ²⁾ to 90 % of I_{PN} step		< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/ μs
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)		DC .. 200	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 90	$^\circ\text{C}$
R_S	Secondary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	145 Ω
		@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	150 Ω
m	Mass	18	g
	Standards	EN 50178: 1997	

Notes: ¹⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit

²⁾ With a di/dt of 100 A/ μs .

 $I_{PN} = 50\text{ A}$ 

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Special features

- $I_{PM} = 0 \dots \pm 100\text{ A}$
- $K_N = 1 : 2000$.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

Ek-2. (Devam) Akım sensörü



Current Transducer LA 55-P/SP1

Isolation characteristics

V_d	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	2.5	kV
$\hat{V}_w$	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	4.5	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	3.8	mm
dCl	Clearance distance	3.8	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCl, $\hat{V}_w$	Rated isolation voltage	Nominal voltage
Single isolation	300 V	300 V
Reinforced isolation	150 V	150 V

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

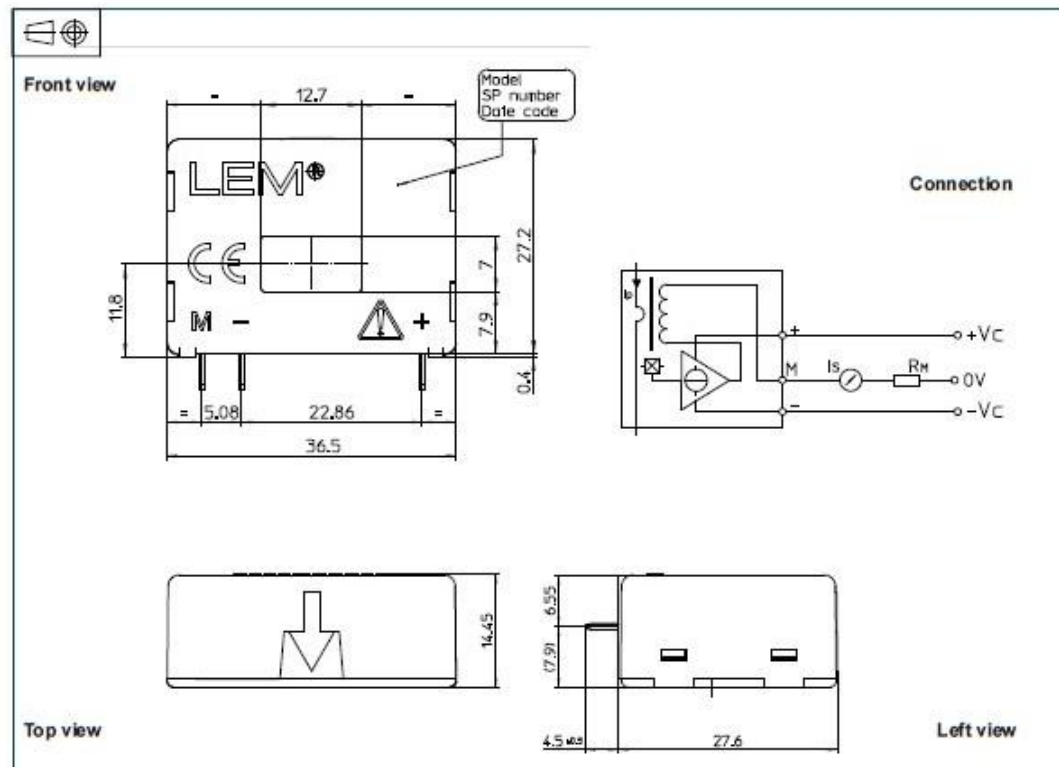
A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.

Ek-2 . (Devam) Akım sensörü



Dimensions LA 55-P/SP1 (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Primary through-hole 12.7 x 7 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins
0.63 x 0.56 mm
- Recommended PCB hole 0.9 mm

Remarks

- I_s is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- Temperature of the primary conductor should not exceed 90°C.
- Dynamic performances (di/dt and response time) are best with a single bar completely filling the primary hole.
- In order to achieve the best magnetic coupling, the primary windings have to be wound over the top edge of the device.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :ALTANNEH , Nabeel
Uyruğu : Filistin
Doğum tarihi ve yeri : 27.07.1980 Tulkarm-Filistin
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (506) 815 24 99
e-mail : ntanneh@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Palestine Technical University	2006
Lise	Alfadılya Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2008	Palestine Technical University	AG

Yabancı Dil

İngilizce