

## ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE AKÜ ŞARJ SİSTEMLERİ

Hüseyin TARLAK<sup>1</sup>, Evren İŞEN\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Türkiye Petrolleri, Trakya Bölge Müdürlüğü, Lüleburgaz, Kırklareli.*

<sup>2</sup>*Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kırklareli.*

### ÖZET

Artan nüfus ve beraberinde getirdiği enerji ihtiyacındaki artış günümüzde birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların hızla tükenmesine ve küresel anlamda zararlı gaz salınımında artışa neden olmaktadır. Nüfus artışı ve modern yaşam ile beraber ulaşım amaçlı kullanılan fosil yakıtlı araçlar sera gazı artışında etkin bir rol almaktadır. Bu nedenle elektrikli araçların geliştirilmesi çalışmalarına başlanmıştır. Akü maliyeti ve menzil problemi elektrikli araçların üretimi önünde engel teşkil etmiştir. Ancak zaman içerisindeki teknolojik gelişmeler ile özellikle konvansiyonel içten yanmalı motor (İYM) ile birlikte elektrik motorunun (EM) beraber kullanıldığı hibrit elektrikli araçların (HEA) üretiminde ve kullanımında artış meydana gelmiştir. Dünyada gelişmiş ülkelerin elektrikli araç teknolojilerine yaptığı yatırımlar göz önüne alındığında ülkemizin de bu değişim içinde yer alması gelecek için önem arz etmekte olup elektrikli araç teknolojisi hakkında Türkçe literatürün gelişmesi ve akademik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Türkçe literatüre katkı sağlamak amaçlı elektrikli araç tipleri, akü şarj sistemleri ve elektrikli araçlarda kullanılan güç elektroniği dönüştürücüleri hakkında literatürdeki gelişmeler incelenmiş ve bir derleme yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akü şarj sistemi, elektrikli araç, hibrit elektrikli araç.

\*corresponding author: evren.isen@klu.edu.tr

## **ELECTRIC VEHICLES AND BATTERY CHARGING SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

The increased population and the associated increase in energy demand are now causing the rapid depletion of fossil fuels used as primary energy sources and the increase in global emissions of harmful gases. Fossil-fueled vehicles used for transportation have an effective role in the increase of greenhouse gas. For this reason, the development of electric vehicles has started to work. Battery cost and range problem have been obstacles to the production of electric vehicles. However, the technological developments in time have led to an increase in the production and use of hybrid electric vehicles (HEV), in which the electric motor (EV) is used together with the conventional internal combustion engine (ICE). Considering the investments made by developed countries in electric vehicle technology in the world, it is important for our country to take part in this change in the future and the development of Turkish literature on electric vehicle technology and academic studies are required. Therefore, in this study, developments in the literature about electric vehicle types, battery charging systems and power electronic converters used in electric vehicles have been reviewed in order to contribute to Turkish literature.

**Keywords:** Battery charging system, electric vehicle (EV), hybrid electric vehicle (HEV).

## GİRİŞ

Günümüzde sanayileşmenin ve enerji ihtiyacının artışı nedeniyle elektrik tüketiminde de artış meydana gelmektedir. Artan tüketimle beraber yaygın olarak kullanılan konvansiyonel enerji kaynağı olan fosil yakıt kaynaklarının rezervi hızla tükenmektedir. Ayrıca bu enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlar da dikkate alındığında dünyada alternatif enerji kaynaklarına ve enerjinin daha verimli bir şekilde tüketilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Fosil yakıtların tükenmesi ve küresel ısınma problemlerinden dolayı konvansiyonel yakıtlı araçlardan elektrikli araçlara geçiş önem kazanmıştır. Ancak akü maliyetlerinin yüksekliği ve şarj hızı bu geçiş önünde engel teşkil etmiştir. Günümüzde hızlı şarj sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ile elektrikli araçların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Elektrikli araçların günümüzdeki öneminden dolayı literatürde şarj sistemleri konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Elektrikli araçların bataryalarının şebekeden şarj edilmesi (G2V-Grid to Vehicle), elektrikli araçlardan şebekeye enerji verilmesi (V2G-Vehicle to Grid), elektrikli araçlardan şebekeden kaynaklanan dalgalanmaları ve harmonikleri düzeltmesi için kullanımı (V4G-Vehicle for grid), elektrikli araçların ev tüketimi ile birlikte şarj edilmesi (H2V-Home to vehicle), elektrikli araçların şebeke kesintisine karşı UPS olarak kullanılması (V2H-Vehicle to home) durumları elektrikli araçlar ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanım amaçları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akıllı şebeke ve ev sistemlerinde şebeke enerjisi yanında rüzgar ve güneş enerjisi alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi kullanılarak üretilen elektrik enerjisi hem şebekeye aktarılıp hem de araç şarjı için kullanılabilir. Böylece şebeke kesintisi durumlarında elektrikli aracın şarjı güneş panellerinin enerjisi ile gerçekleştirilebilmektedir [1]. Farklı batarya şarj dönüştürücüleri üzerine yapılan çalışmada, öncelikle tek yönlü araç batarya şarj sistemleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca elektrik şebekesinden elektrikli aracın şarj edilmesi ve elektrikli araçtan da şebekeye geri enerji aktarımı sağlamak için çift yönlü şarj sistemleri üzerine çalışma yapılmıştır [2]. Lityum iyon, nikel kadmiyum ve nikel metal hidrit bataryaların şarj algoritmaları üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu bataryaların şarj kontrol algoritmaları karşılaştırılmış ve güçlü, zayıf yönleri deneysel sonuçlara dayanılarak incelenmiştir [3]. Yakıt hücresi veya güneş enerjisi gibi çevre dostu kaynaklardan beslenen DC/DC çift yönlü dönüştürücünün hibrit elektrikli araçlarla (HEA) birlikte kullanılması üzerine bir çalışma

yapılmıştır. Kullanılan DC/DC dönüştürücüyü kontrol etmek için PI kontrolörler kullanılmıştır [4]. Plug-in hibrit araçların çift yönlü şarj edilmeleri için çift yönlü şarj topolojileri üzerinde durulmuştur. Çift yönlü şarj topolojilerinde plug-in hibrit aracın bataryasının şarj edilmesi ve gerektiğinde aracın batarya grubunda depolanan enerji ile şebeke regülasyonu üzerinde durulmuştur. Çift yönlü şarj devresi için AC/DC ve DC/DC dönüştürücüler incelenmiş ve iki topolojinin beraber kullanımında dönüştürücülerin uygunluğu üzerine çalışma yapılmıştır [5]. Elektrikli ve plug-in hibrit araçlar için batarya şarj sistemleri üzerinde durulmuştur. Aynı anda çok sayıda aracın şebekeden şarj edilmesi ile oluşacak aşırı yüklenme ve sinüs olmayan formda enerji tüketiminin etkilerine değinilmiştir. Aynı zamanda elektrikli araçların şebekeyi regüle etme avantajına değinilmiştir. AC/DC dönüştürücüler ve DC-DC dönüştürücü tipleri anlatılmış ve çift yönlü şarj sistemi tasarlanmıştır [6]. Hibrit ve plug-in hibrit araçların şebeken şarjı için çift yönlü şarj devresi ve kontrol algoritması Matlab-Simulink ve PSIM yazılımları kullanılarak tasarlanmıştır. Çalışmada şebeke kesintileri sırasında aracın batarya grubunun kesintisiz güç kaynağı gibi kullanılması amaçlanmıştır [7]. Evsel elektrik ihtiyacının regüle edilmesinde elektrikli aracın kullanılması için Matlab-Simulink yazılımı kullanılarak bir tasarım yapılmıştır. Elektrikli araç ile üç farklı mesafede sürüş sonrası elektrikli aracın evin puant güç ihtiyacını düşürmedeki başarısı incelenmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir [8]. Elektrikli araçların şebekeden şarj edilmeleri sırasında şebekeye yük olarak davranma durumları incelenmiş ve buna çözüm olarak çift yönlü şarj devresi tasarlanarak simülasyon sonuçları verilmiştir [9]. Üç farklı modda çalışan tek fazlı ayarlanabilir batarya şarj sistemi tasarlanmıştır. Bu modlar, araç bataryalarının şarj edildiği şebekeden araca modu, araç bataryalarında depolanan enerjinin bir kısmının şebekeye geri verildiği araçtan şebekeye modu ve yedek bataryaların araç bataryalarından şarj olduğu moddur [10]. Elektrikli araçlar için şebekeden araca, araçtan şebekeye ve araçtan eve modlarında çalışan çift yönlü batarya şarj devresi incelenmiştir. Bu üç çalışma modunu bilgi ve haberleşme teknolojisi (ICT) üzerinde çalışan bir çift yönlü iletişim ile elektrikli araçlar ve akıllı şebekeler arasında veri iletişiminin sağlanması üzerinde durulmuştur [11]. Elektrikli araç batarya şarj devresinin şebekeden araca, araçtan şebekeye, elektrikli araç batarya grubunu kesintisiz güç kaynağı olarak kullanıldığı araçtan eve ve elektrikli araç batarya şarj devresinin V2G ve G2V modları ile eş zamanlı çalışarak şebekedeki akım harmoniklerini ve reaktif güçleri azalttığı şebeke için araç çalışma modları üzerinde durulmuş ve bu modları

gerçekleştirmek için çift yönlü elektrikli araç batarya şarj devresi tasarlanmış ve uygulama sonuçları verilmiştir [12]. Elektrikli aracın bataryası ile elektrik şebekesi arasında çift yönlü güç akışı sağlayan V4G mod çalışma, elektrik şebekesindeki gerilim dalgalanmaları azaltması ve bu çalışma modunun güç sisteminin kararlılığının artmasını sağlaması üzerine bir çalışma yapılmıştır [13]. SiC Mosfetler kullanılarak tek fazlı ve üç fazlı çift yönlü çift aktif köprü topolojisi üzerine kurulmuş izoleli AC-DC dönüştürücüler hakkında çalışma yapılmış ve bu dönüştürücüler araçtan şebekeye enerji aktarımı uygulamalarında kullanılmıştır. Çalışmada; V2G uygulamaları ile elektrikli araçta depolanan enerjinin şebekedeki dalgalanmalarını, gerilim piklerini gidermesi amaçlanmıştır. Ayrıca V2G uygulamaları ile gerilim regülasyonu, reaktif güç azaltımı ve gerilim düzleştirilmesi konularında çalışılmıştır [14]. Elektrikli araçların faydalarını göstermek için ideal ve otomatik bir çalışma şeması oluşturulmuştur. Elektrik fiyatının fazla olduğu dönemlerde evin elektrik ihtiyacının elektrikli araçtan sağlanması veya bu zamanda şebekeye geri elektrik verilmesi üzerinde durulmuştur [15].

Dünyada birçok otomobil üretim firması elektrikli araç üretimini arttırmakta ve bu teknoloji üzerine çalışmalara devam etmektedir. Çevre sağlığı ve fosil yakıtlardaki azalış göz önüne alındığında elektrikli araçların kullanımı yakın gelecekte artacaktır. Bu nedenle ülkemizin bu teknolojik gelişimin gerisinde kalmaması ve diğer ülkeler ile bu alanda rekabet edebilmesi için elektrikli araçlar üzerine çalışmalar yapılmalı ve Türkçe literatürün gelişmesi sağlanmalıdır. Bu çalışmada, bu amaçla elektrikli araç tipleri, şarj sistemleri ve güç elektroniği dönüştürücüleri hakkında literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Sadece elektrikle ve yakıt ile beraber elektrik kullanan hibrit araçlar hakkında bilgiler verilmiştir. Yine elektrikli araçlarda hareketi sağlayan elektrik motorunun enerji ihtiyacının sağlandığı akü grubunun şarj sisteminde kullanılan güç elektroniği topolojileri ve enerji akışı üzerine yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

## **ELEKTRİKLİ ARAÇ TİPLERİ**

Elektrikli araçlar tamamen elektrikle çalışan ve fosil yakıt ile beraber elektrik enerjisini kullanan hibrit araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

## **TAMAMEN ELEKTRİKLİ ARAÇLAR**

Tamamen elektrikli araçlar akü grubunda depolanan elektrik enerjisini kullanarak elektrik motorunun tahrik edilmesi ile çalışan elektrikli araçlardır. Bu araçlarda içten yanmalı motor

(İYM) bulunmamaktadır. Böylece bu araçlar fosil yakıt tüketmezler ve oldukça sessiz çalışmaktadırlar. Güç aktarım sistemi konvansiyonel araçlardan farklı olarak sürüş sistemi ve enerji sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu sistemlerde yer alan bileşenler elektrikli aracın performansı ve verimi açısından önem arz etmektedir. Enerji sistemi akü grubu ve enerji yönetim sistemi içermektedir. Sürüş sistemi ise elektrik motoru, motor sürücü sistemi, mekanik sürücü sistemi, tekerler gibi bileşenler içermektedir. Çevreci özelliği en önemli avantajı olmasının yanında uzun mesafe kullanımındaki akü maliyetinin yüksek oluşu ve akü şarj süresi tamamen elektrikli araçların yaygınlaşmasında en önemli engeldir [16].

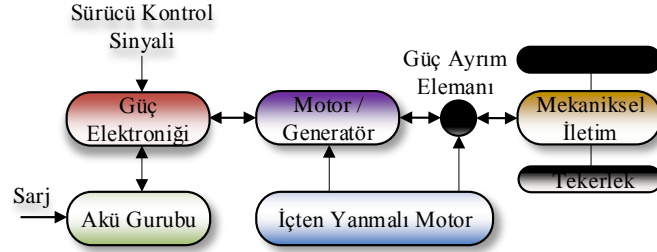
Frenleme sırasında sistemde kaybolan kinetik enerji elektrik motorunun üreteç olarak kullanılmasıyla geri kazanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bataryalara aktarılmaktadır. Faydalı frenleme sayesinde fren sisteminin ömrü uzamaktadır. Hareketli elemanlar fazla olmadığı için bunların bakımlarının çok sık yapılmasına ya da yağ değişimine gerek olmadığından bakım maliyetleri oldukça düşüktür. Yakıt olarak sadece elektrik enerjisi kullandığından akaryakıt kullanan araçlara göre yakıt maliyeti önemli derecede azdır [17].

Elektrikli araçlar sahip oldukları avantajlara rağmen elektrik enerjisinin depolanmasındaki yüksek maliyet, uzun şarj süresi ve sürüş menzil düşüklüğü gibi sorunlarla karşı karşıyadır. Bu araçların üretiminin yaygınlaşması için pazardaki paylarının yükselmesi yani kullanıcılar tarafından kabul edilmesi de gerekmektedir. Akü şarj süresi ve sürüş menzilin kısıllığı bu noktada önemli bir engeldir. Akü sayısı artırılarak sürüş menzili uzatılabilir ancak akü grubunun ağırlığı sistem verimini azalmaktadır ve akü kapasitesi ve sürüş menzili arasındaki ilişki lineer değildir. Bu nedenle enerji ve güç yoğunluğu elektrikli araçlarda kullanılan akülerde dikkat edilmesi gereken noktalardan biridir. Ayrıca akü ömrünün kısıllığı ve birkaç yıl sonra değişim gerekliliği kullanıcı açısından maliyeti artırıcı özelliktedir [18].

## HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Hibrit elektrikli araçlar (HEA) elektrik motoru ile birlikte konvansiyonel içten yanmalı motorun yer aldığı araçlardır. Şekil 1’de görüldüğü gibi bu araçlarda EM ile beraber İYM, akü grubu, güç elektroniği dönüştürücüleri, akü şarj sistemi, güç ayırım elemanı ve mekanik güç iletim birimi yer almaktadır. HEA’lar seri, paralel ve seri-paralel olarak 3 farklı yapıda olabilmektedir [19]. Hibrit araçlar konvansiyonel içten yanmalı ve tamamen elektrikli araçların dezavantajlarını ortadan

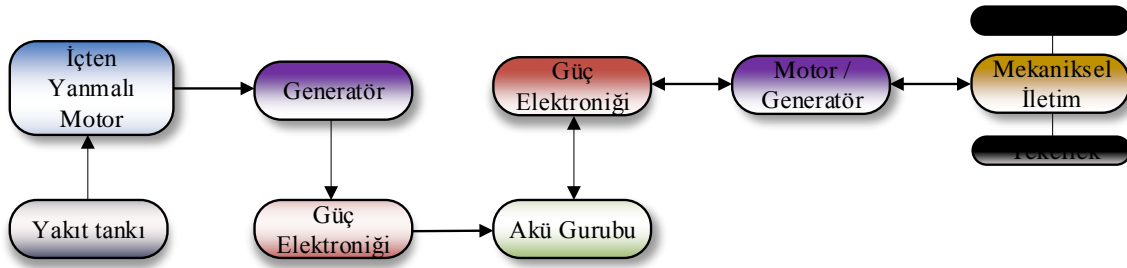
kaldırmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha yüksek yakıt ekonomisi ve daha uzun sürüş mesafesi sağlamaktadır [20].



Şekil 1. Hibrit Elektrikli Aracın Temel Yapısı

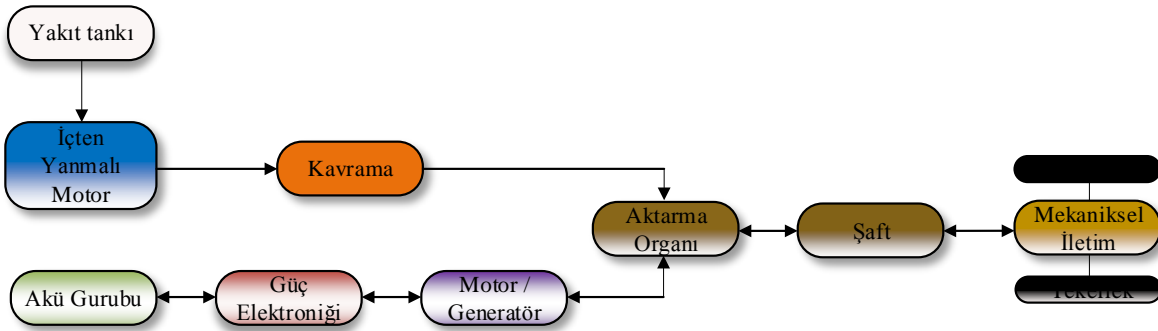
Hibrit araçlarda elektrik motoru ikinci enerji depo elemanı olan akü grubuna bağlıdır. Araçta bulunan içten yanmalı motor enerjisini yakıt deposunda bulunan fosil yakıttan sağlamaktadır. Bu araçlar geliştirilirken ele alınan temel nokta yakıt ve akü enerjisi arasındaki güç akışının yönetilmesi üzerinedir. Yakıt tüketimini en aza indirip gaz emisyonunu azaltmak ve sınırlı kapasitede olan akünün kullanımını uygun seviyede tutmak enerji yönetiminin hedef noktasıdır [21].

Hibrit araçlar seri, paralel ve seri-paralel hibrit araçlar olmak üzere üç farklı yapıdadırlar. Şekil 2’de görülen seri hibrit sistem güç akış mekanizması bakımından üç yapı arasında en basit olanıdır. Tüm itiş gücü elektrik motorundan sağlanmaktadır ve içten yanmalı motor akülerin şarj edilmesinde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motor düşük yakıt tüketimi sağlayacak optimum verimin elde edildiği seviyede çalıştırılır. Akülerin şarj durumuna göre motor devreye girip çıkmaktadır. İçten yanmalı motor ve elektrik motoru arasında mekaniksel bir güç iletim bağlantısının olması, debriyaj ve dişli kutusunun bulunmaması güç iletim sisteminin tasarımını kolaylaştırmaktadır. İçten yanmalı motorun şarj amaçlı kullanılması küçük boyutlu motor kullanımına izin vermektedir ancak yüksek akü kapasitesi veya yüksek güçlü motor kullanımı maliyeti arttırmaktadır [19].



Şekil 2. Seri Hibrit Elektrikli Araç Konfigürasyonu

Paralel hibrit araçlarda Şekil 3’te görüldüğü gibi enerji kaynağından aktarma organına enerji akışı iki farklı yoldan olabilmektedir çünkü içten yanmalı motor ve elektrik motoru aktarma organına iki ayrı koldan bağlanmaktadır. İYM mekaniksel EM ise elektriksel bir yol üzerinden aktarım organına bağlanmaktadır. Mekaniksel yol tek yönlü güç akışına izin verirken elektriksel yolda iki yönlü güç akışı gerçekleşmektedir. Bu araç tipinde akü şarj durumuna bağlı olarak güç İYM ve EM’den beraber veya tek bir motordan sağlanabilir. Ayrıca akü şarjının azaldığı durumlarda İYM’nin gücünün bir kısmı akü şarjı için kullanılabilir. Gücün kontrol mekanizması kompleks bir yapı gerektirmektedir. Bu nedenlerden dolayı bu tip araçlar şehir içi kullanım gibi sık kalkış ve duruş yapılan yerlerde kullanım için uygun değildir [21].

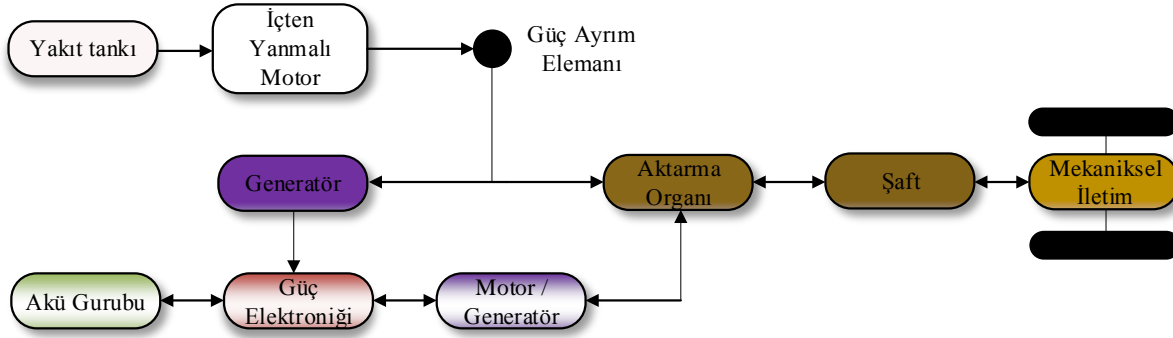


Şekil 3. Paralel Hibrit Elektrikli Araç Konfigürasyonu

Seri ve paralel hibrit araç sistemlerinin bir arada kullanıldığı yapı olan seri-paralel hibrit elektrikli araç konfigürasyonu Şekil 4’te verilmiştir. Bu konfigürasyonla iki yöntemin avantajlı noktalarının birleştirilmesi amaçlanmıştır. Araca gerekli olan güç sadece EM veya İYM ile veya beraber verilebilmektedir. Güç ayırım elemanı yardımıyla araç seri veya paralel konfigürasyonunda çalışabilmektedir. Aracın hız/yük oranı düşük seviyedeyken ve akü grubu



aracın güç ihtiyacını karşılayabiliyorsa araç tamamen elektrik ile çalışmaktadır. Hareket için gerekli olan güç arttığında veya akü şarj seviyesi azaldığında İYM çalışır ve araç sadece İYM ile veya hibrit olarak iki motor ile hareketine devam eder. Bu EA tipinde İYM sürüş gücü veya akü grubu şarjı için kullanılabilir. Bu işlem güç ayırma elemanı yardımı ile yapılmaktadır. Bu eleman literatürde planetary gear yani planet dişlisi olarak geçmektedir [22].



Şekil 4. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araç Konfigürasyonu

## AKÜ ŞARJ SİSTEMLERİ

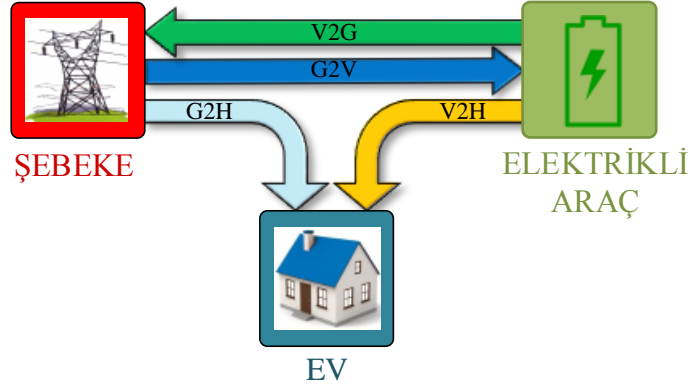
Elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılan akü grubunun şarj sistemleri konumsal olarak evsel şarj sistemi ve şehir içi istasyon şarj sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Şehir içi şarj istasyonları iş yeri, otopark, alışveriş merkezleri gibi şehrin farklı noktalarında gün içi kullanım sırasında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

Şarj sistemleri araç içi veya istasyon içinde (araç dışı) yer alabilmektedir. Bazı araçlar araç dışı şarj sistemleri ile uyumlu olsa da elektrikli araçlar genellikle araç içi şarj sistemlerine sahiptirler. Araç içi iki yönlü akü şarj sistemleri doğrudan AC elektrik şebekesine bağlanmaktadır. Bu sistemlerde yavaş şarj gerçekleşmektedir ve genellikle 3,5 kW altı güçlerde tasarlanmaktadır. İstasyon içi şarj sistemlerinde ise şarj sistemi araç dışında yer almakta ve doğrudan akü gerilimine ulaşmaktadır. Bu sistemler aküyü hızlı bir şekilde şarj etmek için kullanılmaktadır. Bu sistemlerin güç kapasitesi is 20 kW üzerindedir [23], [24].

Araç içi şarj sistemlerinde AC/DC ve DC/DC güç dönüştürücüleri kullanılmaktadır. Bu

dönüştürücüler tek yönlü, çift yönlü, izolasyonlu ve izolasyonsuz olabilmektedir. AC/DC dönüştürücü ile AC gerilim doğrultulmakta ve DC/DC dönüştürücü ile akü şarjı gerçekleştirilmektedir. AC gerilimin doğrultulmasında kullanılan AC/DC dönüştürücü kontrolsüz olarak diyotlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumda şebekeden çekilen akım kontrol edilememekte ve şebekeden sinüzoidal olmayan bozuk akım çekilmektedir. Bu durum şebekeye bozucu etki yapmaktadır. Ayrıca kontrolsüz doğrultucuda güç akışı tek yönlü gerçekleşmektedir. Elektrikli araçların akıllı şebeke sistemlerinde enerji kaynağı olarak kullanılması için ve şebekeden sinüzoidal akım çekmesini sağlamak için kontrollü darbe genişlik modülasyonlu (DGM) doğrultucu kullanılmaktadır. Böylece güç kalitesi artırılmakta, üretilen DC bara gerilimi seviyesi istenilen seviyeye getirilebilmekte ve dönüştürücü ters yönde çalıştırılarak akü enerjisi araç dışında da kullanılabilir. Ancak komponent sayısı, maliyet ve kontrol kartı gereksinimi doğduğundan dolayı kontrolsüz dönüştürücüye göre kompleks bir yapı oluşmaktadır. Doğrultucu ile oluşturulan DC barada biriktirilen enerji DC/DC dönüştürücü yardımı ile akülere aktarılmakta ve akü şarjı gerçekleştirilmektedir. Genellikle düşürücü dönüştürücü kullanılmaktadır. Düşürücü dönüştürücü tek yönlü enerji akışı sağlayabildiğinden dolayı iki yönlü enerji akışı gerçekleştirilebilmek için düşürücü dönüştürücüde kullanılan diyot elemanı yerine kontrollü anahtarlama elemanı kullanarak dönüştürücünün enerji akışı bakımından iki yönlü çalışması sağlanmaktadır. Akü şarjı sırasında dönüştürücü düşürücü olarak ve akü enerjisinin kullanımı sırasında ise yükseltici olarak çalışmaktadır.

Elektrikli araçlar kullanım sırasında ihtiyaç duyduğu enerjiyi şarj sistemleri yardımıyla enerji depoladıkları akülerden sağlamaktadır. Şarj sırasında elektrikli araçlar şebeke için yük durumunda olmaktadır. Ancak çift yönlü şarj sistemleri vasıtasıyla akülerde depolanan enerjiyi araç dışı ihtiyaçlar için kullanmak mümkündür. Bu noktada Şekil 5'te görüldüğü gibi güç akışı bakımından elektrikli araçların şarj sistemlerinde şebekeden araca (G2V), araçtan şebekeye (V2G) ve araçtan eve (V2H) şeklinde üç farklı çalışma modu ortaya çıkmaktadır. Şebekeden eve (G2H) enerji akışı ise 4.çalışma modu olarak araçtan bağımsız evin şebeke üzerinden enerjilenmesi modudur.



Şekil 5. Şarj Sisteminde Güç Akışı

G2V modunda enerji akışı şebekeden araca doğrudur yani bu modda akü şarjı gerçekleşmektedir. AC/DC dönüştürücü şebeke gerilimini doğrultup enerjiyi DC baraya vermekte ve düşürücü DC/DC dönüştürücü bu enerji ile aküyü şarj etmektedir [25].

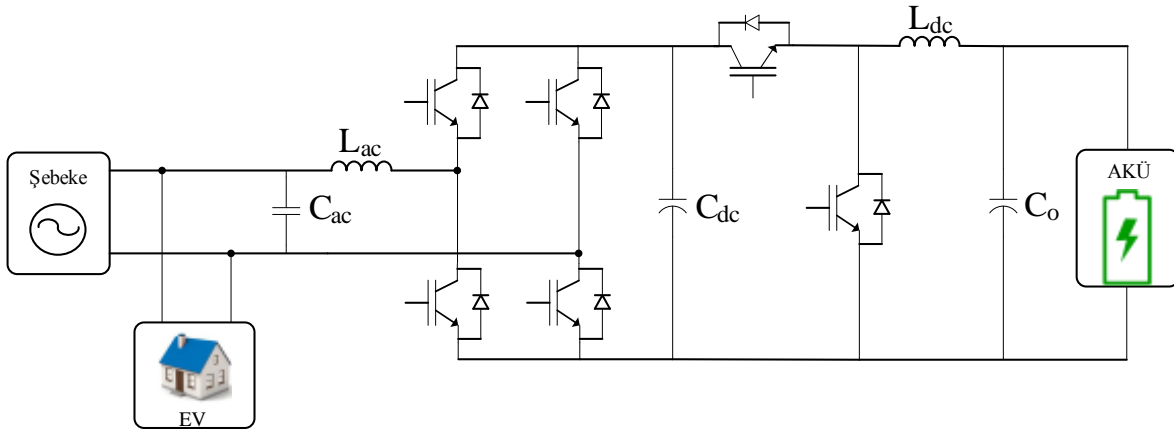
Akıllı şebeke sistemlerinde, şebekenin ihtiyaç duyduğu anlarda aküde depolanan enerji şarj sisteminin V2G çalışma modunda çalışması ile şebekeye geri verilmektedir. Bu çalışma modunun gerçekleşmesi için şebeke ile araç arasında bir haberleşmenin gerçekleşmesi ve ayrıca şarj sisteminde kullanılan dönüştürücülerin çift yönlü çalışma özelliğine sahip olması gerekmektedir. Bu çalışma modu enerji ihtiyacı bakımından şebekeye destek olmakla birlikte araç sahibine ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır. Elektrik enerjisinin ucuz olduğu zaman dilimlerinde akünün şarj edilmesi ve birim fiyatın yüksek olduğu aralıklarda elektrik enerjisinin şebekeye verilerek satışının gerçekleşmesi ile akü şarjı için kullanılan enerjinin birim fiyatı düşürülmüş olmaktadır [26].

Evsel enerji ihtiyacının sağlandığı şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda veya elektrik birim fiyatının yüksek olduğu zaman aralıklarında şarj sistemi V2H modunda çalışarak evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Bu çalışma modunda da iki yönlü çalışan dönüştürücülere ihtiyaç duyulmaktadır [27].

## AKÜ ŞARJ SİSTEMLERİNDE GÜÇ ELEKTRONİĞİ TOPOLOJİLERİ

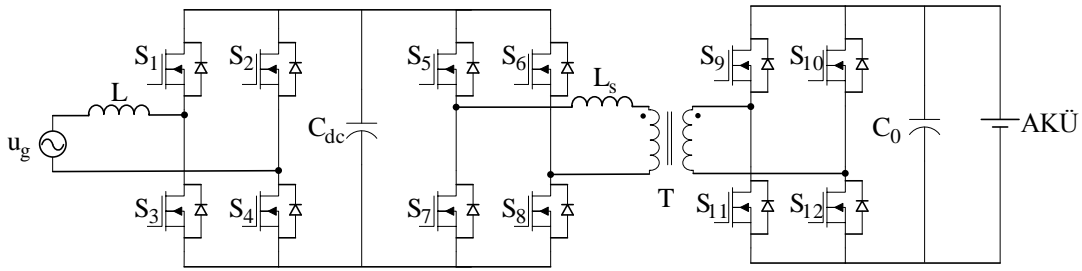
Elektrikli araçlarda yer alan akü şarj sistemleri güç elektroniği dönüştürücülerinden oluşmaktadır. AC gerilimden DC gerilime, DC gerilimden farklı seviyede DC gerilime ve DC gerilimden AC

gerilime dönüşüm sağlayan dönüştürücülerin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde, bu sistemlerde farklı parametrelerin iyileştirilmesi amaçlı geliştirilmiş topolojiler ve çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu bölümde bunlardan bazıları hakkında bilgi verilmiştir. Şekil 6'da elektrikli araçlarda kullanılan izolasyonsuz ve iki yönlü temel bir akü şarj sistemi devre şeması görülmektedir. Şekilden görüldüğü sistemde kaynak ve yük olarak şebeke, ev yükü ve akü bulunmaktadır. Güç dönüştürücü devresi olarak tek fazlı DGM gerilim kaynaklı dönüştürücü ve iki yönlü DC/DC dönüştürücü kullanılmaktadır. Akü şarj seviyesi, şebeke gerilimi ve ev yükü güç değerine göre güç akış yönü değiştirilerek sistem G2V, V2G, V2H veya G2H modunda çalışmaktadır. Çalışma moduna bağlı olarak tam köprü dönüştürücü doğrultucu veya evirici olarak çalışmaktadır. Aynı şekilde DC/DC dönüştürücü de çalışma moduna bağlı olarak yükseltici veya düşürücü dönüştürücü olarak kullanılmaktadır. Akünün şarj edildiği zaman aralıklarında tam köprü dönüştürücü doğrultucu olarak ve DC/DC dönüştürücü düşürücü olarak çalışmaktadır. Akü enerjisinin kullanıldığı durumlarda ise DC/DC dönüştürücü yükseltici ve tam köprü dönüştürücü evirici olarak çalışmaktadır [26].



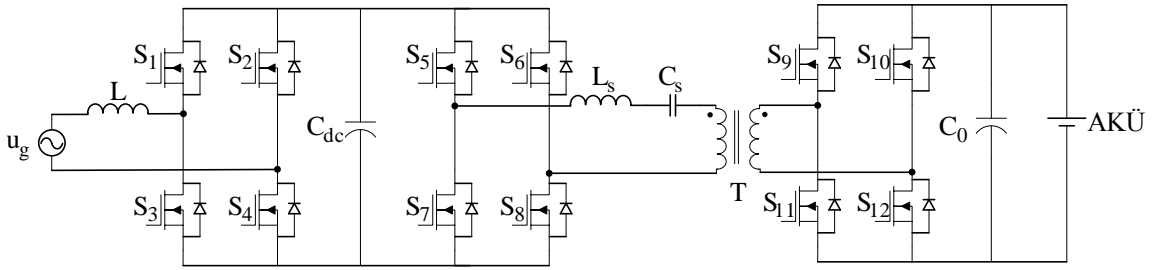
Şekil 6. Elektrikli Araç İki Yönlü Akü Şarj Sistemi

Şekil 7'de iki evreli tek fazlı DGM dönüştürücü ve çift aktif köprü içeren şarj sistemi görülmektedir. S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub> anahtarlarını içeren ilk devre gerilim doğrultucu olarak çalışır ve DC barayı şarj etmektedir. Yüksek frekanslı transformatör içeren diğer bir dönüştürücü olan DC/DC dönüştürücü de akü şarjını kontrol etmektedir. Bu topoloji izolasyondan dolayı güvenlik sağladığı gibi yüksek frekanslı transformatör ile sistem boyutunu küçülmektedir [28].



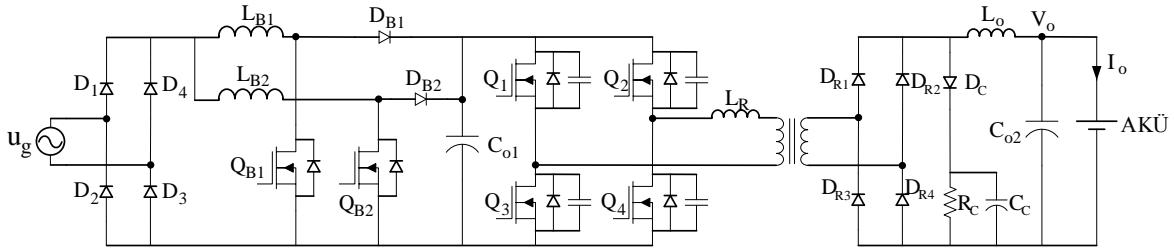
Şekil 7. İki Evreli DGM Dönüştürücülü ve Çift Aktif Köprülü Şarj Sistemi

Şekil 7'deki yapıya benzeyen DGM dönüştürücü ve yüksek frekanslı DC/DC dönüşüm evresi içinde seri rezonans dönüştürücü içeren yapı Şekil 8'de görülmektedir. Faz kaydırma yöntemi ile kontrol edilen DC/DC dönüştürücüde primer tarafta bulunan anahtarlar sıfır gerilimde anahtarlama ile iletme girerken sekonder tarafta bulunan anahtarlar ise sıfır akımda anahtarlama ile kesime girmektedir [29].



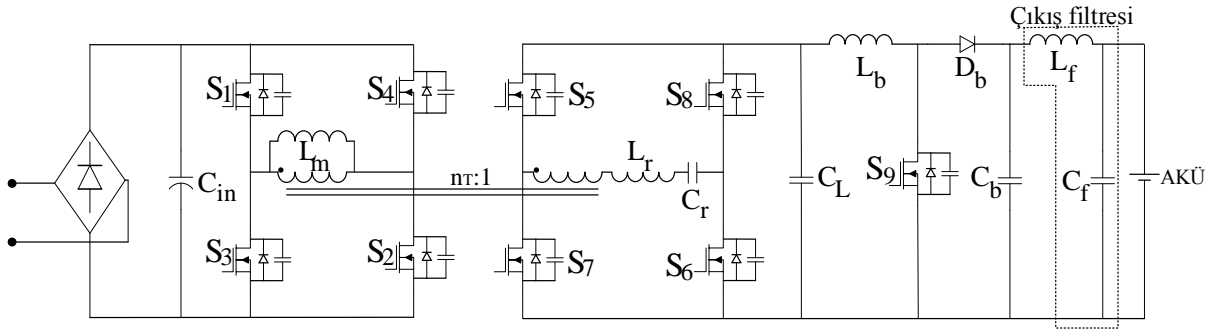
Şekil 8. İki Evreli DGM ve Seri Rezonans Dönüştürücülü Şarj Sistemi

Yükseltici özellikli güç faktörü düzelten (GFD) doğrultucu ve izoleli tam köprü DC/DC dönüştürücü içeren sarj sistemi Şekil 9'da görülmektedir. GFD devresinde iki adet yükseltici dönüştürücü bulunmaktadır ve gücü paylaşmaktadır. Bu dönüştürücüler faz kaydırma ile çalışmakta ve böylece çıkış kondansatöründeki gerilim dalgalanması ve endüktans boyutu azalmaktadır [30].



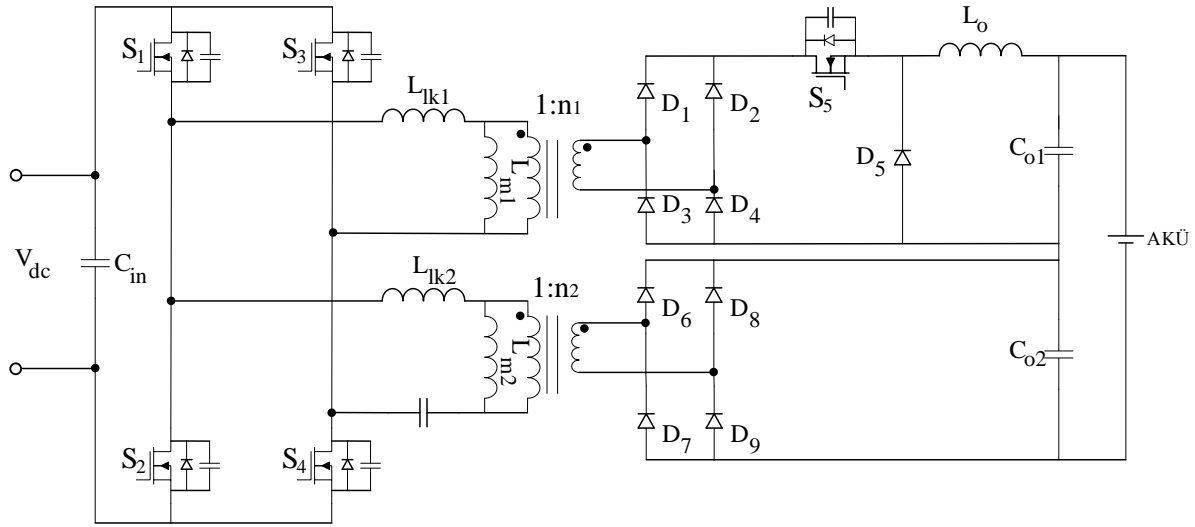
Şekil 9. Yükseltici GFD Doğrultucu ve İzoleli Tam Köprü DC/DC Dönüştürücülü Şarj Sistemi

Şekil 10’da tam köprü LLC rezonans dönüştürücü ve GFD yükseltici dönüştürücünden oluşan şarj sistemi görülmektedir. Bu sistem klasik iki evreli şarj sisteminde kullanılan büyük boyutlu DC bara kondansatörünün boyutlarında azalma sağlamaktadır [31].



Şekil 10. LLC Rezonans Dönüştürücü ve GFDYükseltici Dönüştürücülü Şarj Sistemi

Şekil 11’de verilen izolasyonlu sistemde tam köprü DGM ve LLC dönüştürücü kullanılmıştır. Sekonder tarafta kullanılan ek anahtar ve diyot primer anahtarlarının ve doğrultucu diyotların sıfır akım ve gerilimde anahtarlanmasını ve sirkülasyon akımlarının oluşmamasını sağlamaktadır. Bu topoloji anahtarlama periyodu boyunca sekondere enerji aktarımı sağlamakta ve böylece çıkış filtre boyutunu düşürerek verim artışı sağlamaktadır [32].



**Şekil 11.** Tam Köprü DGM Dönüştürücü ve LLC Dönüştürücülü Şarj Sistemi

## SONUÇ

Bu çalışmada, elektrikli araç tipleri, akü şarj sistemleri ve elektrikli araçlarda kullanılan güç elektroniği dönüştürücüleri hakkında literatürde yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve bu yakıtların çevreye verdiği zararlar nedeniyle elektrikli araç teknolojisinin kullanımı artış göstermektedir. Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önünde akü teknoloji, akü şarj süresi, araç sürüş menzili gibi çeşitli sınırlayıcı etkenler bulunmaktadır. Özellikle tamamen elektrikle çalışan araçlarda bu sınırlamalar daha önem kazanmaktadır. Bu nedenle günümüzde içten yanmalı motor ve elektrik motorunun beraber kullanıldığı hibrit elektrikli araçlar piyasada daha fazla yer almaktadır. Bu araçlarda fosil yakıt ve elektrik enerjisi tüketiminin optimum bir şekilde yönetilmesi böylece fosil yakıt tüketimini en aza indirip aynı zamanda akü ömrünü uzatmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Gelişen akü teknolojisi ve elektrikli araç teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte bu araçların günlük hayatımızda aldığı yerin zamanla artacağı ve kullanıcılar tarafından talep artışının olacağı öngörülebilmektedir. Bu gelişen teknoloji içinde ülkemizin de yer alması ekonomik açıdan gelişimi için önem arz etmektedir ve bu nedenle elektrikli araç teknolojisi üzerine akademik ve endüstriyel çalışmaların artması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Choe, G. Y., Kim, J. S., Lee, B. K., Won, C. Y., Lee, T. W., A Bi-Directional Battery Charger For Electric Vehicles Using Photovoltaic Pcs Systems, Vehicle Power And Propulsion Conference (Vppc), Lille, France, 2010.
- [2] Jalakas, T., Roasto, I., Vinnikov, D., Analysis Of Battery Charger Topologies For An Electric Vehicle, 13th Biennial Baltic Electronics Conference (Bec2012), Tallinn, Estonia, 223-226, 2012.
- [3] Hussein, A. A. H., Batarseh, I., A Review Of Charging Algorithms For Nickel And Lithium Battery Chargers, IEEE Transactions On Vehicular Technology, 60, 3, 830-838, 2011.
- [4] Kanchan, D. S., Hadagali, N., Bidirectional DC/DC Converter System For Solar And Fuel Cell Powered Hybrid Electric Vehicle, International Conference On Magnetics, Machines & Drives, Kottayam, India, 2014.
- [5] Erb, D. C., Onar, O. C., Khaligh, A., Bi-Directional Charging Topologies For Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Applied Power Electronics Conference And Exposition (Apec), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE, Palm Springs, Ca, Usa, 2066-2072, 2010.
- [6] Monteiro V., Gonçalves, H., Ferreira, J. C., Afonso, J. L., Batteries Charging Systems For Electric And Plug-In Hybrid Electric Vehicles, New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering, Guimarães, 15-167, 2012.
- [7] Sen, G., Boynuegri, A. R., Uzunoglu, M., Erdinc, O., Catalão, J. P. S., Design And Application of a Power Unit To Use Plug-In Electric Vehicles As An Uninterruptible Power Supply, Energies, 9, 171, 2016.
- [8] Haines, G., MCGordon, A., Jennings, P., Butcher, N., The Simulation Of Vehicle-To-Home Systems–Using Electric Vehicle Battery Storage To Smooth Domestic Electricity Demand, International Conference On Ecologic Vehicles And Renewable Energies, Monaco, 2009.
- [9] Dent T., Developing Bi-Directional Charging Functions For Electric Vehicles, Cpp Mcnair Research Program, California, 2016.
- [10] Pinto, J. G., Monteiro, V., Gonçalves, H., Afonso, J., L., Onboard Reconfigurable Battery Charger For Electric Vehicles With Traction-To-Auxiliary Mode, IEEE Transactions On Vehicular Technology, 63, 3, 1104-1116, 2014.



- [11] Monteiro, V., Ferreira, J. C., Afonso, J. L., Operation Modes Of Battery Chargers For Electric Vehicles in The Future Smart Grids, Springer, Berlin, Heidelberg, 401-402, 2014.
- [12] Monteiro, V., Pinto, J. G., Afonso, J. L., Operation Modes For The Electric Vehicle in Smart Grids And Smart Homes: Present And Proposed Modes, IEEE Transactions On Vehicular Technology, 65, 3, 1007-1020, 2015.
- [13] Tan, K. M., Ramachandaramurthy, V. K., Yong, J. Y., Bidirectional Battery Charger For Electric Vehicle, IEEE Innovative Smart Grid Technologies, 406-411, 2014.
- [14] Sridhar, A. R. P. A., Bidirectional Ac-Dc Converter For Vehicle-To-Grid (V2G) Applications, Marquette University, Milwaukee, Wisconsin, 2015.
- [15] Guo, D., Yi, P., Zhou, C., Optimal Electric Vehicle Scheduling In Smart Home With V2H/V2G Regulation, Innovative Smart Grid Technologies - Asia (Isgt Asia), 2015 IEEE, Bangkok, Thailand, 2015.
- [16] Xiuxiu, B., Pure Electric Vehicle Power System Parameters Matching and the Analysis of Vehicle Control, IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications, Ottawa, Canada, 737-740, 2014.
- [17] Kerem, A., Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5, 1, 1-13, 2014.
- [18] Andwari, A. M., Pesiridis, A., Rajoo, S., Botas, R. M., Esfahanian, V., A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 414-430, 2017.
- [19] Rind, S. J., Ren, Y., Hu, Y., Wang, J. Jiang, L., Configurations and Control of Traction Motors for Electric Vehicles: A Review, Chinese Journal of Electrical Engineering, 3, 3, 1-17, 2017.
- [20] Denis, N., Dubois, M. R., Power Split Strategy Optimization of a Plug-in Parallel Hybrid Electric Vehicle, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67, 1, 315-326, 2018.
- [21] Sabri, M. F. M., Danapalasingam, K. A., Rahmat, M.F., A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 1433-1442, 2016.
- [22] Malikopoulos, A. A., Supervisory Power Management Control Algorithms for Hybrid Electric Vehicles: A Survey, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15, 5,

1869-1885, 2014.

[23] Khaligh, A., Dusmez, S., Comprehensive Topological Analysis of Conductive and Inductive Charging Solutions for Plug-In Electric Vehicle. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61, 8, 3475-3489, 2012.

[24] Sbordone, D., Bertini, I., Pietra, B.D., Falvo, M. C., Genovese, A., Martirano, L., EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. *Electric Power Systems Research*, 120, 96-108, 2015.

[25] Ahmedi, M., Mithulanathan, N., Sharma, R., A Review on Topologies for Fast Charging Stations for electric Vehicles, *IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, Wollongong, 1-6, 2016.

[26] Melo, H. N., Trovao, J. P. F., Pereirinha, P. G., Jorge, H. M. Antunes, C. H., A Controllable Bidirectional Battery Charger for Electric Vehicles with Vehicle-to-Grid Capability. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67, 1, 114-123, 2018.

[27] Monteiro, V., Exposto, B., Ferreira J. C., Afonso, J. L., Improved Vehicle-to-Home (iV2H) Operation Mode: Experimental Analysis of the Electric Vehicle as Off-Line UPS. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8, 6, 2702-2711, 2017.

[28] Pan, X., Rathore, A.K., Novel bidirectional snubberless naturally commutated soft-switching current-fed full-bridge isolated DC/DC converter for fuel cell vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61, 2307–2315, 2014.

[29] Li, X., Bhat, A. K. S., Analysis and Design of High-Frequency Isolated Dual-Bridge Series Resonant DC/DC Converter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25, 4, 850-862, 2010.

[30] Gautam, S. D., Musavi, F., Edington, M., Eberle, W., Dunford, W. G., An Automotive Onboard 3.3-kW Battery Charger for PHEV Application, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61, 8, 3466-3474, 2012.

[31] Chae, H. J., Moon, H. T., Lee, J. Y., On-board battery charger for PHEV without high-voltage electrolytic capacitor, *Electronics Letters*, 46, 25, 1691–1692, 2010.

[32] Vu, H. N., Tran, D. D., Choi, W., A Novel Hybrid Soft Switching Full-Bridge PWM and Full-Bridge LLC Converter for On-Board Battery Charger Applications, *8th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Hefei, 2016.