



İzolesiz bir off-grid PV destekli elektrikli araç şarj istasyonunun şarj ünitesi tasarımı

Design of a non-isolated charging unit of an off-grid PV supported electric vehicle charging station

Mohamad Nedal Sahloul^{1,*}, Ahmet Deniz², Fatih Onur Hocaoglu³

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Sistemleri ABD, Afyonkarahisar, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çay Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar, Türkiye

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar, Türkiye

Öz

Jeopolitik riskler ve buna bağlı olarak artan fosil yakıt maliyetleri nedeniyle, elektrikli araçlara olan ilgi giderek artmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşması, şarj istasyonlarının artmasına, beraberinde elektrik şebekesi üzerindeki yükün artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple yeni şarj sistemlerinin tasarımlarının yapılması gerekli hale gelmektedir. Bu çalışmada, güneş enerjisi ile desteklenmiş bir elektrikli araç şarj sisteminde bulunan şarj ünitesinin Matlab/Simulink ortamında tasarımı yapılmıştır. Şarj ünitelerinde kullanılan izoleli (transformatörlü) DC-DC dönüştürücüler yerine, tasarlanan şarj ünitesinde izolesiz (güç elektronik devreli), çok katlı yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. Böylece transformatörlerin kullanılmamasıyla birlikte; trafo kayıpları (transformatör bobinlerinde meydana gelecek ısı kayıpları) sıfırlanmış, kullanılan devrelerin boyutlarının azaltılması ve sistem maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan sisteme ait verilerin grafikleri verilerek yorumları yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik enerji, Güç elektroniği, Çok katlı yükseltici dönüştürücü, Elektrikli araç şarj istasyonu.

1 Giriş

Ulaşım sektörü, fosil yakıtların en fazla tüketildiği ve çevreye olumsuz etkileri olan sektörlerden biridir. Fosil yakıtların ömürlerinin giderek tükenmesi, jeopolitik nedenlerle petrol ürünlerinde ortaya çıkan fiyat artışları ve küresel ısınma sorunları gibi nedenlerle içten yanmalı motora sahip araçlardan elektrik motorlu araçlara geçiş büyük önem kazanmıştır. Ancak günümüzde üretim maliyeti, yüksek satış fiyatı, kısa menzil, uzun şarj süresi, şarj istasyonlarının konumu ve yetersiz altyapı gibi birçok faktörler elektrikli araçların yaygınlaşmasını yavaşlatmaktadır. Diğer taraftan elektrikli araç teknolojilerinin yaygınlaşması, beraberinde batarya teknolojileri ve şarj istasyonlarının teknolojilerinin de geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Batarya teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, yüksek kapasite ve enerji yoğunluğuna sahip lityum iyon polimer pil

Abstract

Due to geopolitical risks and the consequent rising fossil fuel costs, the interest in electric vehicles is increasing. The widespread use of electric vehicles causes an increase in charging stations and an increase in the load on the electricity grid. For this reason, it becomes necessary to design new charging systems. In this study, the charging unit in an electric vehicle charging system supported by solar energy was designed in Matlab/Simulink environment. Instead of insulated (transformer) DC-DC converters used in charging units, non-isolated (power electronic circuit) multi-stage boost converters are used in the designed charging unit. Thus, if the transformers in not of use; transformer losses (heat losses that will occur in transformer coils) are zeroed, it is aimed to reduce the size of the circuits used and to reduce the system cost. The graphics of the data of the designed system were given and comments were made.

Keywords: Photovoltaic energy, Power electronic, Multi-phase boost converter, Electrical vehicle charging station.

hücrelerinin kullanımı elektrikli araçların kullanımının hızlanmasına neden olmuştur. Bununla beraber elektrikli araçların yayılmasına etki eden başka faktörler de vardır. Bunlara örnek, çok daha az hareketli parçaya sahip olmaları, bunun sonucunda da daha az arıza vermeleri ve arızaların teşhis ve onarımlarının daha hızlı ve kolay olması, daha az işçilik gerektirmeleri gibi birçok etken söylenebilir. Kerem vd. [1, 2] elektrikli araçların gelişimini etkileyen faktörlerin arasında önemli bir başka hususun da elektrikli araçların şarj problemleri olduğunu vurgulamıştır.

Elektrikli araç şarj sistemleri ile ilgili yapılan çalışmaları, bu çalışmada; elektrikli araç şarj teknikleri, dahili şarj ünitesi tasarımı, harici şarj ünitesi tasarımı ve fotovoltaik enerji ile beslenen şarj sistemlerinin tasarımı başlıkları altında örnekleriyle Bölüm 2'de toplanmıştır. Mevcut şarj sistemlerinin genel olarak sınıflandırılması, özellikleri ile birlikte sunulmuştur. Bu bölümde ayrıca yenilenebilir enerji

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: mohamad-nedal.sahloul@usr.aku.edu.tr (M. N. Sahloul)

Geliş / Received: 09.06.2022 Kabul / Accepted: 29.10.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1128466

kaynaklarından güneş enerjisi ile beslenen şarj sistemleri de incelenmiş, bu sistemlerde kullanılan devre çeşitleri ile mevcut kullanılan topolojilerden bazıları verilmiştir.

Bölüm 2’de yapılan daha önceki literatür çalışmalarının sınıflandırılmasına göre; bir harici şarj ünitesi, tek fazlı çok katlı yükseltici dönüştürücü kullanarak tasarlanması, Matlab-Simulink ortamında simülasyonu, elde edilen veriler ve grafikleri Bölüm 3’te verilmiştir. Bölüm 4’te ise sonuçlar yorumlanmıştır.

2 Elektrikli araç şarj istasyonları üzerine gerçekleştirilmiş olan çalışmalar

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasını daha da hızlandırmak için; şarj istasyonlarının altyapısını iyileştirmeye, daha geniş alana yayılmasına ve daha verimli çalıştırmaya yönelik çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Bu çalışmalar hem konut sistemleri hem de ticari kamu şarj cihazları ile ilgilidir. Özellikle, hızlı şarj istasyonlarına talebin artması beklenmektedir, bu da tüketicileri uzun mesafelerde elektrikli araçları kullanmaya teşvik ederken elektrik şebekesine olan yükün etkisini gündeme getirecektir. Bu bölümde elektrikli araç şarj istasyonları üzerine literatürde gerçekleştirilmiş çalışmalar kategorize edilerek örneklenmiştir.

2.1 Elektrikli araç şarj teknikleri üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalar

Elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılan bataryaların şarj sistemleri, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır.

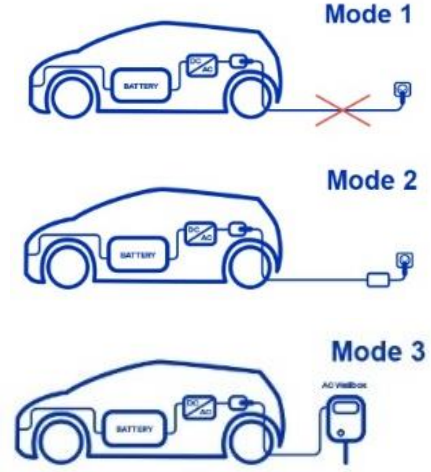
Şarj sistemleri kullanım yerlerine göre ev tipi şarj sistemleri ve ticari şarj istasyonları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Diğer taraftan şarj istasyonları, şarj ünitesinin konumuna göre sınıflandırıldığında ise dahili (araç içi) ve harici (araç dışı) şarj ünitesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu tür sınıflandırmada, şarj devrelerinin hız ve verimliliği, IEC 61851-1 Avrupa standartlarına göre belirlenmiştir. [2,3]

2.1.1 Dahili şarj ünitesi (On-Board Charging)

Dahili şarj sistemine sahip elektrikli araçlarda şarj ünitesi ile şebekeden gelen tek fazlı veya üç fazlı alternatif akımı doğrultarak enerjiyi araç bataryasına sabit akım şeklinde aktarılmakta ve şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Yapılan sınıflandırmaya göre dahili şarj sistemi, şarj hızına göre üç farklı şarj seviyesi (charging level) içerir, ve bu şarj seviyeleri Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 1’de bağlantı şekilleri, Tablo 1’de ise güç seviyeleri gösterilmektedir. [3-5]

Mod 1’de, elektrikli araç basit bir uzatma kablosu ve standart bir priz kullanılarak doğrudan bir AC prize bağlanarak şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu seviyedeki yöntem yavaş şarj yöntemi olarak bilinmektedir. Mod 2’de ise, AC prizini araca bağlayan kablo üzerinde bulunan kontrol kutusu kullanılarak batarya şarj edilmektedir. Burada kontrol kutusunun amacı, araç bataryasına uygun akım ve gerilimi güvenli bir şekilde sağlamaktır. Şekil 2 ve 3’te, Mod 1 ve Mod 2’de kullanılan şarj sistemlerin blok diyagramları ve devre topolojileri gösterilmiştir.

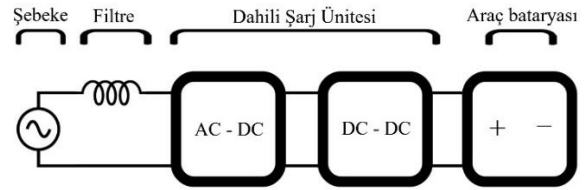
Mod 3’te kullanılan sistem, Mod 2’ye benzer, ancak kontrol kutusu, kablo üzerinde değil şebekeden enerjisini alan sabit bir modül haline gelmiştir.



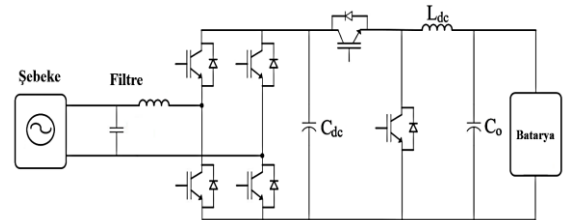
Şekil 1. Şarj modları.

Tablo 1. Elektrikli araçlar şarj seviyeleri. [6]

Şarj Seviyesi	Faz sayısı	Gerilim (V)	Akım (A)	Güç (KW)
Mod1	1 faz	120	12	1.44
Mod2	1 veya 3 faz	208/240	32	7.7
Mod3	3 faz	480	100	48



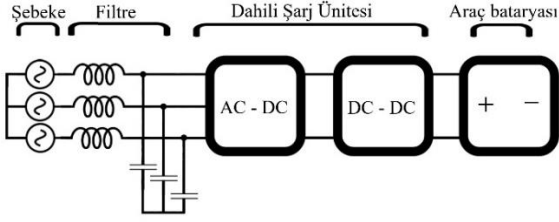
Şekil 2. Mod 1 ve Mod 2 blok diyagramı



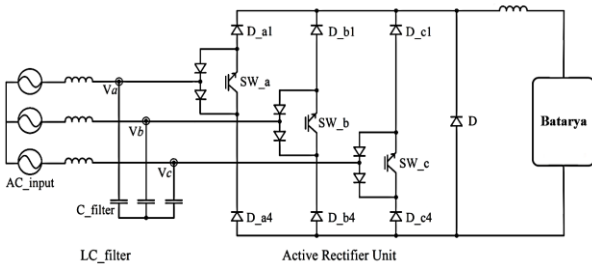
Şekil 3. Mod 1 ve Mod 2 devre topolojisi. [4]

Bu seviyede, elektrik şebekesine sürekli olarak bağlı bir güç kaynağı sistemi aracılığıyla aracın şarj edilmesi sağlanmaktadır. Araç üzerindeki şarj sisteminin blok

diyagramı Şekil 4'te ve şarj ünitesinin devre topolojisi Chae vd. [7] yaptıkları çalışmaya göre Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 4. Mod 3 blok diyagramı



Şekil 5. Mod 3 devre topolojisi. [7]

2.1.2 Harici şarj ünitesi (Off-Board Charging)

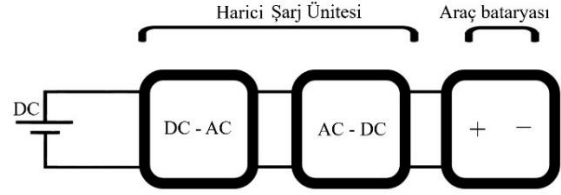
Harici şarj yöntemine dayanan araçlardaki şarj işlemi, yerleşik şarj cihazını atlayarak harici şarj ünitesinden doğrudan araç bataryasına sağlanan DC güç ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem DC şarj yöntemidir ve Mod 4 olarak tanımlanır.

DC ile şarj işlemi, AC 1. ve 2. seviyelerine kıyasla çok yüksek güç seviyeleri sağlayabilmektedir ve bu sayede araç bataryasının kapasitesinin 1/2'sinden fazlası 10 dakikadan daha kısa bir sürede şarj edebilmektedir. Genel olarak bu durumda kullanılan şarj ünitesinin yapısı, AC-DC doğrultucu ve DC-DC dönüştürücüdür. AC-DC aşaması şebekeden gelen alternatif akımı doğrultma aşamasıdır, bu aşama için birkaç tip AC-DC doğrultucu kullanılabilir. Ardından farklı DC-DC dönüştürücü topolojileri kullanılır.

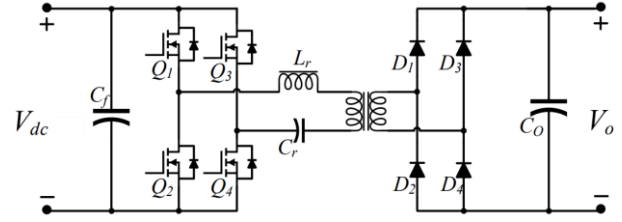
DC-DC dönüştürücüler topolojisi, farklı voltaj seviyeleri ihtiyacına ve kullanılan sistem tipine göre izoleli (yüksek frekans transformatorlü) ve izolesiz (güç elektronik devreli) olarak sınıflandırılır. İzoleli DC-DC dönüştürücüler; çift yönlü şarj istasyonu için Kondo vd. [8], Zhu vd. [9] çalışmalarında kullanmışlardır. Chakraborty vd. [10] ise yaptıkları çalışmalarında hem izoleli hem de izolesiz dönüştürücülere değinmiştir. İzoleli sistemlerde görüldüğü gibi akımı AC formuna dönüştürüp transformator yardımıyla istenilen gerilim seviyesine ayarlanıp, enerji daha sonra tekrar DC forma dönüştürülür. İzoleli sistemin devre topolojileri ve blok diyagramları sırasıyla, Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir.

İzoleli sistemlere örnek olarak Xiaodong ve Yi-Fan [11] çalışmalarında çift aktif köprü dönüştürücüsü (DAB) kullanmış ve bu sistemin topolojisi Şekil 8'de gösterilmiştir.

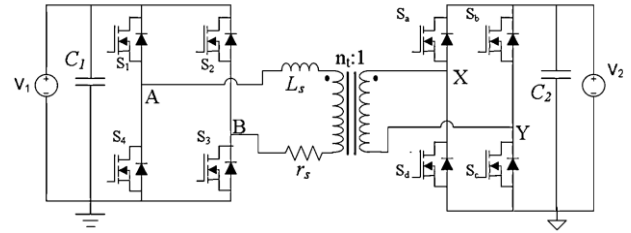
İzole olmayan dönüştürücülerde gerilim değerini yükseltme işlemi, transformator yerine güç elektroniği devreleri kullanılarak gerçekleştirir.



Şekil 6. Mod 4 blok diyagramı (izoleli DC-DC aşaması).



Şekil 7. İzoleli DC-DC dönüştürücü devresi. [10]



Şekil 8. Çift aktif izoleli dc-dc dönüştürücü. [11]

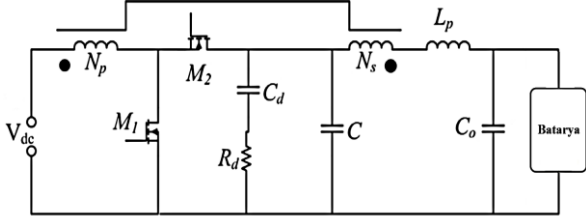
2.2 Fotovoltaik enerjisi ile beslenen şarj ünitesi

Şebekeden gelen enerji kullanılarak sistemlerin şarj edilmesi, özellikle yoğun talep döneminde elektrik şebekesine ek bir yük getirir. Elektrikli araçlarının yaygınlaşması şarj ünitelerinin sayıca artmasını beraberinde getirecek ve dolayısıyla artan tüketimi karşılayacak yeni enerji kaynaklarına olan ihtiyacı da arttıracaktır. Elektrikli araç bataryalarını, Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak şarj etmek, bu olumsuz etkiyi azaltmak için uygun çözümlerden bir tanesidir.

Fotovoltaik (PV) modül fiyatlarının sürekli düşüş eğiliminde olması, güneş enerjisini bu amaç için iyi bir kaynak olarak karşımıza çıkarmaktadır. Güneş panelleri en yaygın yenilenebilir enerji kaynağı olup ve benzersiz özellikleri, çeşitlendirilmiş gelişimi ve sürekli ilerleyen teknolojisi sayesinde yaşamın enerji gerektiren birçok alanında kullanımları bulunmaktadır.

Güneş enerjisi sistemleri, iş yerlerinde ve otoparklarda elektrikli araçların şarj edilmesi için de ekonomik ve kullanışlı bir çözümdür. Ayrıca, güneş enerjisi ünitelerinin en iyi özelliklerinden birisi şebekeden bağımsız (Off-Grid) şarj istasyonları tasarlama olanağına imkan tanınmaktadır. Güneş panellerinden gelen enerjiyi depolamak ve yüke (araba bataryasına) aktarmak için DC-DC dönüştürme

teknikleri kullanılmaktadır. DC şarj cihazı, şarj edilmekte olan aracın bataryasına uygun olan terminal voltajı ve akımı sağlaması için kullanılmaktadır.



Şekil 9. Çift yönlü izole olmayan DC-DC güç elektronik dönüştürücüsü. [12]

Güneş enerji sistemlerinde kullanılan bazı çift yönlü dc-dc devreleri ve şarj modları Bhatti vd. [12] çalışmasında gösterilmiştir. Çift yönlü DC şarj cihazının en temel konfigürasyonu, iki çeyrek dc-dc dönüştürücüsüdür ve şarj sırasında gerilim düşürücü görevi, deşarj sırasında ise yükseltici görevi görür (Şekil 9). Aynı çalışmada, izoleli ve izolesiz DC-DC dönüştürücülerin kullanıldıkları yerlere göre tercih edilebileceğinden bahsedilmiştir. Hatta izolesiz dönüştürücülere yüksek verimli (%95'e varan), düşük maliyetli olan örneklerine de yer verilmiştir.

Tam güç kontrolünü sağlamak için çift yönlü devreler kullanılmaktadır. Ancak, aracın bataryasından gelen enerjinin şebekeye geri aktarılmasına gerek olmadığı zamanlarda (araçtan şebekeye durumu) bu yetenek gerekli değildir.

Bunun dışında, literatürde elektrikli aracın bataryasını şarj etmek için uygun şekilde kullanılabilecek çok sayıda DC-DC dönüştürücü geliştirilmiştir. [8,12-14]

3 Güneş enerjisi destekli şarj sistemi tasarımı

Bu çalışmada şebekeden bağımsız bir elektrikli araç şarj sisteminin PV ünitesinden gelen enerjiyi depolama bataryalarından araç bataryasına aktaran verimi yükselten bir şarj ünitesi tasarlanmıştır.

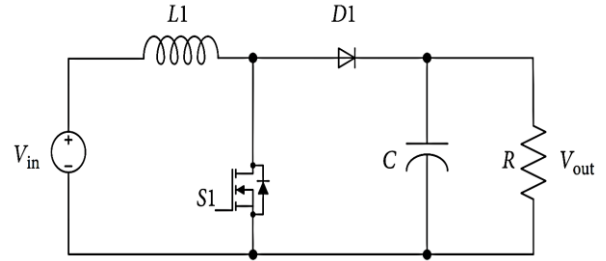
Tasarlanan sistemde, fotovoltaik enerjinin kesintili bir enerji kaynağı olması nedeniyle, güneş olmadığı zamanlarda enerji sağlamak için depolama bataryaları kullanılmaktadır.

Şekil 10'da verilen sistemde, depolama bataryalarından akımı çeken ve voltajı araç bataryasına uygun bir seviyeye yükselten, güç elektroniği devresi olan gerilim yükseltici (Boost) dönüştürücüsünün topolojilerinden bir tanesi, araç batarya şarj ünitesi olarak kullanılmıştır. Araç bataryasının şarj işlemi sağlanması gereken gerilim ve akım değerlerini belirtmesi ve yükseltici dönüştürücüsünün anahtarlama sinyalini üretmesi, sistemdeki kontrol devresi tarafından sağlanmaktadır.

3.1 Yükseltici dönüştürücü

Yükseltici (Boost) dönüştürücüsü güç elektroniğinin anahtarlama dönüştürücülerinden (SMPS) bir tanesidir. Çıkış voltajı her zaman giriş voltajından daha büyüktür. Regüle edilmiş DC güç kaynakları ve DC motorların rejeneratif frenlemesi yükseltici dönüştürücülerin kullanım alanlarındandır. [15,16]

Yükseltici dönüştürücünün ana topolojisi Şekil 11'de gösterilmiştir.

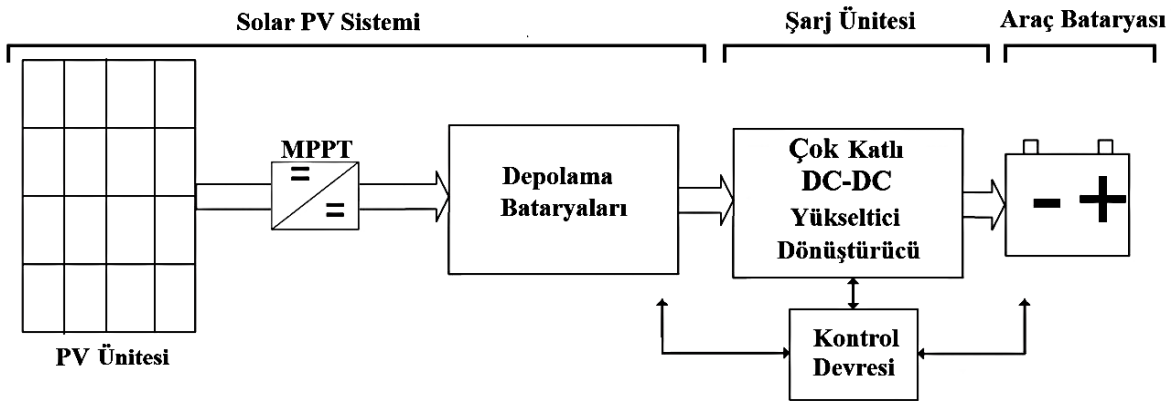


Şekil 11. Yükseltici dönüştürücünün devre şeması. [17]

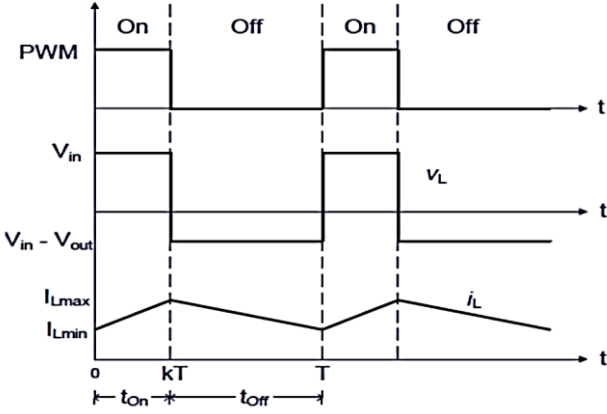
Devrenin çalışma prensibi, anahtar kapalıyken diyet kesimde kalır, böylece çıkış katı izole edilir ve indüktörde enerji depolanır. Anahtar açıkken, çıkış tarafı, girişten yanı sıra indüktörden de enerji alır.

Giriş ve çıkış güç ifadelerinin tanımlanmasıyla, ortalama akım ve bobin akımları bulunabilir. Sürekli iletim durumu için kararlı durumda bobin akımı sürekli akar $I_L > 0$.

Bobin gerilim ve akımın dalga şekli anahtarlama sinyaline göre Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 10. Tasarlanan sistemin blok diyagramı.



Şekil 12. Bobin gerilim ve akımın dalga formu. [18]

Çıkış voltajı, sabit DC dalga formuna sahip giriş geriliminden daima daha büyüktür. Çıkış ve giriş gerilimlerin arasındaki transfer fonksiyonu Denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$V_o = \frac{1}{1-D} V_i \quad (1)$$

Burada D, anahtarlama sinyalinin görev döngüsü (Duty cycle), 0 ile 1 arasında değer alır.

Dönüştürücü sürekli iletim durumunda çalışmasını sağlamak için dönüştürücüdeki bobinin akımı sıfıra düşmemesi şartıyla bobin indüktansının minimum değeri Denklem (2) ile hesaplanabilir.

$$L_{min} = \frac{V_o \times D \times (1-D)^2}{2 \times I_o \times f_{sw}} \quad (2)$$

Çıkış voltajındaki tepeden tepeye dalgalanma oranı ise Denklem (3) ile hesaplanabilir.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D \times I_o}{C \times V_o \times f_{sw}} \quad (3)$$

Çıkış gerilimindeki dalgalanma oranını azaltmak için çıkış kondansatörün kapasitans değeri uygun olarak seçilmelidir.

3.2 Çok katlı yükseltici dönüştürücü

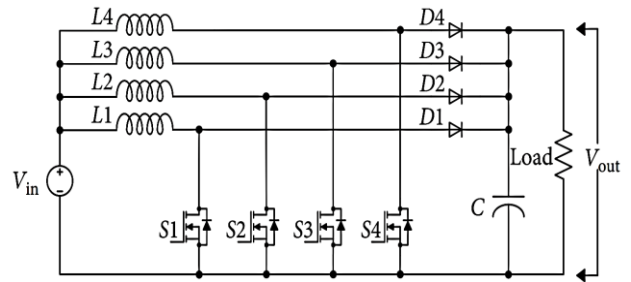
Araç bataryasını şarj etmek için tek katlı bir yükseltici dönüştürücü kullanılabilir. Ancak, araç bataryasına gerekli olan gücü sağlamak için yüksek akım çekilmesi gerekir. Bu durumda tek katlı bir yükseltici dönüştürücü devresindeki elemanlar akım taşıma kapasitesini aşabilir ve sistemin işleyişine olumsuz etkiler sebep olabilir. Aynı zamanda çıkış akım dalgalanmasının değişim aralığını daraltmak için, dönüştürücünün bobin boyutunun büyük olmasını gerektirir. Büyük bobin, sarım maliyetini ve sistemin boyutunu artırır.

Chakraborty vd. [10]'nin yaptıkları çalışmada bu problem vurgulanmıştır. Yükseltici dönüştürücü, yüksek akımdan etkilenen elektronik devre elemanlarını da içermektedir. Devrede kullanılan anahtarlama elemanı ve geçiş diyotunun akım taşıma kapasiteleri sınırlı olduğundan çok katlı dönüştürücü kullanımı problemin önüne geçmeyi sağlar.

Çok katlı yükseltici dönüştürücü, birden fazla aynı tip dönüştürücülerin paralel bağlanmasıyla oluşturulur ve anahtarlama sinyallerin aralarında $2\pi/n$ (n, dönüştürücünün kat sayısına karşılık gelir) faz farkı ile kaydırılarak katlara dağıtılır. Bu işlem sayesinde, akım ve gerilimdeki dalgalanmanın azalması, buna bağlı olarak giriş ve çıkıştaki kondansatörlerin kapasitesinde büyük değerlerin talebinin azalması, devreye girecek kat sayısının kontrol edilmesi, gibi faydalarla yüksek verimli ve daha hızlı tepki gösteren devre elde edilir. Çok katlı yükseltici dönüştürücünün çalışma prensibi Laoprom ve Tunyasirut [17], ve Jarabicová ve Kaščák [19] çalışmalarında açıklanmıştır.

Çalışmamızda tasarlanan sistemde, tek katlı yükseltici dönüştürücü yerine, çok katlı yükseltici dönüştürücü kullanarak, akımı katlara dağıtılması sağlanmaktadır. Önerilen sistemde kontrol sistemini basitleştirmek için akım ve gerilimde büyük dalgalanma olmaması halinde; anahtarlama elemanlarına tek bir anahtarlama sinyalinin verilmesi yeterli olduğu değerlendirilmiştir. Böylece kullandığımız devre tek fazlı çok katlı yükseltici dönüştürücü olarak adlandırılabilir. Sistemde önerilen şarj ünitesinin devre şeması Şekil 13'te gösterilmektedir.

Sistemin performansını iyileştirmek ve daha düzgün yanıt alabilmek için PID Srilatha vd. [20], Chan vd. [21] ve Leite vd. [22] yaptıkları çalışmalarda PID birimi eklenmesini uygun görmüşlerdir.



Şekil 13. Çok katlı yükseltici devresi.[17]

3.3 Sistemin simülasyonu

Önerilen sistemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini kontrol etmek için Matlab simülasyon programı kullanılmıştır.

Çalışmada tasarlanan çok katlı şarj devresinin; çalışma verimliliğini incelemek, akımın dönüştürücüdeki katlara dağıtılmasını tespit etmek için simülasyonu yapılmıştır.

Tasarlanan sistem; şarj edilecek olan 24 kWh kapasiteli elektrikli araç bataryası, önceden güneş panelleri tarafından şarj edilmiş olarak kabul edilen depolama bataryası ve araç bataryasına enerji aktarımından sorumlu olan şarj ünitesini içermektedir. Şarj ünitesinde bulunan elemanların akım taşıma kapasitesini aşmayacak bir şekilde dönüştürücü dört

kattan oluşturulmaktadır. Devrenin çalışma mekanizması kontrol devresi tarafından belirlenir. Kontrol devresi devreye girecek katların sayısını belirlemek ve mosfetlere sağlanan anahtarlama sinyalinin üretmekten sorumludur. Simülasyonda kontrol devresinin işlevini yapan MATLAB FONKSİYONU içinde kod olarak yazılmıştır. Yapılan simülasyon topolojisi Şekil 14'te gösterilmiştir

Sistemde kontrol devresi, kullanıcı tarafından girilen araç bataryasının nominal gerilimi ve depolama bataryasının gerilim değerlerini algılayıp üretilecek PWM sinyalinin görev döngüsünün değerini belirtir. Ayrıca, bataryanın nominal akım değerine göre yükseltici dönüştürücüdeki kullanılan devre elemanlarının akım taşıma kabiliyeti göz önüne alınarak, şarj ünitesinin içinde devreye girecek kat adedi belirtir. Bu işlem sayesinde kullanılmayan katlardaki elemanlarda harcanan enerji israfı ortadan kaldırılarak devrenin verimi artırılır.

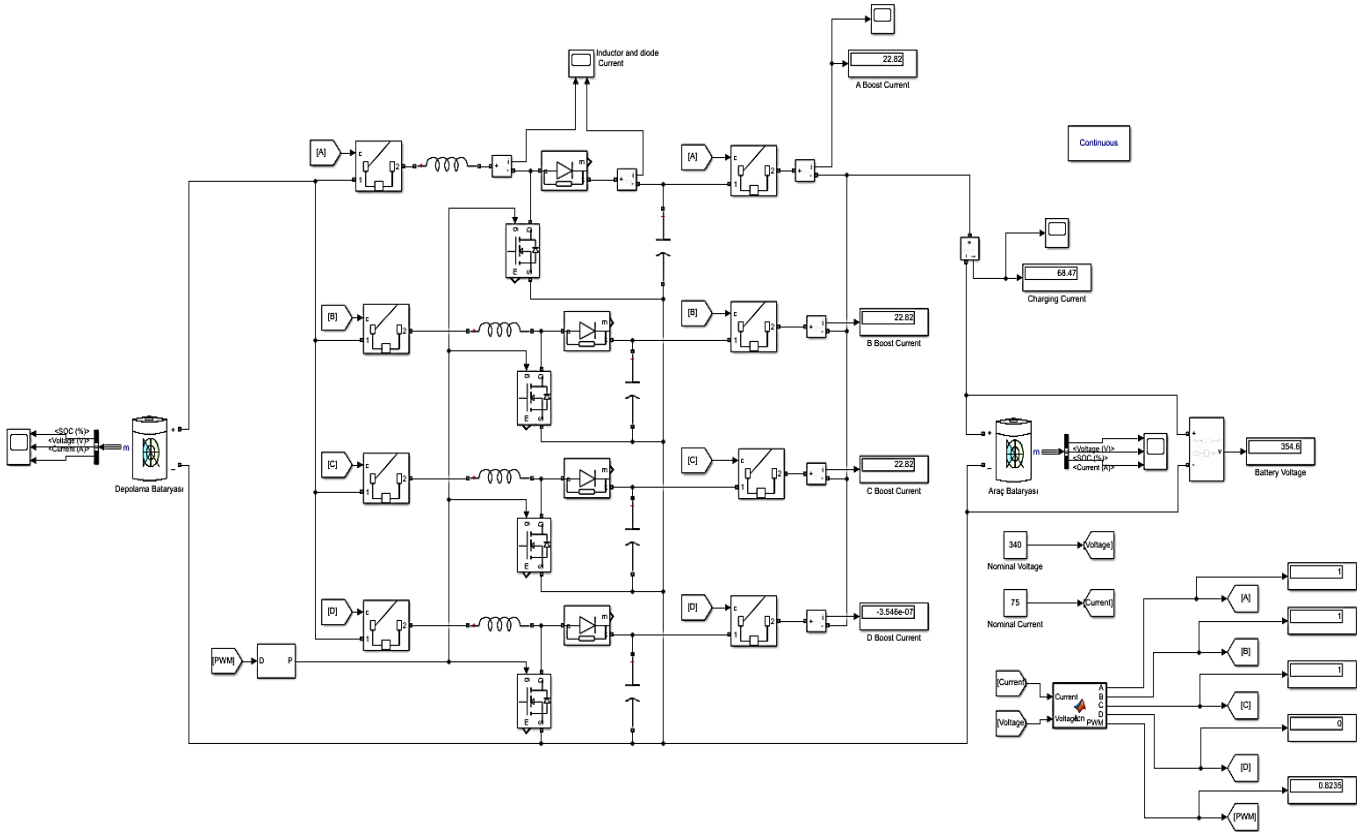
Yapılan denemede elektrikli aracın bataryası şarj durumunda olup başlangıçta şarj seviyesi (SOC) %40, depolama bataryası ise deşarj durumunda ve şarj seviyesi %80 olarak ayarlanmıştır. Kontrol devresinde, kullanıcı tarafından girilen nominal gerilim değerine göre 82,35% görev döngüsüne sahip anahtarlama sinyali üretilmiştir. Devreden geçen akımın değerine göre de devreye üç kat girmesi yeterli olduğunu karar verilmiştir. Alınan değerler, akımın katlar arasında eşit olarak bölündüğünü göstermektedir.

Elektrikli aracın bataryası ve depolama bataryalarının SOC, akım ve gerilim grafikleri sırasıyla Şekil 15 ve 16'da gösterilmektedir.

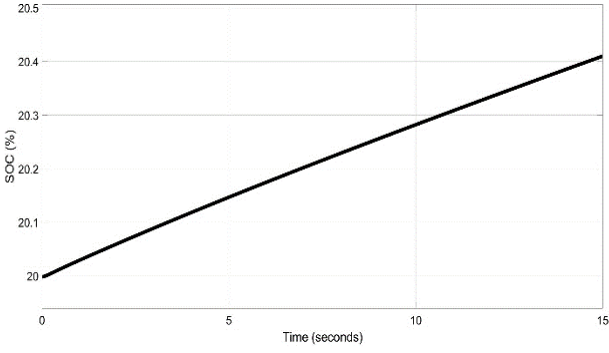
Elektrikli araç bataryasının ölçüm değerlerini gösteren Şekil 15 incelendiğinde, bataryanın lineer bir şekilde şarj olduğu, şarj işlemi gerçekleşirken gerilimde az bir dalgalanma gözlemlendiği ve akımın ise ilk şarj anında kararsız bir yapıda artış yaptığı ancak çok kısa bir süre içerisinde geri düşüp kararlı bir hale geldiği anlaşılmaktadır. Bu artışın sebebi bataryanın şarj akımına tepkisinden kaynaklıdır. Şarj işlemi başladığında bataryanın direnç değeri düşük olmakta ancak akım geçtikten sonra direnç değeri yükselip akım kararlı hale gelmektedir.

Diğer taraftan depolama bataryasının şarj durumu, gerilimleri ve akımlarını gösteren Şekil 16 incelendiğinde ise, bataryanın lineer bir şekilde deşarj olduğu, gerilim ve akım değerlerinin ilk deşarj durumunda kararsız bir davranış sergilediği ancak kısa bir süre sonra kararlı bir şekilde deşarj işleminin gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu şekilde araç bataryasına enerji aktarımı gerçekleştirilmektedir. Dönüştürücüdeki katların bir tanesindeki bobin ve diyot elemanlarından geçen akımların zamana göre değişimleri ise Şekil 17'de sunulmuştur.

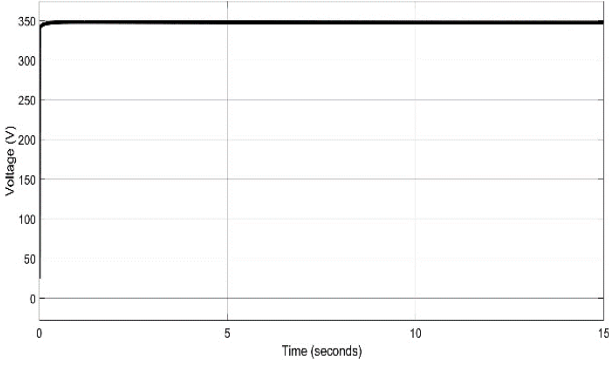
Şekil 17'de, mosfet iletim durumundayken, bobinden geçen akım yükselmekte olup enerji depolanır, bu durumda diyot kesim durumunda olup içinden akım geçmediği görülmektedir. Ancak mosfet kesim durumundayken, çıkışa verilmesi için enerjiyi serbest bırakan bobindeki akımda düşüş fark edilmekte ve akım diyottan geçmektedir.



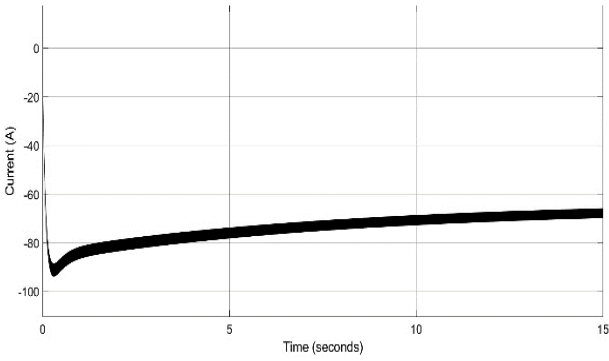
Şekil 14. Tasarlanan sistemin Matlab programında simülasyon topolojisi.



(a)

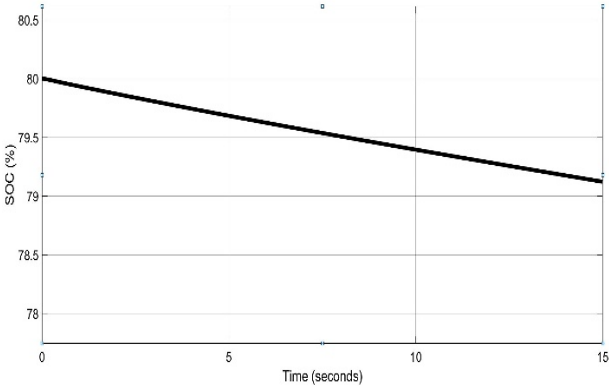


(b)

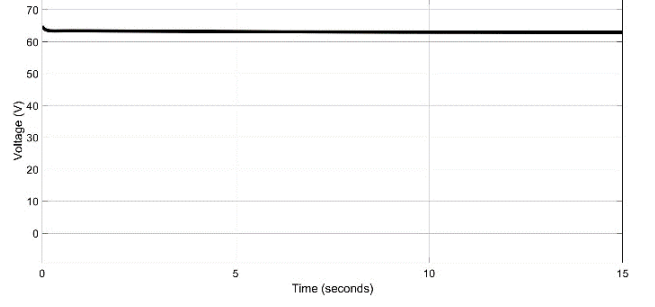


(c)

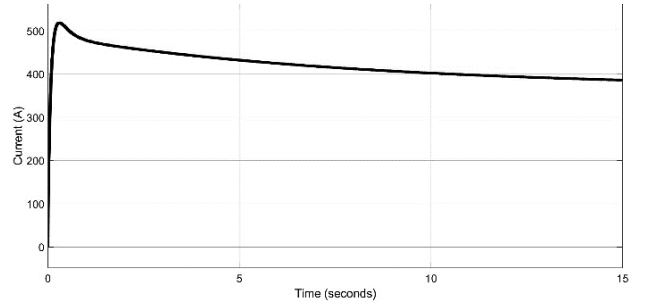
Şekil 15. Araç bataryasının parametreleri: (a) bataryanın şarj durumu, (b) bataryanın gerilimi (c) bataryanın çektiği akımın zamana göre değişimi



(a)

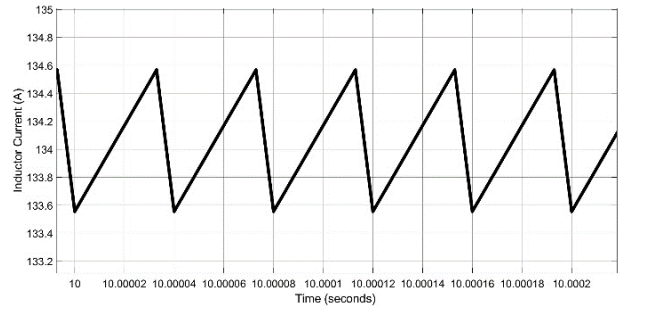


(b)

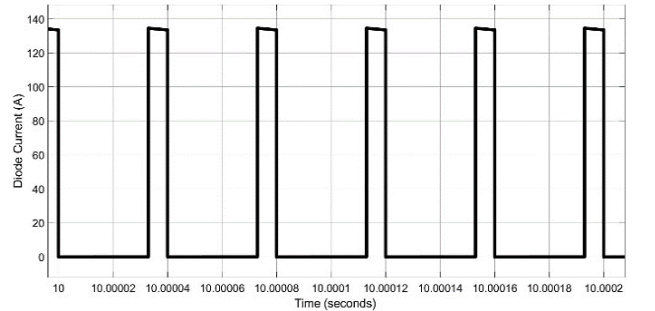


(c)

Şekil 16. Depolama bataryalarının parametreleri: (a) bataryanın şarj durumu, (b) bataryanın gerilimi (c) bataryanın sağladığı akımın zamana göre değişimi



(a)



(b)

Şekil 17. (a) Bobinin akımının ve (b) diyot akımının zamana göre değişimi.

4 Tartışma ve Sonuç

Simülasyonda elde edilen sonuçlar, tasarlanan tek fazlı çok katlı yükseltici dönüştürücünün kullanıldığı şarj ünitesinin,

enerjiyi aktarmak ve araç bataryasını şarj etmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Tasarlanan şarj ünitesi, önceden yapılan çalışmalarda bulunan sistemlere ve şarj ünitelerine, enerji aktarımı ve şarj işleminin tamamlanması açısından benzer sonuçlar göstermektedir. Elde edilen grafiklerde (SOC, gerilim, akım) şarj ve deşarj esnasında kayda değer kararsız durumların meydana gelmediği anlaşılmaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde güneş enerjisi destekli elektrikli araç şarj sistemlerinde çift yönlü dönüştürücüler kullanılmıştır. Bu çalışmada tek yönlü dönüştürücü kullanılmış olup, sistemin şebekeden bağımsız olmasından dolayı araçtan enerji çekilmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

Tasarlanan tek fazlı çok katlı yükseltici dönüştürücü şarj devresinin en önemli özelliğinin, izoleli (transformatörlü) DC-DC dönüştürücüler yerine izolesi olmayan (güç elektroniği devrelerine dayanan) dönüştürücüler içermesi ve bu sayede büyük güçlerde bobinlerde meydana gelen ısı kayıplarının önlenmesi, kullanılan devrelerin boyutlarının azaltılması ve sistem maliyetinin düşük olması olarak sıralanabilir. Aynı anda izoleli (transformatörlü) DC-DC dönüştürücülerde yapılan enerji formunu (DC'den AC'ye ve AC'den DC'ye) çevime işlemi ve buna bağlı olarak köprülerdeki anahtar kayıpları da engellenmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada çok katlı yükseltici dönüştürücünün çekilen akımın değerine göre devreye girecek kat sayısı belirleme özelliği sayesinde kullanılan katlardaki elemanlarda harcanan enerji israfı ortadan kaldırılarak devrenin verimi de artırılır.

Tasarlanan sistemin uygulaması, güneş enerjisi sistemlerinin yöresel şartlara göre boyutlandırılması ve uygulama esnasında performanslarının izlenmesi ileriki çalışmalar olarak planlanmıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %10

Kaynaklar

- [1] A. Kerem ve H. Gürbak, Fast Charging Station Technologies for Electric Vehicles. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C Tasarım ve Teknoloji 8 (3), 644-661, 2020. <https://doi.org/10.29109/gujsc.713085>.
- [2] A. Kerem, Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5 (1), 1-13, 2014. <https://dergipark.org.tr/pub/makufebed/issue/19419/206527>.
- [3] B. Jar, N. Watson and A. Miller, Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger. EEA Conference & Exhibition, 22 - 24 June, Wellington, 2016. <https://www.researchgate.net/publication/319162700>.
- [4] E. İşen ve H. Tarlak, Electric Vehicles and Battery Charging Systems. Kırklareli University Journal of Engineering and Science 4-1, 124-141, 2018. <https://dergipark.org.tr/pub/klujes/issue/37436/398993>.
- [5] C. Dericioglu, E. Yirik, E. Unal, M. U. Cuma, B. Onur ve M. Tumay, A Review Of Charging Technologies For Commercial Electric Vehicles. International Journal of Advances on Automotive and Technology, 2 (1), 61-70, 2018. <http://dx.doi.org/10.15659/ijaat.18.01.892>.
- [6] F. Baronti, M. Y. Chow, C. Ma, H. Rahimi Eichi and R. Saletti, E-transportation: the role of embedded systems in electric energy transfer from grid to vehicle. EURASIP Journal on Embedded Systems December 2016. <http://dx.doi.org/10.1186/s13639-016-0032-z>.
- [7] B. Chae, T. Kang, T. Kang and Y. Suh, Reduced Current Distortion of Three-Phase Three-Switch Buck-Type Rectifier using Carrier Based PWM in EV Traction Battery Charging Systems. The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, 20 (4), 375-387, 2015. <https://doi.org/10.6113/TKPE.2015.20.4.375>.
- [8] R. Kondo, Y. Higaki and M. Yamada, Experimental Verification of Reducing Power Loss under Light Load Condition of a Bi-Directional Isolated DC/DC Converter for a Battery Charger Discharger of Electrical Vehicle. IEEE Journal of Industry Applications, 10 (3), 377-383, 2021. [doi:10.1541/ieejia.17000897](https://doi.org/10.1541/ieejia.17000897).
- [9] L. Zhu, H. Bai, A. Brown and L. Keuck, A Current-fed Three-port DC/DC Converter for Integration of On-board Charger and Auxiliary Power Module in Electric Vehicles. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 577-582, 2021. <https://doi.org/10.1109/APEC42165.2021.9487263>.
- [10] S. Chakraborty, H. N. Vu, M. M. Hasan, D. D. Tran, M. El Baghdadi and O. Hegazy, DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Fast Charging Stations: State of the Art and Future Trends. MDPI Energies. 12 (8):1569, 2019. <http://dx.doi.org/10.3390/en12081569>.
- [11] L. Xiaodong and L. Yi-Fan, An Optimized Phase-Shift Modulation For Fast Transient Response in a Dual-Active-Bridge Converter. IEEE Transactions on Power Electronics, 29 (6), 2661-2665, 2014. <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2013.2294714>.
- [12] A. R. Bhatti, Z. Salam, M. J. Abdul Aziz, K. P. Yee and R. H. Ashique, Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 34-47, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.091>.
- [13] T. Rampradesh, R. Lakshmi Priya and C. Christofer Asir Rajan, PV Powered Dc-Dc Boost Converter Charger For Electric Vehicles With 3 Different Voltage Levels. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 7(6), 2636-2642, 2020.
- [14] V. Kumar, V. R. Teja, M. Singh, and S. Mishra, PV Based Off-Grid Charging Station for Electric Vehicle. IFAC PapersOnLine, 52 (4), 276-281, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.211>.
- [15] N. Mohan, T. M. Undeland and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and designs. John Wiley & sons, INC., United States of America, 1995.

- [16] W. Xiao, *Power Electronics Step-by-Step: Design, Modeling, Simulation, and Control*. 1260456978, McGraw-Hill Education, New York, 2021.
- [17] I. Laoprom and S. Tunyasirut, Design of PI Controller for Voltage Controller of Four-Phase Interleaved Boost Converter Using Particle Swarm Optimization. *Journal of Control Science and Engineering*, 13, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9515160>.
- [18] A. Pradhan and B. Panda, A Simplified Design and Modeling of Boost Converter for Photovoltaic Sytem. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 8 (1), 141–149, 2018. [doi:10.11591/ijece.v8i1.pp141-149](https://doi.org/10.11591/ijece.v8i1.pp141-149).
- [19] M. Jarabíková and S. Kaščák, The Parametric Simulation of the Interleaved Boost Converter for the Electric Transport Vehicle. *Transportation Research Procedia*, 40, 287-294, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.043>.
- [20] A. Srilatha, A. Pandian, and P. Srinivasa Varma, WITHDRAWN: Power factor correction controller with Buck Boost converter for fast charging of electrical vehicles. *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214-7853, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.097>.
- [21] K. F. Chan, C. S. Lam, W. L. Zeng, W. M. Zheng, S. W. Sin and M. C. Wong, Generalized Type III controller design interface for DC-DC converters. *TENCON 2015 IEEE Region 10 Conference*. <http://dx.doi.org/10.1109/TENCON.2015.7373052>.
- [22] R. S. Leite, J. L. Afonso and V. Monteiro, A Novel Multilevel Bidirectional Topology for On-Board EV Battery Chargers in Smart Grids. *Energies* 11 (12): 3453, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11123453>.

