

Güneş Enerji Sistemleri için Arduino Tabanlı Matlab/Simulink Programı Üzerinden Denetlenen Bir Akü Şarj Ünitesi Tasarımı ve Uygulaması

Haydar YURDAKUL¹, Erol Can DELİTAY¹, Ömür AKYAZI¹, Erdinç ŞAHİN^{1*}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 61830, Trabzon

(Alınış / Received: 24.04.2020, Kabul / Accepted: 30.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 30.06.2020)

Anahtar Kelimeler

Güneş enerjisi
Arduino
Matlab/simulink
PI denetleyici
Akü şarj ünitesi tasarımı

Özet: Gelişen teknoloji, sanayileşme ve dünya nüfusundaki artış enerji tüketimini hızla arttırmakta buna paralel olarak fosil yakıtlarının rezervleri süratle tükenmektedir. Fosil enerji kaynaklarının çevre sorunlarına yol açması, rezervlerinin sınırlı ve belirli bölgelerde olması, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmuştur. Güneş panellerinin ürettiği enerji atmosferik olaylara bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup doğrudan aküyü şarj etmesi uygun değildir. Bu nedenle bu çalışmada şebekeden bağımsız fotovoltaik (PV) sistemlerde kullanılan bataryaların ömrünü artırmak, aşırı şarj ve deşarj olmasının önüne geçmek için Arduino tabanlı şarj kontrol ünitesi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistem için DA-DA azaltan dönüştürücü Matlab/simulink benzetim programı kullanılarak tasarlanmıştır. Sistemin Arduino üzerinden Matlab/simulink ile kapalı çevrim kontrolü oransal-integral (PI) denetleyiciyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistem için gerekli olan yazılım işlemleri ve donanım cihazları başarı ile tasarlanmıştır. Sonuç olarak Arduino tabanlı PI denetimli DA-DA şarj ünitesi benzetim ortamında ve deneysel olarak gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Arduino Based Matlab/Simulink Program Controlled a Battery Charge Unit Design and Application for Solar Energy Systems

Keywords

Solar energy
Arduino
Matlab/Simulink
PI controller
Battery charge unit design

Abstract: The developing technology, industrialization and the increase in the world population growing up the energy consumption rapidly, in parallel, the reserves of fossil fuels are rapidly depleted. Since fossil energy sources cause environmental problems and their reserves are limited and available in certain regions, countries have been focused on renewable energy sources. The energy produced by solar panels varies depending on atmospheric events. So, it is not possible to charge the battery directly. For this reason, in this study, an Arduino based charge control unit is designed and implemented to increase the life cycle of the batteries used in off-grid photovoltaic (PV) systems and provide overcharge and discharge protection of the battery. The DC/DC buck converter is designed for the system using Matlab/Simulink platform. Closed loop control of the system using Matlab/Simulink program on Arduino software development card is carried out with proportional-integral (PI) controller. In addition, software and hardware devices required for the system are designed successfully. As a result, Arduino based PI controlled DC-DC charging unit is performed in both simulation and experimental set up and the results are discussed.

*İlgili yazar: esahin@ktu.edu.tr ORCID: 0000-0002-9740-599X

¹ ORCID: 0000-0001-8781-4805

² ORCID: 0000-0002-1943-1631

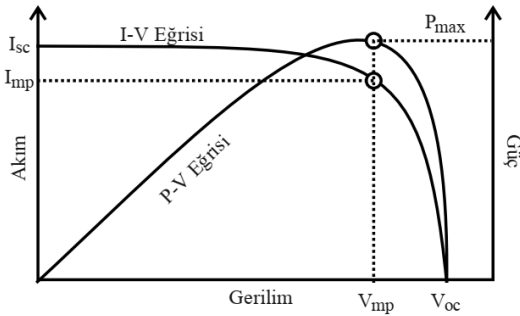
³ ORCID: 0000-0001-6266-2323

1. Giriş

Günümüzde artan enerji talebi, fosil yakıtların tüketilmesi ve rezervlerinin kademeli olarak azaltılması, enerji güvenliği ve atmosfer kirliliği nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş enerjisi, mevcut yakıtlara alternatif çözüm olarak kabul edilmektedir [1, 2]. Güneş enerjisi yakın gelecek için umut verici bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik (PV) sistemde PV modüller, elde edilen güneş enerjisini toplamak ve kullanmak için elektrik enerjisine dönüştürmek üzere seri ve paralel olarak bağlanır [3]. PV sistemler gelen olarak güneş panelleri, güç dönüştürücüleri, şarj kontrol cihazları, enerji depolama elemanları vb. temel bileşenlerden oluşmaktadır [4].

Bir güneş hücresinin I-V karakteristiği doğrusal olmayıp ışıma, sıcaklık ve atmosferik olaylara göre değişiklik göstermektedir [5]. Bu nedenle PV sistemlerde yükün enerjisiz kalmasını engellemek için akü vb. enerji depolama elemanları kullanılır. Aküler sabit gerilimle beslenmeli, aşırı şarj ve deşarj olmasının önüne geçilmelidir. Bu bakımdan şebekeden bağımsız sistemlerde güneş panelinin doğrudan aküyü şarj etmesi uygun değildir.

PV panellerden maksimum verimin elde edilmesi için maksimum güç noktası (MPP) adı verilen noktanın izlenmesi gerekmektedir [6]. PV panelin çalışma eğrileri ve maksimum güç noktası örnek olarak Şekil 1'de sunulmuştur [7]. Güneş paneli doğrudan bir yüke bağlandığında, sistemin çalışma noktası PV panel ve yükün I-V eğrisinin kesişme noktası olacaktır. Ancak çoğu durumda bu çalışma noktası MPP olmayacaktır. Bu nedenle çıkışa sürekli olarak maksimum güç sağlamak ve böylece verimliliği artırmak için PV sistemlerde maksimum güç noktası izleme tekniği MPPT kullanılır. Literatürde farklı yapılarda MPPT teknikleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır [8]. Bu tekniklerden bazıları akım ve gerilim gibi basit değerlerin okunmasına veya daha karmaşık modüllerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca doğrudan ve dolaylı olmak üzere maksimum güç takip yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan farklı algoritmalar da geliştirilmiştir [9].

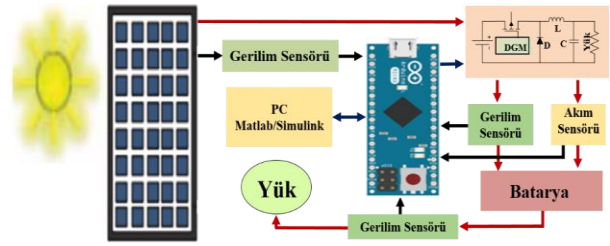


Şekil 1. PV panel çalışma eğrileri ve maksimum güç noktası [7]

Bu çalışmada PV pillerin seri ve paralel bağlanmasıyla elde edilen akım ve gerilim değerlerinin, parametrelerine uygun şekilde aküyü şarj edebilecek şarj regüle devresi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen sistemi oluşturan kısımlar Bölüm 2'de açıklanmıştır. Bölüm 3'te çalışmanın sonuçlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

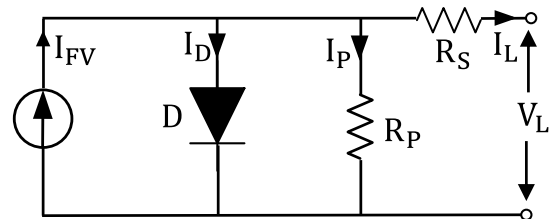
Uygulaması gerçekleştirilen sistemin blok yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Tasarlanan Sistem, güneş ışınımı ve direnç yük değerlerindeki değişikliklere karşı çıkış voltajını istenen seviyede sabitlemek için kontrol edilmiştir.



Şekil 2. Gerçekleştirilen sistemin blok şeması gösterimi.

2.1 Güneş paneli

Güneş paneli, nominal koşullar altında istenen çıkış gücünü elde etmek için birçok güneş hücresinin seri ve paralel bağlanmasıyla oluşturulur. Güneş hücreleri güneşten gelen ışınımı DA elektrige dönüştürür ve akımın büyüklüğü güneş ışınım şiddetine, hücre ve çevresel sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir [9]. Güneş hücreleri p-n katkılı diyot yapısında olup bu hücrelerin panel özelliklerini tanımlamak için çeşitli modeller önerilmektedir. Bu modellerin bazıları bir diyot modeli ve iki diyot modelidir [10-11]. PV hücre modelinin eşdeğer devresi Şekil 3'te verilmiştir.

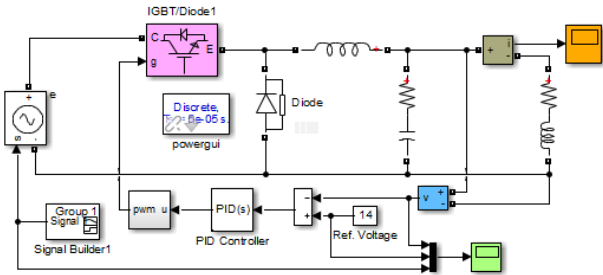


Şekil 3. Tek diyotlu güneş pili eşdeğer devresi

Yukarıda verilen şekilde I_{FV} , güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değişen akımı, D , güneş pili p-n diyot yapısından olduğu için diyotu, R_P ve R_S sırasıyla kayıpları gösteren şönt ve seri dirençleri göstermektedir. I_L ve V_L güneş pilinin yüke aktardığı akım ve çıkış gerilimidir [12].

2.2 DA-DA azaltan dönüştürücü

DA/DA dönüştürücüler, zamanla değişen ve doğrusal olmayan yapılarından dolayı kontrolleri zor olmasına rağmen endüstriyel uygulamalardaki kullanımları gün geçtikçe artmaktadır[13]. Bu dönüştürücüler Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) sinyali kullanılarak girişine uygulanan gerilimi çıkışında istenilen değere ayarlayan anahtarlamalı devrelerdir [14]. DA/DA dönüştürücülerin farklı tipleri mevcut olup bu çalışmada azaltan tip dönüştürücü kullanılmış ve Şekil 4'te Matlab/Simulink ortamında oluşturulan modeli verilmiştir. Azaltan dönüştürücü girişine uygulanan gerilimi çıkışında istenilen seviyeye düşürerek akımı arttıran güç devreleridir.



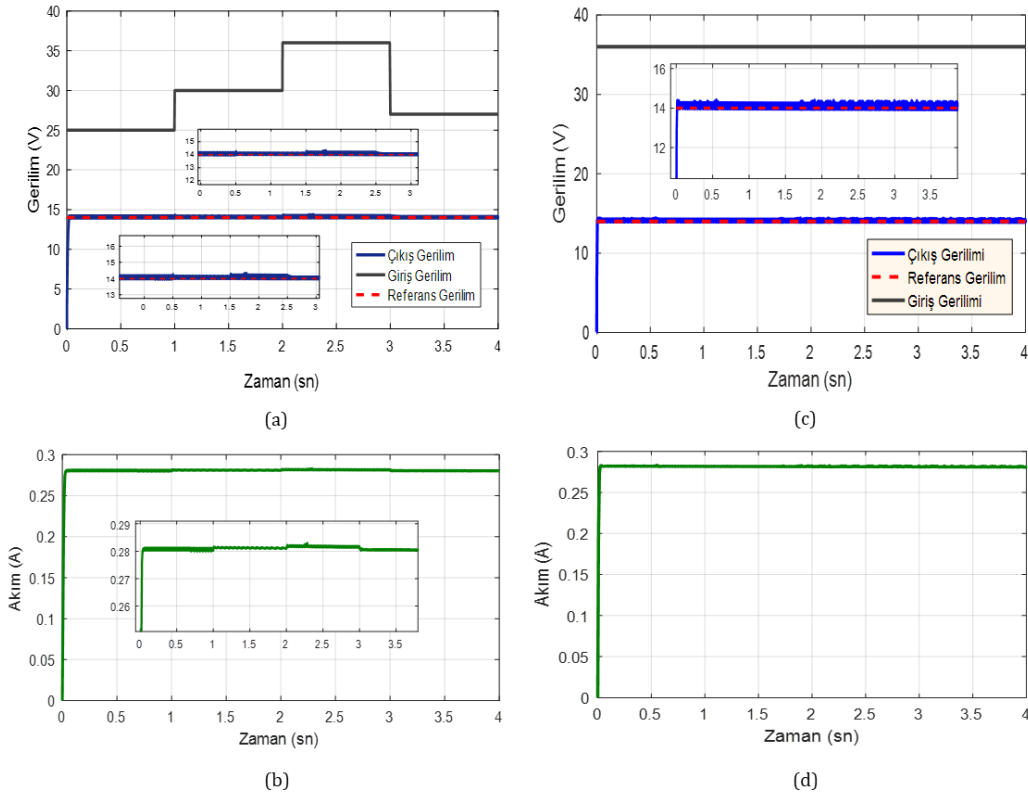
Şekil 4. DA-DA Çevirici için oluşturulan Matlab\Simulink blok diyagramı

PI denetleyici ile denetlenen sistemde hem benzetim ortamında hem de deneysel çalışmada aynı denetleyici parametreleri kullanılarak sonuçlar irdelenmiştir. Denetleyici parametreleri oransal katsayı (K_p)=6,

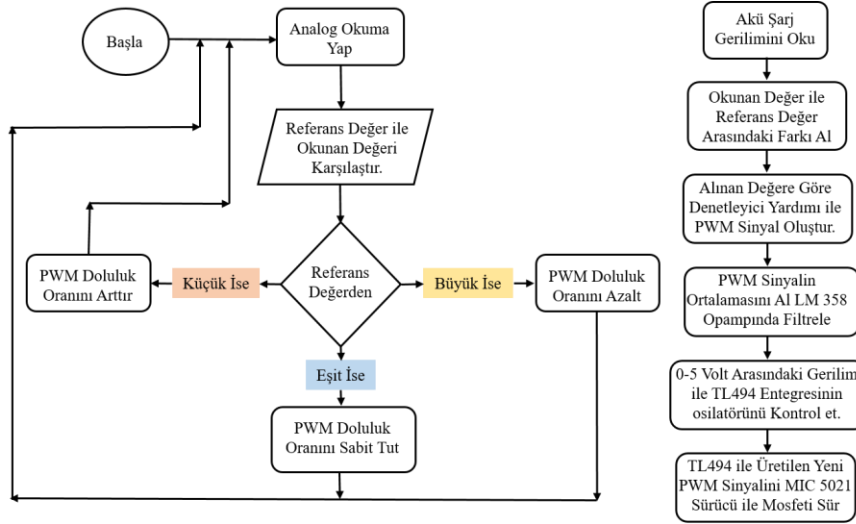
integral katsayısı (K_i)=1 ve türev katsayısı (K_d)=0 olarak seçilmiştir. Bu parametreler deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Matlab/Simulink programı kullanılarak farklı çalışma koşulları için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Değişken ve sabit giriş gerilimi için sabit çıkış gerilimi durumunda direnç-endüktans ($R=50\Omega$, $L=187mH$) yükü için DA-DA azaltan dönüştürücünün çıkış gerilimi ve akımı Şekil 5'te görülmektedir. RL yük durumunda değişken ve sabit giriş gerilimi için sabit çıkış gerilimi istenen sistem PI denetleyici ile kararlı bir şekilde kontrol edilmiştir. Fakat sistem yanıtı incelendiğinde kabul edilebilir seviyede aşma meydana gelmiştir. PI denetleyici ile Matlab/Simulink'de yapılan benzetim çalışmalarında, dönüştürücü çıkışında istenen referans değerleri elde etmek için sistem kontrolü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.3 Arduino yazılım geliştirme kartı

Arduino kullandığı dilin anlaşılır, açık kaynak kodlu ve kullanımı kolay mikro işlemci temelli bir donanım kartı olup kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca arduino programlamasıyla ilgili bek çok kaynakta mevcuttur [10]. Arduino üzerinde 8, 16 ve 32 bit AVR teknolojisini kullanan Atmega 328 mikrodenetleyicisini bulundurmaktadır. Atmega 328; 20 MHz clock osilatörü, 32 Kb flaş, 1Kb SRam, 23 giriş-çıkış pini, 6 kanal 10 Bit ADC ve 6 PWM çıkışa sahiptir [15]. Sistem için tasarlanan akış diyagramını Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. Değişken (a, b) ve sabit (c, d) giriş gerilimi için DA-DA dönüştürücü çıkış gerilimi ve akımı.



Şekil 6. Önerilen sistem için tasarlanan akış diyagramı

2.4 Sistem donanımı

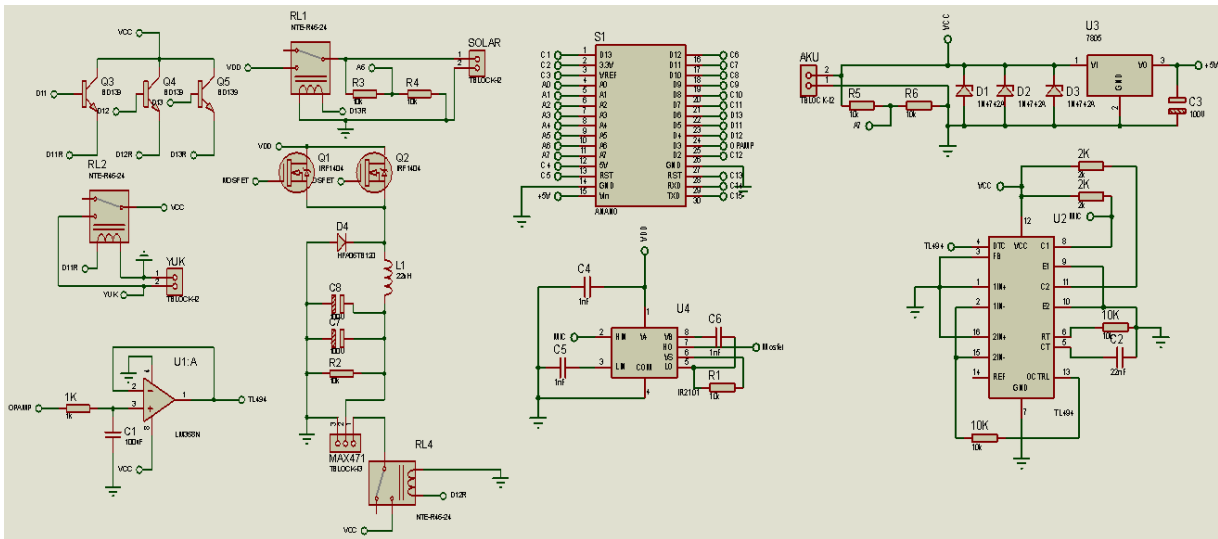
Sistemin ana elemanları; azaltan dönüştürücü devresi, Arduino Nano, LM358 opampı (çift modlu işlemsel yükseltec), analog gerilim denetimli TL494 PWM entegresi, MIC 5021 mosfet sürücü entegresi ve Max471 voltaj ve akım algılayıcı modülünden oluşmaktadır. Şekil 7’de sistemin Proteus devre çizimi görülmektedir.

Ardiuno ilk olarak güneş panellerinin ürettiği gerilimi ölçmektedir. Ölçülen değer belirlenen gerilim değerinden büyükse PV panellerin ürettiği gerilim RL1 rölesi üzerinden DA-DA alçaltan dönüştürücüye iletilir. Dönüştürücü devresinin çıkış gerilimi istenen referans değere erişinceye kadar RL4 rölesi açık kalır ve bu durumda batarya şarj edilmez. Dönüştürücü çıkışı istenen referans gerilime ulaştığında RL4 rölesi kontaklarını kapatır ve akım akıtılarak akü şarj olmaya başlar. Akıtılan akım ölçülerek akünün şarj durumu denetlenir. Akım değeri 0.1 amperin altına düştüğü zaman RL4 rölesi kapalı kontaklarını açarak şarj işlemi durdurulur. Ayrıca akü ile yük arasında RL2

rölesini yerleştirilmiştir. Akü gerilimi belirlenen gerilimin altına düştüğünde RL2 rölesi kontaklarını açarak akü ile yükün bağlantısını keser. Böylece bataryanın aşırı deşarj olması önlenerek ömrü uzatılmış olur.

Mikro denetleyici dönüştürücüden çıkan gerilimi okuyarak PWM sinyalinin doluluk boşluk oranını ayarlar ve analog çıkışından 5 Volt genliğinde 500Hz frekansında PWM sinyali üretir. Üretilen bu PWM sinyalinin genliği ve frekansı mosfeti sürmeye elverişli olmadığı için TL494 entegresi kullanılmıştır. TL 494 entegresi uçlarına verilen analog gerilime göre PWM sinyalinin doluluk boşluk oranını ayarlar. Aynı zamanda osilatör uçlarına bağlanan direnç ve kondansatör ile sinyalin frekansı belirlenir. Oluşan PWM sinyalinin frekansı (1)’de verilen formül kullanılarak hesaplanır. Burada R ve C sıra ile osilatör uçlarına bağlanan direnç ve kondansatör değerlerini sembolize etmektedir.

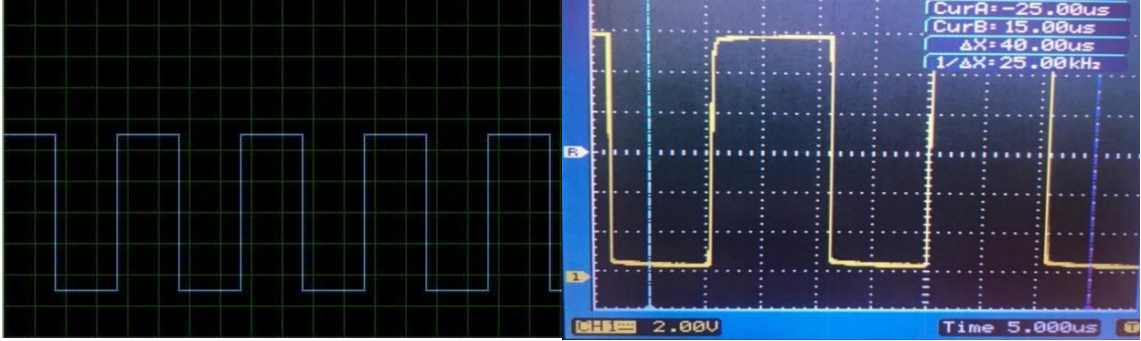
$$f = 1.1/(RxC) \quad (1)$$



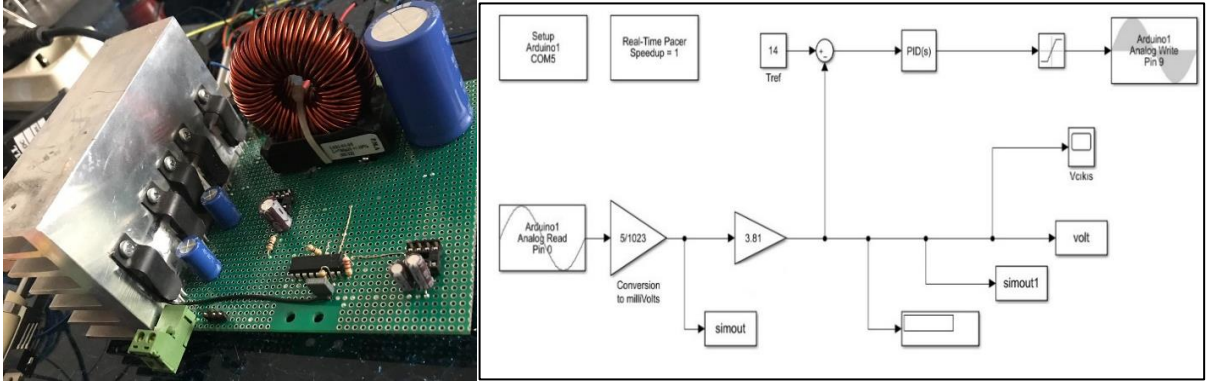
Şekil 7. Tasarlanan sistemin Proteus devre çizimi

Genliği ve frekansı artırılan PWM sinyali ile MIC 5021 entegresi üzerinden mosfet sürülmektedir. Elde edilen sinyalin simülasyon ve osiloskop görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 9'da tasarlanan şarj kontrol devresi ve PI denetleyici ile arduino'nun Matlab/simulink ile haberleşmesi için oluşturulan kapalı çevrim ara yüzü gösterilmektedir.

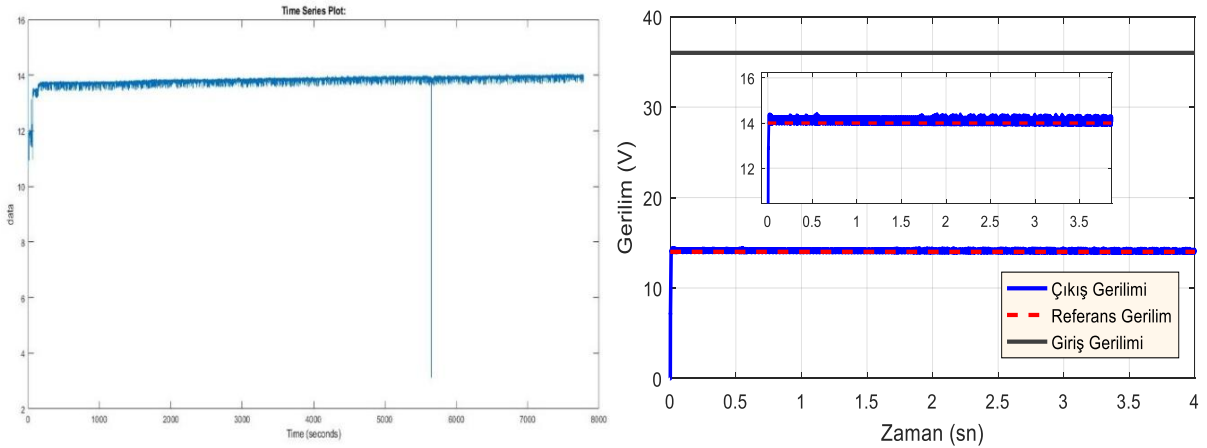
Gerçekleştirilen şarj kontrol devresi güneş panellerine bağlanarak Matlab/Simulink üzerinden 2 saat süreyle yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuç Şekil 10'da verilmiştir. Güneş Panelleri maksimum 36V-3A üretmekte olup akü şarj gerilimi 14V olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçla benzetim sonucunun kısmen örtüşmekte olduğu görülmüştür.



Şekil 8. %50 dolulukla üretilen PWM sinyali. (a) Benzetim, (b) deneysel.



Şekil 9. (a) Tasarlanan şarj kontrol devresi, (b) Matlab/Simulink haberleşme ara yüzü ($K_p=6$, $K_i=1$, $K_d=0$, denetleyici çıkışı üst ve alt limiti: [145, 20])



Şekil 10. 14V Akü şarj gerilimi için deney ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması. (a) Deney sonucu, (b) benzetim sonucu.

3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada şebekeden bağımsız PV sistemlerin ürettiği elektrik enerjisinin depolanması için

kullanılan bataryaların ömrünü artırmak, aşırı şarj ve deşarj olmasının önüne geçmek için Arduino tabanlı PI denetimli şarj kontrol ünitesi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen

sistemi oluşturan Arduino, Mosfet sürücü, DA-DA azaltan dönüştürücü, yazılım ve donanım aygıtları çalışmada açıklanmıştır. Azaltan dönüştürücü benzetimi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Arduino kartının Matlab/simulink programı haberleşmesi sağlanmıştır. Sistem performansının gelecek çalışmalarda farklı denetleyici ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak artırılması hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen deney ve benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde tasarlanan solar şarj ünitesinin PI denetleyici ile sistem yanıtında aşmaya ve kalıcı durum hatasına yol açmasına rağmen uygulanabilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kaynakça

- [1] Akyazi, Ö., Şahin, E. & Kahveci, D. C. (2019). Fotovoltaik Panel ve Şebeke Entegrasyonlu Akıllı Sokak Lambası Tasarımı ve Uygulaması. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 356-360.
- [2] Bayraktar, Y , Kaya, H . (2016). Yenilenebilir Enerji Politikaları ve Rüzgâr Enerjisi Açısından Bir Karşılaştırma: Çin, Almanya ve Türkiye Örneği. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi* , 2 (4) , 1-18.
- [3] Karabaş, A , Mengi, O . (2019). Fotovoltaik Güneş Panelleri için farklı MGNİ Teknikleri kullanılarak Bir Şarj Regülatörünün Performansının İncelenmesi ve Karşılaştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* , 9 (1) , 152-175 . DOI: 10.31466/kfbd.565701.
- [4] Deveci, O., Kasnakoğlu, C., (2014). Bir Fotovoltaik Sistemden Değişken Güneş Işınım Değerlerinde Maksimum Güç ve Sabit DA Gerilim Elde Edilebilmesine Yönelik DA/DA Dönüştürücü ve Kontrolcü Tasarımı, TOK 2014, 11-13 Eylül s.187-193.
- [5] M. Pathare, V. Shetty, D. Datta, R. Valunekar, A. Sawant and S. Pai, "Designing and implementation of maximum power point tracking(MPPT) solar charge controller," *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, Navi Mumbai, 2017, pp. 1-5.
- [6] Darsana Saji, Prathibha S. Babu, S C Sriyith, "Smart Solar Charge Controller for Traffic and Street Light Applications", *Power and Embedded Drive Control (ICPEDC) 2019 2nd International Conference on*, pp. 567-571, 2019.
- [7] T. Kaur, J. Gambhir and S. Kumar, "Arduino based solar powered battery charging system for rural SHS," *2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, Patiala, 2016, pp. 1-5.
- [8] Rokonzaman, Md & Haider, Mohammed Hossam. (2016). Design and implementation of maximum power point tracking solar charge controller. *3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*,1-5.
- [9] Chander, S., Purohit, A., Sharma, A., Nehra, S.P. and Dhaka, M.S. (2015). A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature. *Energy Reports*, 1: 104-109.
- [10] Hakan Yahya Akdeniz, Arduino Tabanlı Mppt Solar Şarj Kontrolörü Tasarımı Ve Uygulaması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019.
- [11] Şentürk, A., (2018). Fotovoltaik modüllerin akım-gerilim eğrilerinin simülasyonunda kullanılacak olan yöntemin seçimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (1) , 341-354. DOI: 10.25092/baunfbed.411779.
- [12] E. Sahin, M. S. Ayas and I. H. Altas, "A PSO optimized fractional-order PID controller for a PV system with DC-DC boost converter," *2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, 2014, pp. 477-481.
- [13] A. Ali, "Design of Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controller using Incremental Method," *2019 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, Abuja, Nigeria, 2019, pp. 734-739.
- [14] W. Makni, N. Ben Hadj, H. Samet and R. Neji, "Design simulation and realization of solar battery charge controller using Arduino Uno," *2016 17th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, Sousse, 2016, pp. 635-639.
- [15] Nayyar, A. and Puri, V. (2016). A Review of Arduino Board's, Lilypad's & Arduino Shields. *3. International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, New Delhi, 16-18 March,1485-1492.