

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KULLANILAN DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN KONTROLÜ

Ali ÖZTÜRK^{1*} Selman ALKAN²

¹ Düzce Üniversitesi, Müh. Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Böl., 81620, Düzce, TÜRKİYE

² Düzce Üniversitesi, Müh. Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Böl., 81620, Düzce, TÜRKİYE

Özet-Fotovoltaik(FV) sistem, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistem olarak bilinir. FV sistemde sistemin kararlılığı ve verimliliği açısından DC-DC dönüştürücüler büyük önem taşımaktadır. Güneş açısı, sıcaklık gibi hava koşulları ve sistemin yükündeki değişimler, gerilim değerinin değiştirir. FV sistemde kullanılan DC-DC dönüştürücü çıkış geriliminin istenilen değerde sabit kalması ve bu değerde tutulması önemlidir. Böylece sistemde kullanılan akülerin şarjı kolaylaşmış ve verim artmış olur. Bu çalışmada Oransal- İntegral-Türev (PID) kontrol kullanılarak DC-DC dönüştürücü çıkış geriliminin sabit tutulması sağlanmıştır. Sistem önce kontrolsüz bir şekilde çalıştırılmış daha sonra klasik yöntem Ziegler Nicols (ZN) ile katsayıları bulunan PID kontrol ile çalıştırılmıştır. Son olarak ise bir optimizasyon yöntemi olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile katsayıları bulunan PID kontrol yöntemi kullanılarak sistem çalıştırılmıştır. Elde edilen Sonuçlara göre, PSO ile katsayıları bulunan PID kontrol sisteminin gerilimi referans değerine daha kısa sürede getirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- Fotovoltaik Sistemler, DC-DC dönüştürücü, PSO

THE CONTROL OF DC-DC CONVERTERS USED IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Abstract- Photovoltaic (PV) system is known as a system generating electrical energy from solar energy. DC-DC converters is of great importance in terms of the system stability and efficiency in PV system. The sun angle, weather conditions such as temperature and load changes in the system cause the change of voltage values. It is important that the output voltage of DC-DC converter used in PV systems remain constant at the desired value and is retained in this value. So, it would have been easier to charge the batteries used in system and this increases the efficiency of the system. In this study, it is provided to keep constant the output value of DC-DC converter by using Proportional-Integral-Derivative (PID) control. Firstly the system is operated in an uncontrolled manner and then is operated with PID controller which its coefficients are calculated by conventional method which is Ziegler Nicols (ZN). Finally, the system is operated by using PID control method which its coefficients are calculated by Particle Swarm Optimization (PSO) method which is an optimization method. According to results obtained, it is observed that the voltage of the PID system which the coefficients are calculated by using PSO converges to reference value in shorter time.

Key Words- Photovoltaic Systems, DC-DC converter, PSO

* aliozturk@duzce.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisine olan ihtiyaç sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte artmaktadır. Enerji ihtiyacının artması elektrik enerjisi üretimi üzerindeki çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlere FV sistemler denir. FV sistemlerin verimleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlerine göre düşük olmasına rağmen; güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilmeleri, yapılarının ve tasarımının basit olması, çevreyi kirletmemeleri gibi avantajlarından dolayı FV sistemler daha fazla ilgi görmektedir.

DC-DC dönüştürücüler FV sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Durum böyle olunca DC-DC dönüştürücülerin verimlerini arttırmak için kontrol çalışmaları da hız kazanmıştır. Elshaer 2010 yılında FV sistemde kullanılan yükselten tip DC-DC dönüştürücünün hem PI hem de PID kontrolünü bulanık mantık yöntemi yardımıyla yapmıştır. İki farklı kontrolle yapılan sistemlerin basamak cevaplarını incelemiş ve PID kontrolörün yük değişiminde daha az dalgalanma olduğunu saptamıştır[1]. Thao ve arkadaşları şebekeye bağlı FV bir sistemde kullanılan inverterin anahtarlama sinyalini PID ile kontrol etmiştir. Sistemde aktif ve reaktif güç kontrolünün ayrı ayrı yapıldığı hibrit kontrolör tasarlanmıştır. Aktif güç reaktif güç kontrolünün ayrı ayrı yapılmasının verimi arttırdığı görülmüştür[2]. Wu şebekeye bağlı inverterlerin farklı topolojileri olan merkezi, dizgi, modül ve köprü topolojilerden çok seviyeli köprü tipi bağlanmış inverterlerin PI kontrolünü yaparak diğerlerine üstünlüklerini göstermiştir[3]. 2010 yılında FV bir sistemde kullanılan inverterin matematiksel modeli oluşturularak inverterin iç kayıpları, lineer kayıpları ve yükten kaynaklanan kayıpların tesbiti yapılarak inverterin verimi hesaplanmıştır. Daha sonra inverter kayıpları matematiksel model yardımıyla kontrol edilmeye çalışılmıştır[4]. Meiqin ve arkadaşları 2008 yılında 5Kw'lık FV ve rüzgar enerjisinden oluşan hibrit sistemin simülasyonunu gerçekleştirerek inverterin, DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimini daha önce elde edilen deneysel sonuçlarla kıyaslama yapmışlardır. Simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlara yakın olduğunu gözlemlemişlerdir[5]. Petcut FV panelin akım denklemini kullanarak diyot akımı, seri direnç, paralel direnç, terminal gerilimi gibi parametreleri genetik algoritma ile belli aralıklarda değerlerini belirleyerek akım-gerilim grafiklerini elde etmiş ve deneysel sonuçlarla bulunan akım-gerilim grafikleriyle karşılaştırmış hata oranının 0.01 olduğunu saptamıştır[6].

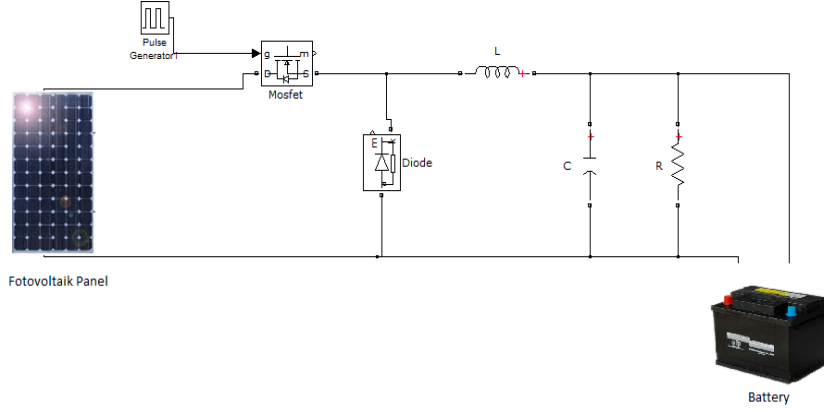
Bu çalışmada FV sistemde kullanılan 35 Volt panel çıkış gerilimini 24 Volt batarya gerilimine sabitleyen alçaltıcı tip DC-DC dönüştürücünün kontrolü yapılmıştır. Sistemin simülasyon modelindeki çıkış gerilimi incelenmiştir ve matematiksel modeli kullanılarak PID kontrolör tasarlanmıştır. Kontrol parametreleri ZN yöntemi ve PSO yardımıyla hesaplanarak sistemin basamak cevapları karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. FV Sistemler (FV Systems)

FV sistemlerin verimleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlerine göre düşük olmasına rağmen; güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilmeleri, yapılarının ve tasarımının basit olması, çevreyi kirletmemeleri gibi avantajlarından dolayı FV sistemler daha fazla ilgi görmektedir. FV sistemler ihtiyaçlarına göre ve verimliliklerini arttırmak için DC-DC dönüştürücü, inverter ve akü gibi elemanlarla birlikte kullanılabilir. Şekil 1'de güneş panelinin DC-DC dönüştürücü ile kullanılması gösterilmiştir.

...Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan DC-DC Dönüştürücünün Kontrolü:..

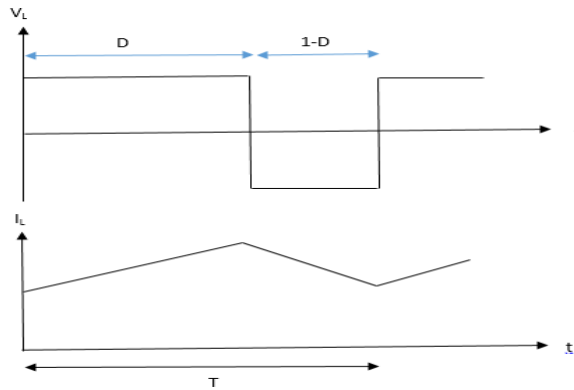


Şekil 1. DC-DC dönüştürücünün FV sistemlerde kullanılması (The usage of DC-DC converter in PV systems)

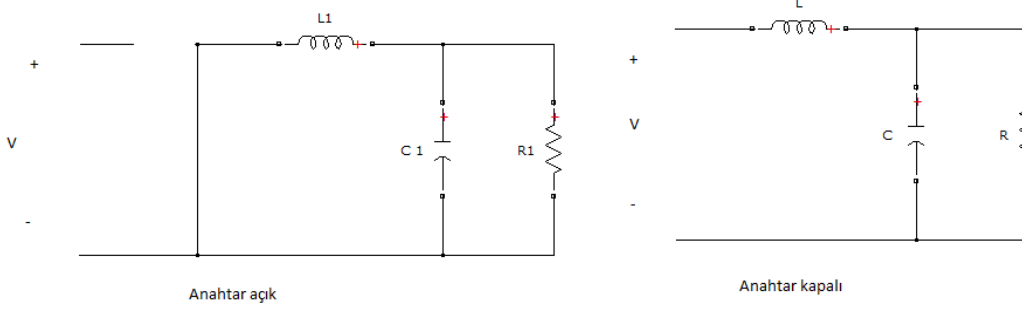
2.2. DC-DC Dönüştürücü (DC-DC Converter)

DC-DC dönüştürücü anahtarlama yolu ile belli bir seviyedeki elektrik gerilimini daha düşük ya da daha yüksek bir seviyeye dönüştüren güç elektroniği sistemleridir. Anahtarlama modlu dönüştürücülerin birçok elektronik sistemde kullanılması, bu dönüştürücülerin tasarımı ve kontrolü konusundaki çalışmaları yoğunlaştırmıştır.[7] DC-DC dönüştürücü doğrusal olmayan, zamanla değişen sistemler olduklarından verimlilikleri DC-DC dönüştürücü devrelerinin tasarımı ve kontrolünde kullanılan denetleyiciye bağlı olarak değişmektedir.[8] Bunun için bu sistemlerin kontrolünde PI, PD ve PID gibi denetleyiciler kullanarak DC-DC dönüştürücülerin her türlü çalışma şartlarında dayanıklı olması ve iyi bir dinamik ve statik cevap vermesi beklenmektedir.

DC-DC dönüştürücüler güç katı ve kontrol katından oluşmaktadırlar. Giriş gerilimine bağlı olarak istenilen büyüklükte çıkış gerilimi elde etmek için güç katı kullanılır ve yarı iletken elektronik elemanlar ve filtreden oluşmaktadır. Kontrol katı ise yarı iletken elektronik malzeme vasıtasıyla anahtarlama işlemini yapmak için sinyal üretir [9]. Şekil 2’de alçaltan tip DC-DC dönüştürücünün anahtarlama sinyali ve bobin akımı gösterilmektedir. Şekil 3’de alçaltan tip DC-DC dönüştürücünün anahtar açık ve kapalı durumundaki devre şekli gösterilmiştir.



Şekil 2. DC-DC Dönüştürücü Anahtarlama sinyali ve bobin akımı (The switching signal and coil current of DC-DC Converter)



Şekil 3. Azaltan tip DC-DC dönüştürücünün anahtarın açık ve kapalı durumu (on and off state of switch of buck converter)

2.3. PID Kontrolör (PID Controller)

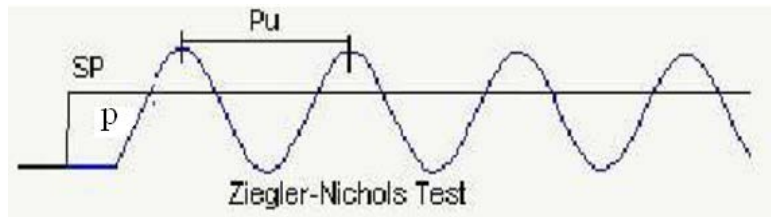
PID etkili kontrolcüler olarak bilinen uygulama kolaylığından ve basit yapısından dolayıyla endüstride çok geniş bir kullanım alanı olan bir kontrol metodudur. P, I ve D kontrol etkilerinin üçünün de avantajlarını bir arada bulunduran etkin bir kontrol uygulamasıdır. Hem lineer hem lineer olmayan sistemlere uygulanabilir. Sistemde çıkabilecek kalıcı durum hatası integral etkili kontrol ile giderilirken, sistemin cevap hızı ve kararlılığı türev etkili kontrol ile artırılmaktadır. Bunun için PID kontrol bloğu sistemin hızlı ve kararlı cevap vermesini sağlayan, kalıcı durum hatasını sıfıra indiren bir kombinasyondur. Denklem (1)'de bir PID kontrollü ifadesi görülmektedir. [10,11]

$$u(t) = K_P [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

Denklem 1'de ; K_p: Oransal Sabit, T_i: İntegral Sabiti T_d: Türev Sabitini ifade etmektedir.

2.4. Ziegler-Nicols Yöntemi (Ziegler-Nicols Method)

Kapalı çevrim ZN Yöntemi'nde, PID kontrolörün I, D katsayıları 0 yapılır. P sistem osilasyona gidene kadar yavaş yavaş artırılır. Elde edilen kazanç değeri K_u olarak ifade edilir. Bu durumda iki tepe arasındaki değer ise P_u değerini ifade etmektedir. K_u ve P_u değerlerini Şekil 4'de gösterilen osilasyon dalgası üzerinde belirtilmiştir[12]. PID katsayılarının belirlenmesi Tablo 1'e göre gerçekleştirilir.



Şekil 4. Sistemin osilasyona gittiği andaki cevabı (The response of system in oscillation time)

Tablo 1. ZN Yöntemi PID parametreleri tablosu (ZN Method of PID parameters table)

Kontrolör Tipi	K _c	t _i	t _d
P	K _u /2	-	-
PI	K _u /2.2	P _u /1.2	-
PID	K _u /1.7	2/P _u	P _u /8

2.5. PSO (Particle Swarm Optimization)

Doğadaki sistemlerin ve canlıların davranışlarından esinlenerek ortaya konulmuş bir çok optimizasyon yöntemi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Örneğin genetik algoritma insan evriminden ilham alınarak ortaya konulmuştur. Yapay sinir ağları ise insan beyninden yola çıkılarak bulunmuş bir metottur. Sosyal sistemin bir sonucu olan bireyler arası etkileşim ve haberleşme bazı davranışları ortaya çıkartmıştır. Bu davranışlar sürü zekâsı olarak adlandırılmaktadır.[13]

PSO, 1995 yılında kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek J. Kennedy ve R.C. Eberhart tarafından geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon tekniğidir. Yapısında çok değişken ve çok parametre barındıran lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.[14]

PSO algoritması genetik algortmada olduğu gibi rastgele çözümlerle başlar ve fonksiyon sürekli güncellenerek optimum değer bulunmaya çalışılır. Ancak PSO nun akış diyagramında çaprazlama ve mutasyon işlemleri olmaz. Bundan dolayı uygulaması basittir. PSO yapısında birer pozisyon ve hız vektörüne sahip parçacık denilen olası çözümler yer almaktadır. Parçacıklar geçen sürede en iyi sonucu elde eden parçacığın bilgilerinden faydalanarak çözüm uzayında dolaşırlar.[13,15]

PSO algoritmasında parçacık olarak adlandırılan her bir kuş arama uzayında bir çözümü ifade eder. Bir parçacığın bulunduğu koordinatlara ve hızına göre kuşun yiyeceğe olan uzaklığını belirten bir fonksiyon belirlenir ve bu fonksiyon çözüme olan yakınlığı ifade eder.[13]

PSO algoritması arama uzayında tüm parçacıkların rastgele bir konum almasıyla başlar ve her adımda komşularının en iyi koordinatlarına ve kendi en iyi koordinatlarına göre parçacıkların pozisyonları güncellenir. En iyi sonucu bulmak için arama işlemi bu şekilde devam eder. Bunun için parçacıkların geçen sürede elde ettikleri en iyi sonuçlar ve bu sonuçların koordinatları saklanmalıdır.[13,16]

Parçacıklar reel değerli rastgele olarak üretilmiş n boyutlu arama uzayında hareket ederler. Durum uzayında her bir parçacığın V_{ij} , hız vektörü ve X_{ij} , pozisyon vektörlerine sahiptirler. Burada i parçacığı j ise boyutu belirtmektedir. Ayrıca parçacıklar o zamana kadar elde edilen kendi en iyi pozisyonu(P_{best}) ile tüm parçacıklar tarafından elde edilen global en iyi pozisyon (g_{best}) vektörlerini bir sonraki durun için saklarlar. Herhangi bir durumda i. Parçacığa ait P_{best} vektörü denklem (2)'de gösterilmiştir.[13,17]

$$P_{besti} = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in}] \quad (2)$$

G_{best} vektörü tüm parçacıklar için aynıdır ve (3)'de gösterilmiştir.

$$g_{best} = [g_1, g_2, \dots, g_n] \quad (3)$$

sürüdeki parçacıklara ait hız(V_{ij}) ve konum matrisleride (X_{ij}) (4) ve (5)'de gösterilmiştir.

$$X_{ij} = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}] \quad (4)$$

$$V_{ij} = [V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}] \quad (5)$$

Parçacıkların $V(t)$ hız değerleri her adımda denklem (6)'da ki formül ile $V(t+1)$ i elde etmek için güncellenir.

$$V_{ij}(t+1) = w * V_{ij}(t) + c_1 r_1 * [p_{besti,j}(t) - x_{ij}(t)] + c_2 r_2 * [g_{best}(t) - x_{ij}(t)] \quad (6)$$

(6)'da ki c_1 ve c_2 genellikle [0-2] aralığında seçilen hızlandırma katsayılarıdır. Aynı şekilde r_1 ve r_2 de [0-1] aralığında rastgele üretilen düzgün dağıtılmış sayılardır. w ise atalet ağırlığını göstermektedir. [17]

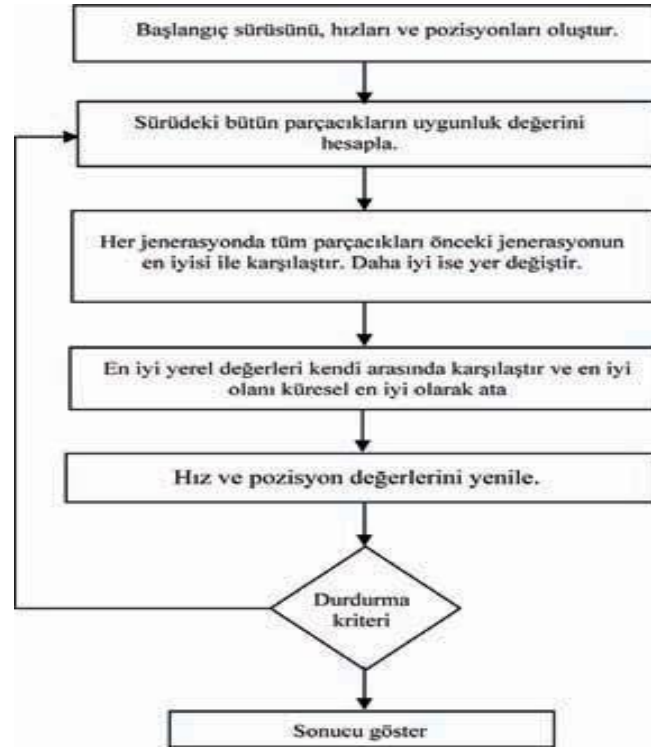
$$w = w_1 - w_2 * \frac{Maxiter - iter}{Maxiter} + w_2 \quad (7)$$

Formülde w_1 sabit başlangıç w_2 ise bitiş değerleridir. Aynı şekilde (7) eşitliğinden yararlanarak parçacığın önceki pozisyon değerine yeni hız değeri eklenerek parçacığın yeni konumu belirlenir.

$$X_{ij}(t+1) = X_{ij}(t) + V_{ij}(t+1) \quad (8)$$

(6) deki formül içeriğinde bir önceki adımın hız bilgisini, parçacığın en iyi pozisyonu ile bir önceki adımın konumu arasındaki faktan oluşan idrak kısmı ve bütün parçacıkların elde ettiği en iyi konum ile parçacığın bir önceki adımdaki konumu arasındaki faktan oluşan sosyal kısmını içerir. [18]

Bu şekilde (6)'da ki eşitlikten parçacığın bir sonraki hızı bulunarak (8)'da ki denkleme konular ve parçacığın bir sonraki konumu belirlenerek parçacık bu konuma hareket eder. Yani iyi çözümler elde eden parçacıkların bilgileri sürünün tamamıyla paylaşılmış olur ve parçacıklar elverişli alanlara hareket ederler. [13]

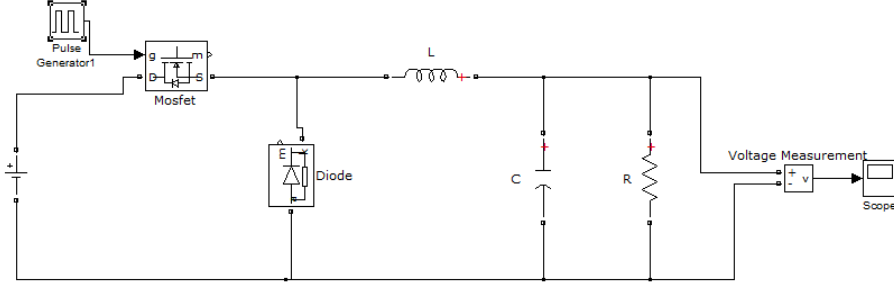


Şekil 5. PSO akış şeması (PSO flow chart)

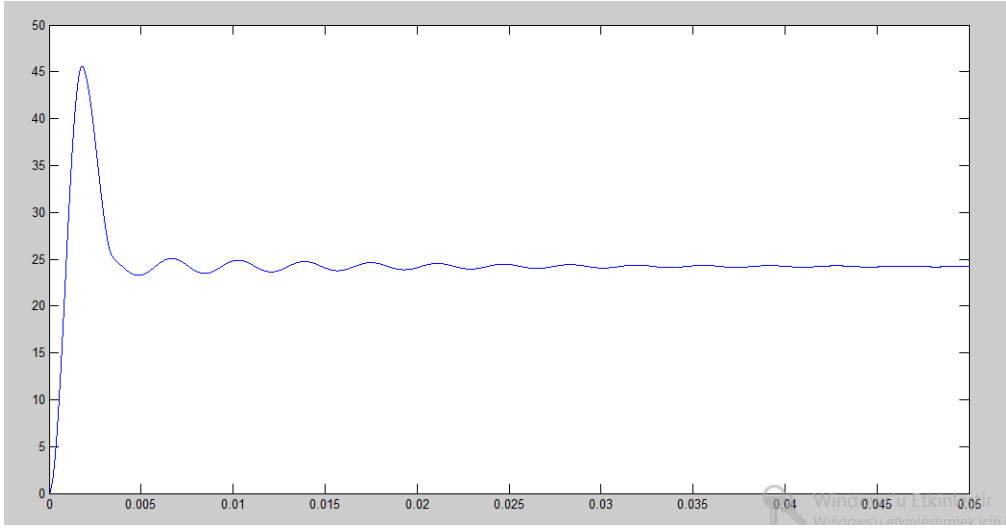
3. BULGULAR (FINDINGS)

PV DC-DC dönüştürücünün çıkış geriliminin değerini belirli bir referansta sabit tutulması için kurulan devre Şekil 6'da gösterilmiştir. FV sistem DC-DC dönüştürücünün sabit anahtarlama ile kontrolsüz bir şekilde çalıştırılması durumunda elde edilen çıkış geriliminin dalga şekli Şekil 7'de gösterilmiştir. DC-DC dönüştürücü

ile 35 Volt açık devre gerilimine sahip PV panel gerilimi 24 V sabit değerine dönüştürülmüştür. Sabit değerine ulaşabilmesi için 45 ms zamana ihtiyaç duyulduğu Şekil'7 den anlaşılmaktadır.

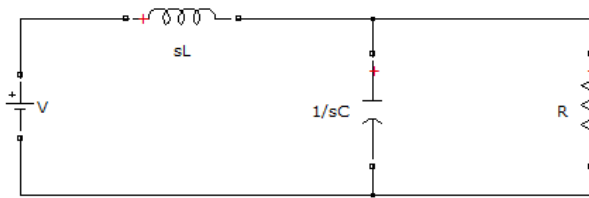


Şekil 6. DC-DC dönüştürücü simulink devresi (DC-DC converter simulink circuit)



Şekil 7. DC-DC dönüştürücü simulink modeli çıkış gerilimi (The output voltage of DC-DC converter simulink model)

Şekil 8'de gösterilen eşdeğer devre kullanılarak DC-DC dönüştürücü transfer fonksiyonu elde edilir. Elde edilen Transfer fonksiyonu denklem (11)'de verilmiştir. D anahtarın kapalı kalma süresini ifade etmektedir.

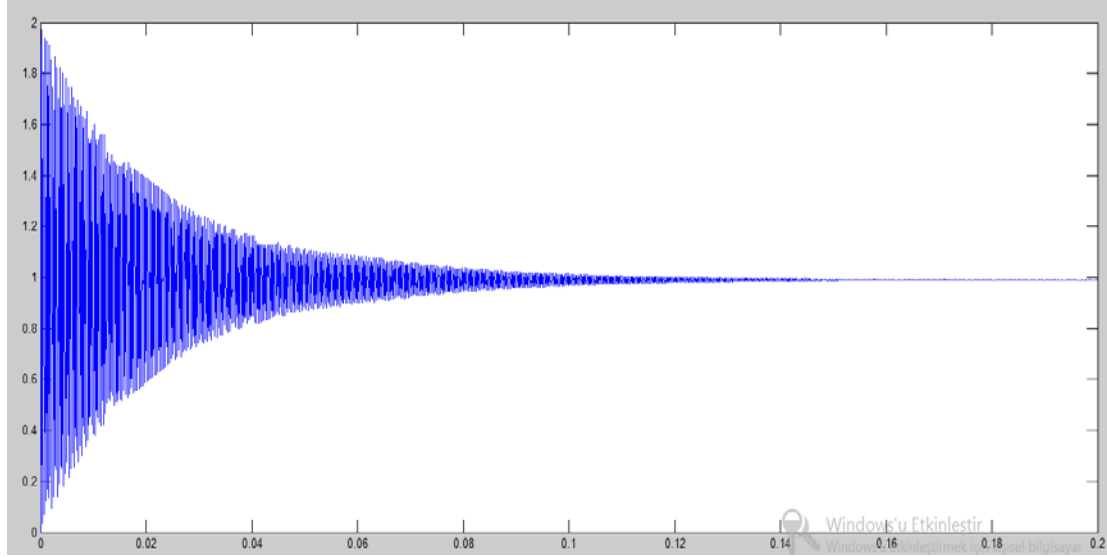


Şekil 8. DC-DC dönüştürücünün eşdeğer devresi (The equivalent circuit of of DC-DC converter)

$$H(s) = D \frac{1}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{1}{LC}} \quad (9)$$

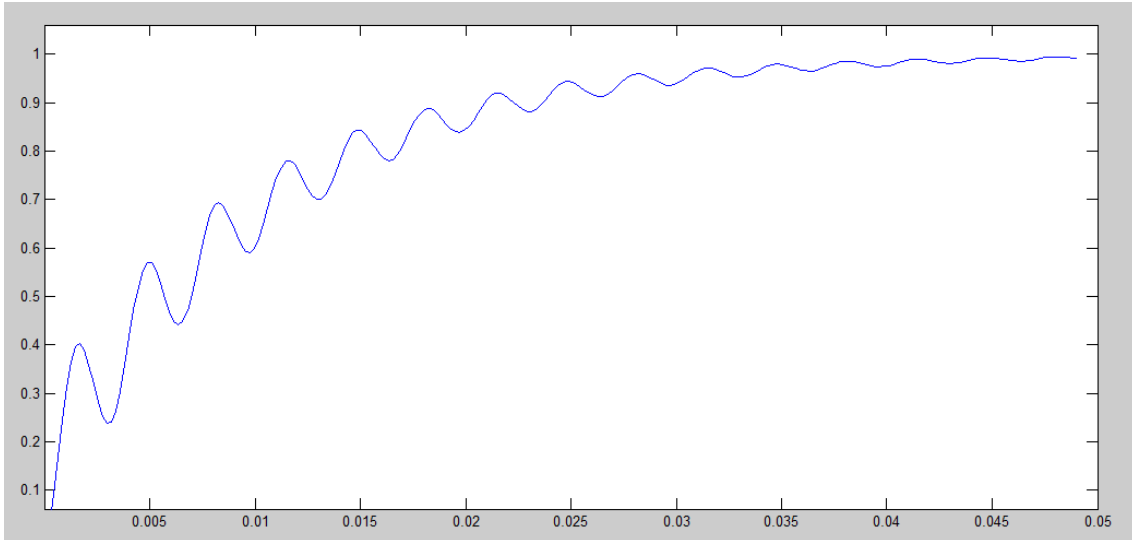
Transfer fonksiyonu herhangi bir şekilde kontrol edilmeden kullanıldığında sistemin birim basamak cevabı Şekil 9'da gösterilmiştir. Sistemin basamak cevabı denklem 10 da verilmiştir. Bu durumda sistemin 24 V referans gerilim değerine 150 ms sürede ulaştığı görülmüştür.

$$H(s) = \frac{1515151}{s^2 + 90.90s + 3030303} \quad (10)$$



Şekil 9. Kontrolsüz çıkış basamak cevabı (Uncontrolled output step response)

ZN yöntemi ile sistemin PID katsayılarının belirlenmesinden sonra, bu değerler kullanılarak yapılan PID kontrol çalışması neticesinde elde edilen çıkış cevabı Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu durumda sistemin 24 V referans gerilim değerine 50 ms sürede ulaştığı görülmüştür. ZN yöntemi ile elde edilen PID katsayı değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

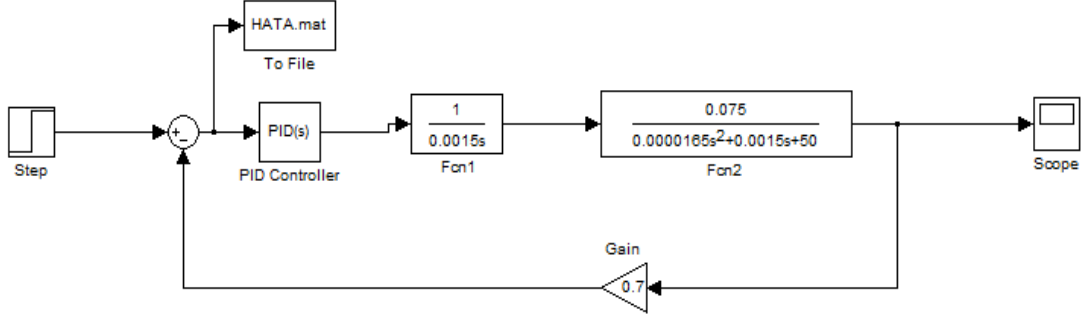


Şekil 10. ZN metodu yardımı ile yapılan kontrolün basamak cevabı (The step response of system control with the help of ZN method)

Tablo 2. ZN metodu ile bulunan PID değerleri(PID values calculated by ZN method)

ZN	Kc	Ti	Td
PID	0.3555	0.0016	0.00039628

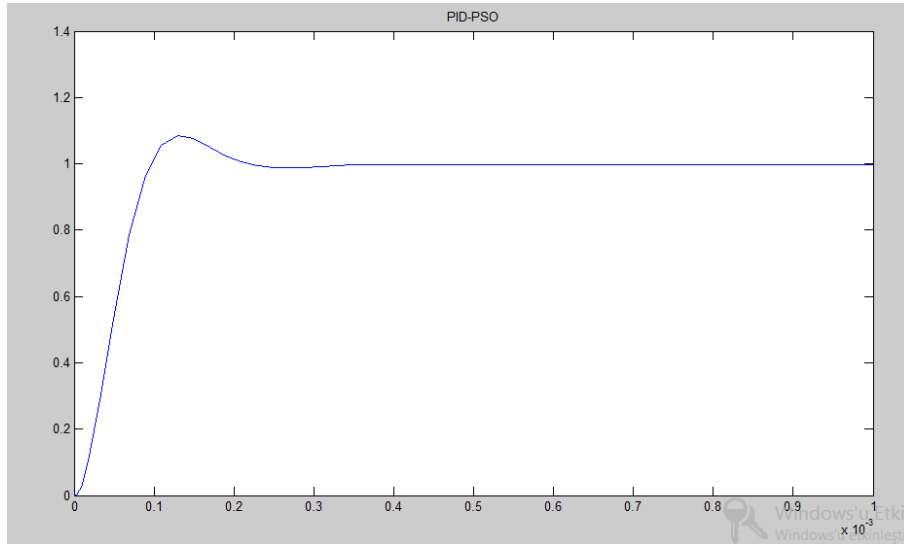
FV sistem DC-DC dönüştürücü çıkış işareti ile basamak işareti karşılaştırılarak hata fonksiyonu elde edilir. Bu durum Şekil 11’de gösterilmiştir. Hata fonksiyonu minimum yapacak Kp, Ki, Kd parametreleri PSO algoritması yardımı ile hesaplanmış ve bu değerlere göre PID kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. PSO ile elde edilen çıkış Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Sistemin simulink modeli (Simulink model of system)

Tablo 3. PSO yardımı ile bulunan PID parametreleri(PID parameters calculated with the help of PSO)

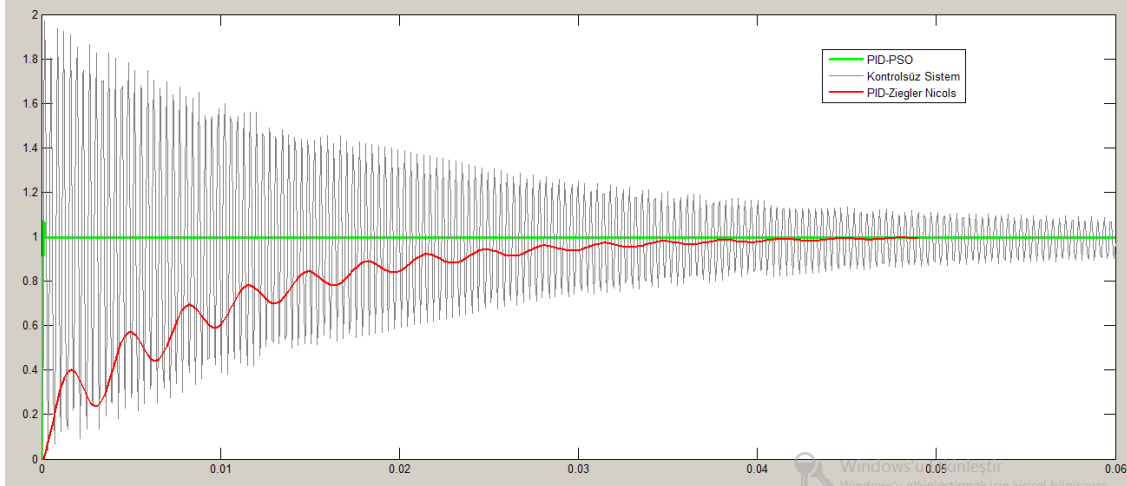
PSO	Kp	Ki	Kd
PID	493.8879	0.001	0.025



Şekil 12. PSO yardımı ile yapılan kontrolün basamak cevabı(The step response of system control with the help of PSO)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada bir arama algoritması olan PSO'nun temel prensibi verilip, DC-DC dönüştürücünün PID kontrolörüne uygulaması yapılmıştır. PSO yardımı ve ZN yöntemi ile PID parametreleri K_p , K_i , K_d değerleri hesaplanıp DC-DC dönüştürücü kontrol edilerek sistemin basamak cevabı incelenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Sistemin kontrolsüz, PID-ZN ve PID-PSO birim basamak cevabı (The step response unit uncontrolled system, PID-ZN and PID-PSO)

Tablo 4. Kontrollü ve kontrolsüz sistemlerin oturma zamanları (The settling time of the controlled and uncontrolled system)

	Oturma Zamanı(msn)
Kontrolsüz Sistem	150
ZN ile kontrol	50
PSO ile Kontrol	0.3

Tablo 4'de sistemin kontrolsüz istenilen gerilime gelme zamanı ile ZN ve PSO yardımı ile tasarlanmış kontrollü sistemlerin istenilen gerilime gelme zamanları gösterilmiştir. FV sistemlerde kullanılan DC-DC dönüştürücü çıkış gerilim değeri ışınım, sıcaklık gibi atmosferik şartlar veya yük değişimlerinde değişebilmekte ve bu değişim uygulanan kontrol yöntemi sayesinde çıkışa yansıtılmaz ve sabit çıkış ile sistem çalışmasını sürdürür. Sonuç olarak sistemin kararlılığı, cevap verme süresi, oturma zamanı gibi değişkenler açısından incelendiğinde PSO ile PID katsayıları belirlenmiş bir kontrolün daha etkin sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Elshaer M., Mohamed A., Smart Optimal Control of DC-DC Boost Converter in PV Systems *2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America* 403-410
- [2]. Thao N. G. M., Dat M. T., Binh T.C., Phuc N.H., PID-Fuzzy Logic Hybrid Controller For Grid-Connected Photovoltaic Inverters *IFOST 2010 Proceedings* 1-5
- [3]. Wu W.; Ye Y.; Liu Y. Small signal modeling of a novel single-phase photovoltaic inverter *Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPEMC '09. IEEE 6th International* 2188-2192
- [4]. Eltawil, M. A., and Zhao, Z., 2010, Renewable and Sustainable Energy Reviews, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14,112-129. doi: 10.1016/j.rser.2009.07.015

- [5]. Meiqin M., Jianhui S., Chang L., Guorong Z., Yuzhu Z., Controller For 1kw-5kw Wind Solar Hybrid Generation Systems *CCECE/CCGEI* may 5-7 2008 niagara falls 2008 ieeec 1175-1178
- [6]. Petcut F. M., Dragomir T. L., Solar Cell Parameter Identification Using Genetic Algorithms *CEAI* vol 12 no 1 pp 30-37 2010
- [7]. Aslan, M., Güldemir, H., “Yükseltici Tip Da-Da Dönüştürücünün Kayma Mod Kontrolü” *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9.Cilt, 2.Sayı 2005 (18-25)
- [8]. Atacak, İ., Bay, Ö. F. ,” Tuning Gain Parameters Of A PI Controller Using Genetic Algorithm For Boost Dc-Dc Converter” 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- [9]. Ürgün, S., Erfidan, T., Çoruh, N.,”Design and Implementation of DC-DC Buck Converter “ www.roboturk.googlecode.com
- [10]. Çelikel, H. K., “Taşıt Süspansiyon Sistemlerinin Bulanık Mantık Ayarlı Pıd Kontrolü” *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi* Haziran, 2006 (15-28)
- [11]. Savaşçihabeş A., Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak Pıd Denetleyici Parametrelerinin Belirlenmesi *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Mayıs 2008 KAYSERİ (35-42)
- [12]. ERDOĞAN, M.E., 2006, “Bir Sistemin Öz Uyarlamalı Bulanık PID Kontrolör İle Kontrolü” *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. F.B.E.*, 4-11.
- [13]. Delice, Y., Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Yapay Sinir Ağlarından Sınıflandırma Kuralı Çıkarımı *Yüksek lisans tezi Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü Kayseri* (74-80)
- [14]. Kennedy, J., Eberhart, R.” Particle Swarm Optimization”, *IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, *IEEE Service Center*, Piscataway, NJ, 1942-1948, 1995.
- [15]. Arumugam, M. S., Chandramohan, A.,” A New and Improved Version of Particle Swarm Optimization Algorithm with Global-Local Best Parameters,” *Knowl Inf Syst, DOI* 10.1007/s10115-007-0109-z, 2007
- [16]. Zhang, J. R., Zhang, J., Lok, T. M., Lyu, M. R.,” A Hybrid Particle Swarm Optimization Back-Propagation Algorithm for Feedforward Neural Network Training”, *Applied Mathematics and Computation*, 185, 1026-1037, 2007.
- [17]. Fan, S. K. S. and Chiu, Y. Y.,” A Decreasing Inertia Weight Particle Swarm Optimizer, *Engineering Optimization*”, 39:2, 203 – 228, 2007.
- [18]. Shi, Y. and Eberhart, R. C.,” A Modified Particle Swarm Optimizer”, *In The IEEE International Conference of Evolutionary Computation*, Anchorage, Alaska, 69–73, 1998.