Fotovoltaik Sistemler için Bulanık – PI Denetleyici Tabanlı MPPT Denetimi

Fuzzy – PI Based MPPT Control for Photovoltaic Systems

Ö. Fatih Keçecioğlu
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Kahramanmaraş, Türkiye
fkececioglu@ksu.edu.tr

Hakan Açıkgöz
Elektrik ve Enerji Bölümü
Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Kilis, Türkiye
hakanacikgoz@kilis.edu.tr

Ahmet Gani
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Kahramanmaraş, Türkiye
agani@ksu.edu.tr

Özetçe—Maksimum Güç Noktası Takibi, fotovoltaik sistemlerin atmosfer koşullarından doğrudan etkilenen performansından ötürü fotovoltaik sistemlerde bulunması gereken en önemli özelliklerden biridir. Bu çalışmada maksimum güç noktası takibi için bulanık – PI denetleyici tabanlı DA-DA dönüştürücü yapısı önerilmiştir.Bu yapının performansını doğrulamak için Matlab / Simulink ortamı kullanılarak benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, önerilen bulanık–PI denetleyicinin değişen atmosferik koşullar altında klasik PI denetleyiciye göre daha üstün bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler—Maksimum Güç Noktası Takibi, DA-DA Dönüştürücü, Bulanık-PI Denetleyici.

Abstract—Maximum power point tracking is one of the major functions of photovoltaic system because of the performance of photovoltaic system directly affected by atmospheric conditions. In this study, a DC-DC converter structure based on fuzzy-PI controller is proposed for maximum power point tracking to validate the performance of this configuration, a simulation model is realized by using Matlab/Simulink environment. Proposed fuzzy –PI controller has a superior performance against to classic PI controller under varying atmospheric conditions.

Keywords— Maximum Power Point Tracking, DC-DC Converter, Fuzzy-PI Controller.

I. GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji talebi ve konvansiyonel enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı elektrik üretimi için oldukça önemli hale gelmiştir. Güneş enerjisi, yüksek güvenilirliğe sahip temiz ve yeşil enerjidir. Fotovoltaik (FV) tabanlı güç üretimi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı güç üretimi ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir: Bununla birlikte, fotovoltaik tabanlı enerji üretim sistemlerinin, değişken güneş ışınımı ve hava koşullarına bağlı olarak nispeten düşük güneş panel verimi, dengesiz çıkış gerilimi gibi birtakım dezavantajları vardır[1], [2].

Bir fotovoltaik tabanlı enerji üretim santrali aşağıdaki gibi üç ana bölümden oluşur: Fotovoltaik panel dizisi, DA-DA dönüştürücü ve yük. Literatürde fotovoltaik sistemler için kullanılan birçok DA-DA dönüştürücü topolojisi vardır. En yaygın kullanılan dönüştürücü topolojileri sırasıyla azaltıcı, arttırıcı ve azaltıcı-arttırıcı dönüştürücülerdir[3], [4].

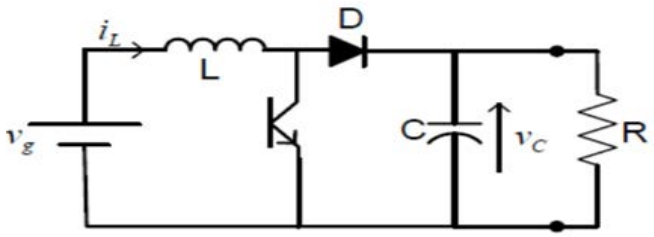
Fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin çıkışı,güneş ışınımı ve panel sıcaklığına doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, fotovoltaik panel dizisinin çıkış gerilimi ve akım (V-I) karakteristik eğrisi doğrusal değildir. Genel olarak fotovoltaik panel dizisi karakteristik eğrilerinde maksimum güç noktası denilen optimum bir nokta vardır ve fotovoltaik panel dizisi bu noktada maksimum çıkış gücü üretir. Bu nedenle, fotovoltaik sistemler için maksimum güç üretimi için maksimum güç noktası izleyici (MPPT) sistemi gereklidir. Literatürde tepe tırmanma, değiştir ve gözle (P&O), artan iletkenlik ve bulanık mantık denetleyici (BMD) gibi pek çok maksimum güç noktası takip tekniği vardır.(P & O) ve artan iletkenlik yöntemleri, uygulama kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemlerin düşük dinamik izleme performansı ve kararlı durumdaki yüksek dalgalanma bandına sahip olması fotovoltaik sistemler için güç kaybına yol açar. Bu çalışma, fotovoltaik sistemde maksimum güç noktası izleyicisi olarak DA-DA dönüştürücünün denetlenmesi için geliştirilen bulanık PI denetimine dayanan akıllı bir maksimum güç noktası izleme algoritmasına odaklanmaktadır.

II. DA-DA YÜKSELTEN TİP DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN MODELLENMESI

İdeal bir yükseltici dönüştürücü yapısı,şekil 1'de görüldüğü gibi yarı iletken anahtar, diyot, bobin ve kapasite elemanlarından oluşmaktadır. Şekil 1'de verilen yükseltici DA-DA dönüştürücü dTs ve (1-d)Ts olmak üzere iki adet çalışma modundan oluşmaktadır. Yarı iletken anahtar ve D diyot iki adet ideal anahtar gibi düşünülerek sürekli zamanda DA-DA dönüştürücüyü tanımlayan diferansiyel denklemler zaman domeninde ifade edilecektir.

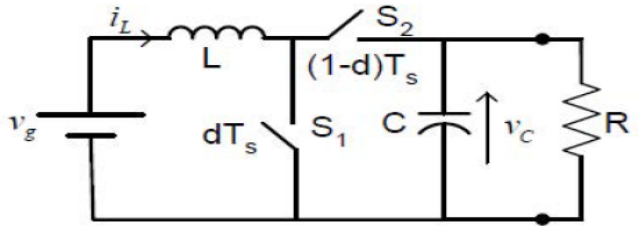
978-1-5386-7786-5/18/$31.00 ©2018 IEEE

Authorized licensed use limited to: Kayseri University. Downloaded on January 02,2025 at 11:31:08 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.



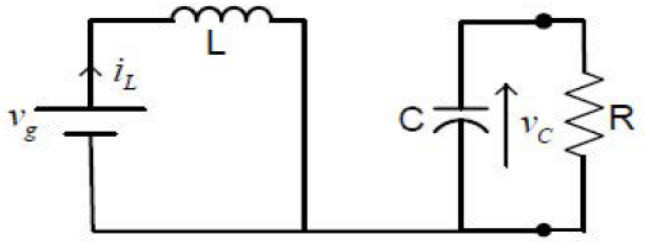
Şekil 1.Yükseltici tip DA-DA dönüştürücünün devre modeli.

Anahtarlama elemanlarının iletim zamanları ile beraber durumları şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Anahtarlama elemanlarının iletim durumları.

Vg gerilimi, Vc çıkış kondansatör gerilimi, i_L indüktans akımı, ve Ts anahtarlama periyodu olmak üzere; S_1 anahtarı dTs süresince ve S_2 anahtarı (1-d)Ts süresince kapalı kalacaktır. Bu bilgilerden yola çıkarak durum denklemleri her bir mod için aşağıdaki gibi yazılabilir. dTs çalışma moduna ait eşdeğer devre şekil 3'de verilmiştir.



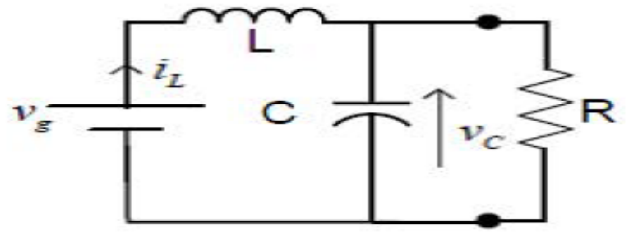
Şekil 3. dTs çalışma moduna ait eşdeğer devre.

dTs çalışma moduna ait diferansiyel denklemler denklem 1-2'de verilmiştir.

$$L\frac{di_L}{dt} = V_g \tag{1}$$

$$C\frac{dV_c}{dt} = \frac{-V_c}{R} \tag{2}$$

(1-d)Ts çalışma moduna ait eşdeğer devre şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 4. (1-d)Ts çalışma moduna ait eşdeğer devre.

(1-d)Ts çalışma moduna ait diferansiyel denklemler denklem 3-4'de verilmiştir.

$$V_g - L\frac{di_L}{dt} - V_c = 0 \tag{3}$$

$$c\frac{dV_c}{dt} = \left(i_L - \frac{V_c}{R}\right) \tag{4}$$

Yükseltici tip DA-DA dönüştürücü için ortalama durum uzay modeli, belirlenen çalışma noktasındaki doluluk oranı; $D = T_{on} / T_s$ (T_{on}: anahtarlama elemanın iletim süresi) civarında örnekleme periyodu T_s için elde edilen ortalama değer katsayıları denklem 5-7'de verilmiştir.

$$A = A_1 D + A_2(1-D) \tag{5}$$

$$B = B_1 D + B_2(1-D) \tag{6}$$

$$C = C_1 D + C_2(1-D) \tag{7}$$

Yükseltici DA-DA dönüştürücüye ait ortalama durum uzayı modeli denklem 8-9'da verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} \frac{di_L(t)}{dt} \\ \frac{dV_c(t)}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{(1-D)}{C} & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{pmatrix} \left(V_g(t)\right) \tag{8}$$

$$y(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} \tag{9}$$

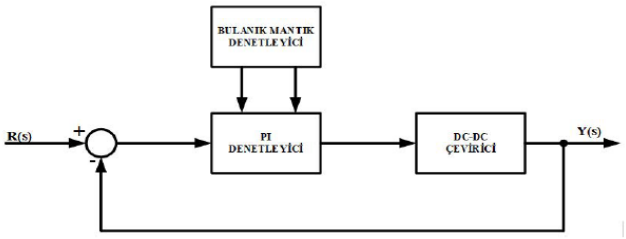
III. BULANIK – PI DENETİM ESASLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ

1960 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanır. Bulanık bir küme, ikili mantıktan farklı olarak net veya iyi tanımlanmış bir sınır olmayan kümedir. Bulanık kümenin tüm elemanları, üyelik fonksiyonları tarafından verilen belli bir dereceye aittir. Bulanık mantık, bilgi tabanlı bir yaklaşıma sahip ve geleneksel olmayan bir denetim sistemidir. Uzman kişinin denetlenecek sistem hakkındaki bilgisi, basit IF-THEN kuralları olarak bilgi tabanında saklanır ve bu bilgi tabanı, bir çıkarım mekanizmasını kullanarak uygun denetim işaretini ortaya çıkarmak için bulanık mantık denetleyici (BMD) tarafından kullanılır. Ayrıca bulanık mantık denetleyicinin en önemli avantajlarından biri de denetlenecek sistemin herhangi bir matematiksel ya da indirgenmiş modeline ihtiyaç duymamasıdır[3], [4].

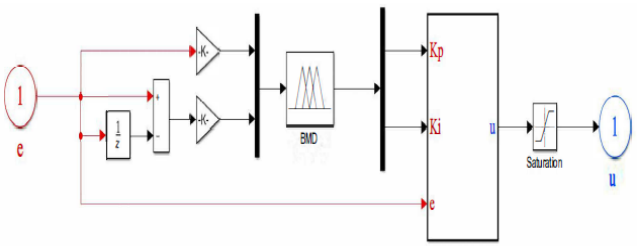
Klasik denetleyicilerden olan oransal integral (PI) denetleyiciler basit yapılarından dolayı birçok sistemin denetimde kullanılmaktadır. Fakat bu denetleyicilerin kazanç parametrelerinin belirlenmesi için sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duyulmakta ya da uzman kişi tarafından deneme yanılma yolu tercih edilmektedir. Bununla birlikte PI denetleyiciler, sabit kazanç parametrelerinden dolayı doğrusal olmayan sistemlerin denetimde başarılı bir performansa sahip değildir. Bu çalışmada, PI denetleyicilerin parametrelerinin belirlenmesinde bulanık mantık denetleyici yapısı kullanılmıştır.

Authorized licensed use limited to: Kayseri University. Downloaded on January 02,2025 at 11:31:08 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

Şekil 5 ve 6'da Bulanık-PI denetleyici yapısına ait blok diyagram ve Matlab modeli verilmiştir. Bulanık-PI denetleyici yapısının ana amacı, PI denetleyicinin kazanç parametrelerinin online olarak bulunmasıdır.



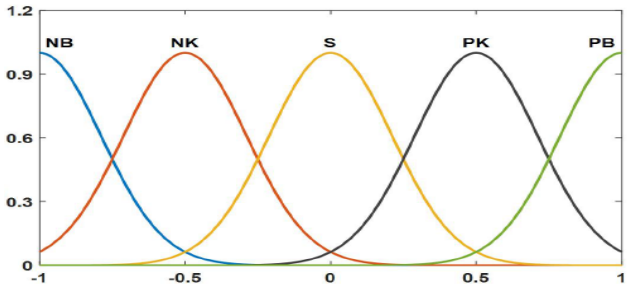
Şekil 5. Bulanık-PI denetleyici yapısının blok diyagramı



Şekil 6. Bulanık-PI denetleyici yapısının matlab modeli

Şekil 6'deki denetleyici yapısında, bulanık mantık denetleyiciye giriş olarak hata (e) ve hatadaki değişim (de) uygulanmıştır. Bu girişleri ölçeklendirmek için belirli değerlere sahip kazançlar eklenmiştir. Bulanık mantık denetleyicinin çıkışından ise Kp ve Ki parametreleri elde edilmektedir. Bu parametreler ile başlangıç için seçilen parametreler toplanarak yeni Kp ve Ki değerleri bulunur.

Denetleyici yapısının girişleri ve çıkışları için; NK: Negatif Küçük, NB: Negatif Büyük, S: Sıfır, PK: Pozitif Küçük, PB: Pozitif Büyük olmak üzere 5 sözel değişkenden oluşan gauss üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Şekil 7'de bulanık denetim için seçilen gauss üyelik fonksiyonları verilmiştir.



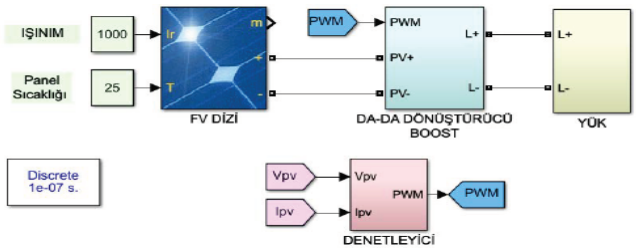
Şekil 7. Bulanık denetim için seçilen gauss üyelik fonksiyonları

IV. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde fotovoltaik sistemlerde bulanık–PI denetleyici tabanlı maksimum güç noktası denetimi için MATLAB / Simulink ve Sim Power System Toolbox kullanılarak benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan benzetim modeli fotovoltaik panel dizisi, DA-DA yükselten tip dönüştürücü, yük ve denetleyiciyi içermektedir. Maksimum güç noktası takibi algoritması için artan iletkenlik yöntemi seçilmiştir. Artan iletkenlik yöntemi, hesaplaması için denetleyici giriş değişkenleri olarak iletkenlik ve iletkenlik artışı kullanılmıştır[4]–[6]. Benzetim çalışması için tasarlanan Matlab modeli şekil 8'de verilmiştir. Bu benzetim çalışması iki durum altında incelenmiştir. Bunlar;

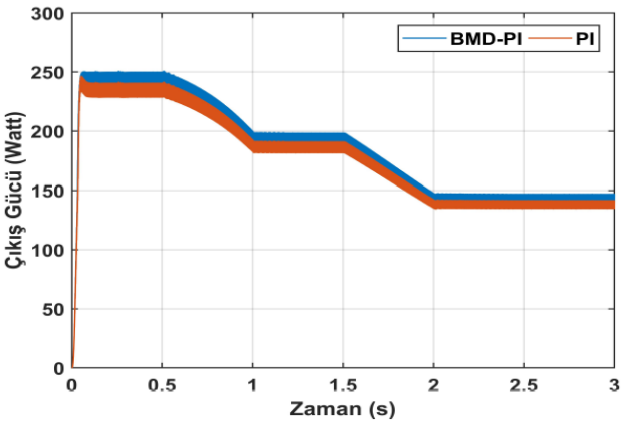
Durum 1: Bu durumda ışınım değeri 1000W/m^2'den 600W/m^2'ye kademeli olarak düşürülmüş ve panel sıcaklık değeri ise 25°C olarak sabitlenmiştir.

Durum 2: Bu durumda ışınım değeri 1000W/m^2'de sabit tutulmuştur. Panel sıcaklık değeri ise ilk olarak 25°C'ye ayarlanmış ve kademeli olarak değiştirilmiştir.



Şekil 8. Benzetim çalışması Matlab/Simulink modeli.

Durum 1: Benzetim çalışmalarının bu kısmında önerilen denetleyicinin ışınım değişimlerine karşı gösterdiği performans klasik denetleyicilerden olan PI denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Toplam benzetim çalışma süresi 3 sn olarak belirlenmiştir. Bu süre zarfı içerisinde ilk olarak ışınım değeri 1000W/m^2 olarak belirlenmiştir. 0.5, 1, 1.5 ve 2. saniyelerde ışınım miktarı sırasıyla 800 W/m^2 ve 600W/m^2 değerlerine düşürülmüştür. Benzetim çalışmasından elde edilen dönüştürücü çıkış gücü şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi önerilen denetleyici yapısına sahip olan maksimum güç takip sistemi modelinde dönüştürücü çıkış gücü en uygun değerlere daha yakındır. Böylece fotovoltaik sistemin veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

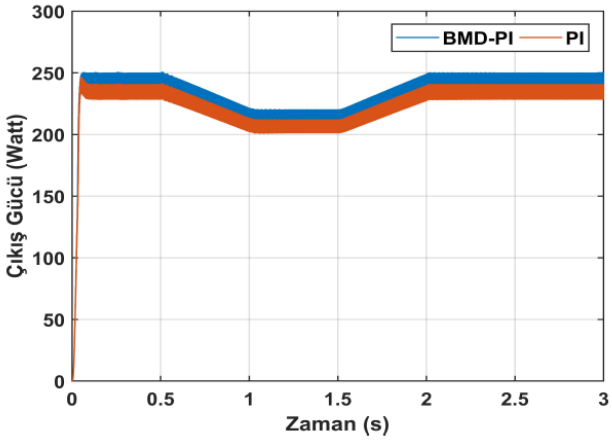


Şekil 9. Durum 1 için dönüştürücü çıkış gücü.

Durum 2:

Bu benzetim çalışmasında ışınım miktarı 1000W/m^2 sabitlenmiş fakat panel sıcaklık değeri rampa fonksiyonu olarak değiştirilmiştir. Başlangıçta 25°C olan panel sıcaklığı 0.5. saniyede 45°C'ye yükseltilmiş ve 1.5. saniyede tekrardan 25°C'ye düşürülmüştür. Sıcaklık üzerindeki bu değişimlere karşı önerilen denetleyici ve PI denetleyicinin performansları aynı grafik üzerinde verilerek şekil 10'da gösterilmiştir. Sıcaklık 45°C'ye geldiğinde dönüştürücü çıkış gücü önerilen denetleyici için 217.8W olarak, klasik PI denetleyici için ise bu değer 205.2 W olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan sıcaklık değişimlerine karşı önerilen denetleyicinin dayanıklılığının daha fazla olduğu görülmektedir.

Authorized licensed use limited to: Kayseri University. Downloaded on January 02,2025 at 11:31:08 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.



Şekil 10. Durum 2 için dönüştürücü çıkış gücü.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, fotovoltaik sistemin maksimum güç noktası takibi için yükselten tip DA-DA dönüştürücü ve bulanık - PI denetleyicisi ile birleştirilmiş yapılandırma önerilmiştir. Önerilen denetleyici yapısı, ışınım ve panel sıcaklık değişimlerine karşı fotovoltaik sistemin verimini ve kararlılığını arttırmak için kullanılmıştır. Önerilen denetleyici performansını değerlendirmek için MATLAB / Simulink ortamında bir benzetim modeli geliştirilmiştir.Önerilen yapının performansını değerlendirmek için iki durum altında benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, klasik PI denetleyicilerinin sabit parametrelerinin yerine çevrimiçi olarak bulanık mantık denetleyici ile bulunan kazanç parametrelerine sahip PI denetleyicinin performansı oldukça tatmin edicidir.

VI. KAYNAKÇA

[1] Sivakumar S, Sathik MJ, Manoj PS, Sundararajan G. An assessment on performance of DC-DC converters for renewable energy applications.Renew Sust Energ Rev 2016; 58: 1475-1485.

[2] Mohapatra A, Nayak B, Das P, Mohanty KB. A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition. Renew Sust Energ Rev 2017; 80: 854-867.

[3] Yilmaz U, Kircay A, Borekci S. PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. Renew Sust Energ Rev 2018; 81:994-1001.

[4] Shiau JK, Wei YC, Chen BC. A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables.Algorithms 2015; 8(2): 100-127.

[5] Kashif I, Zainal S, Syafaruddin. A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model. Solar Energy 2011; 85(9): 2217-2227.

[6] Latif T, Hussain Syed R. Design of a charge controller based on SEPIC and Buck topology using modified Incremental Conductance MPPT,In: Proceedings of the 8th international conference on electrical and computer engineering. Dhaka, Bangladesh; 20–22 December, 2014.

Authorized licensed use limited to: Kayseri University. Downloaded on January 02,2025 at 11:31:08 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.