Fırat Üniversitesi Uzay ve Savunma Teknolojileri Dergisi
1(1), 8-13, 2022 Araştırma Makalesi

Yüksek Kazançlı Luo Çevirgeç için Uyarlamalı Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi Tabanlı Gerilim Düzenleyici Tasarımı

Design of Voltage Regulator Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for High Gain Luo Converter

Ahmet Gani

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
ahmetgani@kayseri.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, sürekli iletim modunda çalışan temel seri yüksek kazançlı süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin çıkış gerilim denetimi için uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi tabanlı gerilim düzenleyici tasarlanmıştır. Tasarlanan gerilim düzenleyicinin dinamik performansı farklı denetim senaryoları ile analiz edilmiştir. Bu amaçla ilk olarak temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin devre modeli analiz edilmiş ve devre eleman sınır değerleri belirlenmiştir. Daha sonra tasarlanan gerilim düzenleyicinin dinamik performansı referans gerilim değişimi, giriş gerilimi değişimi ve yük değişimi gibi bozuculara karşı Matlab/Simulink benzetim ortamında incelenmiştir. Benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar tasarlanan gerilim düzenleyicinin bütün denetim durumları için yerleşim zamanı ve aşım gibi performans kriterleri açısından oldukça etkin ve dayanıklı bir dinamik performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Abstract

In this study, output voltage regulator based on adaptive neuro-fuzzy inference system is designed for control of basic series high gain super voltage lift Luo converter operating at continuous conduction mode. Dynamic performance of designed voltage regulator is analyzed with different control scenarios. For this aim, firstly circuit model of basic series super-lift Luo converter model was analyzed and boundary values of circuit elements were determined.Later, the dynamic performance of designed voltage regulator were evaluated in Matlab/Simulink against various disturbances such as changes in reference voltage, input voltage and load. The results obtained from the simulation study showed that the designed voltage regulator has a very effective and durable dynamic performance in terms of performance criteria such as settling time and overshoot for all control situations.

1. Giriş

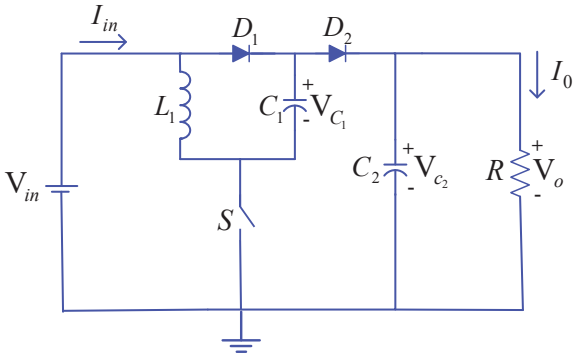
DA-DA çevirgeçler farklı giriş gerilimi ve yük değerlerinde geniş ve regüleli çıkış gerilimi üretmeleri gibi özellikleri ile DA-DA motor sürücüleri, elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1]. Klasik DA-DA çevirgeçlerin çıkış gerilim kazancı belirli bir seviyeye kadar olabilmektedir. Bu kısıtlamayı ortadan kaldırmak için yüksek kazançlı DA-DA çevirgeç yapıları tasarlanmaktadır [2]. DA-DA çevirgeçler anahtarlamalı yapılarından dolayı doğrusal olmayan karakteristiğe sahiptirler. Bu çevirici yapılarının denetiminde klasik oransal-integral (PI), oransal-türevsel (PD) ve oransal-integral-türevsel (PID) denetleyiciler yetersiz kalmaktadır. Klasik denetleyiciler denetim sisteminin çalışma noktasında en uygun cevabı verirler. Bozucu girişler denetim sisteminin çalışma noktasında büyük değişimler meydana getirirler. Bu tür doğrusal olmayan sistem değişikliklerine yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi akıllı denetim yöntemleri daha iyi uyum sağlamaktadır [3]. Yapay sinir ağları öğrenme ve uyarlama gibi önemli özellikleri mimarisinde barındırmaktadır. Bulanık mantık ise uzman kişinin öngörülerini temel alan doğrusal olmayan bir denetim yapısıdır. Bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanılması sistem öngörülerine dayalı uyarlamalı bir denetim yapısı oluşturmaktadır. Bu uyarlamalı denetim yapısı, denetim sisteminin çalışma noktasındaki değişimlerine daha iyi uyum sağlamaktadır. Böylece sinirsel-bulanık denetim sistemi tüm farklı çalışma koşullarına uyarlanabilmektedir [4]. Temel seri yüksek kazançlı süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin çıkış gerilim denetimi için literatürde klasik (PI, PD, PID), kayan kipli denetim, geri adımlamalı denetim, ayrık zamanlı denetim, çıkış geri-beslemeli denetim gibi gerilim düzenleyiciler önerilmiştir [5-11]. Bu çalışmada ise bahsi geçen önceki çalışmalardan farklı olarak temel seri yüksek kazançlı süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgeç için uyarlamalı sinirsel-bulanık denetim tabanlı gerilim düzenleyici önerilmiştir.

Bu çalışma şu şekilde düzenlenmiştir: temel seri yüksek kazançlı süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin devre modeli ve analizi bölüm 2'de, temel seri yüksek kazançlı süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgeç için tasarlanan gerilim düzenleyici bölüm 3'te, önerilen gerilim düzenleyici için benzetim çalışmaları bölüm 4'te ve bölüm 5'te ise yapılan benzetim çalışmalarına dair sonuçlar verilmiştir.

2. Temel Seri Süper Gerilim Yükseltmeli Luo Çevirgeç

Luo çevirgeçler, DA/DA çevirgeçlerin yeni serisi olan gerilim yükseltici çevirgeçlerdir. Luo çevirgeçler gerilim yükseltme tekniğinden faydalanılarak geliştirilmiştir. Bu çevirgeçlerin diğer çevirgeçlerden temel farkı yüksek güç yoğunluğu, yüksek verimlilik ve düşük salınımlı yüksek çıkış gerilimidir[12].Yüksek kazançlı Luo çevirgeçler için aritmetik

ve geometrik olmak üzere iki tür gerilim yükseltme tekniği vardır. Çıkış geriliminin geometrik şekilde yükseltilmesi süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgeçler için mümkün olmaktadır. Bu durum gerilim kazancını ciddi bir şekilde arttırmakta ve süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgece özgünlük kazandırmaktadır[13].Süper gerilim yükseltmeli çevirgeçler iki alt seriden oluşmaktadır. Birincisi temel seri, diğeri de ek seri olarak isimlendirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan çevirgeç temel seriden oluşan pozitif gerilim çıkışlı süper yükseltmeli Luo çevirgeçtir. Temel seri bir anahtar *S*; 1 adet indüktör L_1; 2 adet kapasitör C_1, C_2 ; 2 adet diyot ve yük direncinden (*R*) oluşmaktadır. Temel seri devre şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Temel seri devre

Temel seri devrede, S anahtarı açık konumda iken L_1 indüktöründe, akım geçmesiyle C_1 kapasitörü V_{in} gerilimi ile yüklenir.

$$V_L = L\frac{di}{dt} \tag{1}$$

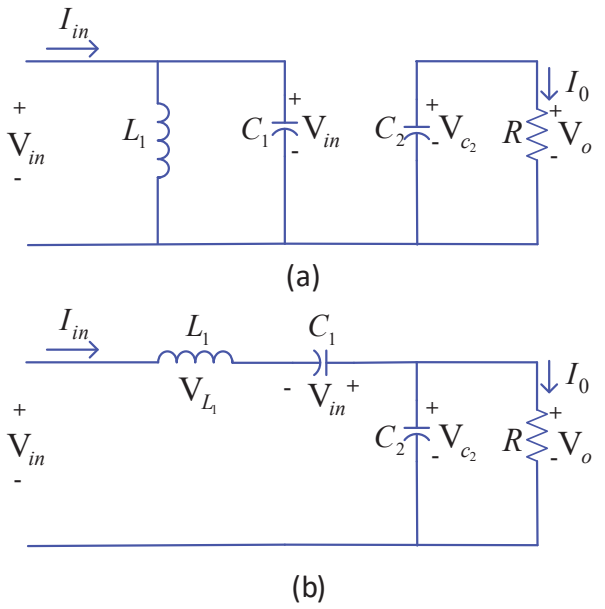
Anahtarın kapanmasıyla birlikte indüktör üzerindeki gerilim değeri $-(V_0-2V_{in})$ değerine azalır. Bundan dolayı indüktörden geçen akımın salınımı,

$$\Delta i_L = \frac{V_{in}}{L}dT = \frac{V_0 - 2V_{in}}{L}(1-d)T \tag{2}$$

olur. Eşitlik 2'den faydalanılarak çıkış gerilimi aşağıdaki gibi yazılabilir [14].

$$V_0 = \frac{2-d}{1-d}V_{in} \tag{3}$$

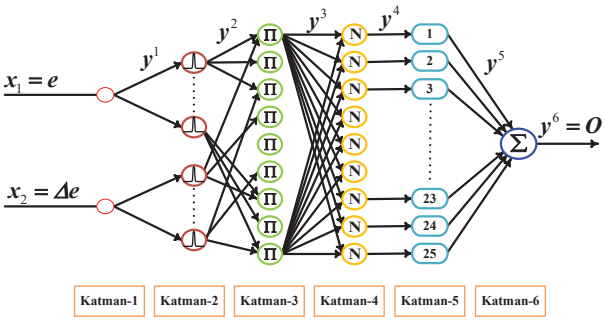
Temel seri devre için anahtar durumları şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Temel seri devre için anahtar durumları (a) açık (b) kapalı

3. Uyarlamalı Sinirsel-Bulanık Çıkarım Sistemi Tabanlı Gerilim Düzenleyici Tasarımı

Akıllı denetleyici mimarisine sahip uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve denetiminde etkin özelliklerine sahiptir. Uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi yapay sinir ağı ve bulanık mantığın birleşimi ile oluşturulmuş J.S.R. Jang [15] tarafından Sugeno bulanık modeli temel alınarak geliştirilmiş denetim yapısıdır. Sugeno bulanık modeli referans alınarak geliştirilmiş uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Sugeno bulanık modelli uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi

Şekil 3'ten de görüldüğü gibi sugeno bulanık modelli uyarlamalı sinirsel-bulanık denetleyici yapısında altı katman bulunmaktadır[16].Bu katmanlara ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Katman 1: Bu katman hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) olarak iki girişe sahiptir. Hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) denklem 4-5'de sırasıyla verilmiştir.

$$e(k) = V_{ref}(k) - V_0(k) \tag{4}$$

$$de = e(k) - e(k-1) \tag{5}$$

Bu katmanın çıkışı ise aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$y_i^1 = x_i, \qquad i=1,2,....24,25 \tag{6}$$

Katman 2: Her bir giriş değişkeni için (e, Δe) üyelik fonksiyonlarının derecelerinin belirlendiği bulanıklaştırma işleminin yapıldığı katmandır. Hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) için üyelik fonksiyonunun tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada her bir giriş için beş adet gauss üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Seçilen değerler [-1,+1] aralığına ölçeklenmiştir.

$$y_j^2 = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \tag{7}$$

Burada c parametresi fonksiyona ait dağılımın merkezini, σ parametresi gauss üyelik fonksiyonunun genişliğini göstermektedir. Bu parametreler uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sisteminin öncül parametreleridir.

Katman 3: Bu katman kural tabanı olarak bilinmektedir. Katmandaki her bir hücre Π sembolü ile gösterilmektedir. Katmanın çıkışı herhangi gibi bir k. düğüm için aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$y_k^3 = \prod_i y_{ij}^2, \qquad k=1,2.....24,25 \tag{8}$$

Birinci dereceden sugeno bulanık çıkarım modeli kural ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} &Kural^j = \text{Eğer; } x_1, B_1^j \text{ ve } x_2, B_2^j \text{ ve } x_n, B_n^j \text{ ise} \\ &\text{O Halde } y=f_n = b_0^j + b_1^j x_1 + b_2^j x_2 + b_n^j x_n \end{aligned} \tag{9}$$

Katman 4: Normalleştirme katmanıdır ve her düğüm N ile etiketlenmektedir. Herhangi bir k. düğüm için normalizasyon işlemi aşağıdaki gibi yapılır.

$$y_k^4 = \frac{y_k^4}{\sum_k y_k^3} \qquad k=1,2.....24,25 \tag{10}$$

Katman 5: 4. katmandan elde edilen normalleştirilmiş kuralların birinci dereceden bir f fonksiyonu ile çarpılmasıyla kural çıktıları hesaplanmaktadır. Durulaştırma işlemi de bu katmanda gerçekleştirilir.

$$y_k^5 = y_k^5 . f_k \qquad k=1,2.....24,25 \tag{11}$$

$$f_k = p_k x_1 + q_k x_2 + r_k \qquad k=1,2.....24,25 \tag{12}$$

Burada p, q ve r, f fonksiyonunun parametreleridir ve aynı zamanda da uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sisteminin soncul parametreleri olarak da adlandırılır.

Katman 6: Kural çıkarım katmanı olarak da bilinmektedir. Genel çıkışı aşağıdaki gibi hesaplayan Σ etiketli sabit bir düğüm bulunmaktadır. Katman çıkışı durulaştırılmış kesin değerdir.

$$y^6 = O = \sum_k y_k^5 \tag{13}$$

Uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sisteminin soncul parametreleri, sistem çıkış hatasına bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanan uygunluk fonksiyonu ile geriye yayılım algoritması kullanılarak minimize edilir.

$$E = \frac{1}{2}(V_{ref} - V_0)^2 \tag{14}$$

Uygunluk fonksiyonu E'nin uyarlanabilir sinirsel-bulanık çıkarım sisteminin çıkışı O'ya göre hassasiyeti, aşağıda verilen delta uyarlama kuralı ile hata (e) ve hata değişiminin (Δe) doğrusal bir kombinasyonu ile tahmin edilebilir [17-19].

$$\frac{\partial E}{\partial \Delta O} = c_1 e + c_2 \Delta e \tag{15}$$

Burada c_1 ve c_2, deneme-yanılma ile ayarlanan parametreler olup bu çalışmada c_1=0.00001 ve c_2=0.00001 olarak ayarlanmıştır. Uyarlanabilir sinirsel-bulanık denetleyicinin soncul parametreleri, uygunluk fonksiyonu değerini sıfıra yaklaştıracak şekilde geriye yayılım algoritması ile güncellenmektedir.

$$(p,q,r)_{k+1} = (p,q,r)_k - \eta \frac{\partial E}{\partial (pqr)_k} \tag{16}$$

Burada güncellenecek (p, q ve r) soncul parametrelerinden birini, η ise öğrenme oranını ifade etmektedir. Benzetim modelinde kullanılan soncul parametrelerinin başlangıç değerleri p_k=1, q_k=1, r_k=1 ve η ise 0.25 olarak belirlenmiştir [20].

3. Benzetim Çalışmaları

Temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin analizi yapılırken devre eleman sınır değerleri, indüktör üzerindeki akım dalgalanması ve kapasitörler üzerindeki gerilim dalgalanması esas alınarak denklem (17-18) kullanılarak hesaplanır. L_1 indüktöründen geçen akımın değişim oranı şu şekilde hesaplanır:

$$\xi_1 = \frac{\Delta I_{L_1} / 2}{I_{L_1}} = \frac{d(1-d)^2}{2(2-d)} \frac{R}{fL_1} \tag{17}$$

ξ_1 değeri 1'den küçük bir değerdir. C_1 ve C_2 kapasitörlerindeki gerilimlerin değişim oranı şu şekilde verilebilir:

$$\varepsilon = \frac{\Delta V_O / 2}{V_O} = \frac{d}{2RfC_{1,2}} \quad (18)$$

Benzer şekilde, ε değeri 1'den küçük bir değerdir. C_1 ve C_2 kapasitörlerindeki gerilimin değişim oranı denklem 18 kullanılarak hesaplanır. Temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çeviricinin hesaplanan sınır eleman değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Temel Seri Süper Gerilim Yükseltmeli Luo Çevirgeç için Hesaplanan Eleman Sınır Değerleri

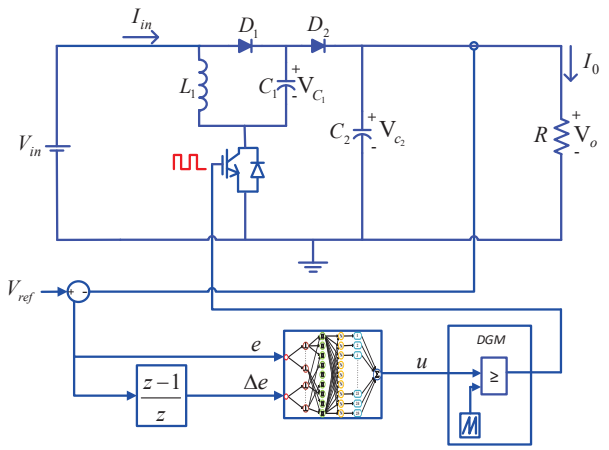
Parametre	Sembol	Değer
İndüktör	L_1	93.75µH
Kapasitör	C_1	15µF
Kapasitör	C_2	15µF
Yük Direnci	R	50Ω
Anahtarlama Frekansı	f	50kHz
Anahtarlama Oranı	d	0.75
Kapasitörler üzerindeki gerilimlerin değişim oranı	ε	0.01
İndüktör akımının değişim oranı	ξ_1	0.2

Temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin sürekli iletim çalışma modu için gerçek eleman değerleri sınır değerlerinden yüksek seçilmelidir.Benzetim çalışmaları için seçilen eleman değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Temel Seri Süper Gerilim Yükseltmeli Luo Çevirgeç için Seçilen Eleman Değerleri

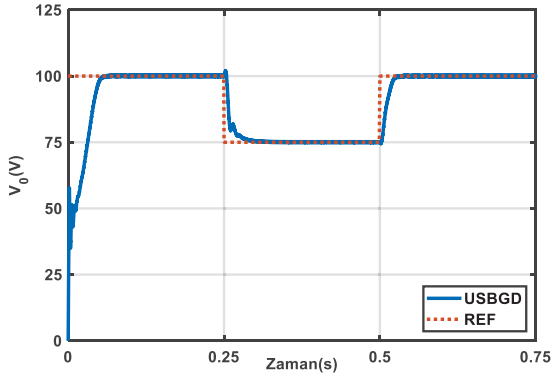
Parametre	Sembol	Değer
İndüktör	L_1	5 mH
Kapasitör	C_1	47µF
Kapasitör	C_2	47µF
Giriş Gerilimi	V_{in}	20V
Çıkış Gerilimi	V_o	100V

Temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgeç ve uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi tabanlı gerilim düzenleyici yapısının blok diyagramı şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Temel seri gerilim yükseltmeli Luo çevirgeç ve uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi tabanlı gerilim düzenleyici yapısı

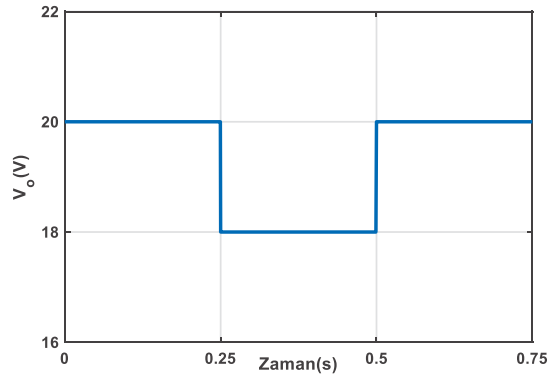
Şekil 4'te görüldüğü gibi V_{ref} temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgeç çıkışının getirilmek istenen referans gerilim değeridir. V_0 ise temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin çıkış gerilimidir. u ise önerilen uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi tabanlı gerilim düzenleyicinin denetim işareti olup aynı zamanda da temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin anahtarlama oranıdır. u denetim işareti darbe genişlik modülasyonu (DGM) bloğu aracılığıyla anahtarlama elemanına (IGBT) uygulanmaktadır. Benzetim çalışmalarında ilk olarak önerilen gerilim düzenleyicinin basamak fonksiyonu şeklinde verilen referans gerilimi takip edebilme performansı incelenmiştir. Basamak fonksiyonu şeklindeki referans gerilim değeri t=0.25s anında 100V'tan 75V'a düşürülmüş, t=0.5s anında 75V'tan 100V'a yükseltilmiştir. Değişen referans gerilim değişimi için önerilen gerilim düzenleyicinin cevabı şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5: Değişen referans gerilim değişimi için önerilen gerilim düzenleyicinin cevabı

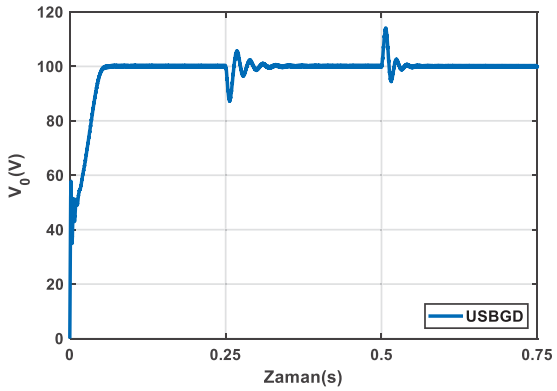
Şekil 5'te görüldüğü gibi önerilen gerilim düzenleyicinin artan basamak geçişlerinde azalan basamak geçişine göre daha yumuşak ve hızlı cevap vermiştir. İkinci olarak önerilen gerilim düzenleyicinin bozuculara karşı performansı incelenmiştir. Bu amaçla sabit yükte çalışan temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgece basamak fonksiyonu şeklinde giriş gerilimi verilmiştir. Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilimi t=0.25s anında 20V değerinden 18V'a

düşürülmüştür. t=0.5s anında 18V'dan tekrar 20V'a çıkarılmıştır. Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilim değişimi şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilimi

Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilim değişimi için önerilen gerilim düzenleyicinin cevabı şekil 7'de verilmiştir.



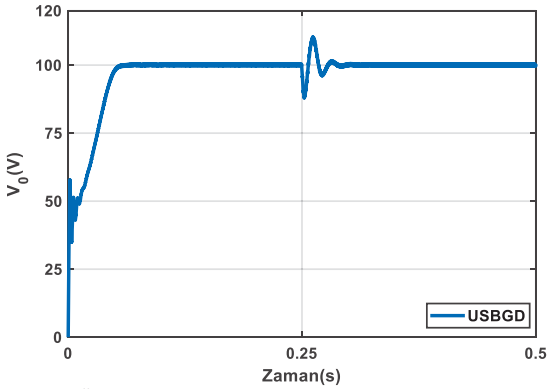
Şekil 7: Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilim değişimi için önerilen gerilim düzenleyicinin cevabı

Şekil 7'de görüldüğü gibi giriş geriliminin t=0.25s ve t=0.5s anında değiştirilmesiyle denetim sisteminde kısa süreli aşımlar meydana gelmiştir. Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilim değişimi için önerilen gerilim düzenleyicinin aşım ve yerleşim zamanları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Basamak fonksiyonu şeklindeki giriş gerilim değişimi için önerilen gerilim düzenleyicinin aşım ve yerleşim zamanları

Parametre	20V-18V	18V-20V
	USBGD	USBGD
Aşım	12V	14V
Yerleşme Zamanı	110ms	70ms

Tablo 3'de görüldüğü gibi önerilen gerilim düzenleyicinin aşım miktarı azalan basamak giriş gerilimi değişimlerinde artan basamak giriş gerilimi değişimlerine göre %14.28 oranında daha iyidir. Önerilen gerilim düzenleyicinin yerleşme zamanı ise artan basamak giriş gerilimi değişimlerinde azalan basamak giriş gerilimi değişimlerine göre % 36.36 oranında daha iyidir. Son olarak sabit giriş geriliminde çalışan temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin yük değişiminde önerilen gerilim düzenleyicinin performansı incelenmiştir. Yük değeri t= 0.25s anında 50Ω değerinden 40Ω değerine düşürülerek %20 oranında yük değişimi yapılmıştır. Önerilen gerilim düzenleyicinin yük değişimi cevabı şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Önerilen gerilim düzenleyicinin yük değişimi cevabı

Şekil 8 incelendiğinde t=0.25s anında %20 oranında yük değişimi yapıldığında önerilen gerilim düzenleyici 60 ms sonra referans gerilimi tekrar takip etmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada sürekli iletim modunda çalışan temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin devre tasarımı yapılmış ve çevirgecin çıkış gerilimi düzenlemesi için uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi tabanlı gerilim düzenleyici önerilmiştir. Önerilen gerilim düzenleyicinin referans gerilim takibi ve bozucu girişlere (giriş gerilimi ve yük değişimi gibi) karşı dinamik performansı detaylı benzetim çalışmalarıyla analiz edilmiştir. Önerilen gerilim düzenleyicinin temel seri süper gerilim yükseltmeli Luo çevirgecin çıkış gerilimi düzenlemesinde bütün durumlarda sürekli ve kararlı bir dinamik performans sergilediği görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmayı FKB-2022-1087 numaralı 'Yüksek Kazançlı DA/DA Çevirici için İleri Bulanık Mantık Tabanlı Denetim Yöntemlerinin Geliştirilmesi' isimli proje ile destekleyen Kayseri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynakça

[1] H., Açıkgöz ve Ö. F. Keçecioğlu, "Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Yükselten Tip DA-DA Çevirici Yapısının Denetimi ve Deneysel Analizi." *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *7*(2), 1061-1074.2020.

[2] O. F. Kececioglu, "Robust Control of High Gain DC-DC Converter Using Type-2 Fuzzy-Neural Network

Controller for MPPT." *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 37(1), 941-951. 2019.

[3] O.F. Kececioglu, H. Acikgoz, A. Gani, & M. Sekkeli. "Experimental Investigation on Buck Converter Using Neuro-Fuzzy Controller." *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 7(1), 1-6. 2019.

[4] A. Gani, H. Açıkgöz, & M. Şekkeli. "Fotovoltaik Sistemlerde Değişken Yük ve Güneş Işınımı Altında Sinirsel-Bulanık Denetleyici ile Maksimum Güç Noktası Takibi." *European Journal of Science and Technology*, (19), 734-745.2020.

[5] R. Adlakha, A. Khosla & D. Joshi. "Comparative Analysis of Positive Output Super Lift DC-DC Luo Converters." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 18(2), 707-716.2020.

[6] J. B. P. Glady & K. Manjunath. "Analysis-Intelligent Design And Simulation of Improved State-Space Modelling for Control of Luo Converter." *Computers & Electrical Engineering*, *75*, 230-244.2019.

[7] M. Mahdavi, M. Shahriari-Kahkeshi & N. R. Abjadi. "An Adaptive Estimator-Based Sliding Mode Control Scheme for Uncertain POESLL Converter."*IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems*, *55*(6),3551-3560.2019.

[8] S. A. Fallahzadeh, N. R. Abjadi, A. Kargar, & F. Blaabjerg. "Nonlinear Control for Positive Output Super Lift Luo Converter in Stand Alone Photovoltaic System." *International Journal of Engineering*, 33(2), 237-247.2020.

[9] N. R., Abjadi, A. R., Goudarzian, G. R., Arab Markadeh, & Z. Valipour. "Reduced-Order Backstepping Controller for POESLL DC–DC Converter Based on Pulse Width Modulation." *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 43(2),219-228.2019.

[10] R. Shenbagalakshmi, & S. Vijayalakshmi. "Analysis of Super Lift Luo Converter with Discrete Time Controller." *Sādhanā*, *45*(1), 1-5.2020.

[11] W., Jiang, S. H., Chincholkar, & C. Y. Chan. "Improved Output Feedback Controller Design for the Super-Lift Re-Lift Luo Converter." *IET Power Electronics*, 10(10),1147-1155.2017.

[12] F.L., Luo, "Self -Lift Luo-Converters", *IEEE*, 6:441-446 1998.

[13] Z. L. Shan, S. Liu, & F. L. Luo, "Investigation of A Super-Lift Luo-Converter Used in Solar Panel System." *In Electricity Distribution (CICED)* 1-4.2012.

[14] O. F. Kececioglu, "Design of Type-2 Fuzzy Logic Controller Optimized with Firefly Algorithm for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System Based on Super Lift Luo Converter." *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, e2994.2022.

[15] J. S. R. Jang, Neuro-Fuzzy Modeling: "Architectures, Analyses, and Applications," Ph.D. Dissertation, *Univ. of California at Berkeley*, (1992).

[16] B. Dandil, M. Gokbulut, "Asenkron Motorların Sinirsel-Bulanık Denetleyici ile Uyarlamalı Denetimi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *20*(2).2005.

[17] E. Kılıç, S. Şit, A. Gani, M. Şekkeli & H. R. Özçalık. "Neuro-Fuzzy Based Model Reference Adaptive Control for Induction Motor Drive." *Turkish Journal of Fuzzy Systems*, *8*(2), 63-72.2017.

[18] H. Acikgoz, O. F. Kececioglu, A. Gani, C. Yildiz, & M. Sekkeli. "Improved control configuration of PWM rectifiers based on neuro-fuzzy controller." *SpringerPlus*, 5(1), 1-19.2016.

[19] H. Acikgoz, O. F. Kececioglu, C. Yildiz, A. Gani, & M. Sekkeli. "Performance analysis of electronic power transformer based on neuro-fuzzy controller." *SpringerPlus*, 5(1), 1-21.2016.

[20] Ö. F., Keçecioğlu, & E. Kılıç. "Tristör Kontrollü Reaktörün Sinirsel Bulanık Denetim Esaslı Reaktif Güç Kontrolü." *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, *7*(2), 399-410.2019.