IMSEC 2019 4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)
Alanya Lonicera Resort & Spa Hotel, April 25-27, 2019 – Alanya, Antalya / TÜRKİYE
Pages: 462-466, Paper ID:193

Conference Paper
Oral Presentation

Negatif Çıkışlı Yüksek Kazançlı Luo Dönüştürücünün Denetiminde Tip -2 Sinirsel-Bulanık Denetleyicinin Performansının İncelenmesi

Ö. Fatih Keçecioğlu, Ahmet Gani*, Erdal Kılıç

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Özet

DA-DA dönüştürücüler, günümüz dünyasında yüksek güç yoğunluğu, iyi tepki hızı, çıkış gerilim değerinin geniş aralıkta olması gibi çeşitli özellikleri ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Negatif çıkışlı Luo dönüştürücü pozitif DA giriş geriliminden negatif DA çıkış gerilimine yüksek kazançlı az dalgalanmalı çıkış gerilimi sağlamaktadır. Negatif çıkışlı Luo dönüştürücünün denetimi için literatürde çok farklı denetleyici tiplerinin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Anahtarlamalı yapılarından dolayı DA-DA dönüştürücü devre topolojileri doğrusal olmayan yapıya sahiptir. Klasik PI ve PID denetleyiciler doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde yetersiz kalmaktadır. Doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi modern denetim yöntemleri klasik denetim yöntemlerine göre daha başarılıdır. Yapay Sinir Ağları öğrenme, optimize etme ve uyarlanabilirlik gibi önemli yeteneklere sahiptir. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları, bulanık mantık denetleyicisine dayanan uyarlamalı bir yapı olarak kullanılmaktadır.Bu uyarlanabilir yapı, bulanık kuralların özelliklerini ve denetim sisteminin özelliklerini ayarlamaktadır ve böylece sinirsel-bulanık denetleyici tüm farklı sistem koşullarına uyarlanabilmektedir.Bu çalışmada Matlab/Simulink benzetim programında denetim sistemi devre modeli oluşturulmuştur ve farklı iki denetim senaryosunda (giriş gerilimi değişimi ve çıkış yükü değişikliği) negatif çıkışlı yüksek kazançlı Luo dönüştürücü için tip-2 sinirsel-bulanık denetleyicinin dinamik performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Negatif Çıkışlı Yüksek Kazançlı Luo Dönüştürücü, Tip-2 Sinirsel-Bulanık Denetim.

Investigation on Dynamic Performance of Type-2 Neuro-Fuzzy Controller in Control of Negative Output High Gain Luo Converter

Abstract

In this DC-DC converters are widely used in today's world with their various qualities such as high power density, good response speed, a wide range of output voltage value. Negative output Luo converter provides high gain output voltage with small ripples to negative DC output voltage from positive DC input voltage. There are many studies using different types of controllers in the literature for the control of negative output Luo converter. DC-DC converter circuit topologies are non-linear due to their switched structures. Classical PI and PID controllers are insufficient in the control of non-linear systems. In the control of nonlinear systems, modern control methods such as fuzzy logic and artificial neural networks are more successful than classical control methods. Artificial neural networks have important capabilities such as learning, optimizing and adaptability. Fuzzy logic and neural networks are used as an adaptive structure based on a fuzzy logic controller. This adaptive structure adjusts the properties of fuzzy rules and the characteristics of the control system so that the neural-fuzzy controller can be adapted to all different system conditions. In this study, the control system circuit model was created in Matlab / Simulink simulation program and the dynamic performance of neuro-fuzzy controller was examined two different control scenarios (input voltage change and output load change) of negative output high gain Luo converter.

Keywords: Negative Output High Gain Luo Converter, Type-2 Neuro-Fuzzy Control.

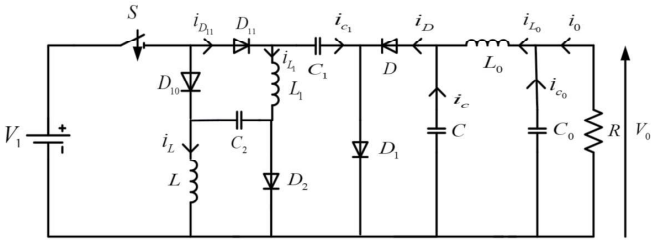
*Corresponding authour
Email: agani@ksu.edu.tr

1. GİRİŞ

DA-DA yükselten dönüştürücüler, bilgisayar donanımı, endüstriyel uygulamalar, servo motor sürücüleri ve tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, ihtiyaç doğrultusunda birçok DA-DA dönüştürücü devre topolojisi geliştirilmiştir. Luo dönüştürücüler, gerilim yükseltme yöntemi kullanılarak geliştirilen DA-DA yükselten dönüştürücü devre topolojisidir. Luo dönüştürücüler, yüksek çıkış gerilimi, yüksek verimlilik gibi birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle Luo dönüştürücüler özellikle de yüksek gerilim kazancı gerektiren uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Luo dönüştürücüler gerilim kazancını gerilim yükseltme yöntemi ile farklı devre modelleriyle gerçekleştirmektedir. Gerilim yükseltme yöntemi dönüştürücü devresindeki parazitik elemanların etkisini sınırlandırdığından çıkış gerilimi ve güç verimliliği ile DA-DA dönüştürücü devre özelliklerinin gelişmesine yol açmıştır. Negatif çıkışlı Luo dönüştürücü gerilim yükseltme yöntemi kullanılarak negatif gerilim çıkışı veren DA-DA yükselten dönüştürücü devresidir[1-2-3].DA-DA dönüştürücülerinin denetimi için kullanılan klasik denetim yöntemleri parametre değişikliklerine karşı çok hassastırlar[4,5]. Bu nedenle, klasik denetim yöntemleri sistem parametrelerinin zamanla değiştiği sistemlerde iyi dinamik performans gösteremezler. Klasik denetim sistemlerinin bu özelliği birçok araştırmacıyı yapay sinir ağı denetim, tip-1 bulanık denetim, tip-2 bulanık denetim, sinirsel-bulanık denetim gibi modern denetim yöntemleri önermeye teşvik etmiştir. Son yıllarda, sinirsel-bulanık denetim karmaşık denetim problemleri için pratik çözümlerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, etkin bir bulanık denetleyicinin tasarımı, uzman kişinin sistem öngörülerine bağlıdır. Sinirsel-bulanık denetim, bulanık mantığı ve sinir ağını temel alan doğrusal olmayan sağlam bir denetim yapısıdır[6]. Bu çalışmada negatif çıkışlı yüksek kazançlı Luo dönüştürücü devre modeli ve devre tasarım kriterleri ikinci bölümde, tip-2 sinirsel-bulanık denetleyicinin tanımı ve eğitim algoritması üçüncü bölümde, önerilen denetim sistemi için benzetim çalışmaları dördüncü bölümde ve sonuçlar beşinci bölümde kapsamlı bir şekilde sunulmaktadır.

2. NEGATİF ÇIKIŞLI YÜKSEK KAZANÇLI LUO DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Parazitik elemanların etkisinden dolayı temel DA-DA dönüştürücülerde çıkış gerilimi ve güç verimi sınırlıdır. Gerilim yükseltme yöntemi parazitik elemanların etkisini yok ederek çıkış gerilimini ve güç verimini arttırmaktadır. Negatif çıkışlı kendinden yükseltmeli, yeniden yükseltmeli ve çok yükseltmeli Luo dönüştürücüler, gerilim yükseltme yöntemini kullanarak temel negatif Luo dönüştürücüsünden geliştirilen yeni bir DA-DA dönüştürücü serisidir[7]. Bu dönüştürücüler pozitif DA giriş geriliminden negatif DA çıkış gerilimine yüksek kazançlı dönüşüm sağlamaktadırlar. Temel DA-DA dönüştürücüleri yükseltebilir ve azaltabilirken, kendinden yükseltmeli, yeniden yükseltmeli ve çok yükseltmeli DA-DA dönüştürücü devrelerde yalnızca yükseltme gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu devre topolojisindeki dönüştürücüler yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu, küçük gerilim ve akım dalgalanmalarına ve yüksek çıkış gerilimine sahiptir. Bu çalışmada negatif çıkışlı Luo dönüştürücü için yeniden yükseltmeli devre modeli kullanılmıştır. Kullanılan devre modeli şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Negatif Çıkışlı Yeniden Yükseltmeli Luo Dönüştürücü Devre Modeli

Şekil 1'de görüldüğü gibi devre modeli S anahtarı; üç indüktör L,L_1,L_0 ; dört kapasitör C, C_1, C_2, C_0 ve D D_1, D_2, D_{10}, D_{11} diyotlarından oluşmaktadır. C_1-D_1-D_{11}-L_1-C_2-D_2 yükseltme devresidir. C_1, C_2 kapasitörleri çıkış gerilimini giriş gerilimin iki katına çıkarmaktadırlar. L_1, C_1-C_2 kapasitörlerini bağlamak ve çıkış gerilimini yükseltmek için merdiven işlevi görmektedir. L enerjiyi depolamaktadır ve i_L akımı, V_I / L eğimiyle doğrusal olarak artmaktadır. L_0, çıkış akımı I_0 akımını sürekli tutmakta ve enerjiyi C kapasitöründen R yüküne aktarmaktadır[8]. Negatif çıkışlı yeniden yükseltmeli Luo dönüştürücünün sürekli akım modunda çıkış gerilimi denklem 1'de verilmiştir.

$$V_0 = \frac{2}{1-k} V_i \tag{1}$$

Denklem 1'de verilen k, negatif çıkışlı yüksek kazançlı Luo dönüştürücünün anahtarlama oranını ifade etmektedir.

2.1 Sürekli Akım Modunda Çalışma Durumu için Negatif Çıkışlı Yeniden Yükseltmeli Luo Dönüştürücü Devre Tasarımı

Sürekli akım modunda çalışma durumu dönüştürücü devreleri için kararlı modda çalışma durumudur. Sürekli akım modunda çalışma durumu için negatif çıkışlı yeniden yükseltmeli Luo dönüştürücünün gerilim kazancı denklem 2 'de verilmiştir[9].

$$M = \frac{V_0}{V_i} = \frac{2}{1-k} \tag{2}$$

Sürekli akım modunda çalışma durumu için negatif çıkışlı yeniden yükseltmeli Luo dönüştürücünün gerilim kazancı sınırı denklem 3'de verilmiştir.

$$M \le \sqrt{\frac{kR}{fL}} \tag{3}$$

Sürekli akım modunda çalışma durumu için negatif çıkışlı yeniden yükseltmeli Luo dönüştürücünün minimum indüktans değeri denklem 4'te verilmiştir.

$$L_{\min} \ge \frac{kR}{fM^2} \tag{4}$$

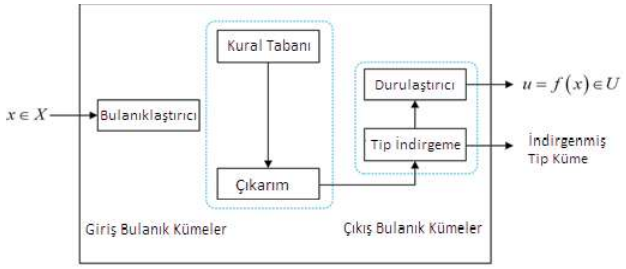
Sürekli akım modunda çalışma durumu için negatif çıkışlı yeniden yükseltmeli Luo dönüştürücünün minimum kapasitans değeri denklem 5'te verilmiştir.

$$C_{0\min} \geq \frac{100k}{8Mf^2 L_{\min}} \quad (5)$$

3. TİP-2 SİNİRSEL BULANIK DENETLEYİCİ

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları birçok uygulamayı gerçekleştirmek için modern denetim yöntemleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sinirsel bulanık ağların yapay sinir ağları ve bulanık mantığa göre üstün özellikleri vardır. Bulanık mantığın tip-1 bulanık mantık ve tip-2 bulanık mantık olmak üzere iki ayrı tasarım yöntemi vardır[10-12].Tip-2 bulanık mantık tip-1 bulanık mantığın uzantısıdır. Tip-2 bulanık mantık belirsizliğin yoğun olduğu problemlerde tip-1 bulanık mantığa göre daha başarılıdır. Tip-2 bulanık mantık denetleyicide bulanık mantık üyelik fonksiyonları belirtilen aralık dahilinde sonsuz tip-1 bulanık mantık denetleyici olarak kabul edilmektedir[13-14].

Tip-2 bulanık mantık denetleyicinin iç yapısı şekil 2'de gösterilmiştir. Tip-2 bulanık mantık, bulanıklaştırıcı, kural tabanı, bulanık çıkarım, tip indirgeme olarak dört kısımdan oluşur.

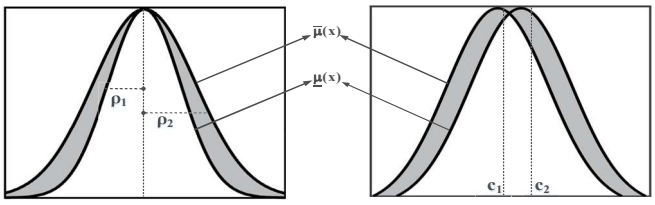


Şekil 2: Tip-2 bulanık mantık denetleyici iç yapısı

Tip-2 bulanık mantık denetleyici yapısı tip-2 Takagi-Sugeno-Kang (TSK) bulanık kuralları kullanılarak iki girişli ve tek çıkışlı bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada kullanılan tip-2 TSK bulanık kuralları denklem 6'da verilmiştir.

$$IF\ x_1 \text{ and } \tilde{X}_{1j} \text{ and...} x_i \text{ is } \tilde{X}_{ij} \text{ and...and } x_n \text{ is } \tilde{X}_{nj} \text{ then } k_j = \tilde{W}_j \quad (6)$$

Tip-2 sinirsel bulanık denetleyicinin giriş değişkenleri ve üyelik fonksiyonları, sırasıyla $x_1, \ldots, x_n$ ve $\tilde{X}_{1j}, \ldots, \tilde{X}_{nj}$ 'dir. Kullanılan Gauss tip-2 bulanık üyelik fonksiyonları şekil 3'te gösterilmiştir.



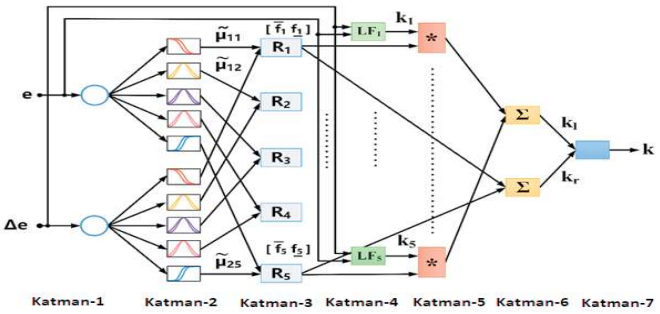
Şekil 3.Gauss tip-2 bulanık üyelik fonksiyonları

Bu üyelik fonksiyonu ile ilgili matematiksel eşitlikler denklem 7-8'de verilmiştir.

$$\bar{\mu}_{ij} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - z_{ij}}{\bar{\rho}_{ij}}\right)^2\right\} \quad (7)$$

$$\underline{\mu}_{ij} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - z_{ij}}{\underline{\rho}_{ij}}\right)^2\right\} \quad (8)$$

Burada ortalama değer standart sapmalardır ve giriş değişkenidir. Şekil 4'de tip-2 sinirsel bulanık denetim modeli verilmiştir.



Şekil 4. Tip-2 sinirsel bulanık denetim modeli

Şekil 4›de gösterildiği gibi tip-2 sinirsel bulanık denetim modelinde altı katman vardır. Tip-2 sinirsel bulanık denetimde katman 1 girişleri dağıtmak için kullanılmaktadır. Girişler hata (e) ve hatanın değişimidir (Δ_e).Katman 2'de hata ve hatanın değişimi üyelik fonksiyonlarıyla karakterize edilmektedir. Bu katmanda her bir giriş sinyali için üyelik dereceleri hesaplanmaktadır. Matematiksel işlemler katman 3'te gerçekleştirilmektedir. Katman 3'de gerçekleştirilen işlemler denklem 9-10'da verilmiştir.

$$\bar{f}^i = \prod_{j=1}^{n} \bar{\mu}_{ij} \quad (9)$$

$$\underline{f}^i = \prod_{j=1}^{n} \underline{\mu}_{ij} \quad (10)$$

Lineer fonksiyonların çıktıları katman 4'te belirlenmektedir. Her düğümün çıktı ağırlıkları denklem 11'de verilmiştir.

$$\left[w_{jl}, w_{jr}\right] = \left[c_{0j} - s_{0j}, c_{0j} + s_{0j}\right] + \sum_{i=1}^{n}\left[c_{ij} - s_{ij}, c_{ij} + s_{ij}\right]x_i \quad (11)$$

Katman 4'e ait eşitlikler denklem 12 -13 'de verilmiştir.

$$w_{jl} = \sum_{i=0}^{n} c_{ij}x_i - \sum_{i=0}^{n} s_{ij}|x_i| \quad (12)$$

$$w_{jr} = \sum_{i=0}^{n} c_{ij}x_i - \sum_{i=0}^{n} s_{ij}|x_i| \quad (13)$$

Üyelik derecelerinden elde edilen çıktılar, tip indirgeme katmanı olarak adlandırılan katman 5'de hesaplanmaktadır. Şekil 4'de görüldüğü gibi, bu katmanın çıktısı iki toplama bloğundan oluşmaktadır ve denklem 14-15'de verilmiştir.

$$k_l = \frac{(1-q_l)\sum_{j=1}^{m}\underline{f}_j w_{jl} + q_l\sum_{j=1}^{m}\overline{f}_j w_{jl}}{\sum_{j=1}^{m}\left(\underline{f}_j + \overline{f}_j\right)} \quad (14)$$

$$k_r = \frac{(1-q_r)\sum_{j=1}^{m}\underline{f}_j w_{jr} + q_r\sum_{j=1}^{m}\overline{f}_j w_{jr}}{\sum_{j=1}^{m}\left(\overline{f}_j + \underline{f}_j\right)} \quad (15)$$

Tip-2 sinirsel bulanık denetleyicinin çıkışı katman 6'da ve denklem 16'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{k_l + k_r}{2} \quad (16)$$

Burada k negatif çıkışlı yeniden yükseltmeli Luo dönüştürücü modeli için anahtarlama oranını ifade etmektedir. Öğrenme oranı, küresel minimuma yaklaşabilmek için geri yayılım algoritmasının önemli bir parametresidir. Büyük bir değere sahip öğrenme oranı kararlılık sorunu oluşturabilirken küçük öğrenme oranı yavaş öğrenmeye ve yerel minimum problemlere neden olabilmektedir. Öğrenme oranı [0, 1] arasında seçilebilmektedir.[15] Bu çalışmada tip-2 sinirsel bulanık denetleyici için öğrenme oranı 0.05 alınmıştır.

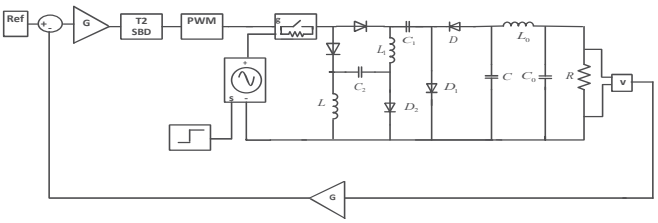
4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, yeniden yükseltmeli devre modeline sahip negatif çıkışlı Luo dönüştürücü için tip-2 sinirsel-bulanık denetleyici esaslı denetim yapısı önerilerek benzetim yapılmıştır. Önerilen denetim yapısının benzetimi MATLAB/ Simulink ve Sim Power System Toolbox kullanılarak yapılmıştır. Yeniden yükseltmeli devre modeline sahip negatif çıkışlı Luo dönüştürücü için denklem 4-5'teki kriterler kullanılarak elde edilen minimum indüktans ve kapasitans devre eleman sınır değerleri L_{min}=192µH, C_{0min}=3.125µF şeklinde bulunmuştur. Gerçek dönüştürücü değerleri, sürekli iletim modunda çalışmak için en az sınır değerleri kadar seçilmelidir. Benzetim çalışmalarında kullanılan yeniden yükseltmeli devre modeline sahip negatif çıkışlı Luo dönüştürücü için seçilen değerler tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yeniden yükseltmeli devre modeline sahip negatif **çıkışlı** Luo **dönüştürücü** için seçilen devre parametreleri ve değerleri

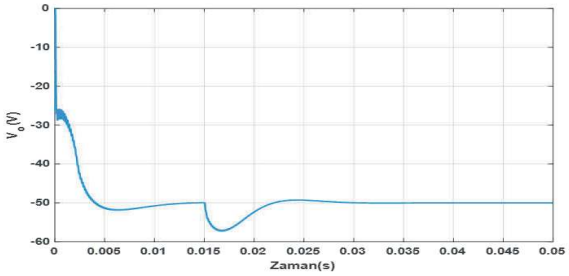
Parametreler	Sembol	Değer
Giriş Gerilimi	V_g	10 V
İndüktör (L, L_0, L_1)	L_{0-1}	192**µ**H
Kapasitör(C_0, C_1, C)	C_{0-1}	6.25 µF
Yük Direnci	R	400 Ω
Çıkış (Yük) Gerilimi	$V_c=V_o$	50 V
Anahtarlama Frekansı	f_s	50 Khz
Anahtarlama Oranı	D	0.6
Gerilim Kazancı	M	5

Tip-2 sinirsel-bulanık denetleyicinin dinamik performansını test etmek amacıyla iki farklı denetim senaryosu uygulanmıştır. Denetim senaryosunun birincisinde giriş gerilimi değiştirilip **çıkış** yükü sabit tutulmuştur. İkinci denetim senaryosunda ise **çıkış** yükü değiştirilip giriş gerilimi sabit tutulmuştur. **Önerilen denetim** sistemi ve yeniden yükseltmeli devre modeline sahip negatif **çıkışlı** Luo **dönüştürücü** yapısı şekil 5'te verilmiştir.



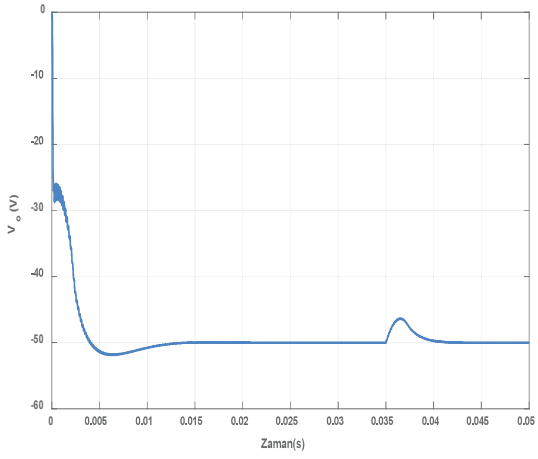
Şekil 5. Önerilen denetim sistemi ve dönüştürücü yapısı

Birinci denetim senaryosunda 15.ms'de giriş gerilimi 10V'dan 12V'a çıkarılmıştır. Önerilen denetleyicinin giriş gerilimi değişimi için verdiği dinamik performans cevabı şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Giriş gerilimi değişimi için **ö**nerilen denetleyicinin cevabı

Şekil 6'da görüldüğü gibi önerilen denetleyici 10 ms'de referans gerilimi yakalamıştır.15. ms'de giriş gerilimi yükseltildikten sonra 5 ms gibi kısa bir sürede denetleyici referans gerilimi tekrar yakalayarak referans gerilimi en az hata ile takip etmiştir. İkinci denetim senaryosunda ise 35.ms'de yük direnci 400 Ω değerinden 266.66 Ω değerine düşürülmüştür. **Şekil** 7'de **çıkış** yük değişimi **için önerilen denetleyicinin dinamik performansı** verilmiştir.



Şekil 7. Yük değişimi için önerilen denetleyicinin cevabı

Şekil 7'de görüldüğü gibi çıkış yük direncinin düşürülmesiyle çıkış geriliminin değeri azalmış denetleyici 5 ms'de referans gerilimi yakalayarak en az hata ile takip etmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yeniden yükseltmeli negatif **çıkışlı** yüksek kazançlı Luo **dönüştürücü** için tip-2 sinirsel-bulanık denetleyicisi esaslı denetim yapısının dinamik performansı

incelenmiştir. Önerilen denetim yapısının performansını değerlendirmek için MATLAB/Simulink ortamı ve Sim Power System Toolbox kullanılarak bir benzetim modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelin kararlılığını ve dinamik performansını test etmek için iki farklı denetim senaryosunda (giriş gerilimi değişimi ve **çıkış** yük değişimi) benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim çalışmaları sonuçları incelendiğinde önerilen denetleyicinin iki farklı denetim senaryosu (giriş gerilimi değişimi ve **çıkış** yük değişimi) için aşım, yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve kalıcı durum hatası gibi denetim parametreleri açısından başarılı bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

REFERANSLAR

[1] Luo, F.L. (1997). Luo Converters, New DC-DC Step-Up Converters Proceedings of the International Conference Isic-97, Singapore, September 1997, pp. 227-230.

[2] Luo, F.L (1997). Luo-Converters, A Series Of New DC-DC Step-Up (Boost) Conversion Circuits. Proceedings of the IEEE International Conference on Power Electronics & Drive Systems , IEEE-Peds '97, Singapore, pp. 882-888.

[3] Luo, F.L. (1997).Re-lift circuit, A new DC-DC step-up, boost converter, Electron Lett,2 , 33, (I), pp. 5-7.

[4] Comines, P. and Munro N., (2002) PID controllers: recent tuning methods and design to specification, IEE Proc. Control Theory Application, Vol.149, No.1, pp. 46-53.

[5] Arulselvi, S. Uma, G. and Chidambaram, M., (2004).Simple PID controller tuning methods for process with inverse response: Application to power electronics, Procs. of International conference TIMA 2004, Chennai, India, Dec 16-18, paper ref. no. TS-2-04.

[6] Chan, H.C ., Chan, K. T. and Chan, C. C., (1993).A neural network controller for switching power converters, IEEE Power Electronics Special Conference Record, pp. 887-892.

[7] F.L. Luo, (1999). Negative output Luo converters: voltage lift technique, IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 146 (2), pp. 208-224.

[8] Rashid, M. H. (Ed.). (2017). Power electronics handbook. Butterworth-Heinemann.

[9] Luo, F.L., (1998).Re-lift converter: design, test, simulation and stability analysis. IEE Proceedings - Electric Power Applications Vol. 145, No. 4 .

[10] Acikgoz, H., Kececioglu, O.F., Karadol, I., Gani, A., Sekkeli, M. (2017). Adaptive Control of Solid State Transformer Using Type-2 Fuzzy Neural System, Stud Inform Control 26(2), 171-181.

[11] Kılıç, E., Özçalık, H.R., Şit, S. (2018).Adaptive controller with RBF neural network for induction motor drive.International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields 31(3), e2280. doi:10.1002/jnm.2280.

[12] Logeswaran,T.,Senthilkumar, A.,Karuppusamy, P.(2015).Adaptive Neuro-Fuzzy Model for Grid- Connected Photovoltaic System. International Journal of Fuzzy Systems.17(4),585-594. doi:10.1007/s40815-015-0078-4.

[13] Abid, H., Zaidi, I., Toumi, A., Chaabane, M.(2015).T–S Fuzzy Algorithm for Photovoltaic Panel International Journal of Fuzzy Systems 17(2), 215-223. doi:10.1007/s40815-015-0025-4.

[14] Coteli, R., Acikgoz, H., Ucar, F., Dandil, B. (2017). Design and implementation of Type-2 fuzzy neural system controller for PWM rectifiers. Int J Hydrogen Energ 42(32), 20759-20771.

[15] Acikgoz, H., Coteli, R., Ustundag, M., Dandil, B.(2018). Robust Control of Current Controlled PWM Rectifiers Using Type-2 Fuzzy Neural Networks for Unity Power Factor Operation J Electr Eng Technol 13(2), 822-828.