



Kesintisiz Güç Kaynağı Çıkış Gücü Düzenlemesi için Bulanık Mantık ve Kazanç Çizelgesi Uyarlanı Tabanlı PI Kontrolörlerin Performans Karşılaştırılması

Vedat Gül^{1*}, Savaş Şahin²

^{1*} Tescom Elektronik A.Ş., Department of Research and Development, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3980-2118), vedatgul2013@gmail.com

² İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4165-3441), sahin.savas@yahoo.com

(2nd International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF)-10–12 March 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.903268)

ATIF/REFERENCE: Gul V, Sahin S, Kesintisiz Güç Kaynağı Çıkış Gücü Düzenlemesi için Bulanık Mantık ve Kazanç Çizelgesi Uyarlanı Tabanlı PI Kontrolörlerin Performans Karşılaştırılması, Mart 2021, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 416-420.

Öz

Bu çalışmada, kesintisiz güç kaynağı (KGK) çıkış gücü düzenlemesi için geleneksel oransal-integral (PI) kontrolör, bulanık mantık (BM) ve kazanç çizelgesi uyarlanı (KÇU) tabanlı PI kontrolörlerin tasarımları ve performansları sunulmaktadır. KGK'larda evirici için kontrolör tasarımında yaygın olarak sabit katsayılı geleneksel PI kontrolör kullanılmaktadır. Ancak sabit katsayılı kontrolör yerine katsayıları güncellenen kontrolörler daha iyi performans sağlayabilirler. Bu nedenle, evirici çıkış gücü düzenlemesi için kontrolör katsayılarını güncelleyen, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör tasarımları gerçekleştirilmiştir. Benzetim ve deneysel çalışmalarda, 5kW KGK sisteminin performans sonuçları sistem çıkış geriliminin toplam harmonik bozulma ve ortalama mutlak hata değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, en iyi sonucu KÇU tabanlı PI kontrolör sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kesintisiz güç kaynağı, Bulanık mantık, Kazanç çizelgesi uyarlanı, PI kontrolör

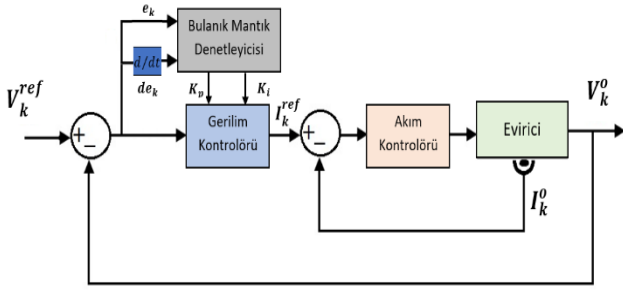
Performance Comparison of Fuzzy Logic and Gain Scheduling Adaptive Based PI Controllers for Uninterruptible Power Supply Output Power Regulation

Abstract

In this study, the designs of the conventional proportional-integral (PI) controller, fuzzy logic (FL), and gain scheduling adaptive (GSA) based PI controllers and their performances are presented for uninterruptible power supply (UPS) output power regulation. The conventional PI controller having constant parameters is commonly used for the inverter in UPS. However, controllers whose parameters are updated instead of using fixed parameters one might provide better performance. Hence, FL and GSA based PI controller designs, which update the controller parameters for the inverter output power regulation, have been implemented. In simulation and experimental studies, the performance results of the 5kW UPS system have been compared in terms of total harmonic distortion and mean absolute error values of the system output voltage. According to the obtained results of the experimental study, the best result was obtained by the GSA based PI controller.

Keywords: Uninterruptible power supply, Fuzzy logic, Gain scheduling adaptive, PI controller.

* Sorumlu Yazar: vedatgul2013@gmail.com



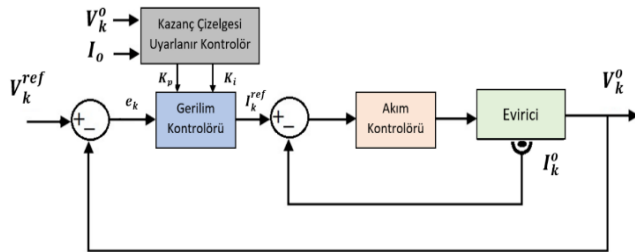
Şekil 3. Çıkış gerilimi düzenlemesi için BM tabanlı PI kontrolör

Hata, hatanın değişimi, BM çıkış değerleri K_p ve K_i için üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. K_p ve K_i katsayılarına ait kural tablosu Tablo 1’de uzman görüşü ve deneme yanılma ile oluşturulur. Burada sıfır (S), negatif büyük (NB), negatif orta (NO), pozitif büyük (PB), pozitif orta (PO), küçük (K), küçük orta (KO), orta (O), büyük orta (BO) ve büyük (B) olarak belirlenmiştir [18] [19]. Tasarlanan BM’de e ve de giriş değerleri ((-220) -(+220)), K_p ve K_i çıkış değerleri ise sırasıyla (40-60) ve (20-40) olarak alınmıştır. Mamdani çıkarım yöntemine göre en küçük operatör ve durulaştırma için ağırlıklı ortalama kullanılmıştır.

Tablo 1. K_p ve K_i için kural tablosu

		Hatanın Değişimi (de)				
		NB	NO	S	PO	PB
Hata (e)	NB	B	B	B	B0	O
	NO	B	B	BO	O	KO
	S	B	BO	O	KO	K
	PO	BO	O	KO	K	K
	PB	O	KO	K	K	K

KÇU tabanlı PI kontrolör tasarımı Şekil 4’te verilmiş, eviricinin farklı çalışma koşullarında uygun parametre seçimleri evirici çıkış gücü kontrolör katsayıları için yapılmıştır (Tablo 2). Bu tabloda verilen yük değerleri evirici çıkış gerilimi THB değerleri ölçülerek belirlenmiştir.



Şekil 4. Çıkış gerilimi düzenlemesi için KÇU tabanlı PI kontrolör

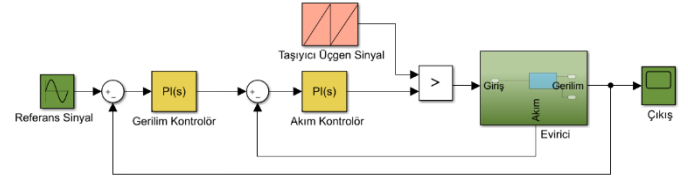
Tablo 2. KÇU tabanlı PI kontrolör katsayıları

Yük oranı (%)	Güç (W)	K_p	K_i
20	1000	44	36
40	2000	48	32
60	3000	52	28
80	4000	56	24
100	5000	60	20

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

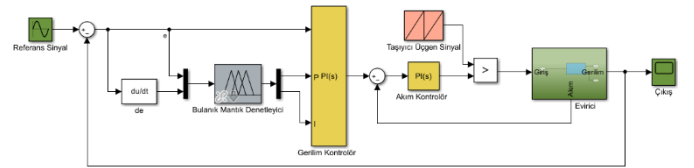
3.1. Benzetim Çalışmaları

Benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan evirici ile yapılmıştır. Geleneksel PI kontrolör yöntemi test edilmiştir (Şekil 5). Referans sinyali ($220V_{RMS}/50Hz$) sinüs biçiminde seçilmiştir. Ayrıca sinüzoidal PWM uygulamak için taşıyıcı üçgen sinyal kullanılmış ve örnekleme frekansı $f_s = 12868Hz$ olarak belirlenmiştir. Önceki bölümde açıklandığı gibi PI kontrolör parametreleri $K_p = 50$ ve $K_i = 30$ olarak alınmıştır.



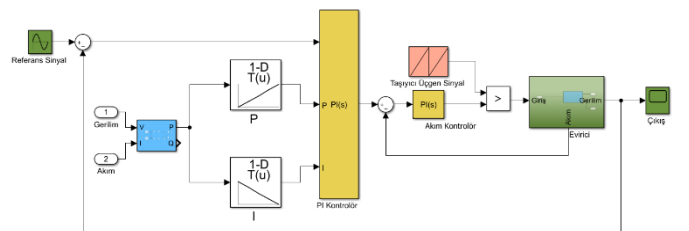
Şekil 5. Geleneksel PI kontrolör simulink tasarımı

BM tabanlı PI kontrolör benzetim çalışmaları Şekil 6’daki gibi yapılmıştır. Evirici çıkış gerilimi ve referans gerilim farkı ile hata değeri elde edilir. Hata ve hatanın değişimi BM aracında giriş değerleri olarak kullanılır. BM işlemleri sonucunda K_p ve K_i katsayıları elde edilmiştir.



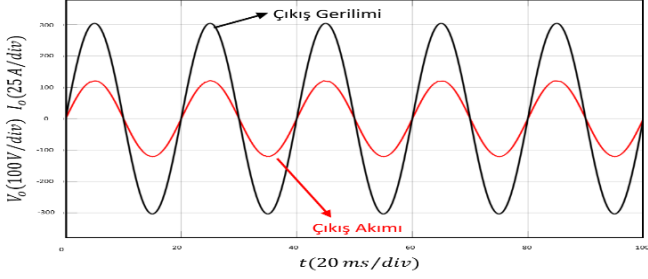
Şekil 6. BM tabanlı PI kontrolör tasarımının simulink modeli

KÇU tabanlı PI kontrolör için Tablo 2’de elde edilen parametre değerleri ile K_p ve K_i kazanç çizelgesi kullanılmıştır. Bu tablo ile K_p ve K_i kazanç katsayıları ve kapalı döngü sistemi hata değeri ile PI kontrolör çıkışı eviriciye uygulanır (Şekil 7).



Şekil 7. KÇU tabanlı PI kontrolörün simulink modeli

Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen zaman düzlemi çıkış gerilimi ve çıkış akımı değerleri birbiri ile aynıdır, Şekil 8’de sunulmuştur. Simulink benzetim ortamında tasarlanan evirici üzerinde geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör performansları karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Rezistif tam yükte (%100) yapılan performans testleri sonucunda KÇU tabanlı PI kontrolör yöntemi çıkış gerilim THB ve MAE değerleri sırasıyla %0.60 ve 1.6698 olarak elde edilmiştir. Çıkış gerilim THB ve MAE sırasıyla Denklem 1 ve 2’de verilmiştir. Burada V_h çıkış gerilimini e_k kapalı döngü kontrol sistemi hatasını gösterir.



Şekil 8. Çıkış gerilimi ve akımı

Tablo 3. Benzetim ortamında kontrolör performansları

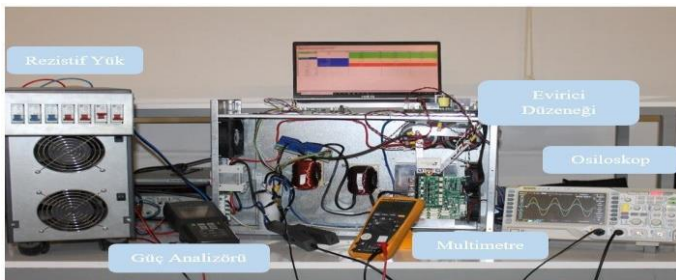
Kontrolör	(Rezistif Yük 100%)	
	THB (%)	MAE
Geleneksel PI	1.05	1.7121
BM tabanlı PI	0.75	1.6805
KÇU tabanlı PI	0.60	1.6698

$$THB = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |e_k| \quad (2)$$

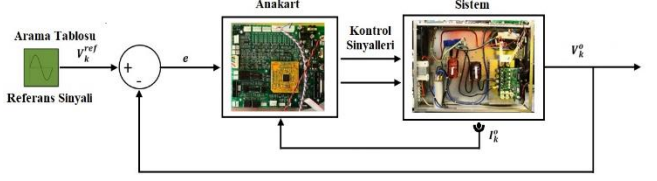
3.2. Deneysel Çalışmalar

Deney düzeneği için dsPIC33EP512GM710 işlemcinin kullanıldığı anakart, evirici devresi, akım ve gerilim algılayıcı devreler, evirici devresi üzerinde kullanılan akıllı güç modülü ve sürücü kartı tasarlanmıştır (Şekil 9).



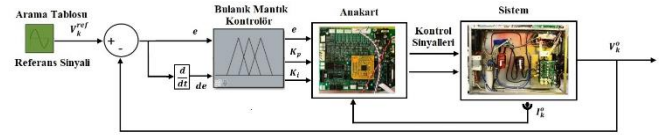
Şekil 9. Deney düzeneği tasarımı

Gerçek sistem çalışmaları tasarlanan evirici ile yapılmıştır. Geleneksel PI kontrolör yöntemi test edilmiştir (Şekil 10). Referans sinyali $V_k^{ref} = 220V_{RMS}$ sinüs biçiminde seçilmiştir. Ayrıca dijital olarak sinüzoidal PWM tekniğini uygulayabilmek için örnekleme frekansı $f_s = 12868Hz$ ve bara gerilimi $360 V_{AC}$ olarak belirlenmiştir. PI kontrolör parametreleri $K_p = 50$ ve $K_i = 30$ olarak alınmıştır.



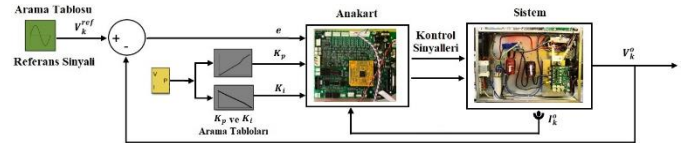
Şekil 10. Geleneksel PI kontrolör deney düzeneği tasarımı

BM tabanlı PI kontrolör Şekil 11’deki gibi gerçekleştirilmiştir. Evirici çıkış gerilimi ve referans gerilim farkı ile hata değeri elde edilir. Hata ve hatanın değişimi BM aracında giriş değerleri olarak kullanılır. BM işlemleri sonucunda K_p ve K_i katsayıları elde edilmiştir.



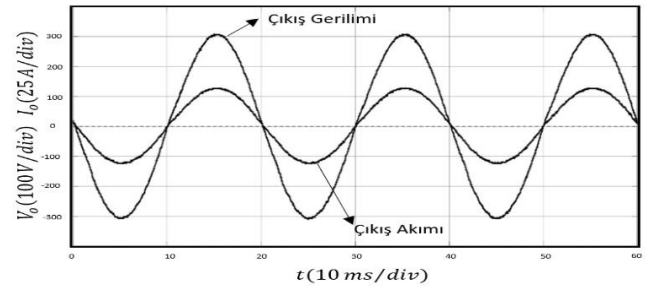
Şekil 11. BM tabanlı PI kontrolör deney düzeneği tasarımı

KÇU tabanlı PI kontrolör için Tablo 2’de elde edilen parametre değerleri ile K_p ve K_i kazanç çizelgesi kullanılmıştır. Bu tablo ile K_p ve K_i kazanç katsayıları ve kapalı döngü sistemi hata değeri ile PI kontrolör çıkışı eviriciye uygulanır (Şekil 12).



Şekil 12. KÇU tabanlı PI kontrolör deney düzeneği tasarımı

Gerçek sistem testleri sonucunda elde edilen zaman düzlemi çıkış gerilimi ve çıkış akımı değerleri neredeyse aynıdır, Şekil 13’de sunulmuştur. Tasarlanan evirici üzerinde geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör performansları karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Rezistif tam yükte (%100) yapılan performans testleri sonucunda KÇU tabanlı PI kontrolör yöntemi çıkış gerilim THB ve MAE değerleri sırasıyla %0.9 ve 2.7047 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. Çıkış gerilimi ve akımı

Tablo 4. Deney düzeneğinde kontrolör performansları

Kontrolör	(Rezistif Yük 100%)	
	THB (%)	MAE
Geleneksel PI	1.7	3.0719
BM tabanlı PI	1.2	2.7888
KÇU tabanlı PI	0.9	2.7047

4. Sonuç

Bu çalışma ile tasarlanan 5 kW KGK ve evirici için tasarlanmış geleneksel PI, BM ve KÇU tabanlı PI kontrolör algoritmalarının benzetim ve gerçek sistem sonuçları sunulmaktadır. Yapılan testler sonucunda tam yükte KÇU tabanlı PI kontrolör performansının diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Çıkış gerilim THB ve MAE değerleri tam yük altında karşılaştırılmıştır. İleriye dönük çalışmalarda değişken ve doğrusal olmayan yük altında kontrolör yöntemleri denenebilir ve başarılı sonuçlar elde edilebilir.

5. Teşekkür

Laboratuvar ve deney düzeneği kurulumu için sağladığı imkanlardan dolayı TESCOM A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Deng H, Omganti R, Srinivasan D. Digital control of single-phase UPS inverters with modified PWM technique. IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference. 2004 June; 1365-1371.
- Rahman MA, Quaicoe JE, Esmail AR, Choudhury MA. Delta Modulated Rectifier-Inverter for Uninterruptible Power Supplies. 1986; 445-449.
- Yeh C-C, Manjrekar MD. A reconfigurable uninterruptible power supply system for multiple power quality applications. Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. 2005 March; 1824-1830.
- Rech C, Pinheiro H, Grundling HA, Hey HL, Pinheiro JR. Analysis and design of a repetitive predictive-PID controller for PWM inverters. IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference. 2001; 986-991.
- Ding X, Qian Z, Yang S, Cui B, Peng F. A PID Control Strategy for DC-link Boost Voltage in Z-source Inverter. APEC 07 - Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. 2007; 1145-1148.
- Tehrani K-A, Capitaine T, Barrandon L, Hamzaoui M, Rafiei SMR, Lebrun A. Current control design with a fractional-order PID for a three-level inverter. Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications. 2011 September.
- Bolat ED, Ertunc HM. Implementation of Current Mode Fuzzy Tuning-PI Control of Single Phase UPS Inverter Using DSP. Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. 2005 August; 600-607.
- Mir SA, Zinger DS, Elbuluk ME. Fuzzy controller for inverter fed induction machines. Conference Record of the

- 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. 1994 Jan.-Feb.; 30(1): 78-84.
9. Jian L, Yong K, Jian C. Fuzzy-tuning PID control of an inverter with rectifier-type nonlinear loads. Third International Power Electronics and Motion Control Conference. 2000; 381-384.
10. Ding X, Qian Z, Yang S, Cui B, Peng F. A direct DC-link boost voltage PID-like fuzzy control strategy in Z-source inverter. 2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference. 2008 June; 405-411.
11. Thao NGM, Dat MT, Binh TC, Phuc NH. PID-fuzzy logic hybrid controller for grid-connected photovoltaic inverters. International Forum on Strategic Technology. 2010 October.,
12. Li JD, Wei SZ, Qiong W, Peng X. A Switching-inverter power controller based on fuzzy adaptive PID. Proceedings of 2011 6th International Forum on Strategic Technology. 2011 August; 695-699.
13. Chen W-L, Chiu Y-M, Li Z-C, Yen C-S, Wu D. A novel gain scheduling application for voltage-sourced inverters control based on internal model principle. 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON). Auckland 2012.
14. Jiao J, Hung JY, Nelms RM. Gain scheduling control strategy for a single-phase grid-connected inverter. IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). 2017 June; 723-728.
15. Yilmaz AR, Erol B, Delibaşı A, Erkmén B. Design of gain-scheduling PID controllers for Z-source inverter using iterative reduction-based heuristic algorithms. Simulation Modelling Practice and Theory 94. 2019 February; 162-176.
16. Datta A, Mukherjee D, Debbarma S, Saha H. A dsPIC based efficient single-stage grid-connected photovoltaic system. TENCON IEEE Region 10 Conference. 2014 October.
17. Ogata K. Modern Control Engineering; Pearson; 2009.
18. Arınç R. Bulanık Mantık Yöntemiyle Asenkron Motor Hız Kontrolü ve Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2003.
19. Yu K-W, Hwang R-C, Hsieh J-G. Automatic ship handling of maritime search mission by using self-tuning fuzzy gain scheduling PD controller. Journal of Navigation. 1999 September; 52(3): 378-387.