

PID Kontrolör ile İki Bölge Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün İncelenmesi

Enes YALÇIN¹, Ertuğrul ÇAM², Tevfik VARDAR³, Murat LÜY²

Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu, ARGE ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı, Ankara, 06330, Türkiye¹
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, 71450 Türkiye²
Ankara Büyükşehir Belediyesi, Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 06253 Türkiye³
Tel: +90 (312) 2961646; Fax: +90 (318) 3572459, enes.yalcin@mkek.gov.tr, cam@kku.edu.tr, t.wardar@gmail.com

Özet—Enerji ihtiyacının gün geçtikçe arttığı günümüzde, globalleşmenin de etkisiyle enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla enterkonnekte güç sistemleri oluşturulmuştur. Güç sistemlerinde kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri ise frekanstır. Enterkonnekte güç sistemlerinde herhangi bir güç sistem alanında meydana gelecek bir yük değişimi, bağlantı halinde olan diğer güç sistem alanlarının da frekans ve güç yönünden etkilenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yük frekans kontrolü problemi güç sistemleri için en önemli konulardan birisi olup bu makalede de önemli kontrolörlerden biri olan ve birçok sistemde uygulanan PID kontrolörün iki bölge güç sistemlerindeki performansı incelenmiş, MATLAB-Simulink ortamında modelleme ve simülasyonları yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler—Elektrik Enerjisi, Yük Frekans Kontrolü, PID Kontrolör, UCTE.

Abstract—Nowadays, power needs continuously increase in global world, so interconnected power systems are established for these requirements. Frequency is one of the most important parameter in power systems. In the event of the fact that a load change is made a power system area in an interconnected power systems, power and frequency changes in the other power system areas. Thus, load frequency control (LFC) problem has been one of the most important issues in the electric power systems. This paper presents a solution to load frequency control (LFC) problem using PID controllers. The study has been designed for two area power system. Modelling and simulation studies made in MATLAB-Simulink platform was compared with the other studies.

Keywords—Electric Energy, Load Frequency Control, PID Controller, UCTE

I. GİRİŞ

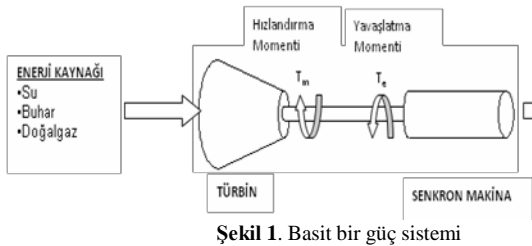
Dünyadaki sanayileşme süreci ve Dünya nüfusunun hızla artış göstermesi, elektrik enerjisi ihtiyacının da artmasına neden olmuştur. Buna karşın, enerji kaynaklarının kısıtlı olması, artan çevre bilinci, elektrik enerjisinin büyük miktarda depo edilememesi sorunu, elektriğin o anki ihtiyacını karşılayacak miktarda ve çok daha yüksek verimde üretilip kullanıcıya ulaştırılması mecburiyetini doğurmuştur.

Enterkonnekte güç şebekesine bağlı ülkeler bir araya gelerek kendi oluşturdukları ağa dâhil olmak isteyen ülkeler için bir takım standartlar geliştirmeye başlamıştır. Bu amaçla açılımı Avrupa Elektrik İletimi Koordinasyonu Birliği olan kısaca UCTE (Union For The Coordination of Transmission of Electricity) olarak ifade edilen birlik kurulmuş ve UCTE'ye bağlı ağa dahil olmak isteyen ülkelere bir takım standartlar getirmiştir. Ülkemizin ilgili birimleri, UCTE'ye bağlı ağa dâhil olabilmek ve UCTE kriterlerini yerine getirmek amacıyla çalışmalarına başlamışlardır. Bu çalışmaların en önemli ayaklarından birisi de yük frekans kontrolüdür.

Güç sistemlerinin kararlılığının en önemli ölçütlerinden biri frekanstır. Güç sistemlerinin kararlı bir şekilde çalışabilmesi için uluslar arası sınırlar içinde (UCTE için 49,2-50,8 Hz.) daha önceden belirlenmiş sabit frekans değerinde (Türkiye için 50 Hz.) ve üretilen ile tüketilen güç dengesinin sağlanmış olması gereklidir. Elektrik güç sistemlerinde meydana gelebilecek bir kararsızlık durumu bağlı olduğu diğer güç sistemlerinde de ciddi kararsızlık problemlerine yol açabilmektedir.

Güç sistemlerinde frekansı etkileyen en önemli parametre ise aktif güçtür. Üretilen ile tüketilen elektrik enerjisi arasında denge olmadığı takdirde frekans artacak veya azalacaktır. Üretilen elektrik enerjisi tüketilen elektrik enerjisinden daha fazla ise frekans artacak, üretilen elektrik enerjisi tüketilen elektrik enerjisinden daha az ise de frekans azalacaktır. Ayrıca enterkonnekte güç sistemlerinde bağlantı hatları arası güç değişimi de frekansta değişime neden olmaktadır. Frekans enterkonnekte güç sistemlerinde her nokta için ortak bir karakteristik olması nedeniyle aktif güç üretimi ya da tüketiminde meydana gelecek bir gelişme, sistemin her noktasında frekansta salınımlara sebep olmaktadır. İşte enerji şebekelerinde kararlılığı artırmak için bağlantı hatlarındaki aktif güç akışı ile üretilen gücü denetleyerek mümkün olduğunca hızlı ve etkin bir şekilde sistem frekansı istenen nominal frekans değerine, bağlantı hattı yükünü ise bağlantılı olduğu şebekelerle önceden belirlenmiş güç alış-veriş değerine getirme işine Yük Frekans Kontrolü (YFK) denilmektedir.

Şekil-1'de basit bir güç sistemi gösterilmekte olup mekanik moment (T_m) üretimi, elektriksel moment (T_e) ise tüketimi diğer bir ifadeyle yükü temsil etmektedir. Bu tanımların ışığında (1) no' lu denklemde de ifade edildiği gibi üretim ile tüketim arasında oluşabilecek bir dengesizlik frekansta artışa ya da azalışa neden olacaktır.



Şekil 1. Basit bir güç sistemi

$$T_m - T_s = J \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

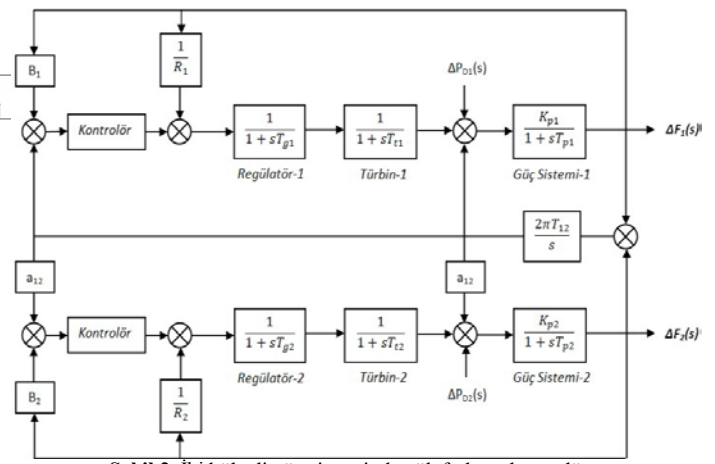
II. İKİ BÖLGE Lİ GÜÇ SİSTEMİNDE YÜK FREKANS KONTROLÜ

YFK, primer (birincil) frekans kontrolü, sekonder (ikincil) frekans kontrolü ve tersiyer (üçüncül) frekans kontrolü olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir. Primer frekans kontrolü, elektrik enerjisinin eşit olmaması durumunda, sapmaya uğrayan sistem frekansını sabit değerde dengeleyip frekans değişimini durdurmak için güç sisteminin ünite rezerv kapasitesinin, türbin hız regülâtörünün ayarlanan hız-eğim (speed-droop) oranında frekansın kontrolü işlemi olarak tanımlanabilir. UCTE kriterlerine göre frekans sapması ± 200 mHz'i geçmesi durumunda primer frekans kontrolünün aktive olmasını zorunlu kılmış ve primer kontrol yapan üniteler frekanstaki sapmayı takip ederek maksimum 15 saniye içerisinde primer rezerv yükünün % 50'sini, 30 saniye içerisinde de tamamını aktive etmesi mecburiyetini getirmiştir. Ancak güç sistemlerindeki ani yük değişimleri çok kısa sürede gerçekleştiğinden primer frekans kontrolü tek başına frekans anma değerinde tutamamakta ve kalıcı durum hatası veya bir başka deyişle kalıcı frekans hatasına neden olmaktadır.

Sekonder frekans kontrolü ise bölgeler arasındaki güç akışını kontrol ederek sistemde var olan kalıcı frekans hatasının giderildiği ikincil kontrol işlemidir. Bölgeler arasındaki bağlantı hatlarındaki aktif güç akışı yük tevzi merkezlerinde bu amaçla kurulmuş bilgisayar destekli denetleyiciler vasıtasıyla kontrol edilir. Bu denetleyiciler bağlantı hattında var olan alan kontrol hatasını (Area Control Error) kontrol ederler.

Tersiyer kontrolde ise olası başka bir frekans bozulması durumunda yeterli sekonder kontrol rezervine sahip olabilmek için gerek jeneratörlerin güçlerini azaltıp/arttırarak gerekse kontrollü yük atarak yapılan kontrol aşamasıdır. Ayrıca bu denetimin diğer bir amacı, var olan elektrik ihtiyacının karşılanması için her bir ünitenin güç üretiminin mümkün olan en ekonomik şekliyle yapılmasının sağlanmasıdır.

Şekil 2'de iki bölge li bir güç sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2. İki bölge li güç sisteminde yük frekans kontrolü

(2) no' lu denklem iki bölge li güç sistemleri için birinci bölgede meydana gelen ΔP_L 'lik bir yük artışının olması durumunda frekansta meydana gelecek değişimi, (3) no' lu denklem ise bağlantı hattında meydana gelecek değişimi ifade etmektedir.

$$\Delta w = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \quad (2)$$

$$\Delta P_{tis} = \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \quad (3)$$

Sekonder frekans kontrolü için gerekli parametre olan alan kontrol hatası şu şekilde hesaplanabilir.

$$ACE_1 = -\Delta P_{tis} - B_1 \Delta w \quad (4)$$

$$ACE_2 = -\Delta P_{tis} - B_2 \Delta w \quad (5)$$

(4) ve (5) no' lu denklemde geçen B_1 ve B_2 , frekans biasını ifade etmektedir. Birimi p.u.MW/Hz'dir. Başka bir deyişle frekanstaki değişimin (Δw) güç birimindeki ifadesidir ve (6) ve (7) no' lu denklemle ifade edilirler.

$$B_1 = \frac{1}{R_1} + D_1 \quad (6)$$

$$B_2 = \frac{1}{R_2} + D_2 \quad (7)$$

Buna göre alan kontrol hatası şu şekilde bulunabilir.

$$ACE_1 = \left[\frac{\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \right] - \left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) \left[\frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \right] \quad (8)$$

$$ACE_2 = \left[\frac{\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \right] - \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right) \left[\frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \right] \quad (9)$$

$$= 0$$

III. PID KONTROLÖR

Üretilen gücün artırılması veya azaltılması işlemi uygun şekilde tasarlanan kontrolörler tarafından denetlenen hız regülatörleri vasıtasıyla gerçekleştirilir. Literatürde YFK gerçekleştirmek için en çok kullanılan kontrolör tipleri integral denetleyicilerdir. Bunun yanı sıra PI, PID, yapay sinir ağları, bulanık mantık tipi kontrolörler, bulanık PI, bulanık PID ve genetik algoritmalar da sıklıkla kullanılan denetleyici tipleridir.

PI kontrolörler ile yapılan yük frekans kontrolü işlemlerinde, düşük mertebeli, lineer sistemler için iyi basamak cevaplar vermekle beraber enterkonnekte güç sistemlerinin lineer olmamasından dolayı enterkonnekte ağda meydana gelebilecek bir değişikliğe adaptasyonda yavaş kalmakta ve kalıcı durum hatası oluşmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, günümüzde en çok kullanılan kontrolör tiplerinden birisi olan PID kontrolörün iki bölgesi güç sistemlerindeki performansı incelenerek PI kontrolör sonuçları karşılaştırılmıştır.

En genel ifadeyle PID kontrolör aşağıdaki şekilde ifade edilir ve K_p , K_i ve K_D olmak üzere üç parametreden oluşur.

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (10)$$

PID kontrolörü besleyen hata sinyali, kalıcı durum ve geçici durum hatası olmak üzere ikiye ayrılır. K_p , K_i , K_D olan PID parametreleri sabit olduğu için hem geçici hem de kalıcı durum hatalarının devam etmesine neden olmaktadır. Geçici durum hatası için daha yüksek değerler seçmek kalıcı durum hatası için ise daha düşük parametre değerleri seçmek problemin çözümü için kullanılabilir bir tekniktir. Kalıcı durumla karşılaştırıldığında, geçici durum daha kısa sürede olmaktadır. Güç sistemindeki frekans değişimi ($\Delta\omega$) ve bağlantı hattı güç akışı (ΔP_{tie}) karakteristiklerinin performansını geliştirmek için K_p , K_i , K_D değerleri basamak cevaba göre artırılarak kalıcı durum hatası daha da azaltılabilmektedir.

PID parametrelerinin belirlenmesinde günümüzde en çok kullanılan yöntem Ziegler-Nichols yöntemidir. Söz konusu bu yöntem, integral katsayısının (K_i) sonsuza, türev katsayısının ise sıfıra ayarlanarak K_p değerinin azar azar artırılması ve

sistemin frekans cevabının sabit genlikte olduğu kritik katsayı değeri (K_u) ve periyodunun (T_u) tespit edilmesi ve bu değerlere göre parametrelerin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarında PID parametrelerinin belirlenmesinde iki ayrı Ziegler-Nichols tablosu tespit edilmiş olup her iki yöntemle göre de PID parametreleri belirlenmiş ve modele uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Tablo 1'de gösterilen yöntemin sistemimizde daha iyi cevaplar verdiği anlaşılmıştır.

Tablo 1. Ziegler-Nichols frekans cevabı metodu kontrolör parametre belirleme tablosu

Kontrolör	K_p	K_i	K_D
PI	$\frac{2K_u}{5}$	$\frac{K_u}{2T_u}$	0
PID	$\frac{3K_u}{5}$	$\frac{6K_u}{5T_u}$	$\frac{3K_u T_u}{40}$

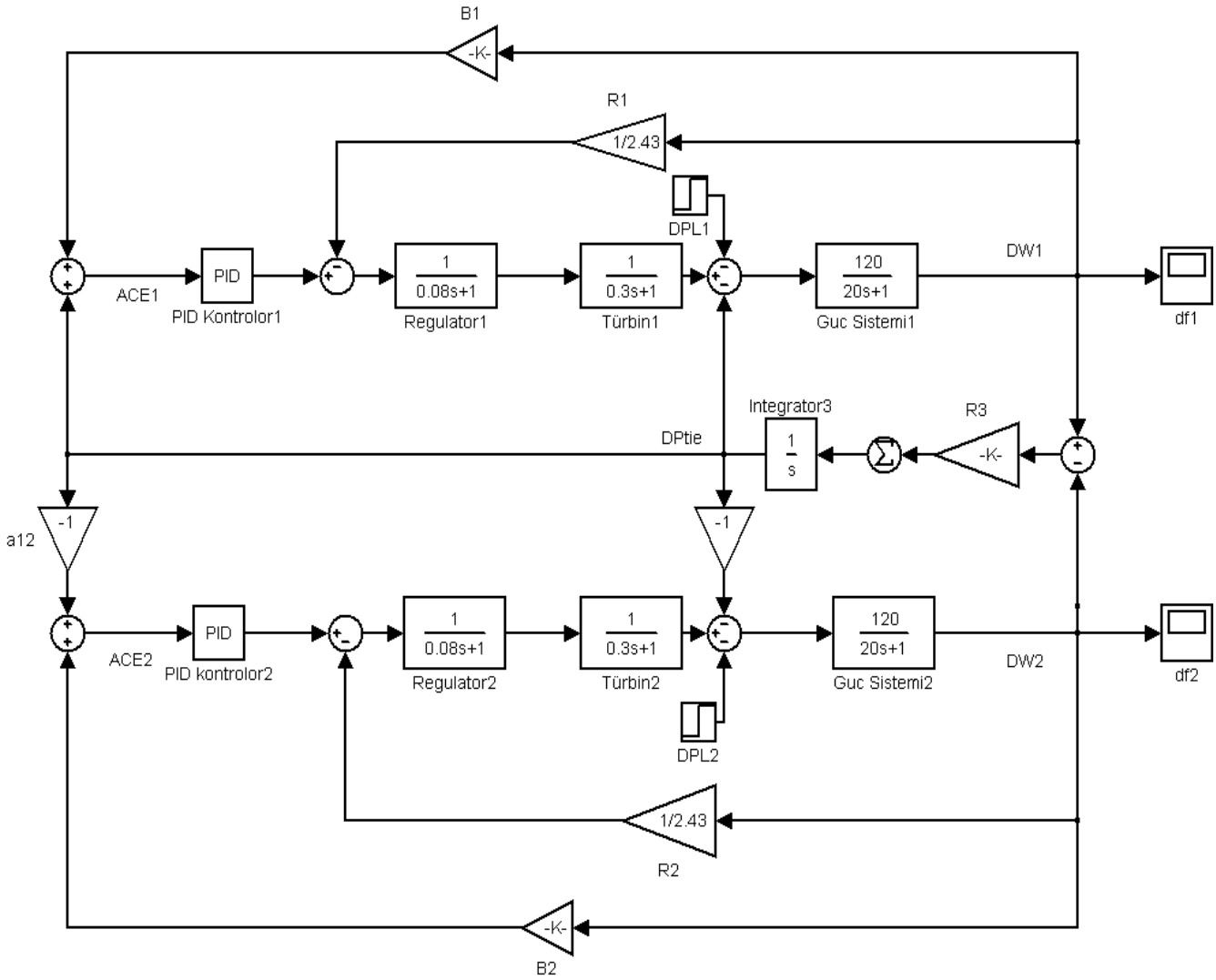
IV. SİMÜLASYON VE SONUÇLAR

İki bölgesli güç sistemi için kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir.

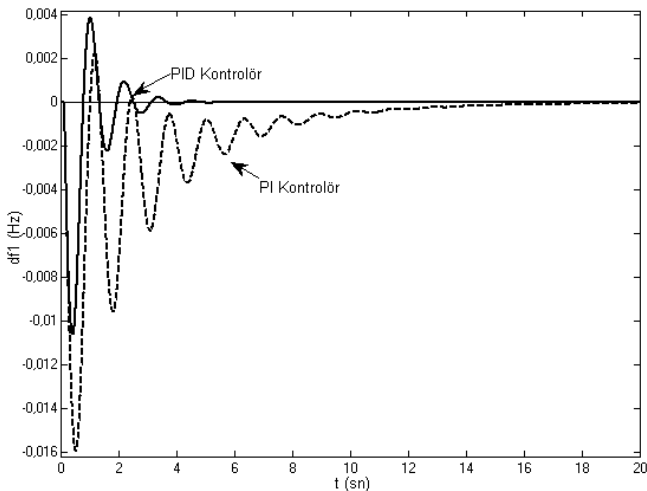
Tablo 2. İki bölgesli güç sistemi parametreleri tablosu

	T_g	T_t	T_p	K_p
Bölge-1	0.08	0.3	20	120
Bölge-1	0.08	0.3	20	120
	R	B	a₁₂	T₁₂
Bölge-1	2.43	0.425	-1	0.086
Bölge-2	2.43	0.425	-1	0.086

Tablo-2'de verilen parametreler doğrultusunda iki bölgesli güç sistemi, MATLAB-Simulink ortamında modellenmiş ve elde edilen cevaplarla PI kontrolör sonuçlarının karşılaştırmaları Tablo-3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. PID kontrolörlü iki bölgeyi güç sistemi blok diyagramının MATLAB modeli



Şekil 4. İki bölgeyi güç sisteminin PI ve PID kontrolör frekans değişimlerine ait simülasyon sonuçları

Şekil 4'e göre elde edilen sonuçlar özet tablo halinde Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Klasik PI kontrolör ile önerilen PID kontrolör sonuçları

Kontrolör Tipi	Oturma Zamanı (sn)	Maksimum Bozulma (Hz)
Klasik PI	20	0.0160
PID	5.5	0.0107

Şekil 4 ve Tablo 3 incelendiğinde, PID kontrolörle yapılan kontrolde sistemin oturma zamanı PI kontrolörün cevabına göre yaklaşık 4 kat hızlı, maksimum aşma değerleri incelendiğinde ise PI kontrolöre göre %33 daha iyi aşma değerine sahip olduğu gözlenmiştir.

V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, iki bölgeyi bir güç sisteminde yük frekans kontrolü için yeni bir PID kontrolör tasarlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle iki bölgeyi güç sistemi MATLAB R2007b programında modellenmiş ve gerek PI gerekse PID kontrolörün sistemde yük değişimi olması durumundaki

cevabı incelenmiştir. Bu sonuçlara göre iki bölgeyi bir güç sistemi için PID kontrolörle yapılan yük frekans kontrolünün, gerek oturma zamanı gerekse maksimum bozulma değeri açısından geleneksel PI kontrolöre göre çok daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, PID kontrolörün diğer modern kontrolörlerle de karşılaştırılmasının yapılmasının güç sistemlerinde yük frekans kontrolünün en iyi şekilde yapılması açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

[21] Paz, Robert A. , “The Design of the PID Controller”, Klipsch School of Electrical and Computer Engineering, 2001

VI. KAYNAKLAR

- [1]Kundur, P., Power System Stability Control, EPRI Power Eng. Series, 1994.
- [2]Yılmaz, A.S., Yanıkoğlu, E., Turan, M., “Enerji Sistemlerinde PID Denetleyiciler ile Yük Frekans Kontrolü”, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, pp. 105-109, 1997.
- [3]Murty, P.S., Power System Operation and Control, Tata-McGraw Hill, New Delhi, 1984.
- [4]Indulkar, C.S., Baldev, R., “Application of Fuzzy Controller to Automatic Generation Control, Electric Machines and Power Systems”, Vol.23, pp.209-220, 1995.
- [5]Akalin, G., Kocaarslan, İ., Yörükeren N., Erfidan, T., “İki Bölgeyi Bir Güç Sistemi İçin Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılan PI Kontrolörün Kazancının Bulanık Mantık ile Programlanması”, TOK’98- Otomatik Kontrol Bilimsel toplantısı, s. 133-138, 15-16 Ekim 1998, İstanbul.
- [6]Tesnjak, S., Mikus, S., Kuljaka, O., “Load-Frequency Fuzzy Control in Power Systems”.
- [7]Chatuverdi, D.K., Satsangi, P.S., Kalra, P.K., “Load Frequency Control: A Generalised Neural Network Approach”, Electrical Power and energy Systems, Elsevier Science, Vol.21, s. 405-415, January 1999.
- [8]Ashok, K., Malik, O.P., et al., “Variable-structure-system Control Applied to AGC of an Interconnected Power System”, IEEE Proceedings, Vol.132, Pt. C., No.1, January 1985.
- [9]Dangprasert, P., Avatchanakorn, V., “Genetic Algorithms Based on an Intelligent Controller”, Expert Systems with Applications, Pergamon Press, Vol.10, No.3/4, s. 465-470, 1996.
- [10]Wood, A.J., Wollenberg, B.F., Power Generation, Operation and Control, John Wiley and Sons, New York, 1984.
- [11] S. Tesnjak, S. Mikus, O. Kuljaka, Load-frequency fuzzy control in power systems, Proceedings of the 5th SONT, Simpozij o Novim Tehnologijima, pp. 136-139, Poree, 1995.
- [12] T., Tilli, Automatisierung mit Fuzzy-Logic, Franzis-Verlag, München, 1992.
- [13] Tomsovic, K., Fuzzy Systems Applications to Power Systems, Chapter IV-Short Course, Proceedings of International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, Rio de Janeiro, Brazil, April 1999, pp.1-10.
- [14] Milani, Armin Ebrahimi, Mozafari, Babak, “Genetic Algorithms Based Optimal Load Frequency Control in Two-Area in Interconnected Power Systems”, Proceedings of the Second Global Conference on Power Control and Optimization, Vol.1159, s. 43-48, 2009.
- [15] Zhang Yao, Load Frequency Control of Multiple-Area Power Systems, Y.Lisans Tezi, 2009
- [16] J Y. Zhang, L. Dong, and Z. Gao, “Load Frequency Control for Multiple-Area Power Systems”, Proceedings of American Control Conference, 2009
- [17] Prasanth, B. Venkata; Kumar, Dr. S. V. Jayaram, “Newrobust Fuzzy Load Frequency Controller for a Two Area Interconnected Power System”, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 5, No.2, 2009.
- [18] Tan, Wen, “Tuning of PID load frequency controller for power systems”, Energy Conversion and Management, Vol.50, Issue 6, 1465-1472, 2009
- [19] Khodabakhshian, A. , Edrisi, M., “A new robust PID load frequency controller”, Control Engineering Practice, Vol. 16, Issue 9, Pages 1069-1080, 2008.
- [20] Liu, Jirong, “A novel PID tuning method for load frequency control of power systems”, Anti-counterfeiting, Security, and Identification in Communication, 3rd International Conference, s. 437-442, 2009