

DEVİR SAYISI REGÜLATÖRÜ NONLİNEERLİKLERİ KATILMIŞ OLAN GÜÇ SİSTEMİNDE NEURAL KONTROLÖR KULLANIMIYLA YÜK-FREKANS KONTROLÜ

H.Lale ZEYNELGİL¹

Aysen DEMİRÖREN²

Neslihan S. ŞENGÖR³

^{1,2}Elektrik Mühendisliği Bölümü

³Elektronik ve Haberleşme Bölümü

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, 80626, İstanbul

²e-mail: aysen.zeynelgil@itu.edu.tr

Anahtar Kelimeler : Güç sistemi, yük-frekans kontrolü, devir sayısı regülatörü, back propagation through time algoritması, neural network

Abstract

In this study, neural network controller is used to provide load frequency control of power system. Because the nonlinearities resulted from reheater and governor deadband effects are considered in state space model of the system, the model almost expresses the real power system. For study, neural network controller uses , back propagation through time algorithm. The simulation results represent that the proposed controller provides better control than conventional controller.

1.Giriş

Yük talebindeki değişimler güç sisteminin frekansında ve üretiminde de sürekli değişimler yaratacaktır. Oysa sistemden beklenen en önemli özelliklerden biri sistem frekansının belli sınırlar dahilinde tutulması olup, bunu sağlamak üzere literatürde pek çok kontrol yöntemi önerilmiştir [1-3]. Güç sisteminin doğal nonlineerliği nedeniyle uyumlu kontrol yöntemlerinin bu iş için daha uygun olacağı açıktır. Sabit kontrolörlerin, belli bir çalışma koşulu altında tasarlandıkları için, bir başka çalışma koşulu söz konusu olduğunda uygun sonuçlar veremeyeceği açıktır [4-6]. Bu açıdan, değişken yapıdaki kontrolörler güç sistemi parametrelerini değiştirmeye duyarlı kontrolör olarak kullanılmalıdır. Özellikle adaptif kontrol yapılarının bu iş için çok uygun olduğu bilinmektedir [7-9].

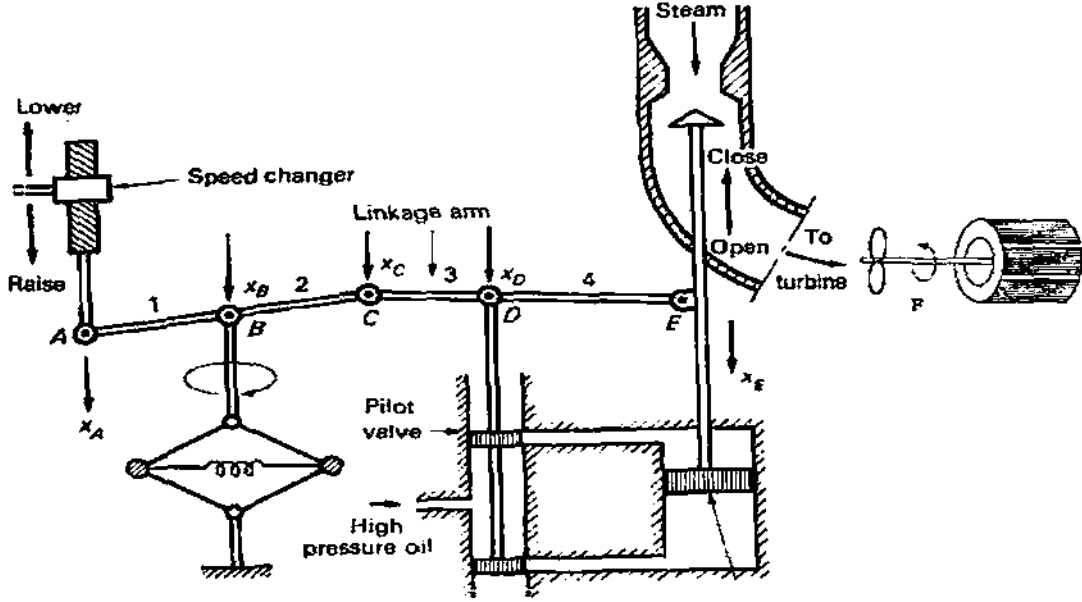
Bu çalışmada farklı tüketicileri besleyen basit izole edilmiş bir sistemde yük-frekans kontrolü göz önüne alınmıştır. Belirli yük değişimlerinden sonra frekansın değişimini sıfırlamak için, yani ikincil kontrol hareketi olarak, alışageldiği gibi integral kontrol ile back propagation through time yöntemini kullanan neural kontrolör yapısı karşılaştırılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Çalışmada kullanılan model güç sistemindeki her türlü kazan etkisi hariç tüm nonlineerlikleri içerdiği için, güç sistemindeki bir üretim birimine ilişkin alanı gerçeğe oldukça yakın

taklit edebilmektedir. Bilindiği gibi çoğu yük-frekans kontrolü çalışmalarında ikincil kontrolü gerçekleştirmek amacı ile kullanılan integral kontrolörde kazancı ayarlamak oldukça güçtür ve çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılarak geçici düzeltmelerin hızı ve sistemin dinamik cevabındaki düşük aşım arasında bir uzlaşma sağlanarak ayarlanır. Ne yazık ki bu tip kontrolörler hem oldukça yavaştır, hem de üretim biriminin nonlineerliklerini hasaba katma konusunda yetersizdir [10]. Uyumlu kontrolün gelişmiş tipi olarak düşünebileceğimiz neural şebeke kontrolü yapısının çok daha iyi dinamik davranış vereceği, bu çalışmada elde edilen simülasyon sonuçlarından da açıkça görülmektedir.

Kontrol edilecek olan nonlineer sistem durum uzayı eşitlikleri yardımıyla modellenmiştir. Bu şekilde verilen kontrol kuralı sistemin dinamiklerini kopyalayacaktır. Neural şebeke sistemi kontrol etmek için kullanılacağından, backpropagation through time algoritması dinamik sistemi kopyalamak üzere tercih edilmiştir.

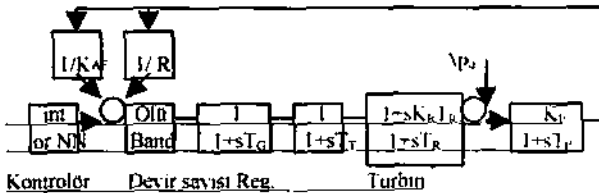
2. Sistem Modeli ve Alışagelmiş Kontrol Yapısı

Bu çalışmada, mekanik güçlü türbin tarafından verilen ve farklı tüketicileri besleyen tek alanlı bir sistem göz önüne alınmıştır. Esasında, alan sözü paralel çalışan birden fazla generatörün oluşturduğu sistemi ifade eder [10]. Temel olarak, çıkıştaki elektriksel büyüklüklerin dalga şekilleri türbinin buhar akışı ile belirlenir. Bu, aynı zamanda kullanıcıların güç talebindeki değişimlerden de etkilenir [11]. Elektriksel yük aniden artarsa, generatör mili yavaşlar ve generatörün frekansı da düşer. Kontrol sisteminden beklenen özellik, yükün değiştiği fark edildiğinde türbinin mekanik momentini artıracak şekilde buhar idare vanasını açarak mil hızını ve sonuç olarak sistem frekansını nominal değerlerine geri döndürmektir. Şekil-1 bu şekilde bir sistemin aktif güç kontrolünü göstermektedir [10].



Şekil-1. Alışlagelmiş tek alanlı güç sistemi

Bilindiği gibi, güç sistemini oluşturan cihazların çoğu nonlineerdir. Nonlineerlikler bir çalışma noktası civarında lineerleştirilmiş sistemin parametreleri kullanılarak bölgesel bir şekilde modellenir. Bu çalışmada devir sayısı regülatörü ölü band etkileri ve araisıtıcı etkileri sistem durum denklemlerinde ifade edilmiştir. Özellikle devir sayısı regülatörlerine ait ölü band etkilerinin zaman zaman kararsızlığa yol açtığı iyi bilindiğinden, sistem modelinde bunların ifade edilmesi daha gerçekçi bir model kullanmayı garantilemektedir. Daha ayrıntılı olarak kazan etkilerinin de simüle edilmesi mümkündür, ama bu çalışmada basitlik için bu göz önüne alınmamıştır. Ayrıca, üretilen güç değişimindeki hız da sınırlandırılmıştır. Çalışmada kullanılan Δ sembolü, değişkenin o anki değeri ile nominal değeri arasındaki farkı göstermektedir. Tek alanlı sistemin Laplace domenindeki ifadesini gösteren şema Şekil-2' de verilmiştir [12].



Şekil-2. Tek alanlı sistemin modeli

Ölü band etkisini içeren modele ilişkin durum eşitlikleri aşağıda yazılmıştır:

$$\Delta \dot{\omega} = -\frac{1}{T_P} \Delta \omega - \frac{K_P}{T_P} (\Delta P_G - \Delta P_D)$$

$$\Delta \dot{P}_G = -\frac{1}{T_G} \Delta P_G + K_T \Delta P_T + \frac{1}{T_T} \Delta P_T$$

$$\Delta \dot{V}_T = \frac{1}{T_T} \Delta P_T + \frac{1}{T_T} \Delta x_E$$

$$\Delta \dot{N}_1 = -\frac{1}{T_G} \Delta N_1 + \frac{1}{T_G} \left(N_1 + \frac{N_2}{\omega_0} \frac{d}{dt} \right) \left(u_s - \left(\frac{1}{K_{AF}} + \frac{1}{R} \right) \right)$$

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan değişkenler Ek-1'deki değişken listesinde verilmiştir.

Ölü bandın ifade edildiği histerizis eğrisinin nonlineerliği aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$y = f(x, dx/dt) \quad (1)$$

Bu nonlineerlik iki saniye civarındaki doğal frekansla sürekli sinusoidal salınımlar verecektir [5]. Bu nedenle, x değerini sinusoidal bir fonksiyon olarak almak gerçekçi bir yaklaşımdır:

$$x = A \sin(\omega t) \quad (3)$$

burada A salınımların genliğini, ω ise frekansını göstermektedir. Bu şekilde $F(x, dx/dt)$ fonksiyonu aşağıdaki şekilde Fourier serisine açılır:

$$F(x, x) = F_0 + N_1 x + \frac{N_2}{\omega} \dot{x} + \dots \quad (4)$$

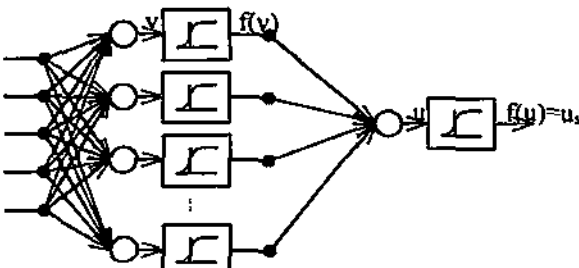
Mantıklı yaklaşım için, ilk üç terimi almak yeterlidir. Bu nonlineerlik aynı zamanda orijine göre simetrik ve bu nedenle F_0 sıfırdır, ve fonksiyon aşağıdaki şekli alır

$$F(x, \dot{x}) = N_1 x + \frac{N_2}{\omega_0} \dot{x} = \left[N_1 + \frac{N_2}{\omega_0} \frac{d}{dt} \right] x = DBx \quad (5)$$

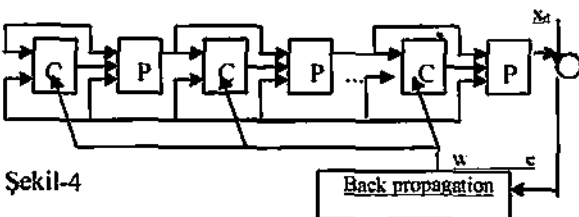
Burada DB harfleri 600 bantı ifade etmektedir. Literatürde tanımlandığı gibi, Fourier katsayıları $N_1=0.8$ ve $N_2=-0.2$ olarak alınır. Ayrıca üretim değişimindeki hız sınırlaması 0.0017 p.u.MW/sec olarak alınır [9].

3. Tek Alanlı Sistemin Neural Şebeke Kontrolü

Bir önceki bölümde verildiği gibi, sistem modeli nonlinear durum eşitlikleri olarak ifade edilmiştir. Bu ifadelerde ikincil kontrol amacı ile alışlagelmiş integral kontrolörün yer aldığı görülmektedir. Buna alternatif olarak incelenecek olan ve nonlinear kontrolü sağlayan neural kontrol yapısı, çok tabakalı perceptron için verilen back propagation through time yöntemini kullanır. Sistem iyi bir şekilde modellendiği için burada sorun modelleme değildir ve bu nedenle sistem yerine neural şebeke emülatörünü kullanmaya gerek yoktur [13]. Kontrolör ve tek alanlı sistemin tamamı neural şebeke ile modellenmediği için ve tek alanlı sistemin durum değişkenlerine ait istenen değerler önceden bilindiği için, problem hatayı geriye yaymaktır. Bu problem, tek alanlı sistemin çıkışında elde edilen hatanın lineer kombinasyonu olan yeni hatayı belirleyerek çözülür. Bu yeni hata back propagation through time algoritmasında kullanılır. Girişte açıklandığı gibi, kontrol edilen olayın dinamik davranışını kopyalamak için zaman içinde yayılmış back propagation through time algoritması kullanılmaktadır. Bu işlem yapılırken, güç sistemi 0.02 saniyelik periyotlarla modellenir ve her bir periyotta, dinamik sistem davranışı durum uzayı eşitliklerinin Euler yöntemi kullanılarak çözülmesiyle elde edilir. Bu şekilde, Şekil 3 de verilen, kontrolör ve sistemin 500 bloğu 1000 iterasyon için sistemi modellemede kullanılır. Her bir bloktaki neural şebeke kontrolörü Şekil 4' de gösterilen iki tabakalı bir perceptrondur.



Şekil-3. NN kontrolörün iç yapısı



Şekil-4

Neural kontrolörün girişleri dört durum değişkeni ve yükteki değişim ΔP_D olup, çıkış tekdır ve bu, güç sistemimizin kontrol girişidir. Saklı tabakada 20 adet nöron ve çıkış tabakasında sadece tek bir nöron vardır. Aktivasyon fonksiyonu sigmoid olarak alınmıştır. Back propagation kuralı, $E=e^T e / 2$ ile verilen hata fonksiyonunu minimize etmek için neural şebekede ağırlıkların nasıl değişeceğini belirlemektir. Neural şebekenin uyumluluğu, denetimli öğrenme işlemi sırasında insan beynindeki sinaptik (sinirsel) ağırlıkların değişimini taklit eden, bu ağırlık değişimi işlemi sonucu oluşur. Optimizasyonun gradyant descent yöntemine göre backpropagation kuralı nedeniyle ağırlıklar değişir [14]:

$$\Delta w_{ij}^l = -\mu \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^l} \quad (6)$$

Burada w_{ij}^l , l tabakasındaki i. nöronu bir sonraki tabakadaki j. nörona bağlayan ağırlıktır. Bu şebekede kullanılan neural şebeke kontrolörü, biri saklı, diğeri çıkış olmak üzere iki tabakalı olduğundan, l bir yada ikidir. Pozitif bir gerçel sayı olan μ öğrenme hızı olup, gradyanta dayandırılan optimizasyon yöntemlerinde adım büyüklüğüne karşı düşer. Hata fonksiyonunun gradyanı çıkış tabakasında yani 2. tabakada kolaylıkla hesaplanır ve bu aşağıdaki değere eşittir.

$$\delta_j^2 = -e_j f_j^{\prime} \quad (7)$$

Burada, f_j^{\prime} çıkış tabakasındaki j. nöronun aktivasyon fonksiyonunun türevidir. Birinci tabaka, yani saklı tabaka için enerji fonksiyonunun türevi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\delta_j^1 = \sum_m \delta_m^2 w_{jm}^2 \quad (8)$$

Çıkış ve saklı tabaka için ağırlıklar sırasıyla aşağıdaki kurallara göre değiştirilir:

$$\Delta w_{ij}^2 = -\mu \delta_j^2 f^{\prime}(v_j^1) \quad (9)$$

$$\Delta w_{ij}^1 = -\mu \delta_j^1 x_i \quad (10)$$

Aşağıdaki bölümde, yukarıda verilmiş olan neural şebeke kontrolörünü kullanarak elde edilen simülasyon sonuçları ve alışlagelmiş integral kontrolörü ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

4. Simülasyon Sonuçları

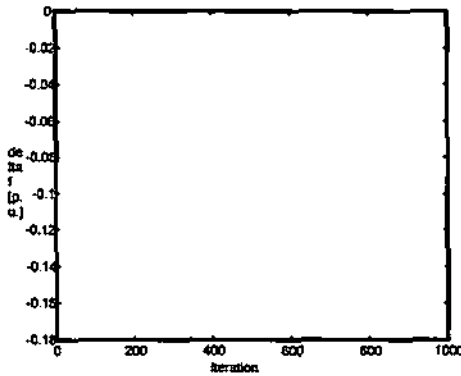
Bu çalışmada, Matlab NN (neural network) toolbox'ı kullanılmamış, onun yerine Matlab metafiles dosyalarında program yazılarak simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Önceden bahsedildiği gibi, sistem emülatörü olmadan back propagation through time algoritması kullanıldığı için, zaten Matlab NN (neural network) toolbox'ı kullanılamazdı. Burada NN emülatör yerine sistem eşitlikleri doğrudan kullanıldı. Bu eşitlikler, dört durum ve iki girişli durum uzayı eşitlikleridir. Diğer yandan, neural şebeke kontrolörünün girişleri de sistemin durumları ve yükteki değişimdir. Güç sistemi ile ilgili

hesaplamaalarda devir sayısı reglilatörünün ölü bandının ve üretim gücü değişimindeki hız sınırlandırması diğer bir yeniliktir. Eşitliklerdeki parametre değerleri Ek-2 deki tabloda verilmiştir.

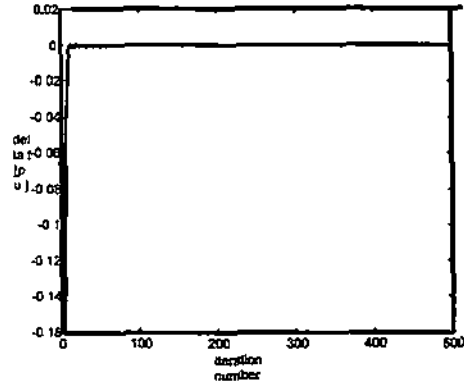
NN ile ilgili parametre değerleri ise, $\mu=0.2$ ve α sigmoid fonksiyonunun kaymasını kontrol eden pozitif sabit olup, değeri on olarak alınmıştır. Bilindiği gibi, hem adım uzunluğu, hem de hatanın belli bir değerden küçük olması iterasyonu durdurma kriteri olarak seçilebilir. Bu çalışmada, iterasyonu durdurmak için her iki kriter de kullanılmıştır. NN kontrolör ve güç sistemi eşitlikleri tarafından oluşturulan 500 blokta güç sisteminin nonlineer dinamik davranışı incelenmiştir.

Başlangıçta durum eşitliklerinin ilk değerleri sıfır olarak ve yükteki değişim 0.01 p.u.MW olarak alınmıştır. NN kontrolörün ağırlıkları keyfi değerler olarak seçilir. 1000 iterasyon sonunda, bütün sistemin çıkışında elde edilen hatanın yaklaşık 0.0177 olarak gözlenmiştir.

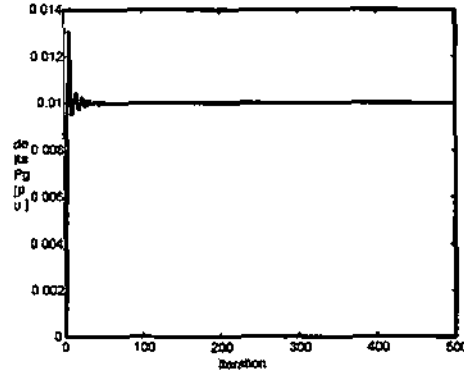
Simülasyon sonuçları Şekil 5-8' de verilmiştir. Şekil 5 yukarıda verilen adım yük değişimi alışlagelmiş yöntemle kontrol edilen sisteme uygulandığında frekans değişimini, Şekil 6 aynı durumda 500 iterasyon boyunca NN kontrolör kullanarak elde edilen frekans değişimini göstermektedir. Şekil 7' de ise, aynı bozulma için, üretim gücündeki değişimin NN kontrolör kullanarak elde edilmiş değerini gösterir. Görüldüğü gibi, sürekli duruma ulaşma zamanı NN kontrolörü kullanılarak önemli oranda kısaltılabilmektedir. Şekil 8 ise, alışlagelmiş kontrolör ile NN kontrolör kullanılması durumları için frekans değişimi cevabının 500 iterasyon boyunca karşılaştırılmasını göstermektedir.



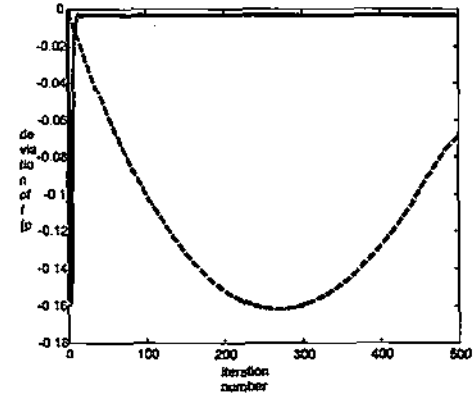
Şekil-5. Alışlagelmiş kontrolör kullanıldığında frekansın değişimi



Şekil-6. NN kontrolör kullanıldığında frekansın değişimi



Şekil-7. NN kontrolör kullanıldığında üretim gücündeki değişim



Şekil-8. Alışlagelmiş ve NN kontrolör kullanılması durumlarında frekans değişimlerinin 500 iterasyon için karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir yük değişimi durumunda tek alanlı güç sistemindeki frekans değişimi göz önüne alınmıştır. Güç sisteminin nonlineer durum eşitlikleri elde edilmiş ve bu eşitlikler NN kontrolör ile sistemin kontrolü sırasında kullanılmıştır. Bu NN kontrolörün kullanıldığı tanıdık yöntemlerden değildir. NN kontrolör hatayı geriye iletme amacıyla kullanılmış ve NN emülatör kullanılmamıştır. NN

kontrolör kullanılarak elde edilen sonuçlar alışlagelmiş kontrolör kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve NN kontrolör ile elde edilen sonuçların çok daha uygun olduğu gösterilmiştir.

6. Kaynakça

- [1] A. Kumar, O.P. Malik, G.S. Hope, Discrete Variable Structure Controller for Load-Frequency Control of Multiareas Interconnected Power System. Proc. Ins. Elect. Eng., Part C, 1987, pp. 116-122.
- [2] M.L. Kathari, P.S. Satsngi, J. Nandra, Sampled-data Automatic Generation Control of Interconnected Reheat Thermal Systems Considering Generation Rate Constraints, IEEE Trans, PAS-100, 1981, pp. 2486-2494
- [3] S.C. Tripathy, R. Bolasubramanian. P.S. Chandramoharan Nair, Adaptive Automatic Generation Control with SMES in Power System, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, Sept. 1992 pp. 434-441
- [4] K.A. Lee, H. Yee, Self-tuning Algorithm for Automatic Generation Control in Interconnected Power System, Electric Power System Research, 1991 pp. 157-165
- [5] C.T. Pan, C.M. Liaw, An Adaptive Controller for Power System Load-Frequency Control, IEEE Trans. on Power System, Vol. 4, No. 1, 1984 pp. 122-128
- [6] A.Y. Sivaramakrishara, M.V. Hariharan and M.C. Srisailam, Design of Variable Structure Load-Frequency Controller Using Pole Assignment Technique. Int. Journal of Control. Vol. 40, No. 3, 1984 pp. 487-498
- [7] J. Kanniah, S.C. Tripathy, O.P. Malik and G.S. Hope, Microprocessor-based Adaptive Load-Frequency Control, Proc. IEE, Pt-C, Generation, Transmission and Distribution, Vol. 131, No. 4, July 1984 pp. 121-128
- [8] I. Vaik, M. Vajta, L. Keviczky, R. Haber, J. Hettesy, K. Kovacs, Adaptive Load-Frequency Control of Hungarian Power System. Automatica, Vol. 21, No. 2, 1985, pp. 129-137
- [9] C.T. Pan, C.M. Liaw, An Adaptive Controller for Power System Load-Frequency Control, IEEE Trans. on Power System, Vol. 4, No. 1, Feb. 1989 pp. 122-128
- [10] O.J. Elgerd, Electric Energy Systems Theory: An Introduction, McGraw-Hill Book Company, 1971
- [11] F. Beaufays, Y.A. Magid, B. Widrow, Application of Neural Network to Load-Frequency Control in Power System, Neural Networks, Vol. 7, No. 1, 1994, pp. 183-194
- [12] A.J. Wood, B.F. Wollenberg, Power Generation, Operation & Control, John Wiley & Sons, Inc., 1984
- [13] S. Haykin, Neural Networks - A Comprehensive Foundation, 2.nd Edition, Prentice Hall, 1999
- [14] D.H. Nguyen, B. Widrow, Neural Networks for Self-learning Control Systems. IEEE, Contr. Sys. Mag., April 1990 pp. 18-23

Ek-1 Parametreler

Δ	The deviation	K_R	Transfer function gains of reheats of areas
.	Derivation of variable	T_R	reheat time constants
F	Frequency	P_R	mechanical power during steam reheat
K_P	Transfer function gain of generator	T_T	Time constant of turbine
T_P	Time constant of generator	X_E	governor valve position
P_G	Fluctuation in turbine output power	T_G	time constant of governor
P_D	Electrical load variations	K_{AF}	Proportional feedback gain
N_1	Fourier series coefficient associated with x	e	Error vector
N_2	Fourier series coefficient associated with sx	w	Weights of neural network
ω_0	angular frequency of natural sinusoidal oscillation	μ	learning rate
α_s	Control input of power system	δ	Error gradient
R	Regulation parameter	f'	Derivative of activation function
X	State vector	l	Layer number
F(x)	nonlinear function of x	i	Indice of neuron
E	Error function	j	Indice of neuron
K_1	Integral controller gains	m	Number of the first layer inputs
F	activation function	v	Product of weights and inputs in each layer

Ek-2 Table-1 The parameter values

K_P	120	T_G	0.2s.	T_R	10s.
T_P	20s.	K_{AF}	0.5	ΔP_D	.01puMW
T_s	0.002s.	R	2.4	T_E	0.3s.
K_R	0.333	ω_0	3.14	K_1	0.05