

Dinamik dalgacık ağların yük frekans denetimine uygulanması

A.Serdar YILMAZ*, Yusuf OYSAL**, Etem KÖKLÜKAYA***

*KSÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karacasu Kampüsü, Kahramanmaraş

**AÜ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

***SAÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya

Özet

Frekans kararlılığı açısından iki veya daha fazla sayıda güç bölgesi içeren enterkonnekte güç sistemlerinde, her bir bölgedeki üretim planlı bir güç alışverişini sürdürebilmek için gereklidir. Bu çalışmada içerisinde geri dinamikleri, ortogonal olmayan ana dalgacık aktivasyon fonksiyonları ve iç bağlantı ağırlıkları bulunan bir "Dinamik Dalgacık Ağı'na (DDA)" dayalı yeni bir uyarlamalı yük frekans denetleyicisi (YFD) tasarımı amaçlanmıştır. Bunun için bir DDA iki bölgeli bir güç sistemi örneğinde bölgeler arasına bağlanmıştır. Adaptasyon, DDA parametrelerinin ayarlanmasına dayanır. Bu da yük frekans hata masraflarını içeren bir ölçütün en aza indirilmesi ile sağlanır. Gerekli olan ölçütün ağ parametrelerine göre gradyanları, ek duyarlılık analizi ile hesaplanmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları, bu denetim yaklaşımının geleneksel integral denetime göre daha başarılı olduğu bir iki bölgeli güç sistemi üzerinde göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yük frekans denetimi, güç sistem denetimi, dalgacık dönüşümü, dinamik dalgacık ağı, zeki denetim.

Application of dynamics wavelet networks to Load Frequency Control

Abstract

Frequency stability is one of the stability criteria for large-scale stability of power system. In interconnected power systems with two or more areas, the generation within each area has to be controlled so as to maintain scheduled power interchange. Load frequency control scheme has two main control loops such as primary and secondary control. In primary loop, a steady state frequency error can occur forever. Secondary loop controls the active power at the tie line between areas. This paper proposes a new adaptive load frequency controller based on a "Dynamic Wavelet Network (DWN)" that has lag dynamics, non-orthogonal mother wavelets as activation function and interconnection weights. A DWN is connected between the two area power systems. The input signals of the DWN are the ACEs and their changes. The outputs of the DWN are the control signals for the two-area load frequency control. Adaptation is based on adjusting parameters of DWN for load frequency control. This is done by minimizing the cost functional of load frequency errors. The cost gradients with respect to the network parameters are calculated by adjoint sensitivity method. It is illustrated that this control approach is more successful than conventional integral controller for load frequency control in two area systems.

Keywords: Load frequency control, power system control, wavelet transformation, dynamic wavelet networks, intelligent control.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: A. Serdar YILMAZ. asyilmaz@ksu.edu.tr; Tel: (344) 2512315 dahili: 282.

Makale metni 31.04.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 03.03.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Büyük ölçekli güç sistemlerinin kararlılığı için önemli kriterlerden biri de frekans kararlılığıdır. Kararlı bir işletme için, sabit frekans ve aktif güç dengesi sağlanmalıdır. Frekans, aktif güce bağımlı olarak değişmektedir. Aktif güç talebinde meydana gelen herhangi bir değişim, tüm sistemin frekansına etki edebilmektedir. Çok bölgeli güç şebekelerinde, frekans değişimleri ciddi kararlılık sorunlarına yol açabilmektedir. Enerji şebekelerinin kararlılığını artırmak için, bağlantı hatlarındaki aktif güç akışını ve enerji üretimini denetleyen yük frekans denetim (YFD) sistemlerini tasarlamak gereklidir. Bilinen YFD uygulamalarında oransal-integral (PI) denetleyiciler daha çok kullanılmaktadır. Bununla birlikte, akıllı kontrolörler ve uyarlamalı kontrolörler YFD için uygulanmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA) beynimizin bilgi sistemini mükemmel bir şekilde temsil eden ve güç sistemlerinde YFD olarak başarılı sonuçların elde edildiği bu zeki teknolojilerinin en önemlilerinden birisidir. Örneğin çok katmanlı bir sinir ağının doğrusal olmayan bir güç sisteminin denetiminde başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Beaufays vd., 1994). Yük değişimlerine bağlı olarak frekans değişimlerini önlemek için, buhar kapaklarını kontrol eden bir ileri besleme sinir ağı kullanılarak generatör sürülmüş ve bu sayede frekans nominal çalışma değerine getirilmiştir. Bir başka uygulamada ise yük frekans sapmalarını kontrol eden bir lineer olmayan sinir ağı denetleyici tasarlanmıştır (Chaturvedi vd., 1999). Burada kullanılan sinir ağı, uzun eğitim zamanı ve fazla sayıda nöron kullanım problemlerini aza indirmektedir. Diğer bir çalışma ise yapay sinir ağlarının uyarlamalı yük frekans kontrolü için kullanılmış ve temelinde görüntü tanıma prensibi olan çalışmadır (Djukanovic vd., 1995).

Diğer yandan dalgacık ve çoklu-çözünürlük analizi de güç sistemlerinde yer bulan önemli konulardır. Örneğin; dağıtım hatlarında arıza yeri analizlerinde (Chanda vd., 2003), kısa dönemli yük tahminlerinde (Kim vd., 2002), dengesiz akımlara karşı generatör korumasında (Youssef, 2002), güç sistem bozucularının sınıflandırılmasında (Huang vd., 1998), açma kapama olayları

ve harmonik çalışmalarında (Zheng vd., 1999) ve dağıtım hatlarında hata tespiti ve sınıflandırılması (Liang vd., 1998; Huang ve Hsieh, 1999) gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Ayrıca, “Dalgacık Ağları” (Zhang ve Benviste, 1992; Zhang vd., 1995), YSA ve dalgacık teknolojilerinin birleştirildiği yapılar olup güç sistemlerinde hata tespiti ve sınıflandırması amacı için kullanılmıştır (Angrisani vd., 2001).

YSA veya benzer olarak dalgacık ağlarına dayalı denetleyici tasarımlarında kontrol edilen sistemlerin ya da denetleyicinin dinamikliğine bağlı olarak bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Dinamik YSA’larda geçmiş bilgilerin kullanımı ihtiyacı gecikmeli geri besleme hatları ile sağlanmakta, bu da yapı ve parametre büyüklüğü gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu problemleri önleyerek güç sistemlerinde yük frekans kontrolü için dalgacıkların durağan olmayan işaretlerin temsil edilmesi ve güç sistemlerinde etkin olan avantajlarını ve sinir ağlarının karar verme ve depolama kabiliyetlerini bir araya getirmektir. Bunun için içerisinde dinamik elemanlar ve geciktiriciler bulunan “Dinamik Dalgacık Ağları (DDA)” (Becerikli vd., 2003a ve Becerikli vd., 2002) uyarlamalı yük frekans kontrolü için kullanılmıştır.

Bu makalenin organizasyonu şu şekildedir: İkinci bölümde iki bölgeli güç sistemleri için yük frekans kontrol stratejileri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise DDA yapısı tanıtılmıştır. Sonraki bölümde ise ele alınan uyarlamalı yük frekans kontrol uygulaması ana hatları ile anlatılmıştır. Beşinci bölümde de bu kontrol uygulamasının benzetim sonuçları gösterilmiştir.

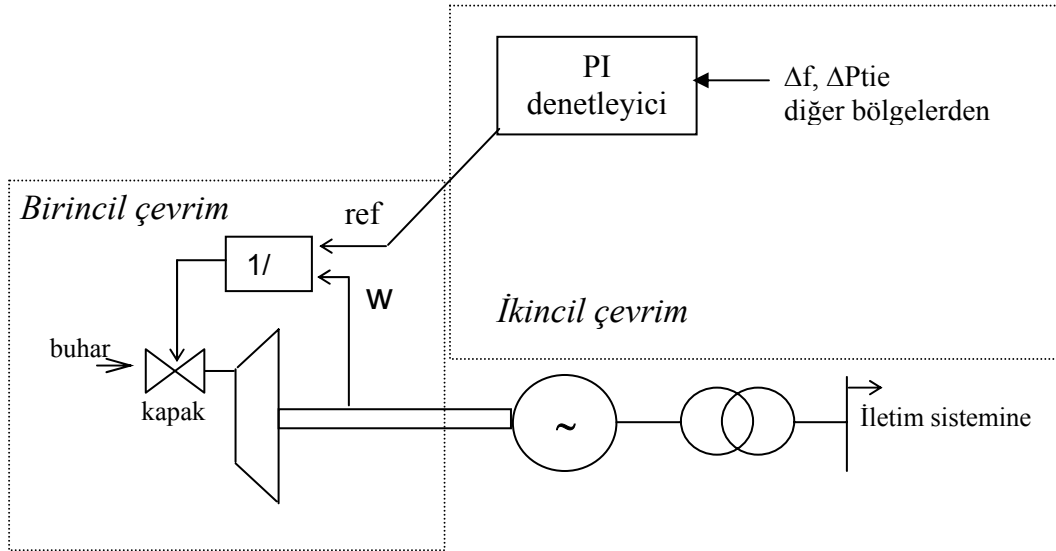
İki bölgeli yük frekans denetimi

İki yada daha fazla güç bölgesi içeren enterkonnekte güç sistemlerinde, bölgeler arasındaki güç akışını istenen sınırlar içerisinde tutmak için üretim denetimi gerekmektedir (Kundur, 1994). Yük frekans denetimi iki ana denetim çevriminden oluşmaktadır. Bunlar birincil ve ikincil denetim çevrimleridir.

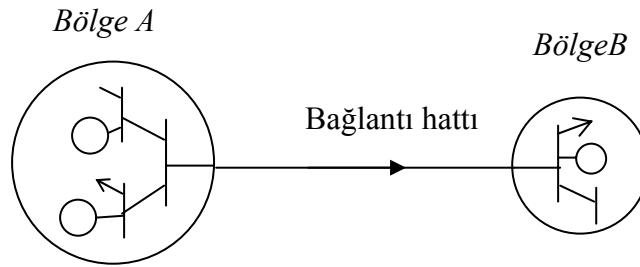
Birincil denetim türbin ve hız regülatörlerince gerçekleştirilmektedir. Bu çevrimle frekans her zaman anma değerinde tutulamamakta, bu çevrim kalıcı bir frekans hatasını giderememektedir. Bu yüzden çok bölgeli sistemlerde, yeterli bir denetim sağlayamamaktadır. Çünkü çok bölgeli sistemlerde bir bölgedeki frekans değişimi diğer bölgeye de etki etmektedir. İkincil denetim çevrimi yada bir başka deyişle ilave denetim çevrimi ile söz konusu kalıcı frekans hatası giderilmektedir. Bunu ise bölgeler arasındaki güç akışına yön vererek yapmaktadır. Bağlantı hatlarındaki aktif güç akışı denetlenebilmektedir. Günümüzde bilgisayar destekli denetleyiciler bu işlemi gerçekleştirebilmektedir.

Şekil 1’de her iki denetim çevrimi görülmektedir. Bu çalışmada incelenen sistem iki bölgeden

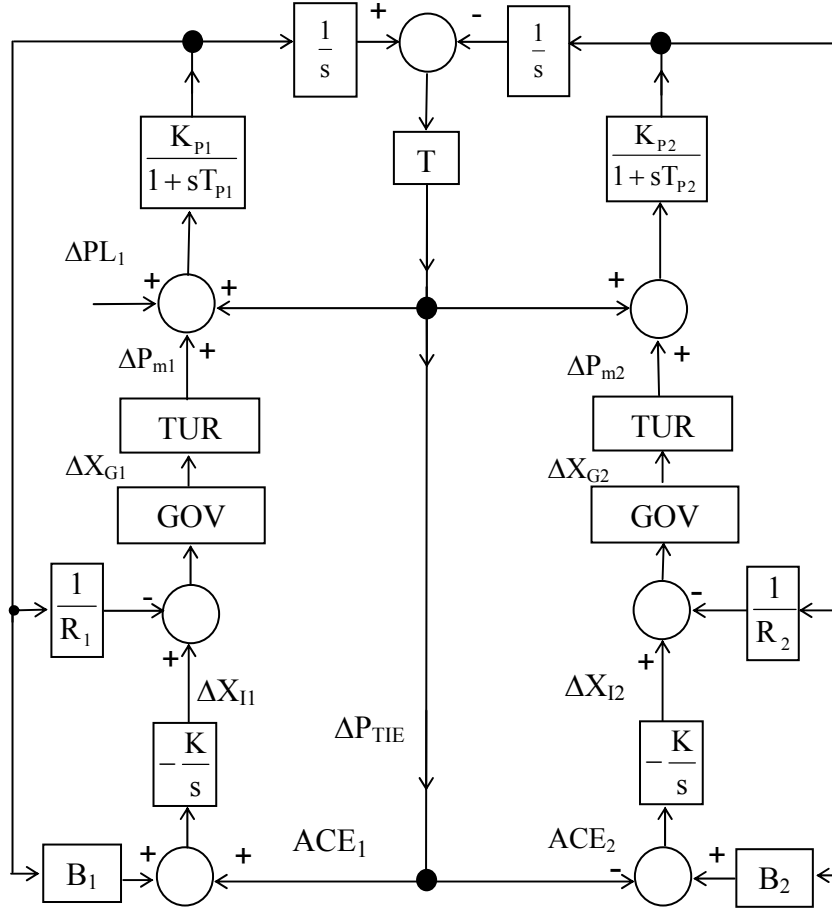
meydana gelmektedir. Bölgeler Şekil 2’de görüldüğü gibi bir bağlantı hattı ile birbirine bağlanmaktadır. Bölgeler arasındaki bu hat üzerinden bir akış meydana gelmektedir. Bu güç akışının denetimi ve dengelenmesi ikincil frekans denetimi ile mümkündür. Ayrıca frekans ve aktif güç üretiminin denetimi için, bağlantı hattındaki güç salınımlarının sönümlenmesi de gereklidir. Bu makalede gerçekleştirilen bilgisayar benzetimleri için Şekil 3’teki matematiksel model kullanılmıştır. Bu klasik model, bir integral denetleyici içermektedir ve parametreleri ekte verilmiştir. Bölgeler için denetim hatası Denklem (1) ve (2) deki gibidir (Wood ve Wollenberg, 1996). Burada R_1 ve R_2 regülatör hız düşümsüdür. ΔPL_1 ise birinci bölgedeki güç değişimidir.



Şekil 1. Birincil ve ikincil yük frekans çevrimleri



Şekil 2. İki bölgeli enterkonnekte sistem



Şekil.3 İki bölge sistemi blok diyagramı

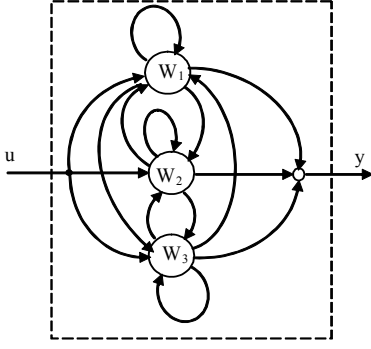
$$ACE_1 = \left[\frac{+\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P2}} \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P1}} + \frac{1}{K_{P2}}} \right] - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{K_{P1}} \right) \left[\frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P1}} + \frac{1}{K_{P2}}} \right] = \Delta P_{L1} \quad (1)$$

$$ACE_2 = \left[\frac{+\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P2}} \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P1}} + \frac{1}{K_{P2}}} \right] - \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P2}} \right) \left[\frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{K_{P1}} + \frac{1}{K_{P2}}} \right] = 0 \quad (2)$$

Dinamik dalgacık ağ mimarisi

DDA modeli içerisinde sınırlamasız bağlantılar ve dalgacık işlem biriminde dinamik elemanlar bulunan bir sinir ağıdır. Her bir işlem birimi dalgacık aktivasyon fonksiyonlu tek bir dinamik nöronu temsil eder. Şekil 4'te üç nöronlu bir

DDA şeması gösterilmiştir. Dinamik nöron biyolojik bir nöron modeline benzer. Bu model girişleri yeteri kadar uyarılırsa canlandırılır. Bu canlandırma işlemi Hopfield dinamikleri olarak adlandırılan geri dinamikler üzerinden gerçekleştirilir (Hopfield, 1982; 1984).



Şekil 4. Üç nöronlu bir DDA şeması

Dalgacıklar genellikle temel baz fonksiyonları ile ifade edilirler. Bu fonksiyonlar zaman-frekans yerelliğine sahip kompakt (kapalı ve sınırlı), ortogonal veya ortonormal fonksiyonlardır. Baz fonksiyonları YSA literatüründe “aktivasyon fonksiyonları” olarak adlandırılırlar. Bu çalışmada sadece yerel baz fonksiyonlarından ortonormal olmayan genelleştirilmiş “Meksika Şapkası” aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Bu durumda i . aktivasyon fonksiyonu şu formda yazılabilir:

$$\phi_i\left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}\right) = \left(1 - \left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right) \cdot e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right)} \quad (3)$$

Burada μ_i ve σ_i sırası ile i . nöronun merkez ve genişleme parametreleridir. Bu tip dalgacık fonksiyonlarının zaman ve frekansta yerellik özellikleri vardır (Mallat, 1989). Doğrusal olma özelliğinin hızla değiştiği uygulamalarda ‘sigmoid’ yada Gaussian tabanlı yapay sinir ağlarına göre çok başarılı sonuçlar vermektedir. Örneğin, aktivasyon fonksiyonu seviyesinde standart sigmoid fonksiyonlu Hopfield YSA kullanılan doğrusal olmayan dinamik bir sistemin yörünge takibi (Konar vd., 1997) ve optimal kontrolü (Becerikli vd., 2003b) çalışmalarında gradyan tabanlı eğitim algoritmaları kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu örnekler, bu çalışmadaki doğrusal sistemin standart sigmoid fonksiyonlu dinamik bir YSA ile başarılı bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermektedir.

DDA hesaplama modelleri aşağıdaki denklemlerle yazılabilir (Konar vd., 1997; Oysal, vd., 2003;

Becerikli vd., 2003b; Konar ve Samad, 1992):

$$z_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} y_j, \quad i=1,2,\dots,M \quad (4)$$

$$y_i = \phi_i(x_i), \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$\dot{x}_i = f_i(x_i, p) = \frac{1}{T_i} \left[-x_i + \sum_{j=1}^n w_{ij} y_j + \sum_{j=1}^L p_{ij} u_j + b_i \right] \quad (6)$$

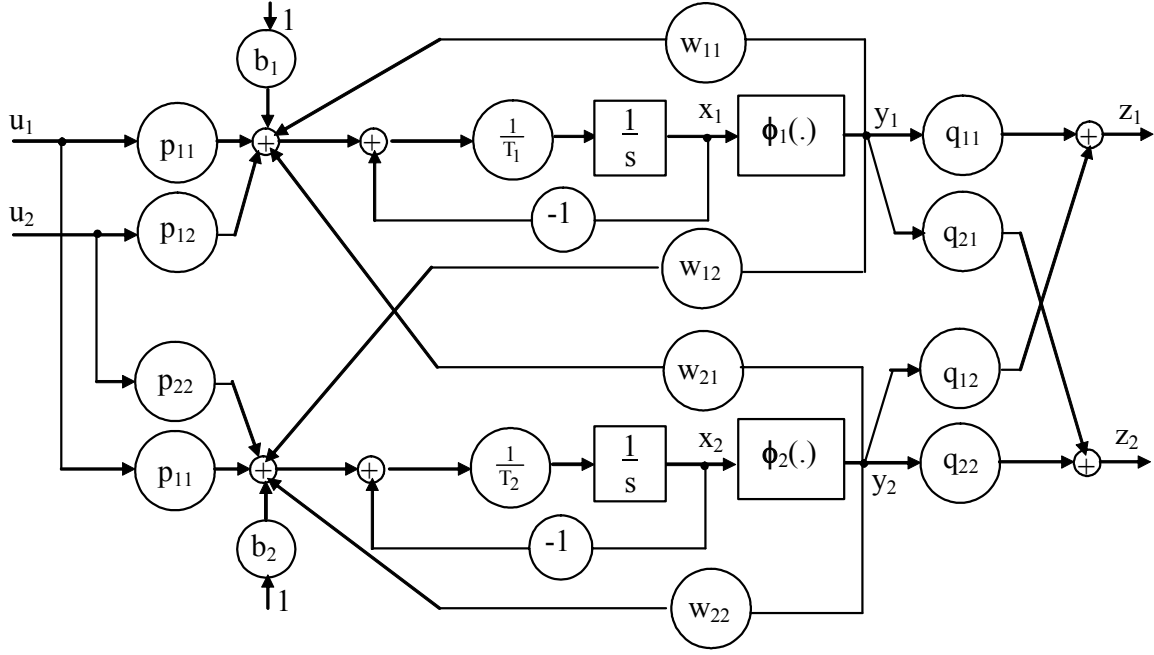
$$x_i(0) = x_{i0}, \quad i=1,2,\dots,n$$

Genelde zamanla değişen L giriş işaretlerini, n dinamik nöron birimlerini, n baz terimlerini, ve M çıkış işaretini ifade eder. Birimlerin dinamikleri, bunlarla birleşik olarak kendi içlerinden girişler ve diğer birimlerle bağlantılıdır. Bir birimin y_i çıkışı bu birimin durum değişkeninin (x_i) bir aktivasyon fonksiyonudur ($\phi_i(x_i)$). Toplam çıkış ise birimlerin çıkışlarının bir doğrusal kombinasyonu şeklindedir. p_{ij} , j . girişin i . nörona içten, w_{ij} , j . nörondan i . nörona içten ve q_{ij} ise, j . nörondan i . çıkışa bağlantı ağırlıklarındadır. T_i , i . nöronun zaman sabitesi ve b_i de i . nöronun birim girişine eklenen baz terimidir.

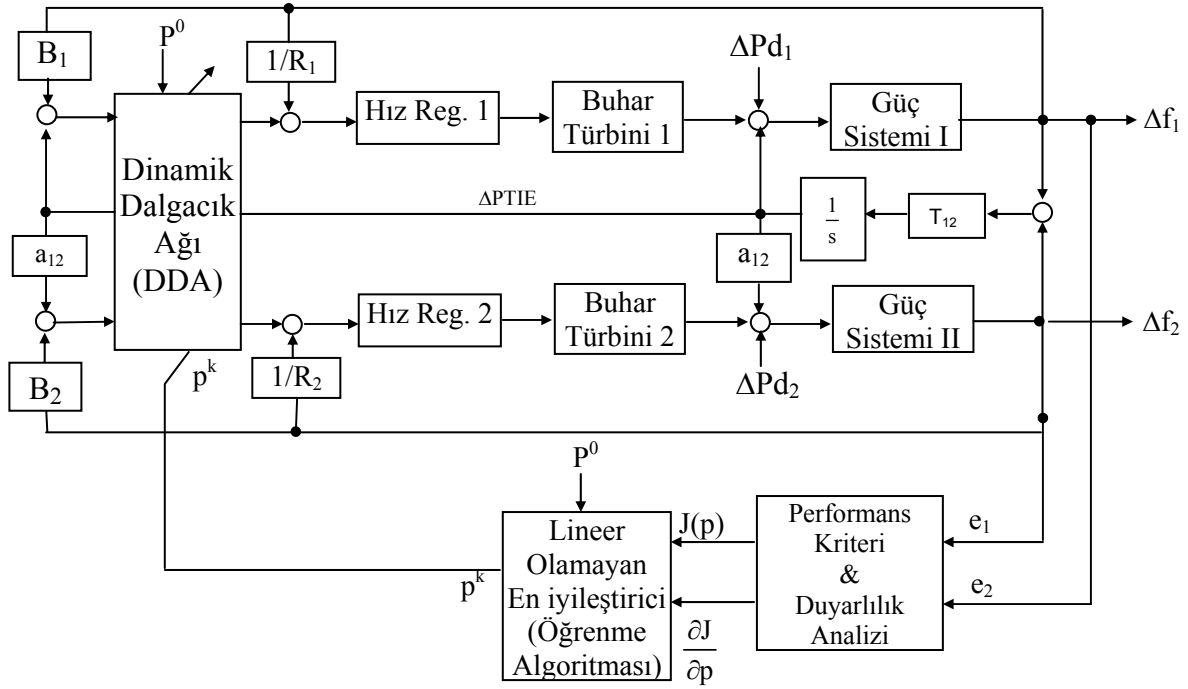
Durum değişkenleri üzerindeki başlangıç şartları $x_i(0)$ açıkça belirtilmelidir. İki girişli, iki çıkışlı bir DDA açık durum diyagramı Şekil 5’te gösterilmiştir.

Uyarlamalı yük frekans denetimi

Uyarlamalı yük frekansı denetimi Şekil 6’da görüldüğü gibi güç sisteminde iki alan arasında bir DDA bağlanması ile gerçekleşmektedir. Önerilen dinamik ağı giriş işareti olarak bölge denetim hatası ve bu hatanın değişimleri uygulanmıştır. DDA model çıkışları iki bölge güç sisteminde yük frekans denetimi için gereken işaretleri üretir. Adaptasyon yük frekanslarındaki sapmalara göre DDA parametrelerinin güncellenmesine dayanır. Bu da frekans hatalarından oluşan maliyet fonksiyonunu en aza indiren DDA parametrelerinin belirlenmesi ile olur (Şekil 6).



Şekil 5. İki girişli, iki çıkışlı bir DDA'nın durum diyagramı



Şekil 6. İki alanlı bir güç sisteminin DDA ile Uyarlamalı yük frekansı denetimi

Bu problem için gradyan tabanlı en iyileştirme algoritmaları kullanılmıştır. Maliyet fonksiyonunun ağ parametrelerine göre gerekli olan gradyanları ek duyarlılık analizi ile hesaplanmıştır. Perfor-

mans kriteri veya masraf yapısı olarak basit bir kuadratik form seçilmiştir:

$$E = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [z(t) - z^d(t)]^T [z(t) - z^d(t)] dt \quad (7)$$

burada $e(t)=z(t)-z^d(t)$ güç sistemi yük frekans hata fonksiyonudur. $z(t)$ DDA modeli çıkışı ve $z^d(t)$ ise arzulanan yük frekans cevaplarıdır.

Çözülecek optimizasyon problemi şu şekildedir:

En aza indirgenecek ölçüt: (7) denklemi

Kısıtlama 1 (Güç sistem denklemleri):

$$\dot{x} = Ax + Bu \text{ (Ekte A ve B verilmiştir.)}$$

İlave kısıtlar:

$$u_i = \sum_{j=1}^2 q_{ij} y_j, \quad i=1,2 \text{ (Kontrol Girişleri)}$$

(4) denklemi ($i=1,2$) (DWN Çıkışları)

(5) denklemi ($i=1,2$) (DWN Durumları)

Bu problemin çözümü için gereken DDA parametrelerine göre masraf fonksiyonunun duyarlılıklarıdır. Bunun için kullanılan “Ekleme” yöntemi yeni bir dinamik durum değişkenine λ_i dayanan duyarlılık hesaplamasıdır (Becerikli vd., 2003a; Becerikli vd., 2002; Konar vd., 1997; Oysal vd., 2003; Becerikli vd., 2003b; Konar ve Samad, 1992). (8) ve (9) denklemleri ile tanımlanan ek vektörün büyüklüğü ağ parametre sayısından bağımsız olarak nöron sayısına (n) eşittir.

$$-\dot{\lambda}_i = -\frac{1}{T_i} \lambda_i + \frac{1}{T_i} \sum_j w_{ij} y_j' \lambda_j + e_i(t) \sum_j q_{ij} y_j', \quad \lambda_i(t_f) = 0 \quad (8)$$

$$y_j' = \frac{\partial \phi_j(x_j)}{\partial x_j} = - \left(3\phi_j + 2 \left(\frac{x_j - \mu_j}{\sigma_j} \right)^2 \right) \left(\frac{x_j - \mu_j}{\sigma_j^2} \right) \quad (9)$$

Bu diferansiyel denklemlerin entegrasyonu ise t_f son zaman değerinden $t_0=0$ ilk zaman değerine zamanda geriye doğru gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada 5. dereceden Runge-Kutta-Butcher entegrasyon algoritması kullanılmıştır (Chapra ve Canale, 1989). Eğer p tüm ağın parametre vektörü olarak adlandırılırsa, masrafın bu parametre vektörüne göre gradyanı şu formülden hesaplanabilir:

$$\frac{\partial E}{\partial p} = \int_0^{t_f} \left(\frac{\partial f}{\partial p} \right)^T \lambda dt \quad (10)$$

Tüm gradyanlar ek vektör hesaplanarak iki bölgesel güç sistem denklemlerinden (bkz. Ek-B) kolayca elde edilir.

Ağ parametrelerinin güncellenmesinde Broyden-Fletcher-Golfarb-Shanno (BFGS) gradyan yöntemi kullanılmıştır (Edgar ve Himmelblau, 1988). Bu yöntem, eski parametre ve gradyan değişim bilgilerini kullanan ikinci dereceden yaklaşımlı etkin bir yöntemdir.

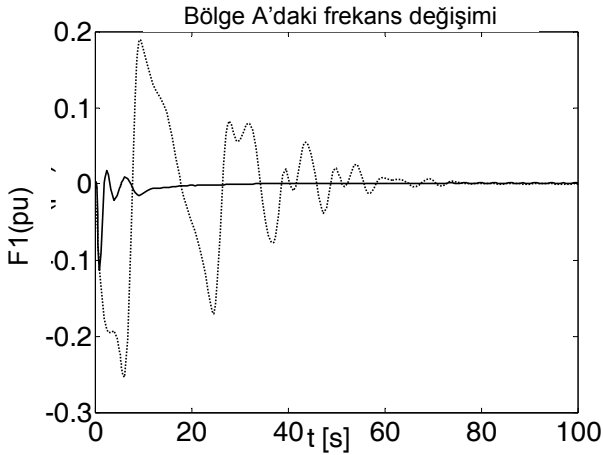
Benzetim sonuçları

Benzetim örneklerinde Şekil 5'te blok diyagramı verilen iki nöronlu, iki girişli ve iki çıkışlı bir DDA, yük frekans denetimi için eğitilmiştir. Bu durumda Şekil 6'da doğrusallaştırılmış blok diyagramı verilen güç sistemine uygulanan basamak bozucu etkisi %2'dir. Bu şartlarda gerçek zamanlı olmadan eğitilen DDA modelinin iç bağlantı parametreleri ve zaman sabiteleri şu şekilde elde edilmiştir:

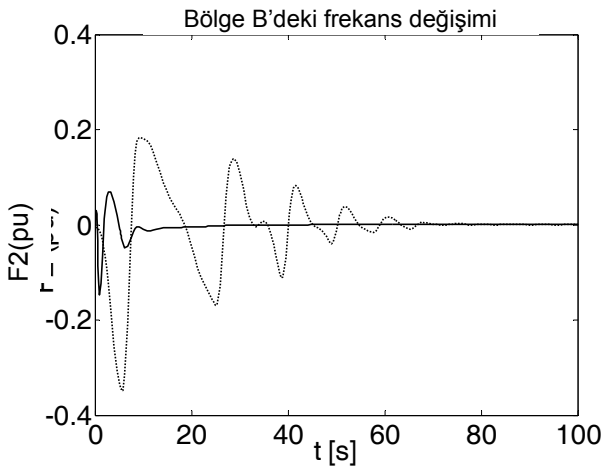
$$w = \begin{bmatrix} 2.6 & 12.97 \\ 0.99 & 1.21 \end{bmatrix}, \quad p = \begin{bmatrix} 15.36 & 0 \\ 0 & 0.483 \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} 5.01 & 1.41 \\ 5.79 & 1.35 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} -32.1 \\ 0.226 \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} 3.01 & 0 \\ 0 & 0.83 \end{bmatrix}$$

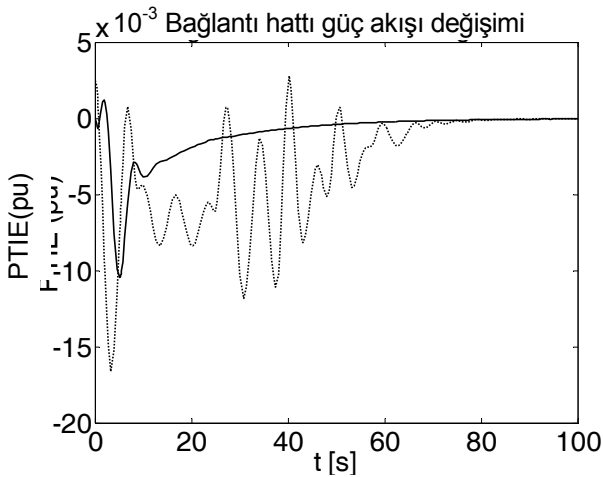
Bu durum için DDA modelindeki her bir nöron biriminin dalgacık aktivasyon fonksiyonlarının merkez parametreleri $\mu_1=1,22$, $\mu_2=-0,776$ ve genişleme parametreleri $\sigma_1=1,6$, $\sigma_2=1,99$ olarak hesaplanmıştır. %2'lik bir basamak bozucu etkisi altında geleneksel integral (I) ve tasarlanan DDA denetleyicili güç sisteminin tüm bölgelerdeki frekans değişimleri ve bağlantı hattındaki güç akışındaki değişim sırası ile Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7 Bölge A'daki frekans değişimi (%2 adım bozucu, DDA düz çizgi, integral noktalı çizgi)



Şekil 8 Bölge B'deki frekans değişimi (%2 adım bozucu, DDA düz çizgi, integral noktalı çizgi)



Şekil 9. Bağlantı hattındaki güç değişimi (%2 adım bozucu, DDA düz çizgi, integral noktalı çizgi)

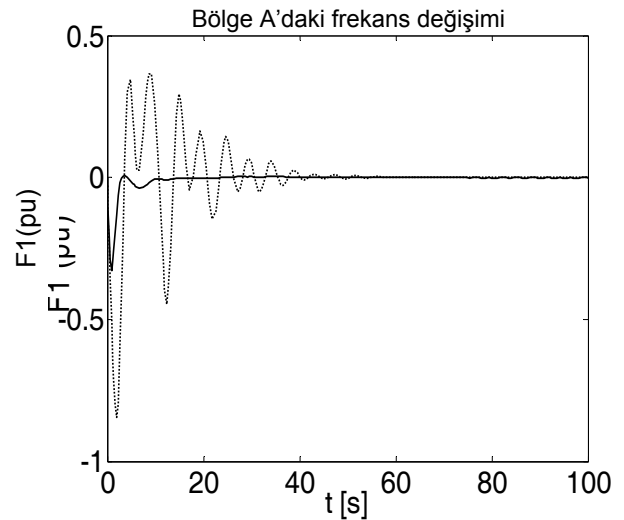
İkinci durumda DDA modelindeki parametre ayarlaması gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Bu yaklaşımın etkinliğini göstermek için bölge A'daki güç girişi basamak bozucu etkisi %5'e çıkarılmıştır. DDA eğitimi sonunda masrafı en aza indiren yeni parametreler şunlardır:

$$w = \begin{bmatrix} 1 & 1.21 \\ 1.2 & 0.11 \end{bmatrix}, p = \begin{bmatrix} -2.01 & 0 \\ 0 & 1.04 \end{bmatrix},$$

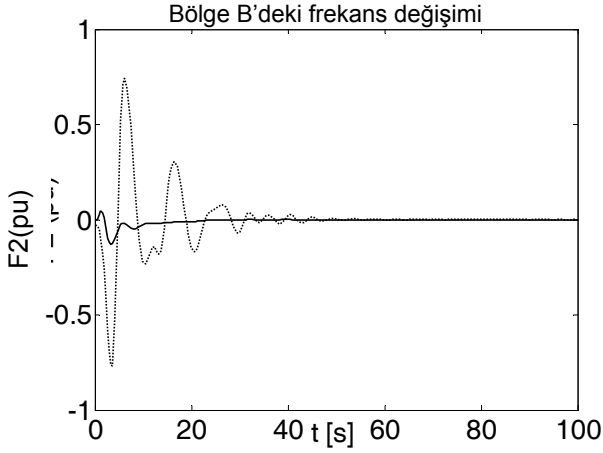
$$q = \begin{bmatrix} 2.02 & 1.23 \\ 1.02 & 1.01 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} -5.2 \\ 0.23 \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} 0.98 & 0 \\ 0 & 1.11 \end{bmatrix}$$

Bu durumda her bir nöron aktivasyon fonksiyonu $\mu_1=1,78$, $\mu_2=-1,057$ ve genişleme parametreleri $\sigma_1=1,01$, $\sigma_2=1,98$ olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi tasarlanan uyarlamalı denetleyici, bozucu etkisi değişimlerine karşı duyarlı ve dayanıklıdır (Şekil 10-12).

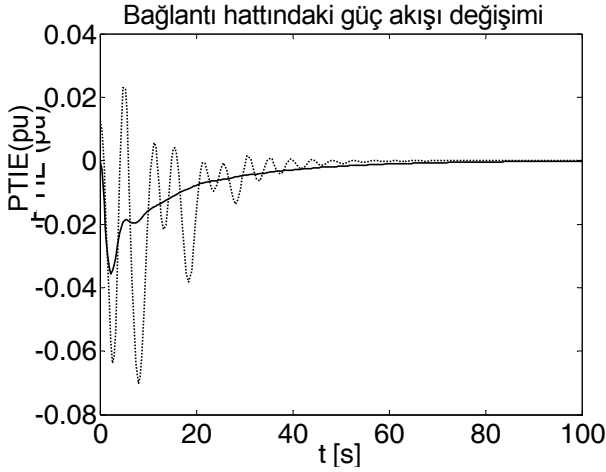
Ayrıca, bu benzetim sonuçlarından tasarlanan DDA tabanlı uyarlamalı denetleyici altındaki güç sisteminin klasik integral denetleyiciye göre daha hızlı sönümlü, daha az aşımli frekans cevaplarını verdiğini görmekteyiz.



Şekil 10. Bölge A'daki frekans değişimi (%5 basamak bozucu, DDA düz çizgi, integral noktalı çizgi)



Şekil 11. Bölge B'deki frekans değişimi (%5 basamak bozucu, DDA düz çizgi, integral noktali çizgi)



Şekil 12. Bağlantı hattı gücü değişimi (5% basamak bozucu, DDA düz çizgi, integral noktali çizgi)

Sonuçlar

Bu kontrolör tasarımında da BFGS gibi ikinci dereceden yaklaşımlı gradyan tabanlı bir eğitim algoritması kullanıldığında bu problem kısmi olarak çözülebilmektedir. Fakat bu çalışmanın sonuçları özellikle %2'lik adım bozucu için birçok eğitim denemesinden sonra elde edilen en başarılı değerlerdir. Eğitim, değişik başlangıç parametreleri ile bir çok kez tekrarlanmış, bir çoğunda da yerel minimumlara ulaşılmıştır. Fakat %5'e çıkarılan bozucu etki için tek bir eğitimle ölçüt en aza indirgenmiştir.

Bu makalede dinamik dalgacık ağların bir güç sistem denetleyici uygulaması sunulmuştur. Bu uygulamada, yük frekans denetleyiciler için başarılı ve alternatif bir tasarım amaçlanmıştır. Benzetim sonuçlarından da tasarlanan DDA tabanlı uyarlamalı denetleyicinin klasik integral denetleyicisine göre daha dayanıklı ve kararlı olduğu görülmektedir.

Dinamik dalgacık ağların bu tip uygulamalarda kullanılmasını gerektiren en önemli konu, DDA yapısının donanım ve yazılım olarak VLSI (Hopfield, 1984; Anderson ve Rosenfeld, 1988) tekniği ile gerçekleştirilmesinin çok kolay olması ve bu sayede gerçek zamanlı uygulamalarda yukarıda ayrıntıları verilen uyarlamalı denetleyicili yaklaşımın kolayca gerçekleştirilebileceğidir.

Kaynaklar

- Anderson, J. A., ve Rosenfeld, (1988). *Neuro-computing: Foundation of Research*, MIT Pres, Cambridge, MA
- Angrisani, L., Daponte, P. ve D'apuzzo, M., (2001). Wavelet Network-Based Detection and Classification of Transient, *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, **50**, 5, 1425-1435.
- Beaufays, F., Abdel-Magid, Y., ve Widrow, B., (1994). Application of Neural Networks to Load Frequency Control in Power Systems, *Neural Networks*, **7**, 1, 183-194
- Becerikli, Y., Oysal, Y., ve Konar, F., (2002). Modeling of Nonlinear Systems with Dynamic Wavelet Networks, *Proc. Turkish Symposium on Automatic Control*, 71-79, METU, Ankara.
- Becerikli, Y., Oysal, Y., ve Konar, F., (2003). On a Dynamic Wavelet Network and Its Modeling Applications, *Lecture Notes on Computer Science*, **2714**, 710-718, Springer-Verlag.
- Becerikli, Y., Konar, A., F. ve Samad, T., (2003). Intelligent Optimal Control with Dynamic Neural Networks, *Neural Networks*, **16**, 251-259.
- Chanda, D., Kishore, N. K. ve Sinha, A. K., (2003). A Wavelet Multiresolution Analysis for Location of Faults on Transmission Lines, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **25**, 1, 59-69.
- Chapra, S.C. ve Canale, R., P., (1989). *Numerical Methods for Engineers*, McGraw-Hill, Inc.
- Chaturvedi, D. K., Satsangi, P. S. ve Karla, P. K., (1999). Load Frequency Control: A Generalized

- Neural Network Approach, *Int. Journal of Electrical Power Systems*, **21**, 6 405-415.
- Djukanovic, M., Novicevic, M., Sobajic, D. J., ve Pao, Y. P., (1995). Conceptual Development of Optimal Load Frequency Control Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Set Theory, (*Int. Jour. Eng. Intell. Syst. for Elec. Eng. and Communications*), **3**, 2, 95-108.
- Edgar, T. F. ve Himmelblau, D. M.,(1988). *Optimization of Chemical Processes*, McGraw-Hill.
- Hopfield, J. J., (1982). Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities, *Proc. of the National Acedemy of Sciences*, **79**, 2554-2558.
- Hopfield, J. J., (1984). Neurons with Graded Response Have Collective Computational Properties Like Those of Two-State Neurons, *Proc. of the National Academy of Sciences*, **81**, 3088-3092.
- Huang, S. J., Hsieh, C. T. ve Huang, C. L.,(1998). Application of Wavelets to Classify Power System Disturbances, *Electric Power Systems Research*, **47**, 2, 87-93.
- Huang, S. J. ve Hsieh, C. T., (1999). High-impedance Fault Detection Utilizing a Morlet Wavelet Transform Approach, *IEEE Trans. Power Delivery*, **14**,1401-1410.
- Kim, C., Yu, I. ve Song, Y. H., (2002). Kohonen Neural Network and Wavelet Transform Based Approach to Short Term Load Forecasting, *Electric Power Systems Research*, **63**, 3,169-176.
- Konar, A. F., ve Samad, T., (1992). Dynamic Neural Networks, Technical Report SSDC-92-I 4152-2, Honeywell Technology Center, 3660 Technology Drive, Minneapolis, MN.
- Konar, A. F., Becerikli, Y. ve Samad, T., (1997). Trajectory Tracking with Dynamic Neural Networks, *Proc. of the 1997 IEEE Int. Sym. on Intel.Control (ISIC'97)*, İstanbul.
- Kundur, P., (1994). *Power System Stability and Control*, IEEE Pres & Mc Graw Hill.
- Liang, J., Elangovan., S. ve Devotta, J. B. X., (1998). A Wavelet Multiresolution Analysis Approach to Fault Detection and Classification in Transmission Lines, *Int. Jour. Electrical Power & Energy Systems*, **20**, 5,327-332.
- Mallat, S., (1989). A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **11**, 7, 674-693.
- Oysal, Y., Becerikli, Y., ve Konar, A. F., (2003). Generalized Modelling Principles of a Nonlinear System with a Dynamic Fuzzy Networks, *Computers & Chemical Engineering*, **27**,1657-1664.
- Wood, J. W. ve Wollenberg, B. F., (1996). *Power, Generation, Operation and Control*, Second Edition, John Wiley and Sons.
- Youssef, O. A., S., (2002). A Wavelet-based Approach for Protection of Generators Against Unbalanced Currents, *Electric Power Systems Research*, **63**, 1,73-80.

Ekler

Ek-A

Benzetimlerde kullanılan sistem ve zaman sabiti parametreleri:

$$T_{T1}=T_{T2}=0.3 \text{ s}, T_{TT1}=T_{TT2}=20 \text{ s},$$

$$K_{T1}=K_{T2}=0.3335, T_{G1}=T_{G2}=0.2 \text{ s}, R_1=R_2=2.43,$$

$$B_1=B_2=0.425, K_{P1}=K_{P2}=120, T_{P1}=T_{P2}=20\text{s.}, T=0.0707, K=1$$

Ek-B

İki Bölge Güç Sisteminin Doğrusal Modeli

$$\dot{X} = A.X + B.U \quad (a-1)$$

$$X = [\Delta f_1 \quad \Delta P_{M1} \quad \Delta X_{T1} \quad \Delta X_{G1} \quad \Delta f_2 \quad \Delta P_{M2} \quad \Delta X_{T2} \quad \Delta X_{G2} \quad \Delta P_{TIE}]^T \quad (a-2)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{P1}} & \frac{K_{P1}}{T_{P1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{K_{P1}}{T_{P1}} \\ 0 & -\frac{1}{T_{TT1}} & (\frac{1}{T_{TT1}} - \frac{K_{T1}}{T_{T1}}) & \frac{K_{T1}}{T_{T1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{T1}} & \frac{1}{T_{T1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-1}{R_1 \cdot T_{G1}} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{G1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{P2}} & \frac{K_{P2}}{T_{P2}} & 0 & 0 & -\frac{K_{P2}}{T_{P2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{TT2}} & (\frac{1}{T_{TT2}} - \frac{K_{T2}}{T_{T2}}) & \frac{K_{T2}}{T_{T2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{T2}} & \frac{1}{T_{T2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{R_2 \cdot T_{G2}} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{G2}} & 0 \\ 2\pi T & 0 & 0 & 0 & -2\pi T & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (a-3)$$

$$U = [\Delta X_{I1} \quad \Delta X_{I2}]^T \quad (a-4)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{G1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{G2}} & 0 \end{bmatrix}^T \quad (a-5)$$