



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0149

ENGINEERING SCIENCES

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

**Mustafa Nalbantoğlu
Ahmet Orhan**

M. İlyas Bayındır

Dicle University¹

Firat University²⁻³

aorhan@firat.edu.tr

mbayindir@firat.edu.tr

Diyarbakir-Turkey

GA İLE OPTİMAL DEĞİŞKEN YAPILI GÜÇ SİSTEM KARARLAYICISI TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada, sonsuz baraya bağlı bir senkron generatörün (SBSG) dinamik kararlılığını iyileştirmek için optimal bir değişken yapılı güç sistemi kararlayıcısı (DY-GSK) sunulmaktadır. Güç sistemlerinde model belirsizlikleri, parametre değişimleri ve bozucu etkiler devamlı bulunur. Bu yüzden, GSK tasarımı için dayanıklı bir kontrol yöntemi olan değişken yapılı kontrol (DYK) yöntemi önerilmiştir. DYK sisteminin performansı ve dayanıklılığı anahtarlama fonksiyonuna ve geribesleme kazançlarına bağlıdır. Bu nedenle, DY-GSK'nın anahtarlama fonksiyonu ve geribesleme kazançları genetik algoritma (GA) ile optimize edilmiştir. Önerilen DY-GSK, SBSG'nin doğrusallaştırılmış Philips-Heffron modelinden türetilen durum uzay modeline dayandırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında önerilen DY-GSK'nın farklı bozucu durumlarında klasik GSK'ya göre güç sisteminin dinamik kararlılığını daha iyi geliştirdiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistem Kararlayıcı, Uyarma Kontrol, Değişken Yapılı Kontrol, Genetik Algoritmalar, Optimizasyon

VARIABLE STRUCTURE POWER SYSTEM STABILIZER OPTIMIZED BY GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT

In this study, an optimal variable structure power system stabilizer (VS-PSS) is proposed in order to improve dynamic stability of single machine infinite bus (SMIB) system. Model uncertainties, parameter variations, and external disturbances always exist in power systems. Therefore, variable structure control (VSC) is considered as a robust control method for designing PSS. Performance and robustness of VSC system depend on switching function and feedback gains. That's why; they are optimized via genetic algorithm (GA). The proposed VS-PSS is based on a state-space model which derived from Philips-Heffron model. It is seen that the VS-PSS improve the dynamic stability of power system better than conventional PSS according to simulation studies done under different external disturbance conditions.

Keywords: Power Systems Stabilizer, Excitation Control, Variable Structure Control, Genetic Algorithms, Optimization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güç sistem kararlılığı konusu ilk çıktığı günden beri artan bir ilgi görmektedir. Güç sistemlerinin doğası gereği, sonsuz baraya bağlı senkron generatörler çok değişken bir yük karakteristiğine sahiptir. Yük değişimi çalışma gerilimini etkilediğinden sabit uyarma yerine Otomatik Gerilim Regülatörler (OGR) kullanılmaya başlanmıştır. Bir iletim hattının açması, büyük bir yükün devreden çıkması veya ani bir yükün devreye girmesi gibi durumlarda senkron generatörün kutup gerilimi, aktarılan güç miktarı ve güç açısı parametreleri çalışma noktasından sapmakta ve generatörün rotorunda 0.1 - 3 Hz gibi düşük frekanslı salınımlar ortaya çıkmaktadır. Sistemde böyle bir salınım ortaya çıktığında, OGR ler gerilimi referans değere ayarlamaya çalışır iken sönümlenme momenti üzerinde olumsuz bir etki meydana getirirler. Sönümlenme momentinin zayıflaması senkron makinenin rotorunda meydana gelen salınımların genliğinin büyümesine yol açmaktadır. OGR nin bu olumsuz davranışını gidermek için uyarma kontrolüne ikincil bir kontrol işareti sağlayan Güç Sistem Kararlayıcılar (GSK), OGR ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır [1,2].

Bir OGR+GSK bileşiminin iki görevi yerine getirmesi gerekir; birincisi terminal gerilimini olması gereken çalışma noktasına döndürmek için iyi bir gerilim kontrolü yapmak ve ikincisi meydana gelen salınımları en kısa sürede bastırmak için sönümlenme momenti yoluyla senkron generatörü senkronizmada tutmaktır [3].

Sabit yapıllı klasik GSK'lara ait uygun parametrelerin bulunabilmesi için güç sistemi'nin belirli bir çalışma noktasında doğusallaştırılmış modeli kullanılır. Güç sistemleri yüksek mertebeli ve doğrusal olmayan bir sistem davranışına sahiptir. Bu nedenle Güç Sisteminin çalışma noktasındaki büyük değişimler ortaya çıktığında klasik ve sabit parametrelili GSK'lar OGR'nin senkronlama momentinde meydana getireceği olumsuz etkiyi telafi etme performansları düşmektedir. Tasarlandığı çalışma noktası için belirlenen parametrelere sahip klasik GSK'lar çalışma noktasında anlamlı bir değişim olduğunda tatminkâr cevap veremezler [4 ve 5].

Güç sistemlerinde sıklıkla görülen belirsizliklere ve bozuculara karşı başarılı performans veren başlıca iki ana yöntem vardır: bunlar Dayanıklılık ve Adaptif Kontrol yöntemleridir. Değişken yapıllı kontrol (DYK), bir dayanıklılık kontrol yöntemi olarak basitliği ve başarılı uygulamaları ile öne çıkarılan bir yöntemdir. Bu yöntemle, sistem belirli bir anahtarlama mantığı altında bir yapıdan diğerine anahtarlanır. Bileşke sistem bu yapıllardan farklı bir sistem olarak davranacaktır. Sistem davranışında, bozuculara ve parametre belirsizliklerine karşı dayanıklılık elde edilir. Ayrıca, temel değişken yapıllı kontrol işareti alt ve üst limitler arasında hızlıca anahtarlama yapar ki bu durum senkron generatörlerin anahtarlama güç çeviricilerinin doğrudan çalıştırılması için idealdir [6-9]. Ancak DYK'nin performansı, anahtarlama fonksiyonu ve geri besleme katsayıları ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle bu çalışmada önerilen değişken yapıllı güç sistem kararlayıcısının parametrelerinin optimize edilmesi gerekir. Bu çalışmada kontrol alanında yaygın olarak kullanılan GA optimizasyon için tercih edilmiştir [10].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Belirsizlikler veya bozucular sonucunda güç sisteminin çalışma noktası, klasik GSK'nın tasarlandığı çalışma noktasından farklı çalışma noktalarında çalışması gerekebilir. Bu durumda, klasik GSK'nın rotor açısı ve uç gerilimindeki salınımları sönümlenme yoluyla kararlılığı iyileştirme performansı düşmektedir. Parametreleri optimize edilmiş dayanıklılık kontrolörler bu durumdan etkilenmeden performansını sürdürme üstünlüğüne sahiptirler. Başarılı bir dayanıklılık kontrolör olan Değişken Yapıllı Kontrolörün tasarım parametrelerini, iyi bir optimizasyon yöntemi olan Genetik Algoritma yoluyla optimize etmek oldukça uygundur. Böylece, güncel

ve yaygın bir problem olan güç sistem kararlılığını iyileştirme problemine başarılı bir çözüm oluşturulacaktır.

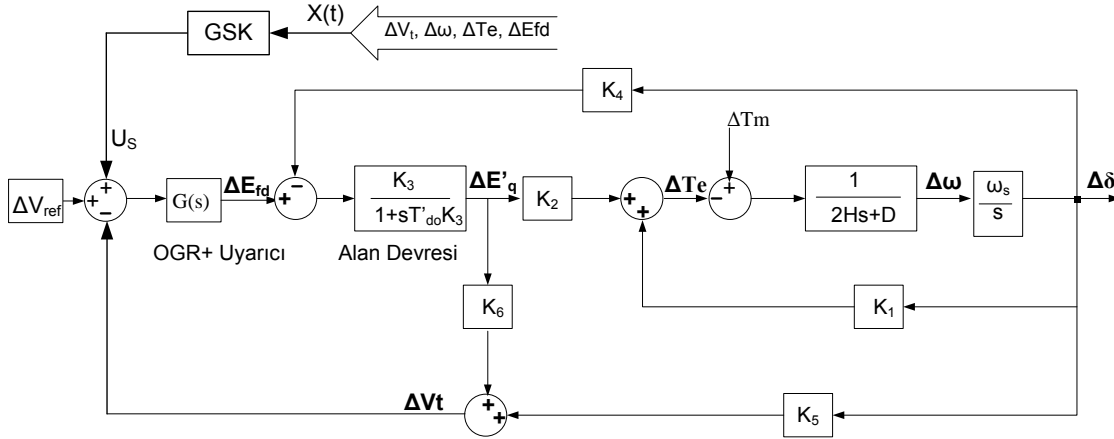
3. GÜÇ SİSTEM MODELİ (MODEL OF POWER SYSTEM)

Şekil 1'de harici bir empedans üzerinden bir sonsuz baraya bağlı ve gerilim regülatörlü uyarma sisteminin etkilerini içeren bir senkron generatörün blok diyagramı gösterilmektedir [3]. Bu sistemin ölçülebilir durum değişkenleri üzerine kurulan durum uzay modeli aşağıdaki denklemlerle tanımlanır [11 ve 12].

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$x = [\Delta V_t \quad \Delta \omega \quad \Delta T_e \quad \Delta E_{FD}]^T \quad (1)$$

Bu modeldeki değişkenler ve katsayılar aşağıdaki şekilde açıklanır:



Şekil 1. Sonsuz baraya bağlı bir senkron generatörün doğrusallaştırılmış Phillips-Heffron Modeli
(Figure 1. Linearized Phillips-Heffron model of synchronous generator connected to infinite bus)

SBSG için sürekli çalışma noktasında $\Delta T_m = 0$, $D = 0$ ve $\Delta V_{ref} = 0$ olduğu kabul edilir ise Şekil 1'den aşağıdaki (2) ifadeleri doğrudan yazılabilir [13].

$$s\Delta\delta = \omega_0\Delta\omega$$

$$s\Delta\omega = -\Delta T_e / 2H$$

$$\Delta E'_q = \frac{K_3}{1 + sT'_{d0}K_3} (\Delta E_{fd} - K_4\Delta\delta)$$

$$\Delta V_t = K_6\Delta E'_q + K_5\Delta\delta$$

$$\Delta E_{fd} = -\frac{K_A}{1 + sT_A} (\Delta V_t - U_{gsk})$$

$$\Delta T_e = K_2\Delta E'_q + K_1\Delta\delta$$

(2)

durum değişkenleri,

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad x = [\Delta\omega \quad \Delta V_t \quad \Delta E_{FD} \quad \Delta T_e]$$

$$\Delta V_t :$$

Uç gerilimi ile referans gerilimin farkı ($V_t - V_{ref}$) pu,

$\Delta\omega$: Anlık açısal hız ile senkron hızın farkı ($\omega - \omega_s$) pu,

ΔT_e : Elektriksel momentin sapma değeri pu,

ΔE_{FD} : uyarma gerilimi sapması pu,

$$u = U_{gsk},$$

olarak ve OGR bloğunun transfer fonksiyonu ise IEEE ST1A [14], tipine göre

$G(s) = \frac{K_A}{1+sT_A}$ olarak tanımlanabilir. Bu denklemler düzenlenerek tüm durum

değişkenleri ölçülebilen durum uzay denklemi (3) elde edilebilir [15]. Bu durum uzay denkleminin kontrol işareti GSK çıkış işaretidir.

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{V}_t \\ \Delta \dot{\omega} \\ \Delta \dot{T}_e \\ \Delta \dot{E}_{fd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cdot K_6 & K_5 \omega_0 & a_2 \cdot K_6 & \frac{K_6}{T'_{d0}} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2H} & 0 \\ a_1 K_2 & \omega_0 K_1 & a_2 K_2 & \frac{K_2}{T'_{d0}} \\ -\frac{K_A}{T_A} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_A} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta V_t \\ \Delta \omega \\ \Delta T_e \\ \Delta E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} \cdot U_{gsk} \quad (3)$$

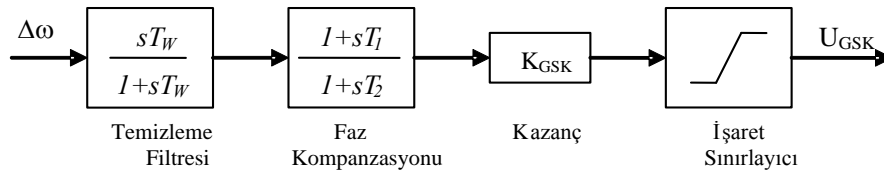
$$a_1 = \frac{K_1 - K_2 K_3 K_4}{K_3 T'_{d0} (K_2 K_5 - K_6 K_1)} \quad a_2 = \frac{K_4 K_6 K_3 - K_5}{K_3 T'_{d0} (K_2 K_5 - K_6 K_1)}$$

4. KLASİK GSK (CLASSICAL PSS)

Bir GSK'nın görevi, generatörün uyarmasını yardımcı kararlayıcı işaret(ler) kullanarak kontrol etmektir. 0.2-3 Hz frekans aralığında değişen güç sistemindeki sistem salınımları arzu edilen şekilde sönmek için kararlayıcının rotor hız sapması ile aynı fazda olacak şekilde bir elektriksel moment bileşeni üretmesi gerekir. Eğer AVR ile uyarıcı transfer fonksiyonu ve E_{fd} ile ΔT_e arasındaki generatör transfer fonksiyonu

saf kazanç ise bu durumda $\Delta \omega$ dan doğrudan bir geri besleme, söndürücü bir moment bileşeni oluşturacaktır. Bununla beraber uygulamada, hem generatör ve hem de uyarıcı (tipine bağlı olarak) frekansa bağlı kazanç ve faz karakteristikleri gösterirler. Dolayısıyla GSK transfer fonksiyonu, uyarma girişi ile elektriksel moment arasındaki faz gecikmesini kompanse etmek için uygun faz kompanzasyonu devresine sahip olmalıdır. Ayrıca GSK larda bir Sinyal Temizleyici olarak yüksek geçiren filtre kullanılır. Bu filtre olmaz ise hızdaki ani değişimler uç gerilimini değiştirir. Kararlayıcı kazancı K_{GSK} , GSK tarafından ortaya konan sönüm miktarını belirler. İdeal olarak kazanç en büyük sönüme karşılık gelen değere ayarlanmalıdır. Bununla beraber kazanç değeri çoğunlukla başka kavramlarla sınırlıdır [16].

Bu çalışmada kullanılan GSK yapısı Şekil 2'de görülmektedir. Şekildeki K_{stab} kararlayıcı kazancı, T_w sinyal temizleyici devre zaman sabiti, T_1 ve T_2 ise faz kompanzasyonu zaman sabitleridir [17].



Şekil 2. Klasik GSK modeli
(Figure 2. Model of classical PSS)

5. ÖNERİLEN DEĞİŞKEN YAPILI GÜÇ SİSTEM KARARLAYICI TASARIMI (DESIGN OF PROPOSED VARIABLE STRUCTURE POWER SYSTEM STABILIZER)

Parametre değişimleri, modellenmemiş dinamikler ve bozucu etkenler gibi belirsizliklerle baş etmek için dayanıklı kontrolörler çok başarılı olmaktadır. Dayanıklı bir kontrolör belirli bir kayma yüzeyi ile belirlenen bir performansı korumak üzere belirsizliklere duyarsız bir sistem davranışı sağlar. Değişken Yapılı kontrol sistemleri tasarlanırken öncelikle bir

nahtarlama yüzeyi belirlenir, sonra sistem yörüngesinin bu yüzeye erişim referans değerine ulaşmasını sağlayacak geri besleme katsayıları elde edilir [8]. Böylece, sistemin hem erişim hem kayma kipinin dinamikleri hakkında karar verilir [7]. Durum uzay modeli, bir dönüşüm matrisi T kullanılarak kontrol edilebilir kanonik forma dönüştürülür [4]. Kök yerleştirme yolu ile anahtarlama fonksiyonunun katsayılarını bulabilmek için tek girişli çok çıkışlı sistemler için kullanılan bir yöntem, ilk olarak sistemi (4) eşitliğine benzer kontrol edilebilir kanonik biçimde ifade etmektir.

$$\begin{aligned}\dot{\bar{x}}_1 &= \bar{x}_2 \\ \dot{\bar{x}}_2 &= \bar{x}_3 \\ &\vdots \\ \dot{\bar{x}}_n &= \sum_{i=1}^n a_i \bar{x}_i + u.\end{aligned}\quad (4)$$

Sistemin ifadesi bu biçimde iken $s(x) = \bar{c}_1 \cdot \bar{x}_1 + \bar{c}_2 \cdot \bar{x}_2 + \bar{c}_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_n$ anahtarlama fonksiyonu

$$\bar{c}_1 \cdot \bar{x}_1 + \bar{c}_2 \cdot \bar{x}_2 + \bar{c}_3 \cdot \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_n = 0 \quad (5)$$

$\bar{C} = [\bar{c}_1 \quad \bar{c}_2 \quad \dots \quad \bar{c}_{n-1} \quad 1]$ şeklinde bir kayma yüzeyini n boyutlu durum uzayında tanımlar. Kayma kipinde $s(x)=0$ olması sağlandığı durumda, (5) eşitliği çözülüp (4) eşitliğinde yerine konulursa,

$$\begin{aligned}\dot{\bar{x}}_1 &= \bar{x}_2 \\ \dot{\bar{x}}_2 &= \bar{x}_3 \\ &\vdots \\ \dot{\bar{x}}_n &= -\bar{c}_1 \cdot \bar{x}_1 - \bar{c}_2 \cdot \bar{x}_2 - \dots - \bar{c}_{n-1} \bar{x}_{n-1}\end{aligned}\quad (6)$$

sistemin kayma kipindeki diferansiyel denklemi bulunacaktır. (5) eşitliğindeki katsayılar kontrol edilebilir kanonik biçimdeki sistemin $s(x)=0$ olduğu durumdaki karakteristik denklemini tanımlar. Bu yaklaşım ile sistemdeki analitik çözüme engel oluşturan kontrol işaretinin doğrusal olmayan süreksizliği giderilmektedir [19].

Kontrol edilebilir kanonik biçime dönüştürme bir T dönüşüm matrisi aracılığı ile yapılır. T matrisi, kontrol edilebilirlik matrisi ile A matrisine ait karakteristik denklemi katsayılardan oluşturulan R matrisi ile çarpımından elde edilir. Kontrol edilebilirlik matrisi

$$M = [B \quad AB \quad A^2B \quad \dots \quad A^{n-1}B] \quad (7)$$

olarak verilir. R matrisinde kullanılacak katsayıları içeren A matrisinin karakteristik denklemi

$$|\lambda I - A| = \lambda^n + a_{n-1}\lambda^{n-1} + \dots + a_1\lambda + a_0 \quad (8)$$

şeklindedir. (8) eşitliğine göre R matrisi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} & 1 \\ a_2 & a_3 & \dots & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{n-1} & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Bu aşamada, T dönüşüm matrisi

$$T = M \cdot R \quad (10)$$

olarak hesaplanıp $\bar{X} = T^{-1} \cdot X$ çarpımıyla kontrol edilebilir kanonik biçime dönüşüm yapılır. Böylece sistemin durum uzay denklemi,

$$\dot{\bar{X}} = \bar{A}\bar{X} + \bar{B}u \quad (11)$$

olarak elde edilir. Burada $\bar{A} = T^{-1}AT$, $\bar{B} = T^{-1}B$ olup, \bar{X} , \bar{A} , \bar{B} gösterimi kontrol edilebilir kanonik biçimdeki durum denklemleri matrisleridir. Kontrol edilebilir sistemler için, sisteme istenen kökleri yerleştirecek bir $C = T^{-1} \cdot \bar{C}$ matrisi daima vardır. C matrisi, süreksiz kayma yüzeyi denklemini belirleyen kök değerlerin atanması probleminin çözümüdür [20]. Bu dönüşümler sonucunda orijinal durum uzayına ait anahtarlama denklemi katsayı matrisi C bulunur. Kayma kipli kontrolörün kontrol işaretini bulmak için anahtarlama fonksiyonunun dinamiğinin, sistem yörüngesinin kararlı şekilde yakınsamasını sağlamasını sağlayacak Lyapunov kuralı tanımlamasını temin edecek kontrol işareti u buradan çekilir ise,

$$s = Cx \Rightarrow \dot{s} = C \dot{x} = C(Ax + Bu) \dot{s} = CB[u + (CB)^{-1}CAx] \quad (12)$$

$$u_{eq} = -(CB)^{-1}CAx \text{ denir ise}$$

$$s = 0 \Rightarrow \dot{s} = 0 \Rightarrow u = u_{eq} \text{ olur [21].}$$

$u_{eq} = \Psi_{eq} \cdot x$ denir ise $\Psi_{eq} = [\Psi_{eq1} \ \Psi_{eq2} \ \Psi_{eq3} \ \Psi_{eq4}]$ olur. $s \cdot \dot{s} < 0$ şartını belli bir kayma bandı ile sağlamak için kontrol işareti (14)'deki gibi tanımlanabilir [22,23].

$$\Psi_i = \begin{cases} \Psi_{eqi} + h_i & s \cdot x \leq 0 \text{ ise} \\ \Psi_{eqi} - h_i & s \cdot x \geq 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (13)$$

$$u = U_{gsk} = \sum_{i=1}^4 \Psi_i \cdot x_i \quad (14)$$

Bu işlem aşamalarında denklem (6)'daki \bar{C}_1 , \bar{C}_2 ve \bar{C}_3 değerlerinin ve denklem (10)'daki h_1 , h_2 , h_3 ve h_4 geri besleme katsayılarının en uygun değerlerinin belirlenmesi gerekir. En uygun değerlerin belirlenmesi için GA kullanılmıştır.

6. GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMAL DY-GSK TASARIMI (DESIGN OF OPTIMAL VS-PSS USING GENETIC ALGORITHM)

Genetik algoritmalar (GA), gerçek yaşamdaki doğal seçim ve doğal üreme kurallarına dayanır. Doğanın zorlu koşullarına uyum sağlayabilen türün yaşamlarını sürdürmesi ve uyum sağlayamamış olan türlerin ise elenmesi bir doğal seçimdir [24]. Seçilen bu türün bireyleri çiftleşerek yeni bir nesil meydana getirir böylece doğal üreme gerçekleşir. Bu süreçte bireylerin genleri, başka bireyin genleri ile birleşip yeni genleri oluştururlar.

Genetik algoritmalar, hayatın bu iki olgusunu birleştirerek optimal noktayı arama yöntemidir. GA, karmaşık ve çok boyutlu arama uzayında daha iyinin hayatta kalması ilkesine dayanan bir arama yöntemidir ve arama uzayının bir çok noktasında aynı anda optimal çözümü arar [24 ve 25]. Bir GA, bizim kendi DNA(deoxyribonucleic acid) yapımızdaki genetik kodlara benzeyen, birçok genden oluşturulan kodlanmış kromozoma (birey) dayandırılır. GA'lar, karakter veya sayı dizileri ile temsil edilen bireylere ait bir nesil gerektirir [26].

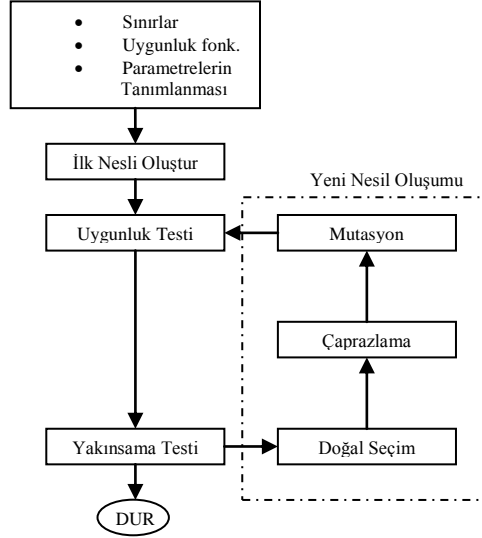
GA'nın kullanım alanlarından bazıları: Atölye Çizelgeleme, Yapay Sinir Ağları, Tasarım, Görüntü Kontrolü, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Paketleme Problemleri, Makine ve Robot Öğrenmesi, Ekonomik Model Çıkarma v.b sayılabilir [10 ve 25].

Bir GA'nın temel akış diyagramı Şekil 3'de verilmiştir. Öncelikle arama uzayının sınırları, bireylerin çözüm için uygunluk seviyesinin belirleneceği uygunluk fonksiyonu ve optimize edilecek parametreler tanımlanır. Ardından, ilk nesil rastgele olarak üretilir. Nesildeki her birey için uygunluk testi sonrasında, programın yakınsama testine göre yeni

nesil işlemine veya programın sonlandırılmasına geçilmektedir. Yeni nesil oluşturulması için farklı uygulamalarda farklı operatörler kullanılmakla birlikte genel olarak 3 standart operatör kullanılır. Bunlar:

- Yeniden Üretim (Reproduction)
- Çaprazlama (Crossover)
- Mutasyon (Mutation)

olarak ifade edilebilir [26].



Şekil 3. Temel genetik algoritma döngüsü
(Figure 3. Flowchart of basic genetic algorithm)

Nesli oluşturan her bireyin problemin çözümündeki uygunluk seviyesi bir uygunluk fonksiyonu ile belirlenmektedir. Uygunluk fonksiyonu yüksek değere sahip olan bireylerin, nüfustaki diğer bireyler ile çoğalma şansları yüksek tutulur. Yapılan çalışmada kullanılan uygunluk fonksiyonu hız hatasının ve gerilim hatasının IAE değerleri ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilmiştir.

$$f = \frac{1}{1 + a \cdot \omega_{IAE} + b \cdot V_{IAE}} \quad (17)$$

Burada $\omega_{IAE} = \int_0^t \Delta \omega \cdot dt$ ve $cV_{IAE} = \int_0^t \Delta V_i \cdot dt$ dir.

Denklemden f uygunluk fonksiyonu, a ve b sabit katsayı olarak tanımlanmıştır. Bu a ve b katsayıları, uygunluk fonksiyonunun 1'e yakın değerler verecek şekilde ve IAE değerlerinin büyüklüğü dikkate alınarak $a=100$ ve $b=1$ olarak seçildi.

Yapılan benzetim çalışmasında, kanonik formdaki anahtarlama fonksiyonunun \bar{C}_1 , \bar{C}_2 ve \bar{C}_3 katsayılarının çözüm uzayı $\bar{C}_1:0-100000$ $\bar{C}_2:0-10000$ ve $\bar{C}_3:0-1000$ arasında alınmıştır. Ayrıca geri besleme katsayıları h_1 , h_2 , h_3 ve h_4 'e ilişkin çözüm uzayı $h_1:0-1000$ $h_2:0-1000$ $h_3:0-1000$ ve $h_4:0-1000$ olarak alınmıştır. Kullanılan algoritmada tek noktalı çaprazlama oranı (crossover rate) 0,9 olarak, mutasyon oranı (mutation rate) 0,08 olarak ve nüfus büyüklüğü (population size) 40 olarak seçilmiştir.

7. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Generatör Parametreleri, Uyarma sistemi parametreleri ve çalışma noktasına ilişkin değerler [18] Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sistem parametreleri ve çalışma noktası değerleri
(Table 1. System parameters and operation point values)

Generatör	$x_d = 1.6pu, x'_d = 0.32pu, x_q = 1.55pu, T'_{d0} = 6, H = 5s, f = 60Hz$
IEEE tip - 1 uyarma	$K_A = 100, T_A = 0.02s, E_{fd_{mi}} = \pm 6pu,$
İletim Hattı	$r_e = 0, x_e = 0.2pu$
Çalışma noktası	$P = 0.85pu, Q = 0.2pu, V_\infty = 1.0pu, V_0 = 1.0pu$
Doğrusallaştırılmış Sistemin Katsayıları	$K_1 = 1.457, K_2 = 1.5397, K_3 = 0.2889,$ $K_4 = 1.9708, K_5 = 2.0315 \cdot 10^{-3}, K_6 = 0.2712$
Geleneksel GSK Par.	$K_{stab} = 16, T_w = 2, T_1 = 0.08, T_2 = 0.027, U_{GSK} = \pm 0.25pu$

Sistem matrisleri,

$$A = \begin{bmatrix} -0.23167 & 0.76587 & -0.06081 & 0.045198 \\ 0 & 0 & -0.1 & 0 \\ -1.3153 & 549.29 & -0.34525 & 0.2566 \\ -5000 & 0 & 0 & -50 \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \ 0 \ 0 \ 5000]^T$$

Kontrol edilebilirlik matrisi,

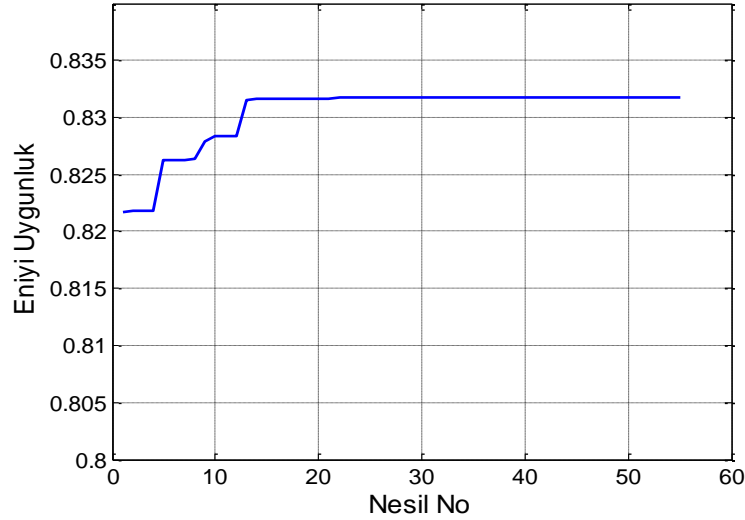
$$M = \begin{bmatrix} 0 & 225.99 & -11430 & 520400 \\ 0 & 0 & -128.30 & 6489.3 \\ 0 & 1283 & -64893 & 2884600 \\ 5000 & 50000 & 11370000 & -511350000 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 2759.1 & 309.8 & 50.6 & 1 \\ 309.8 & 50.6 & 1 & 0 \\ 50.6 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Kanonik forma dönüşüm matrisi,

$$T = \begin{bmatrix} 12320 & 0 & 230 & 0 \\ 0 & -130 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1280 & 0 \\ 63120 & 274650 & 2880 & 5000 \end{bmatrix}$$

Güç sisteminin, Tablo.1'de verilen şartlarda 1. saniyede gelen 0.5 pu mekanik moment bozucucusuna 0.2 saniye süre ile maruz kaldığı kabul edilmiştir. Sistemin denklem (17) ile verilen uygunluk ölçütü için GA ile elde edilen anahtarlama fonksiyonunun kanonik formdaki anahtarlama fonksiyonu katsayıları, $\bar{C}_1=7177.2$, $\bar{C}_2= 3121.8$ ve $\bar{C}_3=434.7$ olarak elde edilmiştir. Değişken yapıllı GSK'nın heri besleme katsayılarınının sınır değerlerini belirleyen sabitler , $h_1 = 1.9$, $h_2=262.0$, $h_3=201.0$ ve $h_4=226.1$ olarak elde edilmiştir. DY-GSK kontrol işareti U_{GSK} 'nın $\pm 0.5pu$ ile sınırlandırılmıştır. Şekil.2'de 55 nesil için yürütülen GA optimizasyonuna ilişkin her neslin En iyi uygunluk değerlerini gösterilmiştir.



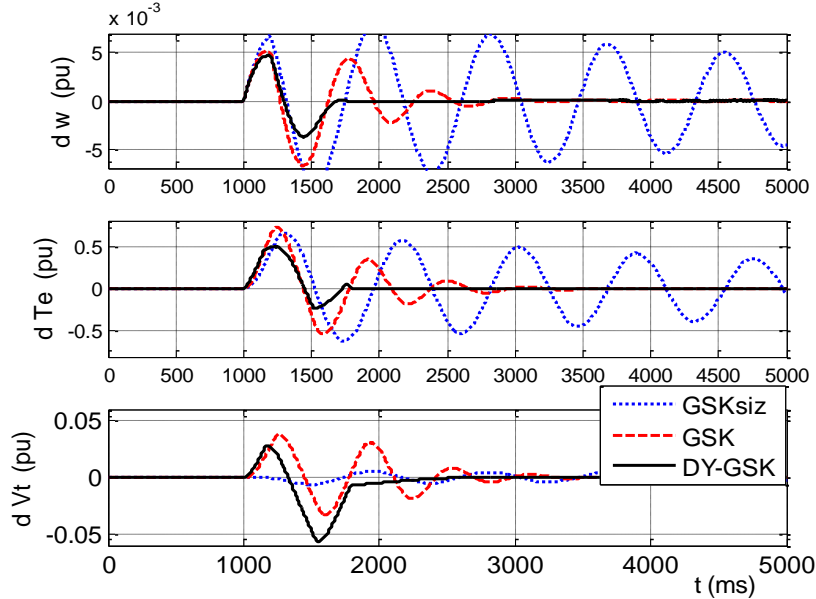
Şekil 4. Optimizasyonda her nesle ait en iyi uygunluk değeri
(Figure 4. Best fitness values of generations during optimization)

Şekil 4'de görüldüğü gibi GA 30. nesil öncesi en iyi uygunluk değerine ait parametreleri yakınsamaktadır. Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de farklı bozuculara ait ve uyarma kontrol devresinde GSK bulunmadığı durum, geleneksel GSK bulunması ve DY-GSK bulunması durumu için salınımların değişimini göstermektedir. Her üç Şekilde de DY-GSK içeren uyarma devresinin salınımları daha iyi sönümlendirdiği görülmektedir.

Şekil 5'de, güç sisteminde ortaya çıkan 0.5 pu büyüklüğündeki bir geçici moment değişikliği sonucunda ortaya çıkan hız, moment ve gerilim salınımlar görülmektedir.

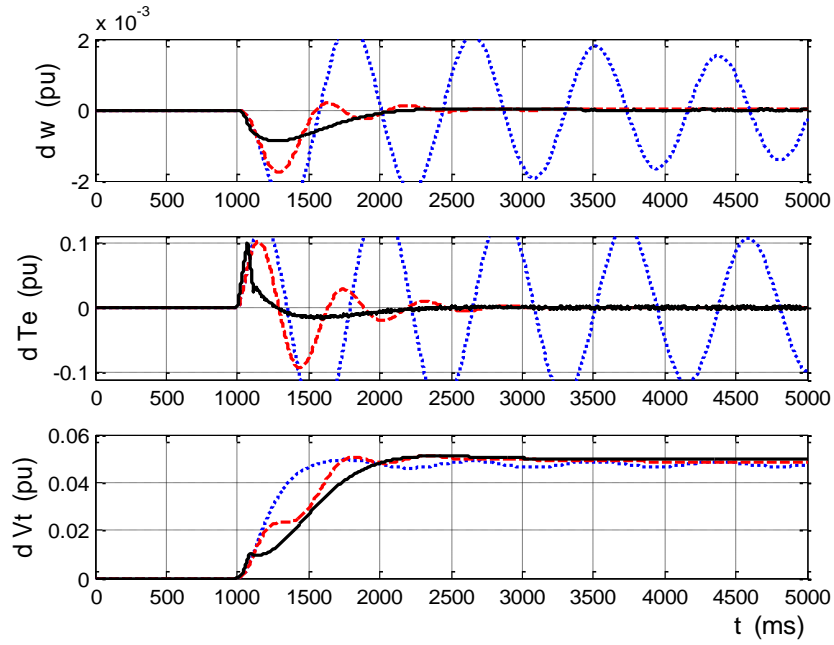
Şekil 6'da ise, generatör referans gerilimindeki 0.05 pu değerinde kalıcı değişimi sonucu ortaya çıkan salınımlar görülmektedir.

Şekil 7'de ise, generatörün mekanik momentinde 0.05 pu değerinde kalıcı değişimi sonucu ortaya çıkan salınımlar görülmektedir

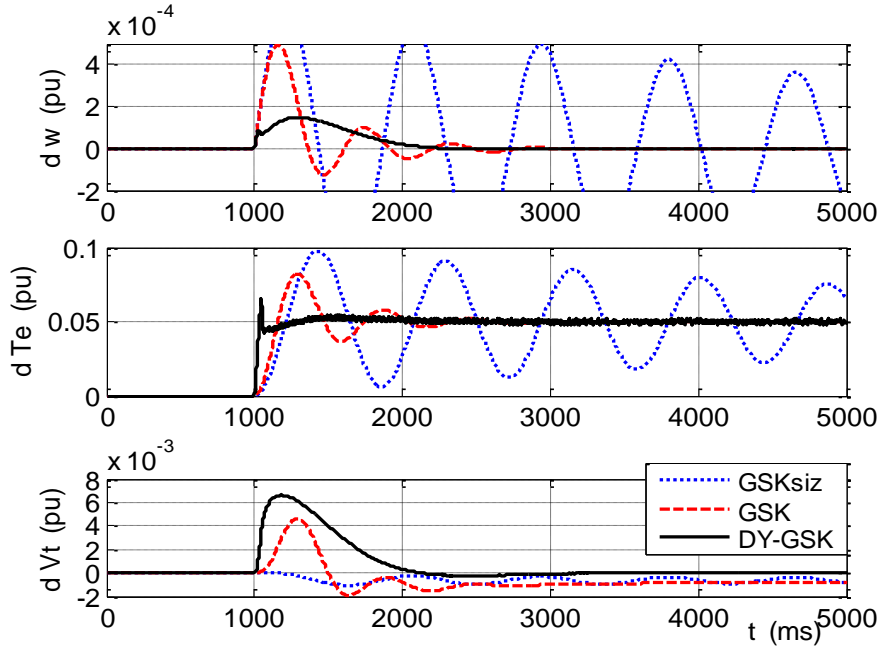


Şekil 5. Geçici 0.5 pu değerindeki bozucu moment için GSK'sız, Klasik GSK ve DY-GSK'lı uyarma sistemlerinin performansları

(Figure 5. Performances of excitation systems with classical pss, with VS-PSS and without PSS under condition of transient 0.5 pu load torque disturbance)



Şekil 6. Gerilim referans değerinde 0.05 pu değişim için GSK'sız, Klasik GSK ve DY-GSK'lı uyarma sistemlerinin performansları
(Figure 6. Performances of excitation systems with classical pss, with VS-PSS and without PSS under condition of permanent variation of 0.05 pu voltage reference)



Şekil 7. Mekanik momentde 0.05 pu kalıcı değişim için GSK'sız, Klasik GSK ve DY-GSK'lı uyarma sistemlerinin performansları
(Figure 7. Performances of excitation systems with classical pss, with VS-PSS and without PSS under condition of permanent variation of 0.05 pu mechanical torque)

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Benzetim çalışmaları sonucunda değişken yapıli kontrole dayandırılan DY-GSK'nın geleneksel GSK'ya nazaran salınımları daha kısa sürede sönümlendirdiği görülmektedir. Üç çeşit bozucu durumunda da DY-GSK'nın geçici rejim kararlılığını iyileştirdiği görülmüştür. GA'nın değişken yapıli kontrole dayalı GSK tasarımı için çok uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 14-16 Ekim 2010 tarihinde Dicle Üniversitesinde tamamlanan Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumunda (BUMAT2010) sözlü sunumu yapılmış ve NWSA yazım esaslarına göre yeniden düzenlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Anderson, P.M. and Fouad, A.A., (1994). Power System Control and Stability, IEEE Press.
2. Kundur, P., (1994). Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc.
3. De Mello, F. and Concordia, P.C., (1994). Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control, IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-88, pp. 316-329.
4. Samarasinghe, V.G.D.C. and Pahalawaththa, N.C., (1997). Damping of multimodal oscillations in power systems using variable structure control techniques, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 144, 3, pp. 323-331.
5. Gbosh, A., Ledwich, G., Malik, O.P., and Hope, G.S., (1984). Power system stabilizer based on adaptive control technique. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. PAS-103 (Aug. 1984), pp.1983-1989.
6. Loukianov, A.G., Canedo, J.M., Utkin, V.I., and Cabrera-Vazquez, J., (2004). Discontinuous controller for power systems: sliding-mode block control approach, Industrial Electronics, IEEE Tran., Volume 51, Issue 2, pp.340 - 353
7. Hung, J.Y., Gao, W.B., and Hung, J.C., (1993). Variable structure control: A survey, IEEE Trans Ind Electronics 40(1), p.2-22.
8. Utkin, V.I.J. and Guldner, J.S., (1999). Sliding Mode Control in Electromechanical Systems, Taylor&Francis.
9. Spurgeon, S.K. and Edwards, C., (1998). Sliding Mode Control Theory and Applications, Taylor&Francis.
10. Alander, J.T., (2008), An indexed bibliography of genetic algorithms in control, Report Series No. 94-1-CONTROL, ftp.uwasa.fi directory cs/report94-1 file gaCONTROLbib.pdf.
11. El-Khazali, R., Heydt, G., and DeCarlo, R., (1993). Output Feedback Variable Structure Control using Dynamic Compensation for Linear Systems ACC, 981-985, San Francisco, CA.
12. Chan, W.C. and Hsu, Y.Y., (1983). An Optimal Variable structure Stabilizer for Power System Stabilization, IEEE trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 6, PP 1738-1746.
13. Yu, Y.N. and Siggers, C., (1971). Stabilization and optimal control signals for a power system, IEEE Transactions on Power and Apparatus Systems, Vol PAS-90, pp. 1469-1481.
14. IEEE Power eng. soc., (2005). Recommended practice for excitation system models for power system stability studies, IEEE Std 421.5
15. Wah-Chun, C. and Hsu, Y.Y., (1983). an optimal variable structure stabilizer for power system stabilization, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol: PAS-102, No: 6.

16. Larsen, E.V. and Swann, D.A., (1981). Applying power system stabilizers, Part I: General concepts, Part II: Performance Objectives and Tuning Concepts, Part III: Practical Considerations. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100(6):3017-3046.
17. Demirören, A. ve Zeynelgil, L., (2004). Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı, Kontrolü ve Çalışması, Birsen Yayınevi, İstanbul.
18. Gupta, R., Bandyopadhyay, B., and Kulkarni A.M., (2003). Design of pss for single machine system using robust fast output sampling feedback technique, Elsevier, Electric Power Systems Research 65, pp.247-257
19. Gao, W.B. and Hung, J.C., (1993). Variable structure control of nonlinear systems: A new approach, IEEE Trans and Electron 40(1)pp.45-55.
20. Kuo, B.C. and Golnaraghi, F., (2002). Automatic Control Systems, John Wiley & Sons.
21. Utkin, V.I., (1977). Survey Paper - Variable Structer Systems with Sliding Modes, IEEE Trans. Aut. Control, AC-22/2, pp.212-222.
22. Hong, C. ve Wu, Y., (1989). Design of Equal Excursion Sliding Regime. Int. J. Control, 49,5, pp.1615-1631.
23. Duy-Ky Nguyen, M.E., (1998). sliding mode control: Advanced Design Techniques, PHD Thesis, University of Technoloji, Sydney,
24. Holland, J.H., (1975). Adaptation in Natural and Artificial System Ann Arbor, The Universty of Michigan, USA.
25. Karr, C.L. ve Freeman, M., (1999). Industrial Applications of Genetic Algorithms, CRC Pres, New York.
26. Goldenberg, D.E., (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Longman.