

Rotor Açısıl Kararlılığı İçin Güç Sistemi Dengeleyicisi Tasarımı

İbrahim EKE, M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU ve İlhan KOCAARSLAN*

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 06570 Maltepe, Ankara

Telefon: +90 (312) 352-3314; Faks: +90 (312) 230-8434, ibrahimeke@gazi.edu.tr, taplam@gazi.edu.tr.

* İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320, İstanbul, ihankocaarslan@gmail.com.

Özet— Bu makale tek makineli sonsuz güçlü baraya bağlı senkron jeneratörde oluşan salınımları sönmülemde güç sistemi dengeleyicisi parametrelerinin ayarlanması ile ilgili çalışmayı sunar. Güç sistemi dengeleyicileri; elektrik güç sistemlerinde oluşan düşük frekans salınımları sönmülemek için uyarım sistemine eklenir. Güç sistemi dengeleyicisi tasarımı için birçok yöntem vardır. Modern kontrol tekniklerinin farklı yapılarına rağmen halen güç sistemi işletmecileri geleneksel güç sistemi dengeleyicisini tercih etmektedirler. Bu yüzden geleneksel güç sistemi dengeleyicisi bu çalışmada temel alınarak güç sistemi dengeleyicisi parametreleri yeni bir yöntemle ayarlanmıştır. Dayanıklı güç sistemi dengeleyicisi tasarımı çok değişkenli optimizasyon problemi gibi formülize edilip yapay arı koloni (ABC) algoritması ile çözümü sağlanmıştır. Önerilen ABC tabanlı güç sistemi dengeleyicisinin sağlamlığını göstermek için, tek makineli güç sisteminde küçük bozucu etkilerde katılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları, ABC tabanlı güç sistemi dengeleyicisinin geleneksel olarak ayarlanmış dengeleyiciye göre daha üstün ve sağlam olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler — Rotor açısı kararlılığı, yapay arı kolonisi, güç sistemi dengeleyicisi

POWER SYSTEM STABILIZER DESIGN FOR ROTOR ANGLE STABILITY

Abstract— This paper presents techniques that allow a generalized parameter tuning of power system stabilizer to damp the oscillatory modes of generator connected to a single machine infinite bus system. Power system stabilizers (PSS) are added to excitation system to enhance the damping of electric power system during low frequency oscillations. Several methods are used in the design of power system stabilizers. Despite the potential of the modern control techniques with different structures, power system utilities still prefer the conventional lead-lag power system stabilizer structure. Therefore, conventional power system stabilizer based on this study, a new power system stabilizer parameters are set in a way. The problem of a robust PSS design is formulated as a multiobjective optimization problem and Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm is used to solve it. To demonstrate the robustness of the proposed ABC based power system stabilizer, simulation studies on single machine system subjected to small perturbation. Simulation results show the superiority and robustness of ABC

based power system stabilizer as compare to conventionally tuned controller.

Index Terms— Rotor angle stability, artificial bee colony, power system stabilizer

I. GİRİŞ

Güç sistemlerinin doğası gereği, sonsuz güçlü baraya bağlı senkron jeneratörler çok değişken bir yük karakteristiğine sahiptirler. Bir güç sisteminde normal çalışma anında sisteme ilave yük girmesi veya sistemden yük çıkması, güç sisteminde düşük genlikli ve düşük frekanslı, (0.2 - 3.0 Hz), salınımlara sebep olur. Düşük genlikte ve frekanstaki güç salınımlarının çok uzun periyotlarda devam etmesi enterkonekte sistemde güç iletimini sınırlayacak boyutlara varmasına hatta sistemin çökmesine neden olmuştur [1]. Güç sistemlerinde oluşabilecek bozucu etkiler sonucu mekanik ve elektriksel güç dengesinin bozulması durumunda sistemin açısıl kararlılığını koruyabilmesi için öncelikle yeterli senkronizasyon momentinin üretilmesi gerekir. Gerilim regülatörünün de senkronlayıcı momente katkısıyla bu salınım söndürülerek senkron makine senkronizmada kalır. Güç sistemi büyük bir bozucu etkiyle karşılaştığı zaman ise senkronlayıcı moment yetersiz kalabilir. Yeterli sönmü momentinin üretilmesi için senkron makineye güç sistemi dengeleyicisi (GSD) eklenir. 1960'ların ortalarından itibaren güç sistemi dengeleyicileri, senkronlayıcı momente ek olarak sönmü momenti sağlamak amacıyla, gerilim regülatörü girişine ek bir gerilim işareti uygulamaktadırlar [2].

Güç sistemlerinde görülen bu salınımların sönmülenmesi ve güç sisteminin sürekli hal kararlılığının iyileştirilmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların temelini oluşturan Heffron-Phillips, GSD tasarımı ve düşük genlikli salınımların senkron makinede incelenmesi için tek makine sonsuz güçlü bara (single machine infinite busbar, SMIB) sistemini önermişlerdir [3].

Bu modele dayalı çalışmaların en önemlilerinden biriside Larsen ve Swann'ın geleneksel güç sistemi dengeleyicisi tasarımı ve teorisine ilişkin yapmış oldukları çalışmalarıdır. Larsen ve Swann ilk çalışmalarında GSD girişlerine uygulanan parametreleri hız, frekans ve güç olarak ifade etmektedirler. Ayrıca basitleştirilmiş tek makine sonsuz güçlü bara sistemi kullanarak GSD giriş sinyallerinin frekans cevap

karakteristik analizlerini yapmışlardır. İkinci çalışmalarında ise dinamik ve sürekli hal sınır değerlerinin belirlenmesi ve salınım çeşitlerine göre GSD'nin tepkisi incelenmiştir. Ayrıca birinci çalışmada elde edilen durumlara göre GSD parametre ayarının geleneksel yöntem ile nasıl yapıldığı çalışmada yer almıştır. Üçüncü ve son çalışmalarında ise farklı sinyal girişlerinin uygulanması ve küçük bozucu giriş etkilerinin incelenmesi ile GSD tasarımına önemli bir katkıda bulunmuşlardır [4-6].

Güç sistemi dengeleyicisi tasarımı, pek çok açıdan yapay zeka problemlerine yakındır. Yapay zeka çözümleri, güç sisteminin gereksinimlerini kesintisiz ve sürekli olarak sağlayabildikleri için büyük öneme sahiptirler. Geleneksel güç sistemi dengeleyicisinin sabit parametreleri ayarlandıkları belli bir bölge için çözüm üretirken, yapay zeka ile tasarlanmış güç sistemi dengeleyicisi, ele alınan sistemin parametreleri değişse bile dayanıklı ve sürekli çözümler üretebilmektedir. Yapılan literatür incelemeleri sonucunda sezgisel algoritmalar içerisinde en yeni ve popüler olan yapay arı kolonisi (YAK) algoritması ile güç sistemi dengeleyicisi parametrelerinin ayarının yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada yapay zekanın kesin çözüm bulma, basit anlaşılabilirliği gibi özelliklerinden faydalanarak güç sistemi dengeleyicisinin parametre ayarı yeni bir yaklaşım ile yapay arı kolonisi algoritması tabanlı bir güç sistemi dengeleyicisi ile tasarlanmıştır.

Çalışmanın son kısmında GSD olmayan sistem, geleneksel GSD (GGSD) ve önerilen YAK tabanlı GSD (YAKGSD) parametre ayarlarının benzetim çalışmaları MATLAB ortamında gerçekleştirilmiş olup önerilen YAK tabanlı GSD'nin GSD olmayan ve GGSD'li sisteme göre farklı koşullar altındaki üstünlüğü benzetim çalışmaları sonucunda gösterilmiştir. Tüm çalışmalarda güç sistemine küçük bozular eklenmiş olup GSD parametre ayarı farklı yük durum çalışmaları için yapılmıştır.

II. ROTOR AÇISI KARARLILIĞI

Normal çalışma koşullar altında tüm üretim yapan makinelerin elektriksel çıkış momenti ve mekanik giriş momenti arasında hızın sabit kaldığı bir denge durumu mevcuttur. İki yada daha fazla senkron makine birlikte çalışırken, tüm makinelerin stator gerilimleri ve akımları aynı frekansa sahip ve her rotorun mekanik hızı bu frekansa uyumlu olmalıdır. Böylece birlikte çalışan tüm senkron makineler senkronizmada kalmaktadır. Burada temel konu rotora etki eden mekanik ve elektriksel momentler ile salınımların değişimidir. Senkron makinelerin, uyarma ve endüvi sargıları olmak üzere iki temel elemanı vardır. Uyarma sargısı rotorda, endüvi sargısı ise statorda bulunur. Uyarma sargısı doğru akım ile beslenir. Türbin tarafından döndürülen rotor manyetik alanı statordaki üç fazlı endüvi sargılarında alternatif gerilim endükler. Endüklenen bu gerilim başka senkron jeneratörlerin stator devreleri ile bağlantı durumunda ise; sistemin çalışmasını sürdürebilmesi için, tüm senkron jeneratörlerin stator gerilim ve akımlarının aynı frekansa sahip olmaları ve her birinin rotorunun mekanik hızı bu frekansla senkronize olması gerekir [7-10].

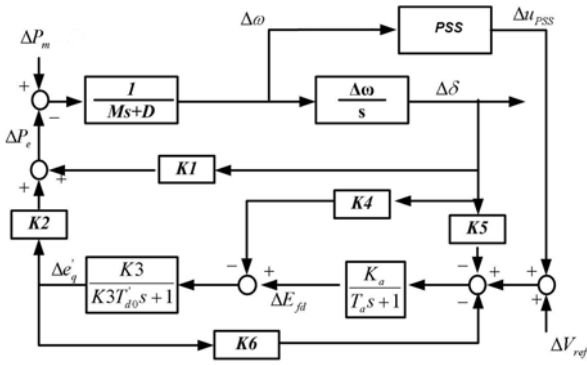
Enterkonnekte güç sistemindeki jeneratörlerin senkronizmada kalabilme yeteneği olarak tanımlanan rotor açısı kararlılığı, bozucu etkinin büyüklüğüne bağlı olarak; geçici kararlılık ve sürekli hal kararlılığı başlıkları altında iki grupta incelenir [10].

Geçici kararlılık; kısıadevreler, üretim birimlerinin veya büyük güçlü tüketicilerin devre dışı kalması gibi etkilerden sonra sistemin senkronizma da kalıp kalmayacağı ile ilgilidir. Sistemin kararlılığı, bozucu etki öncesindeki çalışma noktasına ve bozucunun şiddetine bağlıdır. Genellikle bozucu etki öncesinde ve sonrasındaki sürekli hal çalışma noktası farklıdır. Geçici kararlılık analizlerinde sistemin doğrusal olmayan modeli kullanılır. Geçici hal kararlılığını etkileyen faktörler sırasıyla jeneratör ataleti, jeneratör yüklenmesi; arıza süresince jeneratör çıkışı (güç transferi), arıza temizleme zamanı, arıza sonrası iletim sistemi reaktansı, jeneratör reaktansı, jeneratör iç gerilim genliği ve sonsuz bara gerilimi genliğidir [16-18].

Sürekli hal kararlılığı küçük bozucuya maruz kalan güç sisteminin senkronizmayı koruyabilmesi ile ilgilidir. Sistemin küçük bozucular sonrasındaki davranışı, çalışma noktası, iletim hattı ve jeneratör uyarma tipi gibi bir çok faktöre bağlıdır. Güç sistemlerinde küçük bozucular iki türlü kararsızlığa neden olabilirler. Bunlar senkronlayıcı momentin yetersiz olması sonucunda rotor açısının sürekli olarak artması ve sönmüleyici momentin yetersiz olması sonucunda artan genlikli rotor salınımlarının oluşmasıdır [7,8].

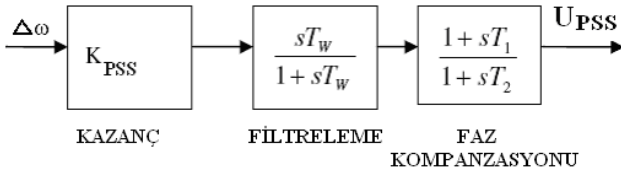
III. GÜÇ SİSTEMİ DENGELEYİCİSİ

Senkron jeneratör uyarım kontrolü, güç sistem kararlılığı ve elektriksel güç kalitesinin sağlanmasında çok önemli rol oynar. Uyarım sistemleri normalde, yüksek kazanç ve küçük zaman sabitine sahip sistemlerdir. Yani farklı işletme koşullarında sistemde çok çabuk kompanzasyon ve sönmüleme yapabilecek kapasiteye sahiptirler. Yüksek kazançlı uyarım kontrolü genellikle geçici hal kararlılığı sağlar fakat kontrolörün ani cevabında kalıcı düşük frekans salınımları oluşur. Bu da diğer makinelerle arasında dinamik kararsızlık oluşmasına yol açar. Güç sistemlerinde oluşabilecek bozucu etkiler sonucu mekanik ve elektriksel güç dengesinin bozulması durumunda sistemin açısal kararlılığını koruyabilmesi için öncelikle yeterli senkronizasyon momentinin üretilmesi gerekir. Senkronizasyon momentini güçlendirmek adına jeneratörlerin uyarma sistemine etkiyen otomatik gerilim regülatörleri kullanılır. Ancak senkronizasyon momenti kararlılığı tek başına sağlayamaz. Rotor açısının referans değerine göre değişimi karşılayan senkronizasyon momenti, rotor açısının kayma yapmasını engeller. Ancak rotor açısal hızındaki değişimi karşılayan sönmü momentinin eksikliği söz konusu olursa rotor açısı salınımlarının genlikleri azaltılamaz ve kararlılık sağlanamaz. Bu probleme geleneksel çözüm yaklaşımı, jeneratörün uyarmasına ek yardımcı işaretler üreten ve bu şekilde jeneratörde oluşan elektromekanik salınımların söndürülmesine yardımcı bir eleman olan güç sistemi dengeleyicisi (GSD) Şekil 1'de olduğu gibi eklemektir [7-17].



Şekil 1. Güç sistemi dengeleyicisi ekli güç sistem modeli

Geleneksel güç sistemi dengeleyicisi Şekil 2'de gösterildiği üzere kazanç, temizleme, faz kompanzasyonu ve işaret sınırlayıcı bloklarından oluşmaktadır.



Şekil 2. GSD parametre blok diyagramı

Kazanç

Kazanç değeri, geniş bir aralıktaki etkiler göz önünde bulundurularak en büyük sönümlenme sağlayacak şekilde belirlenir.

Filtreleme

Filtreleme bloğunun temel amacı yüksek geçiren filtre gibi davranıp, sürekli haldeki değişimlerin jeneratör uç gerilimini değiştirmesini engellemektir.

Faz kompanzasyonu

Faz kompanzasyon filtresi uyarma girişi ile elektriksel moment arasındaki kapasitif faz farkını kompanze etmek için kullanılırlar.

IV. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Bal arıları topluluk yaşamı sürdüren sosyal böcekler olarak, herhangi bir yuvada koloni oluştururlar. Bu kolonide popülasyonunun en büyük bölümünü işçi arılar oluşturur. Bal arıları kendinden organizasyon özelliği ile sürü zekası tabanlı algoritmalar içinde yer almaktadır [18]. Bu özellikler; pozitif geri besleme, negatif geri besleme, dalgalanmalar ve çoklu etkileşimdir.

Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının İşleyişi

YAK algoritmasında başlangıçta ayarlanması gereken bazı parametreler vardır. Bunlar yiyecek kaynağı sayısı, tekrarlama sayısı, sınır değeri, alt ve üst sınır değerleri ve amaç fonksiyonudur.

Başlangıç popülasyonu

Verilen problem için uygun üst ve alt sınırlar belirlenerek, bu sınırlar içerisinde başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. Oluşturulan popülasyonun ilk yarısı modelde kullanılmak üzere alınır. Amaç fonksiyonu kullanılarak popülasyon için hesaplanan uygunluk değerlerinden en iyi değerler elde edilir.

İşçi Arıların algoritmaya etkisi

Bu aşamada komşuluk ilişkilerinden faydalanılarak yeni bir popülasyon oluşturulur. Bir önceki popülasyon ve uygunluk değerleri hafızada tutulur. Oluşturulan yeni popülasyonun modelde verilen alt ve üst sınırların dışına taşmaması için bir kontrol yapılır. Eğer herhangi bir taşma var ise alt sınırın altındaki değerler alt sınır değerine üst sınırın üstündeki değerler ise üst sınır değerine eşitlenir. Yine başlangıç aşamasında olduğu gibi amaç fonksiyonu kullanılarak popülasyon için hesaplanan uygunluk değerlerinden en iyi değerler elde edilir. Burada Greedy seçimi yapılarak değerler elde edilir.

Gözcü arıların algoritmaya etkisi

Greedy seçimi kullanılarak elde edilen uygunluk değeri rastsal bir değer ile karşılaştırılır. Uygunluk değeri rastsal değerden büyük ise yine komşuluk ilişkilerinden faydalanılarak yeni bir popülasyon oluşturulur. Her aşamada olduğu gibi bu aşamada da amaç fonksiyonu kullanılarak greedy seçimi yardımı ile uygunluk değerleri hesaplanır.

En iyi değerlerin bulunması

Modelde bir çevrim içerisindeki en iyi değer ve her bir popülasyon için en iyi değerler hafızada tutulur. Burada daha önce bulduğumuz en küçük global değer çevrim içi değerden büyük ise artık bu yeni değer en küçük global değer yerine geçer.

Kaşif arıların algoritmaya etkisi

Kaşif arıların arama yapmaya başlamaları için modelde belirtilen sınır değerini aşmış kontrol edilir. Eğer belirtilen sınır değeri aşılmış ise yeni bir popülasyon oluşturulur. Daha önceki aşamalarda olduğu gibi uygunluk değeri hesaplanarak bir döngü için aramalar tamamlanmış olur.

V. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada güç sistemi dengeleyicisi parametrelerinin optimizasyon için kullanılacak geleneksel güç sistemi dengeleyicisi parametre (K_{PSS}, T_w, T₁ ve T₂) aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Güç sistemi dengeleyicisi parametre aralıkları

GSD Parametreleri	K _{PSS}	T _w	T ₁	T ₂
Alt Değer	1	1	0.2	0.02
Üst Değer	50	50	1.5	0.15

Geleneksel Güç Sistemi Dengeleyicisi

Geleneksel güç sistem dengeleyicisinin (GGSD) parametrelerini seçebilmek için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır.

Adım 1

Karakteristik eşitlikte bütün sönümlenmeleri $\zeta_n = 0$ ihmal edersek

$$Ms^2 + \omega_b K_1 = 0 \quad (1)$$

Eş. 5.1'in çözümü

$$s = \pm \omega_n \quad (2)$$

Eş. 5.2'de

$$\omega_n = \sqrt{\frac{w_b K_1}{M}} \quad (3)$$

olarak ifade edilir.

Adım 2

Güç sistem dengeleyicisi işareti ile E'_q arasındaki faz gecikmesi Eş. 5.4 ile hesaplanır:

$$G_E = \frac{K_A K_3}{(1 + sT_A)(1 + sT_{d0}K_3) + K_A K_3 K_6} \quad (4)$$

Adım 3

$\Delta\omega$ kontrol sinyali olarak kullanılır ise Eş. 5.5'in fazı ile Eş. 5.4'deki G_E 'nin faz açısı toplamı sıfırı vermelidir ($\angle G_C + \angle G_E = 0$).

$$G_C = \left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \right)^p \quad (5)$$

Adım 4

Güç sistemi dengeleyicisi kazancını hesaplayabilmek için Eş. 5.6 kullanılır:

$$K_{PSS} = \frac{2\zeta_n \omega_n M}{K_2 |G_C(j\omega_n)| |G_E(j\omega_n)|} \quad (6)$$

Sezgisel Yöntemler İle GSD Parametre Ayarı

Yapay zekanın bir alt sınıfı olan sezgisel yöntemlere dayalı optimizasyon algoritmaları ile güç sisteminin rotor açısal kararlılığı içerisinde sürekli hal analiz cevapları MATLAB simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Güç sisteminde oluşan küçük bozucu etkilerinin sönümlenmesi amacı ile sisteme eklenen GSD'nin parametreleri (K_{PSS} , T_w , T_1 ve T_2) önerilen YAK tabanlı algoritmalar ile ayarlanmıştır. Bu çalışması için önerilen YAK algoritmasının kullandığı amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{Minimize } (J_1 + J_2 + J_3)$$

Subject to

$$K_{PSS}^{\min} \leq K_{PSS} \leq K_{PSS}^{\max} \quad (7)$$

$$T_w^{\min} \leq T_w \leq T_w^{\max}$$

$$T_1^{\min} \leq T_1 \leq T_1^{\max}$$

$$T_2^{\min} \leq T_2 \leq T_2^{\max}$$

Eş.7'de $J = J_1 + J_2 + J_3$ değerleri güç sistemine uygulanan bozucuların (V_{ref} , T_{mech} ve V_{ref} ile T_{mech}) etkilerinin ayrı ayrı algoritmada etkili olabilmesi için eklenmiştir. Burada Eş. 7 ile verilen ifadeyi güç sistemi dengeleyicisi parametre ayarları için özelleştirirsek parametrelerin optimizasyonu için eşitlik 8'i elde etmiş oluruz [19-21]:

$$\text{Minimize } J = \int_0^{t_{sim}} \Delta\omega(t) dt \quad (8)$$

Burada $\Delta\omega$ rotor hız değişimini ifade ederken t_{sim} ise benzetim çalışmalarında kullanılan zamanı ifade eder. Ayrıca benzetim çalışmalarında normal, hafif ve ağır yük durumu olmak üzere üç durumda analizler yapılmıştır. Bu yük durumları Tablo 2'deki gibidir.

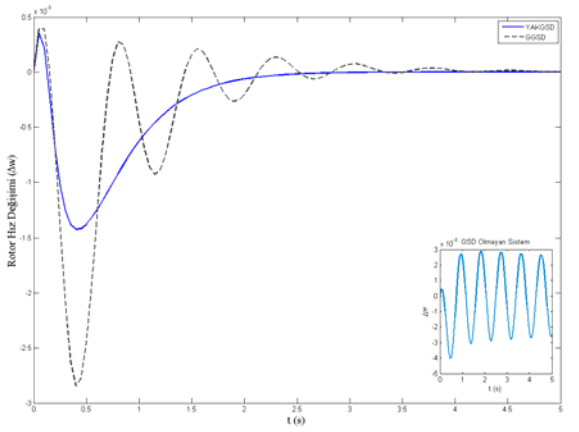
Tablo 2. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Yük Durumları

Yük	P	Q
Normal	1.0	0.01
Hafif	0.7	0.2
Ağır	1.2	0.3

Durum 1, Durum 2 ve Durum 3

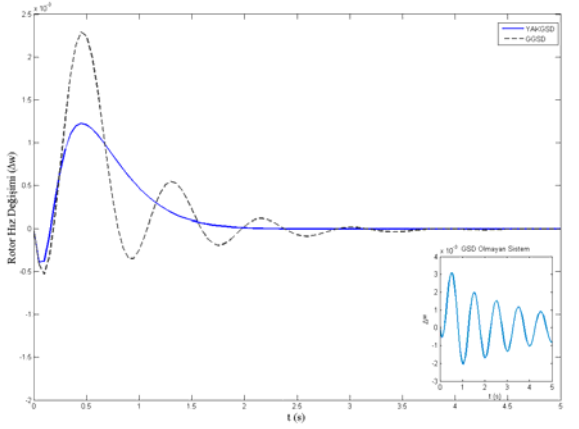
Bütün durumlarda hem V_{ref} hem de T_{mech} bozucu giriş olarak uygulanmıştır. Durum 1 normal yük durumunu, Durum 2 hafif yük durumunu ve Durum 3 ağır yük durumunu ifade etmektedir. Kullanılan uyarım sistemi bloğu $\frac{K_A}{1 + sT_A}$ ile ifade

edilir. Her üç durum içinde GSD olmayan güç sistemi, geleneksel GSD ve önerilen YAK tabanlı GSD (YAKGSD)'nin zamana bağlı $\Delta\omega$ değişimleri şekillerde gösterilmiştir.



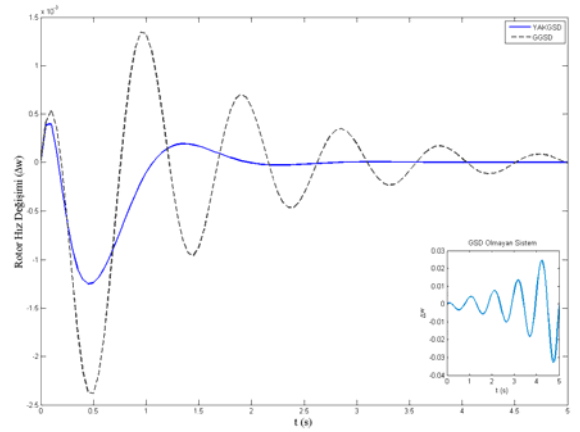
Şekil 3. Normal yük durumu

Şekil 3'den görüldüğü üzere GSD olmayan güç sisteminde salınımlar artarak kararsızlığa doğru gitmektedir. Sisteme GGSD ilavesi ile 5 s'ye kadar yaklaşık 6 tepe değeri kadar azalan salınımlar yaparak sistemin kararlı hale oturduğu gözlenmiştir. Önerilen YAKGSD yapısı ise Şekil 1'den de açıkça görüldüğü gibi hem kendi üzerinde hem de zaman eksenini boyunca salınım yapmadan yaklaşık 2,5 s'de sistemin kararlı hale gelmesine yardımcı olmuştur.



Şekil 4. Hafif yük durumu

Şekil 4'den de görüldüğü üzere GSD olmayan güç sisteminde salınımlar azalarak kararlılığa doğru gitmektedir. Fakat sistemin kararlı hale gelme süresi diğer GSD yapılarına göre oldukça fazladır. Sisteme GGSD ilavesi ile 5 s'den önce yaklaşık 4 tepe değeri kadar azalan salınımlar yaparak sistemin kararlı hale oturduğu gözlenmiştir. Önerilen YAKGSD yapısı ise salınım yapmadan 2 saniye gibi bir oturma zamanı ile sistemin kararlı hale gelmesini sağlamıştır.



Şekil 5. Ağır yük durumu

Durum 3'ü ifade eden Şekil 5'de iletim hattı empedansı (x_c) normal değerinin iki katına çıkarılarak benzetim çalışmaları elde edilmiştir. GGSD yapısını önemli derece etkilendiği bu değişiklik; çalışma aralığı dışında elde edilen sistem cevabı olması sebebiyle önemlidir. Her ne kadar YAKGSD kendi üzerinde salınım yapmadan kararlılığa ulaşsa da bu değişikliğin YAKGSD'yi etkilediği fakat yeterli sistem cevabı vererek kısa zamanda sönümlemeyi sağladığı gözlenmiştir. Özellikle bu durumda GSD olmayan sistemin çok çabuk kararsızlığa gittiği görülmektedir.

VI. TARTIŞMA/SONUÇ

Bu çalışmada rotor açısal kararlılığını sağlamak için geleneksel güç sistemi dengeleyicisi parametrelerinin en uygun değerleri yapay arı kolonisi algoritması ile bulunmuştur. Yapay arı kolonisi algoritmasının kesin ve doğruya en yakın çözümü bulma prensibinden faydalanılarak yeni bir güç sistem dengeleyicisi tasarımı yapılmıştır. Böylece sürekli ve dayanıklı bir güç sistem kararlılığı sağlanmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada güç sistemi dengeleyicisi parametrelerinin en uygun değerinde seçimi için yapay arı kolonisi (YAK) önerilmiş ve farklı çalışma koşulları altında yapılan benzetim çalışmaları sonucu geleneksel güç sistemi dengeleyicisi ve güç sistemi dengeleyicisi olmayan sisteme göre başarımları gösterilmiştir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] Vandiver, B., Apostolov, A. and Steinhauser, F., "Testing of phasor measurement units", 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, 1-5 (2010).
- [2] Gupta, R. Bandyopadhyay, B. And Kulkarni, A.M., "Design of power system stabiliser for single-machine system using robust periodic output feedback controller", IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, United Kingdom, 211-216 (2003).
- [3] Gurrula, G. and Sen, I., "A modified Heffron-Phillip's model for the design of power system stabilizers", International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, New Delhi, 1-6 (2008).

- [4] Larsen, E. V. and Swann D.A., "Applying power system stabilizers part I: general concepts", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100 (6), 3017-3024 (1981).
- [5] Larsen, E. V. and Swann D.A., "Applying power system stabilizers part II: performance objectives and tuning concepts", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100 (6), 3025-3033(1981).
- [6] Larsen, E. V. and Swann D.A., "Applying power system stabilizers part III: practical considerations", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100 (6), 3017-3024 (1981).
- [7] Kundur, P., "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Professional, New York, 54-56, 19, 32, 38-39, 45, 699-700, 25, 40, 128-130, 47, 53, 42-43, 703-706, 315-373, 766-782 (1994).
- [8] Machowski J., Bialek, J. W. And Bumby J. R., "Power System Dynamics and Stability", John Wiley and Sons, New York, 1-3, 43, 183, 141-182, 149, 141-145, 235-240, 321-355, 42-43, 145, 355-363, 291-295 (1997).
- [9] Padiyar, K. R., "Power System Dynamics Stability and Control", John Wiley and Sons, Singapore, 1-4, 4, 9-10, 16-20, 11-13, 50, 51-122, 259-260, 10, 255, 250-254, 123-164, 285-305 (2004).
- [10] Anderson, P. M. and Fouad, A. A., "Power System Control and Stability, 2nd Edition", The Iowa State University Press, Iowa, 3-4, 4-7, 16-20, 24, 13-14, 43, 26-31, 21-24, 13-15, (2003).
- [11] Nalbantoğlu M., "Güç sistemlerinin kararlılığı için senkron generatörün uyarımının kayma kipli kontrolü", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 13-15, 32-34, 16-19, 34-35 (2010).
- [12] Yazıcı İ., "Model referans kayan kipli kontrolör tabanlı güç sistem kararlayıcı tasarımı", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 23-24, 43-45, 47-49, 24, 22, 50-53 (2008).
- [13] Sauer, P. W. and Pai, M. A., "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, New Jersey, 89-93, 262-270, 104-106, 255-261, 270-277 (1998).
- [14] Ghahremani, E., Karrari, M. And Malik, O. P., "Synchronous generator third-order model parameter estimation using online experimental data", IET Generation, Transmission & Distribution, 2(5), 708-719 (2008).
- [15] Demello, F. P. and Concordia, C., "Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, PAS-88(4). 316-329 (1969).
- [16] M. K. El-Sherbiny, D. M. Mehta, "Dynamic system stability part I - investigation of the effect of different loading and excitation systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-92(5), 1538-1546 (1973).
- [17] IEEE Std 421.5-2005 (Revision of IEEE Std 421.5-1992), "IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies", IEEE, 1-85 (2006).
- [18] Akay, B., "Nümerik optimizasyon problemlerinde yapay arı kolonisi algoritmasının performans analizi", Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 81-82 (2009).
- [19] Gözde, H., Taplamacıoğlu, M.C., Kocaarslan, İ., ve Şenol, M.A., "Particle swarm optimization based pi-controller design to load-frequency control of a two area reheat thermal power system", Journal of Thermal Science and Technology, 30(1), 13-21(2010).
- [20] Gözde H., Taplamacıoğlu M. C., Kocaarslan İ., Çam E., "İki Bölgeli Güç Sisteminde Parçacık Sürüsü Algoritması İle Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu", ELECO 2008, Elektrik - Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 26-30 (2008).
- [21] Gözde H., Taplamacıoğlu M. C., Kocaarslan İ., Çam E., Particle Swarm Optimization Based Load Frequency Control In A Single Area Power System, TPE-2008 Conference Proceedings Forth International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering, Pitesti , Romanya, 106-110, 4 – 6(2008).