

BULANIK MANTIKLI KONTROLÖRLERLE GÜÇ SİSTEMLERİNDE GEÇİCİ KARARLILIĞIN İYİLEŞTİRİLMESİ

Gülden OĞUZ Ayşen DEMİRÖREN

Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Anahtar sözcükler: Fuzzy Lojik kontrolör, Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı, Gerilim Regülatörü

ÖZET: Bu çalışma, tek makinalı güç sisteminde geçici (transient) süreçte oluşan salınımların sönümünü arttırmak için tasarlanan ve bulanık mantık teorisine dayandırılan otomatik gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlı kılıcısını tanımlar. Alışıl gelmiş ve bulanık mantık kullanılarak tasarlanan otomatik gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlı kılıcısının davranışları, sonsuz baraya iki paralel hat üzerinden bağlı olan senkron makinanın ucunda oluşan şiddetli bir arıza durumu için karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Matlab Simulink ve Bulanık Mantık Toolbox'ları kullanılarak transient analiz için bilgisayar benzetimi gerçekleştirilmiştir. İncelenen büyüklükler uç gerilimi ve generatör rotor açısı olup, bulanık mantığa dayalı kontrolörlü yaklaşımın alışıl gelmiş kontrolöre göre daha üstün olduğu belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda bulanık mantığın güç sistemleri üzerindeki uygulamaları giderek artan bir öneme sahiptir. Alışıl gelmiş kontrolörler sistemi modelleme sırasında kabullerden ve bunu kolaylaştırmak üzere yapılan ihmallerden dolayı pratikte her durum için yeterli çözümü veremeyebilirler. Belirli çalışma noktası civarında lineerleştirilmiş sistemler üretilen ve bu çalışma durumunda yeterli cevabı üreten alışıl gelmiş kontrolörler farklı bir çalışma bölgesinde yetersiz cevap üretmesi mümkündür. Bu sınırlamaları aşmak için kullanılan yöntemlerden biri de uzman operatörün bilgilerini aktarmayı sağlayan bulanık mantıkla tasarlanan kontrolörler önerilir [1, 2]. Bulanık kontrol ile alışıl gelmiş kontrol arasındaki temel fark; alışıl gelmiş kontrol sistem modeline dayandırılarak tasarlanırken, bulanık kontrolörlerin insan deneyimine dayandırılması ve dilsel yolla ifade edilen kontrol kurallarından faydalanılarak oluşturulmasıdır [1, 3]. Bulanık kontrolörlerin çoğunluğu güç sistemi kontrol alanlarından birinde bulunur: uyarma kontrolü için bulanık gerilim regülatörü (BGR) ve bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı (BGKK). Bu tip bulanık kontrolörler senkron generatörün uyarma sisteminde yer alırlar.

Bu çalışmada ele alınan güç sistemi için tasarlanan bulanık gerilim regülatörü ve bulanık güç sistemi kararlı kılıcısının transient durumda yeterliliği incelenmiş ve alışıl gelmiş kontrolörlerin davranışı ile karşılaştırma yapılmıştır.

2. ALIŞILAGELMİŞ KONTROLÖRLER

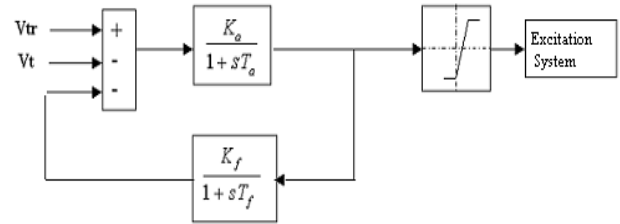
Alışıl gelmiş gerilim ve güç sistemi kararlı kılıcısı belli sınırlar dahilinde senkron generatörün uyarma gerilimini değiştirmek üzere kullanılan kontrolörlerdir. Devir sayısı regülatörleri ise rotor hızının referans değerine göre rotor hızını dolayısıyla frekansı ayarlar. Aralarındaki önemli fark; gerilim regülatörü (GR) ve güç sistemi kararlı kılıcısının (GSKK) devir sayısı regülatörlerine oranla daha hızlı olmasıdır. Güç sistemi kararlı kılıcısının aynı zamanda sistem kararlılığına hızla müdahale ederek devir sayısı regülatörlerine yardımcı olduğu bilinmektedir.

2.1. Gerilim Regülatörü

Generatörün uyarma gerilimini düzelterek uç geriliminin belli sınırlar içinde kalmasını sağlar. Gerilim regülatörü referans değere göre uyarma gerilimindeki hatayı ve hatanın türevini alır ve uyarma sistemini kontrol etmek üzere gerilim üretir [3-5]. Alışıl gelmiş gerilim regülatörü Şekil 1'de verilmiştir.

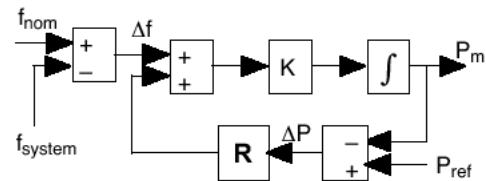
2.2. Devir Sayısı Regülatörü

Güç sisteminde devir sayısı regülatörünün (DSR) görevi rotor hızındaki ayarlamayla sistem yükündeki değişimleri kompanse etmektir.



Şekil 1. Alışıl gelmiş gerilim regülatörü [6].

Burada temel amaç yük değişimleri durumunda tahrik sistemleri ayarlanarak frekansın sabit tutulmasıdır.



Şekil 2. Devir sayısı regülatörü [7-9].

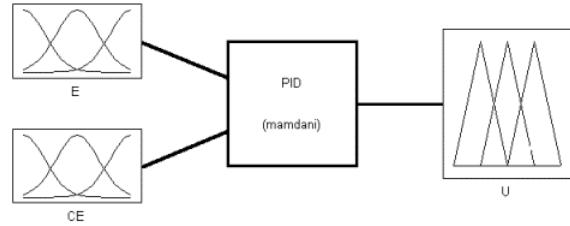
2.3 Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı

GSKK'nın temel fonksiyonu uyarma sistemi vasıtasıyla rotor hızı senkron generatörün rotor hızındaki salınımlarını ilave sönüm sağlayarak güç sisteminin açılmal kararlılık sınırlarını genişletmektedir [8]. Genellikle GSKK rotor hızındaki değişimi, ivmesel gücü ve frekansı giriş olarak alır ve gerilim regülatörü vasıtasıyla uyarma sistemine verilen kararlılığı sağlayıcı gerilimi üretir. Çoğunlukla gerilim regülatörü ve GSKK birlikte kullanılırlar, bu şekilde uç gerilimi ve rotor hız işaretini üzerindeki birbirlerinin getirdiği zararlı etkileri kompanse ederler [3, 8, 9]. GSKK'nın eksikliği ve gerilim regülatörü ile birlikte kullanılmasının nedeni, gerilim çıkışının uç geriliminde salınımlar yarattığı ve rotor açısındaki salınımları söndürmek üzere uyarma sistemine eklenen kararlı kılıcı işaret nedeniyle uç geriliminde bir yükselme oluşturmamasıdır. Gerilim regülatörünün eksikliği uç gerilimini düzeltirken rotor açısının ilk salınımlarının genliğini arttırmasıdır. Gerilim regülatörü ve GSKK birlikte kullanıldığında kararlılığı sağlayıcı gerilim uç geriliminin referans değerine eklenir. Referans değer ve gerçek uç gerilimi arasındaki fark ile gerilim regülatörünün çıkışı uyarma sistemini besler ve uyarma sisteminin çıkışı ve yeni uyarma referans değeri arasındaki fark kullanılarak üretilen uyarma gerilimi sistemi kontrol eder. Aslında, GSKK'nın devir sayısı regülatörüne bir yönden benzer bir görevi daha hızlı olarak gerçekleştirdiği söylenebilir.

3. BULANIK MANTIK KONTROLÜ

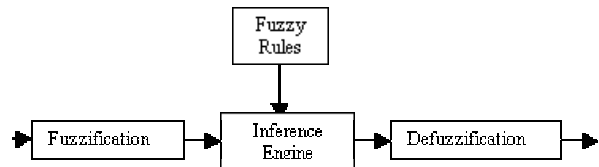
Bulanık mantık (BM), sisteme ait uzman kişinin bilgisini sözel olarak ifadelendirilerek kontrol kuralları için bu bilgidan yararlanmaya izin verir [10]. BM sistemler konusundaki son ilerlemeler ve güç sistemlerindeki uygulamaları giderek artmaktadır. BM teorisinde kesin olarak belirlenmesi zor olan büyüklükler için sıfır ve bir arasında olası değere sahip sayısal bölgeler belirlenmeye çalışılır. Bulanık mantık büyük, küçük gibi belirsiz ya da net olmayan büyüklükler ile veya yorumlanması gereken veriler ile çalışılmasını sağlar [11]. Bulanık sistemler alanındaki son ilerlemeler ve güç sistemlerindeki başarılı birkaç fiziksel uygulama, giriş verisindeki kabul yaklaşım, belirsizlik ve olası bilgiyle ilgilendiğinde, mantığın etkin olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Eksik bilgi, duyarsızlık ve niteliksel bilginin içerilmesi ile ilgili kapasiteleri açısından bulanık mantık sistemleri güç sistemlerindeki uygulamalar için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır [12, 13]. Mevcut BM kontrolörlerinin çoğu bir sistemin herhangi bir matematiksel modelini kullanmadan tasarlanır. Bulanık mantık kontrolörleri (BMK) alışılmış kontrolörlü sistemlerin matematiksel modellerinin türetilmesinde karşılaşılan güçlükler ve davranış sınırlamaları için çözüm olmaktadır. Genellikle, kontrol edilen sistemin karmaşıklığına bakılmaksızın hata ve hatanın değişimi bulanık giriş değişkenleri olarak kullanılır [12, 14].

Bir BMK dilsel değişkenler kullanarak uzman deneyimine ve bilgisine dayandırılan bulanık mantık kontrol kuralları ile kendi çıkış kontrol işaretini üretir. Bu bulanık kontrolün alışılmış kontrolüne göre temel üstünlüğüdür. Temel olarak, BMK bloğu girişler olarak parametredeki hata ve bu hatanın değişimini, bulanık kontrolörü ve çıkışları içerir. Kontrolörlerin giriş parametreleri, ölçekleme çarpanları ve kontrol kuralları bu çalışmada kullanılacak olan Bulanık gerilim regülatörleri (BGR) ve bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı (BGK) arasındaki farkı oluşturur. Uygulamada, üyelik fonksiyonları sıfır civarında belli bir aralıkta [çalışmada (-1 ila 1) arasındadır] normalize edilir. Buna göre, kontrol işareti genlikleri kazançlı kontrolör parametreleri yardımıyla ifade edilir [13].



Şekil 3. Giriş çıkışları ile BMK yapısı [11, 12].

Girişler için ölçeklendirme çarpanları belirlendikten sonra, çıkış kazancı kontrolör, söylem dünyasının alt bölgelerindeki hatalara duyarlı olacak şekilde seçilmelidir. Aynı zamanda, kontrol işlemi kontrolörün doyma bölgesinde kaldığı zamanı minimize etmek için, çıkış kazançları çok yüksek seçilmemelidir. Bir BMK tasarlamak için, kontrol edilecek sistemin dinamik davranışını gösterebilecek parametreler kontrolörün girişleri olarak seçilmelidir. BMK'nın temel yapısı dört bileşenden oluşur: Bulanıklaştırma arayüzü (fuzzification), Kural tabanı (fuzzy rules), Çıkarım motoru (Inference Engine), Durulama (defuzzification) [14]. Sırayla bulanık kontrol hareketi normalize edilmiş çıkış üyelik fonksiyonlarını ve kazançlarını kullanan durulayıcı yardımıyla uygun kesin değerlere çevrilir. Bulanık kontrolörün giriş ve çıkışı olarak uygun değişkenler seçildikten sonra, dilsel değişkenlerin belirlenmesi gerekir. Bu değişkenler bulanık kontrolör girişlerinin sayısal değerlerini bulanık büyüklüklere dönüştürürler. Bu dilsel değişkenlerin sayısı BMK kullanılarak yapılan kontrolün kalitesini belirler. Dilsel değişkenlerin sayısının seçimi için, kontrolün kalitesi ile hesaplama zamanı arasında bir uzlaşmaya gerek duyulur.



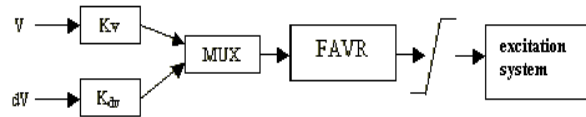
Şekil 4. Bulanık kontrol elemanları [3, 11].

4. BULANIK GERİLİM REGÜLATÖRÜ VE BULANIK GÜÇ SİSTEMİ KARARLI KILICISI

BGRde ve bulanık güç sistemi kararlı kılıcısında bir bulanık mantık kontrolörü alışlagelmiş transfer fonksiyonlarının yerini alır. BMKleri basitlikleri ve sistematik tasarımları ile üstünlüklere sahiptirler.

4.1. Bulanık Gerilim Regülatörü

Bulanık mantığa dayandırılan gerilim regülatörü transfer fonksiyonları yerine bulanık kontrol kuralları ile ifade edilir. Kural tabanına giriş olarak referans gerilim değeri ve uç gerilim değeri arasındaki hata değerini ve bu gerilim hatasının değişimini giriş olarak alır [4, 11]. Kontrolör üçgen şeklinde bulanık kümeler kullanılır [4]. İki giriş önerilir: kararlaştırılan gerilim ve referans değer toplamına göre uyarma gerilimindeki hata ve bu hatadaki değişim. Çıkış işareti uyarma gerilim kontrol işaretidir. Şekil 6'da uyarma gerilimindeki hata ve bu hatadaki değişim görülmektedir.



Şekil 5. Bulanık gerilim regülatörü

Bulanık girişler ve çıkışlar K_v , K_{dv} ölçeklendirme çarpanları kullanılarak standart aralıkta $\{-1, +1\}$ kalmak üzere normalize edilir. Gerilim regülatör çıkış gerilimi için $[-0.7, +0.7]$ pu bölgesi dahilinde seçilir. FAVR (BGR: Bulanık Gerilim Regülatörü) için kontrol kural tabanı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bulanık gerilim regülatörü için kontrol kural tabanı BAVR [4]

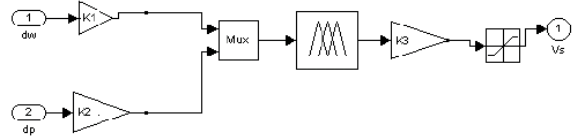
		dV						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
d(dV)	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
	NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
	ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
	PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	ZE	PS	PM	PM	PB	PB	PB

Değişkenler kullanılarak oluşturulan kontrol kurallarına göre kontrol işaretleri üretilir. Bu kuralların hepsi, uyarmayı düzelterek senkron generatörün uç gerilimini düzeltmek için gerekli hareketlerdir. Tablodaki kontrol kuralları analiz edilirse bunların generatörün çalışmasına uygun kurallar olduğu görülecektir. Bulanık gerilim regülatörü için sabitler Ek-AII'de verilmiştir.

4.2. Bulanık Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı

Bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı (BGSKK) durumunda, generatör hız değişimi (Δw) ve ivmelendirme gücü (dP) BGSKK'nin (ing. FPSS)

girişi olacaktır. Burada da girişte ölçeklendirme söz konusudur ve kontrolörün çıkışı da bir çıkış kazancıyla ölçeklendirilir ve gerilim regülatörünün girişine ilave edilir. Her iki giriş içinde aynı üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları kullanılır. Bulanık güç sistemi kararlı kılıcısını gösteren blok diyagram şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Bulanık GSKK.

Bulanık giriş ve çıkışlar standart aralıkta $[-1, +1]$ K_1 , K_2 , K_3 ölçeklendirme faktörleri ile normalize edilirler. BGSKK'na ait kontrol kural tablosu Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca fiziksel sınırlandırmalar söz konusu olup, BGSKK için çıkış gerilimi sınır değerleri $[-0.05, +0.05]$ pu. bölgesindedir.

Tablo 2. BGSKK'nın kural tabanı [15].

		dP				
		NB	NS	ZE	PS	PB
dw	NB	NB	NB	NS	NS	ZE
	NS	NB	NS	NS	ZE	PS
	ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
	PS	NS	ZE	PS	PS	PB
	PB	ZE	PS	PS	PB	PB

BGSKK için sabitler Ek -AII'de verilmiştir.

5. BİLGİSAYAR BENZETİMİ

Bu çalışmada, bulanık ve alışlagelmiş kontrolörlerin etkinliği tek makina sonsuz baralı sistem üzerinde bilgisayar benzetimleri yardımıyla incelenmiştir. Oluşturulan bir kısa devre olayından sonraki transient davranışlar gözlemlendiğinde bulanık kontrolörlerin alışlagelmiş kontrolörlere göre daha üstün davrandıklarını göstermektedir.

Senkron makine ve ona ait uyarma ve tahrik sistemleri ve alışlagelmiş kontrolörleri ve oluşturulan transient analiz Matlab Simülink programına dayandırılmıştır [7]. Kullanılan senkron generatör ve alt sistemlerine ilişkin büyüklükler Ek-A II de verilmiştir. Sonsuz baraya iki paralel eşdeğer hat üzerinden bağlı senkron generatörün olduğu sistemde hatlardan birinin başında kısa devre oluşturulmuş ve bu kısa devre anahtar açılarak temizlendikten sonra aynı hat tekrar devreye alınmıştır. Bilgisayar benzetimleri sonuçlarında, tahrik sistemindeki devir sayısı regülatörleri hariç başka bir kontrolör sisteme yerleştirilmediğinde senkron generatörün uç gerilimi Şekil 8'de verilmiştir. Bu durumda kısa devre sırasında senkron generatörün uç gerilimi 1.4 p.u. ye ulaşır. Rotor açısı ise aynı durum için, Şekil 9'da verilmiştir ve rotor açısı salınımları bilgisayar benzetiminin 6.5 s'den sonra yeni bir çalışma noktasında kararlılığı sağlar.

Alışıl gelmiş gerilim regülatörü ve bulanık gerilim regülatörü sisteme eklenerek aynı arıza durumu incelenmesi halinde Şekil 10 karşılaştırmalı olarak uç gerilim işaretlerini gösterir. Şekilden görüldüğü gibi her iki kontrolör de uç gerilimindeki salınımları azaltmıştır. İşaretler incelendiğinde, bulanık mantık gerilim regülatörlü durumda gerilim işaretindeki değişimin alışıl gelmiş regülatördekine göre daha düşük olduğu görülmektedir. BGR'li durumda gerilimdeki puant değer 1.134 p.u. iken alışıl gelmiş durumda bu değer 1.25 p.u. dur. Yerleşme zamanı ise BGR durumunda alışıl gelmiş gerilim regülatörlü duruma göre 3.5 s daha kısadır.

Aynı çalışma durumu için senkron generatörün rotor açısının değişimi incelendiğinde; Şekil 11'den görüleceği gibi BGR durumunda rotor açısı salınımlarının genlikleri alışıl gelmiş gerilim regülatörlü duruma göre çok daha düşüktür. Gerilim regülatörünün etkisi rotor salınımlarının genliklerini arttırıcı yöndedir. Sonuç olarak BGR alışıl gelmiş gerilim regülatörüne göre hem uç geriliminde hem de rotor açısında daha iyi sonuç vermektedir.

Kontrol sisteminin son adımı olarak, alışıl gelmiş kararlı kılıcı ve BGK ele alınan güç sistemine eklenmiştir. Bu durumda uç gerilimi üzerindeki karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 12'de gösterilmiştir. BGK gerilimin maksimum değerini 1.152 p.u.'e düşürürken alışıl gelmiş regülatörü aynı değeri 1.205 p.u.'e azaltır. BGK ile gerilimin yerleşme süresi, alışıl gelmiş güç sistemi kararlı kılıcısına oranla daha düşüktür.

Aynı çalışma durumu için rotor açısını göz önüne aldığımızda (Şekil 13), rotor açısının hem alışıl gelmiş hem de bulanık durumlarda salınımları düşüktür. Ancak BGSK salınım genliklerini azaltmada alışıl gelmiş olana oranla daha etkin olduğu görülmektedir. BGK durumunda yerleşme zamanı diğerine göre daha kısadır.

6. SONUÇLAR

Şekillerden de görüleceği gibi bulanık mantığa dayandırılan kontrolörler kısa devre sonrası transient analizde uç gerilimi ve rotor açısı incelendiğinde salınımların genliğini düşürmekte ve yerleşme süresini kısaltmaktadır. Bu çalışmadaki analizden üç fazlı simetrik kısa devre sırasında ve sonrasındaki transient kararlılık sırasında osilasyonların giderilmesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ❖ Girişler uygun seçildiğinde, bulanık kontrol kuralları ile çalıştırılan kontrolörler alışıl gelmiş kontrolörlerden çok daha üstün davranış göstermişlerdir.
- ❖ Otomatik gerilim regülatörü rotor açısının genliğini arttırma özelliğine rağmen, gerilimin şeklini düzeltmede çok etkilidir.

- ❖ Bulanık gerilim regülatörü, alışıl gelmiş gerilim regülatörüne göre uç gerilimi büyüklüğünün, kısa devre sonrasındaki ilk salınımın tepe değerini daha da azaltır.
- ❖ Bulanık güç sistemi kararlı kılıcı rotor açısındaki salınımları azaltır ve gerilim regülatörüne göre daha kısa yerleşme zamanı sonucunu verir.

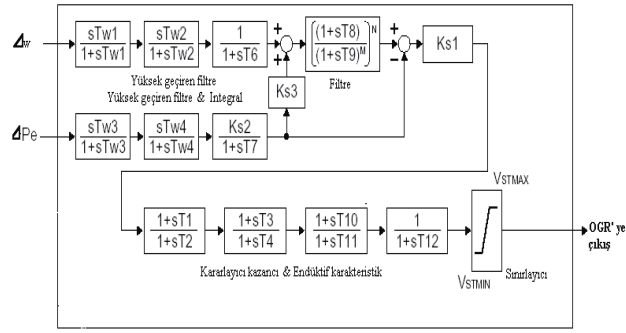
Kısaca açısal kararlılık için, BGK alışıl gelmiş güç sistemi kararlı kılıcısından daha üstün sonuçlar sağlar ve gerilimin şeklini de bulanık gerilim regülatörü klasik regülatöre göre çok daha etkin bir şekilde düzeltir.

KAYNAKLAR

- [1] Tomsovic, K., Lambert-Torres, G., Fuzzy Syst. Appl. to Power Syst., IEEE Power Eng. Society Tutorial: Fuzzy Logic and Evolutionary Programming Tech. in Power Sys., Summer Meeting, Seattle, 2000.
- [2] Hiyama, T., Tomsovic, K., Current Status of Fuzzy Sys. Appl. in Power Sys., Proc. of the IEEE SMC99, Tokyo, Japan, pp. 527-532, Oct. 1999.
- [3] Mendel. J. M., Fuzzy Logic Syst. for Eng.: A Tutorial, Proc. of IEEE, Vol. 83, No. 3, pp. 345-377, 1995.
- [4] Tomsovic, K., Chow (ed.), M. Y., IEEE Power Engineering Society Tutorial: Fuzzy Set Applications to Power Systems, IEEE PES TP-140-0, Jan. 2000.
- [5] http://www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec01/04_CostaAUPECPaperrevised.pdf
- [6] Sallam, A. A., El-Sarafi, K. A., Abdel-Azim, T. M., A near optimal fuzzy logic stabilizer for weakly connected power systems, M.Sc. Thesis, University of Suez Canal, Egypt, 1999.
- [7] Demirören, A., Zeynelgil, H. L., Modeling and simulation of synchronous machine transient analysis using simulink, International Journal of Electrical Engineering, 39/4, October 2002.
- [8] <http://www.masashi.ne.jp/ohta/csf/csf2.htm>, Power System Model.
- [9] www.meppi.com/mepssd/npdfs2/PSS.pdf Mitsubishi Power System Stabilizer An Optimal adaptive Power System Stabilizer.
- [10] http://www.iea.lth.se/eks/L5_03.pdf
- [11] www.wecc.biz/comitees/PC/documents/Shawn.ppt, Hydro Governor Modelling.
- [12] Şen, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul, 2001.
- [13] www.iau.dtu.dk/~jj/pubs/logic.pdf, Tutorial on Fuzzy Logic.
- [14] www.iau.dtu.dk/~jj/pubs/design.pdf, Design of Fuzzy Controllers.
- [15] Voropai, N. I., Efimov, D. N., Popov, D. B., Etingov, P. V., Advanced information Technologies in Power System Stability Studies, Energy System Institute, 2000.

EKLER

A I: GSKK'nın blok diyagramı.

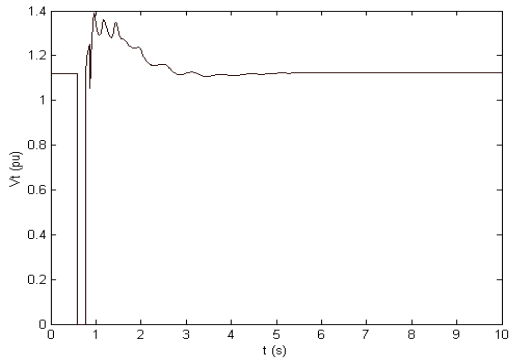


Şekil 7. GSKK'nın blok diyagramı [8].

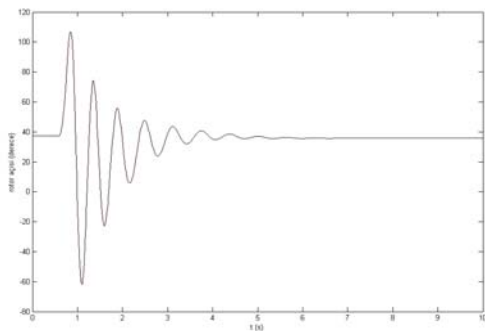
A II: AVR, BGR, BGSKK ve Senkron Generatörün Parametreleri

AVR	BGR	BGSKK
$K_a = 50$	$K_v: 0.89 \sim 0.85$	$K_1: 25$
$T_a = 0.5 \text{ s}$	$K_{dv}: 0.25$	$K_2: 0.4$
$K_f = 0.48$	$K: 8.5$	$K_3: 0.15$
$T_f = 0.12$		

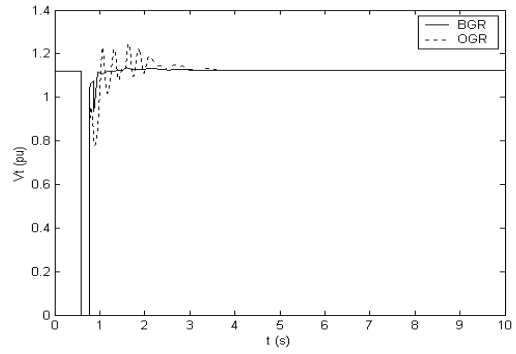
Senkron Generatör		
$M: 4.74$	$T_{d0}: 5.9 \text{ s}$	$P_o: 0.8$
$K_{RH}: 1$	$T_{d0}: 0.075 \text{ s}$	$Q_o: 0.496$
$w_o: 1$	$K_E: 400$	$V_o: 1$
$T_{RH}: 8 \text{ s}$	$E_{dmax}: +4.5$	$R_a: 0.001096$
$T_{CH}: 0.05 \text{ s}$	$E_{dmin}: -4.5$	$R_e: 0.01$
$T_{SR}: 0.1 \text{ s}$	$T_F: 0.05 \text{ s}$	$x_d: 1.7$
$K_G: 3.5$	$K_F: 0.025$	$x_q: 1.64$
$T_{SM}: 0.2 \text{ s}$	$T_{FE}: 1 \text{ s}$	$x_e: 0.2$
$w_f: 1$	$D: 0$	$x_d: 0.245$



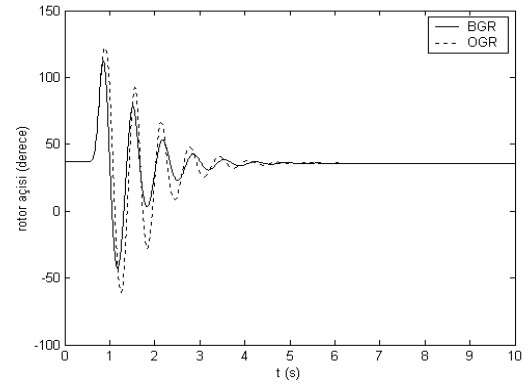
Şekil 8. Senkron generatörün sadece devir sayısı regülatörü varken transient durumda uç gerilimi.



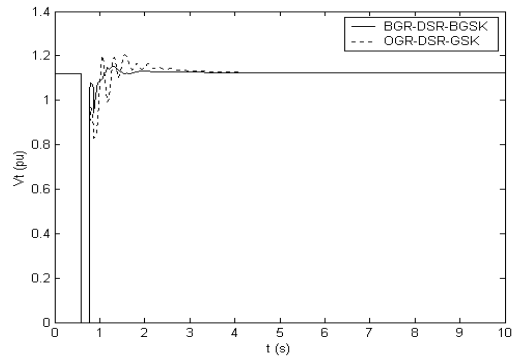
Şekil 9. Senkron generatörün sadece devir sayısı regülatörü varken transient durumda rotor açısı.



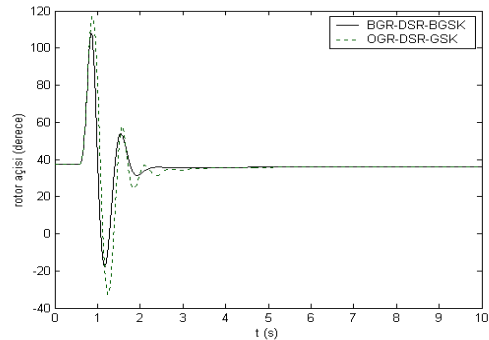
Şekil 10. Gerilim regülatörü ile BGR'nin transient durumdaki gerilimlerinin karşılaştırılması.



Şekil 11. Gerilim regülatörü ile BGR'nin transient durumdaki açılarının karşılaştırılması.



Şekil 12. BGR ile BGKK birarada gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlı kılıcısı olduğunda uç gerilim değeri.



Şekil 13. BGR ile BGKK birarada gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlı kılıcısı olduğunda uç gerilim değeri.