ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE SALINIM DİNAMİKLERİNİN KAOTİK OLAYLARININ İNCELENMESİ

Yılmaz Uyaroğlu M. Ali Yalçın

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya
e-mail: uyaroglu@sakarya.edu.tr
e-mail: yalcin@sakarya.edu.tr

ÖZET

Bir iletim tesisi tarafından sonsuz büyük güçlü bir baraya bağlı iki elektrik generatörüne ait salınım denklemlerinin dinamiklerinin kaotik yapılarını araştırmak amacıyla sayısal benzetimler elde edilip yorumlanmıştır. Özellikle herbir generatörü besleyen giriş güçlerine ait değişen parametrelerin etkileri incelenmiştir.

Elektrik güç sistemlerinin kararlılığı uzun bir süreden beri incelenmektedir. Arzu edilen bir çözümüm etrafındaki kararlılığını araştıran hemen hemen bütün araştırmalar Lyapunov fonksiyonu veya bir enerji integralinin uygulanmasına dayanmaktadır.

Aşırı yüklü elektrik güç sistemlerinde oluşan kaotik osilasyonlar bilgisayar simülasyonları ile gözlemlenmiştir. Tuhaf çekici olarakta adlandırılan kaosun varlığı, tek parametreli dinamik elektrik güç sistemlerine ait doğrusal olmayan diferansiyel eşitliklerinin Runga Kutta metodu kullanılarak hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Bu çalışma, gerilim çökmesinin hangi çatallaşma parametresi değerinde olacağını belirlemektedir.

Anahtar Kelimeler; Salınım Dinamikleri, Kaos.

1. GİRİŞ

Çatallaşma terimi, dinamik sistemlerde meydana gelen sistem parametrelerindeki en ufak değişimlerin, faz uzaylarındaki yapısal değişimlerine karşılık gelir. Böyle bir değişimde meydana gelen parametre değeri, kritik parametre değeri olarak adlandırılır.

Çatallaşma terimi ilk olarak bir grup diferansiyel denklem eşitliklerinin denge çözümlerinin bölündüğünü tanımlamak için kullanılmıştır.

Çatallaşma teorisi doğrusal olmayan sistemlerin çözümünde anahtar rol oynamaktadır. Sistemdeki anlık değişiklikler, sistemi kararlı normal durumundan artarak uzaklaştırmakta, bu da elektrik güç sisteminde gerilim çökmesini ve kaos olaylarını beraberinde getirmektedir.

Bir güç sisteminin dinamik davranışı bir parametre değişimiyle değiştirildiği zaman güç sistemlerinde çatallaşmalar doğmaktadır.

Bu çalışmada, geçici hal kararlılığı araştırmaları salınım denklemlerinden oluşan diferansiyel denklemler sisteminin çözümleri elde edilerek yapılmıştır. Kaos kısaca düzensizliğin düzeni şeklinde tanımlanan doğrusal olmayan bir bilim dalıdır.

Kaosun ve kaotik işaretlerin başlıca önemli özellikleri; zaman boyutunda düzensizliği, başlangıç şartlarına hassas bağlılığı ve gürültü benzeri geniş güç spektrumuna sahip olmalarıdır.

Ele alınan örnek bir güç sistemi modelindeki “Tuhaf çekici” olarakta adlandırılan kaotik davranışlar bilgisayar simülasyonları yardımıyla gözlemlenmektedir.

Bilimdeki temel bir inanış, deterministik sistemlerin önceden belli olmasıdır. Verilen deterministik model, bir başlangıç şartı ve çalışma altındaki bir sistemi tanımlar ise, sistem davranışı bütün zamanlar için önceden bilinebilir.

Tuhaf çekici, modern bilimin en önemli buluşlarından biri olan faz uzayında meydana gelmektedir. Faz uzayı sayıları resime dönüştürür, hareket halindeki mekanik yada akışkan bir sistemden bütün temel bilgileri, en küçük ayrıntısına kadar çekip çıkartır ve kendi imkanlarının hepsini esnek bir yol haritası çizip bunun üstünde gösterir.

Bu çalışmada, bir güç sisteminin belirli yüklenme şartları için oluşan kaotik olaylar bilgisayar simülasyon sonuçları ile gösterilmektedir. Ancak, kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağımlılığı yüzünden ve herhangi bir sayısal simülasyonlardaki kalıcı kesme hataları yüzünden, kaotik davranışların gözlemlenmesi büyük bir dikkatle olmalıdır.

Genellikle, pratik açıdan kaos olayı, denge noktaları, periyodik çözümler ve yaklaşık periyodik çözümler gibi üç adet sürekli hal davranışlı kategorilerin içine girmeyen ancak sürekli hal davranışıyla sınırlanmış durum olarak tanımlanabilir.

Denge noktaları sıfır değerinde iken periyodik çözümler tek boyutludur. Tuhaf çekiciler çok daha karmaşıktır ve boyutları da çok ufaktır. Sistem hiçbir zaman aynen tekrar etmediği için, yörünge kendi kendisiyle asla kesişmez. Tam tersine sonsuza kadar kendi etrafında sarılmaya devam eder.

Kaos, karmaşıklığın temelinde yatan muazzam ve hassas yapıyı yakalayabilmek için hem bilgisayar kullanımında özel bazı teknikler hem de birtakım özel grafik resim ve çizgi türleri icat etmiştir. Yeni bilim kendi dilini de üreterek fraktallar, çatallaşmalar, periyodiklikler gibi kendine özgü terimler kullanmaya başlanmıştır.

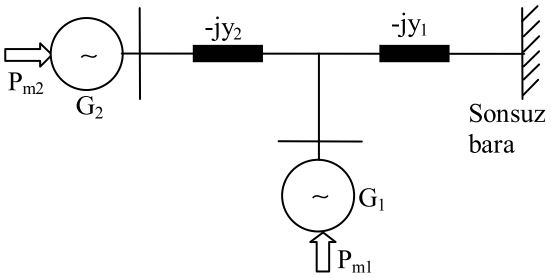
Nasıl klasik fizikte maddenin yeni elemanları kuark ve glüonlar ise, bunlarda koos hareketinin yeni terimleridir. Bazı fizikçilere göre, kaos bir durumun bilimi değil, bir oluşumun bilimidir.

Periyodik durumların uygulanan güç sistemlerinde var olduğu bilinmektedir Örneğin; subsenkron rezonans ve düşük frekanslı salınımlar üretim ve iletim sistemlerinde oluşan periyodik durumlardır.

Periyodik bir çözümün kararlılığı, bir denge noktasında öz değerlerin bir genelleştirmesi yapıldığında, kendi karakteristik çarpanları tarafından belirlenir. Yaklaşık periyodik olan bir çözüm, periyodik fonksiyonların bir toplamı olarak sunulabilen bir ifadedir.

Çekici üzerindeki bu hareket soyut olmasına rağmen, gerçek sistemin hareketi hakkında bir fikir vermektedir.

Şekil 1.1'de iki iletim hattından oluşan basit bir elektrik sistemi tarafından sonsuz büyük güçlü bir baraya bağlanmış iki elektrik generatörünün dinamiklerinin basit bir modeli görülmektedir.



Şekil 1.1. Basit bir elektrik güç sistemi modeli

Şekil 1.1'de gösterilen sistemin dinamiklerini tanımlayan eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$\frac{\partial \delta 1}{\partial t} = w1$$

$$\frac{\partial w1}{\partial t} = \frac{1}{m1}(-d1w1 + p1 - \sin(\delta 1 - \delta 2) - k\sin\delta)1$$

$$\frac{\partial \delta 2}{\partial t} = w2$$

$$\frac{\partial w2}{\partial t} = \frac{1}{m2}(-d2w2 + p2 - \sin(\delta 1 - \delta 2)) \qquad (1.1)$$

Burada δ_1 ve δ_2 generatör rotorlarının açısal pozisyonları, w_1 ve w_2 açısal hızlarıdır. Sistemin bu 4 adet durum değişkeni, sonsuz büyük güçlü bara geriliminin dönüş referansına uygun olarak ölçülür.

Generatörlerin her iki uç gerilimleri, sonsuz büyük güçlü bara ile aynı gerilimi sürdürebilmesi için regüle edilirler.

p_1 ve p_2 değerleri (y_2E^2) değeri tarafından normalize edilen giriş güçleridir. d_i sönümleme katsayısı ve m_i ise atalet sabitidir. Her iki sabitte (y_2E^2) tarafından normalize edilmiştir.

$k = \frac{y1}{y2}$ iki iletim hattının admitanslarının oranına eşittir. Bu eşitlikler 50 Hz'lik osilasyonlu açısal frekanslardaki küçük sapmaların ihmali kabulüyle elde edilmiştir. Buna karşı açısal pozisyonlar büyük sapmalar yaparlar.

Poincare'nin geometrik methoduna göre, 4 boyutlu bir faz uzayı koordinatı elde edebilmek için 4 adet durum değişkeni gözönüne alınmalıdır. Sistemin başlangıç değerleri, bu uzay içinde bir noktadır.

Zaman üzerinde bu diferansiyel denklemlerin çözümleri yine bu faz uzayı içinde oluşacak yörüngeler ve eğriler olacaktır.

Gerçek bir elektrik güç sisteminde d_i, m_i ve k sistemi sabit karakteristikleri olup buna kaşılık p_i giriş güçleri mühendisliğin kontrolü altındadır.

Bu yüzden p_1 ve p_2 giriş güçlerinin özel bir rol oynaması doğaldır. p_i kontrol parametresi olarak anılmaktadır.

2. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada p_1 ve p_2'nin çeşitli değerlerinin seçiminin çözümleri nasıl etkilediği araştırılacaktır. Aşağıdaki Tablo 2.1'de sisteme ait sabit karakteristiklerin sayısal değerleri verilmektedir.

Tablo 2.1. Sistemin sabit karakteristik değerleri

m_1	0.1
m_2	0.1
d_1	0.005
d_2	0.005
k	1

Diferansiyel sisteminin geometrik bir faz portresi elde etmedeki ilk adım düzenli harekete ait çözümleri bulmaktır. Bu çözümler sürekli hal hareketlerine ait denge noktaları ve periyodik hareketlerine ait eğrilerdir.

Denklem (1.1)'deki diferansiyel denklemlerin denge noktaları, denklem (2.1)'de görüldüğü gibi, bütün türevler sıfıra eşitlenerek elde edilir.

$w_1=0$

$w_2=0$

$k\sin\delta_1+\sin(\delta_1-\delta_2)=p_1$

$$\sin(\delta_2-\delta_1)=p_2 \tag{2.1}$$

Kontrol uzayı bölgesi,

$$\left|p1+p2\right| \le k = 1 \tag{2.2}$$

şeklindedir.

Burada, (2.1) diferansiyel denklemlerinin 4 adet sabit nokta çözümü bulunmaktadır. $w_1=0$, $w_2=0$ olduğu için, Bütün bu noktalar, Tablo 2.2'de gösterilen δ_i koordinatlarına aittir.

Tablo 2.2. Sabit nokta δ_i koordinatları

$\delta_1^{(1)}$	$\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_1^{(2)}$	$\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_1^{(3)}$	$\pi-\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_1^{(4)}$	$\pi-\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_2^{(1)}$	$\sin^{-1}p2+\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_2^{(2)}$	$\pi-\sin^{-1}p2+\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_2^{(3)}$	$\pi+\sin^{-1}p2-\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$
$\delta_2^{(4)}$	$-\sin^{-1}p-\sin^{-1}\frac{p1+p2}{k}$

Sabit noktaların kararlılığı, sabit bir noktanın civarında denklem (1.1)'in lineerleştirilmesi ile belirlenir. Sistemin jakobiyen matrisi aşağıda görüldüğü gibidir.

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{m1}\cos(\delta1-\delta2)-\frac{k}{m1}\cos\delta1 & -\frac{d1}{m1} & -\frac{1}{m1}\cos(\delta1-\delta2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{m2}\cos(\delta2-\delta1) & 0 & -\frac{1}{m2}\cos(\delta2-\delta1) & -\frac{d2}{m2} \end{vmatrix}$$

Aşağıdaki Tablo 2.3'te yukarıdaki jakobiyen matrisinin özdeğerleri ile Tablo 2.2'den elde edilen sabit noktalar arasındaki koordinasyon görülmektedir.

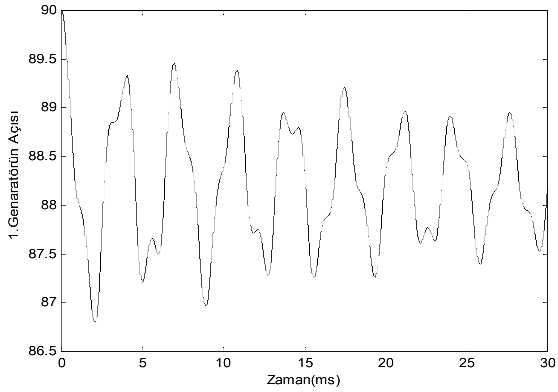
Tablo2.3.Sabit noktaların özdeğerleri ve koordinatları

	Sabit nokta 1	Sabit nokta 2	Sabit nokta 3	Sabit nokta 4
δ_1	0.20136	0.20136	2.94023	2.940
δ_2	0.30153	-3.04040	3.04040	-0.30
özdeğer	-0.02+j5.1	-4.0427	-2.4827	-5.11
	-0.02-j5.1	-0.02+j2	-0.02+j4.0	-1.96
	-0.02+j1.9	-0.02-j2.4	-0.02-j4.0	1.91
	-0.02-j1.9	3.9927	2.4327	5.06

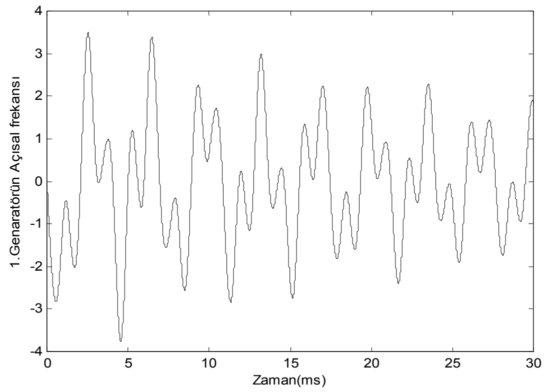
Sabit noktaların özdeğerleri ve koordinatları elde edilirken kontrol parametresi olarak anılan p_1 ve p_2 giriş güçlerinin sayısal değerleri $p_1=0.1$ ve $p_2=0.1$ alınmıştır.

3. BİLGİSAYAR UYGULAMALARI

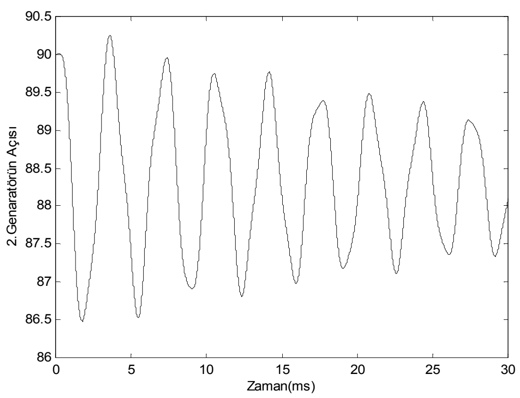
Şekil (3.1), (Şekil 3.2), (Şekil 3.3) ve(Şekil 3.4)'de gösterildiği gibi, ele alınan bir elektrik güç sisteminin zamana bağlı gelişi güzel dalga şekilleri yeralmaktadır. (Şekil 3.5) ve (Şekil 3.10) arası şekillerde görüldüğü gibi, bu güç sisteminin kaotik faz portreleri elde edilmiştir.



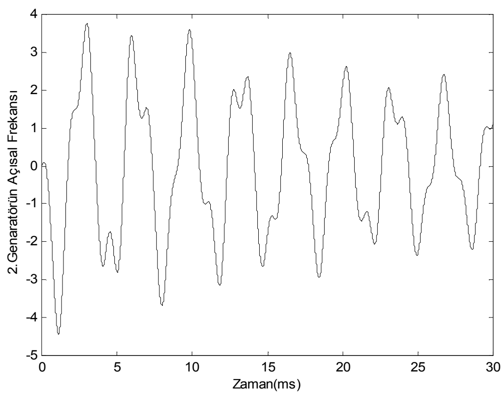
Şekil 3.1. 1.generatörün açısının kaotik zaman serisi



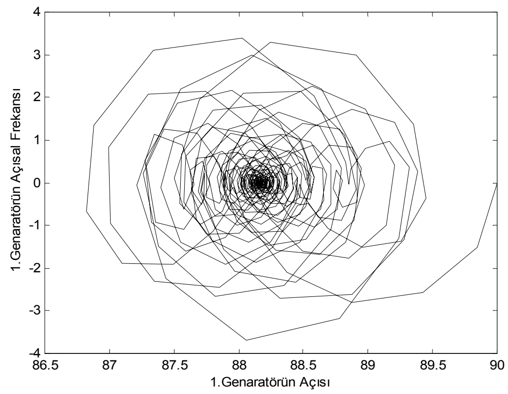
Şekil 3.2. 1.generatörün açısal frekansının kaotik zaman serisi



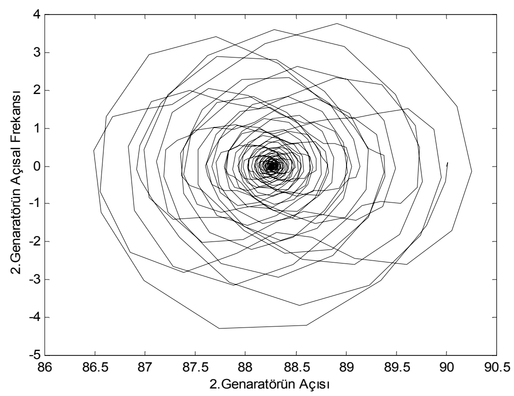
Şekil 3.3. 2.generatörün açısının kaotik zaman serisi



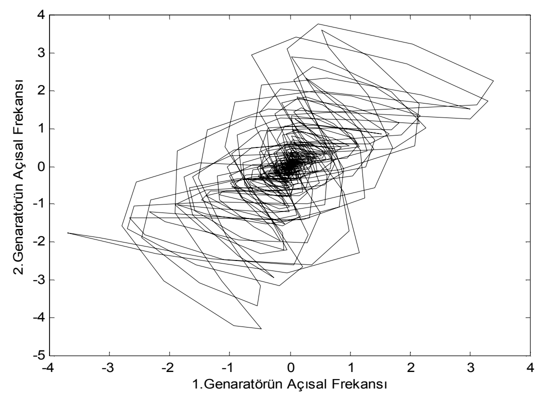
Şekil 3.4. 1.generatörün açısal frekansının kaotik zaman serisi



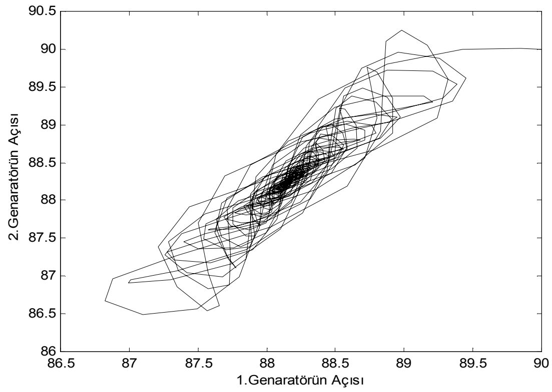
Şekil 3.5. 1. ve 2. durum değişkenlerdeki kaos hali



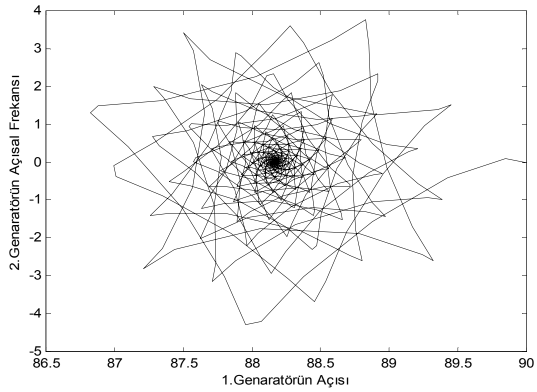
Şekil 3.6. 3. ve 4. durum değişkenlerdeki kaos hali



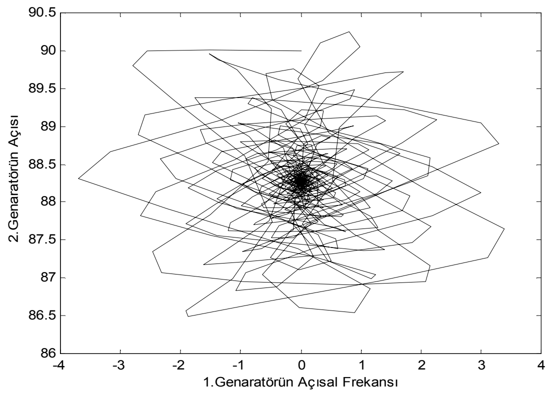
Şekil 3.7. 2. ve 4. durum değişkenlerdeki kaos hali



Şekil 3.8. 1. ve 3. durum değişkenlerdeki kaos hali



Şekil 3.9. 1. ve 4. durum değişkenlerdeki kaos hali



Şekil 3.10. 2. ve 3. durum değişkenlerdeki kaos hali

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bir elektrik güç sistemindeki kaotik davranışlar bilgisayar simülasyonları yardımıyla gözlemlenmiştir. "Tuhaf çekici" olarakta adlandırılan Kaos'un varlığı bir başlangıç şartı ve çalışma koşulları altındaki bir sistemde bütün zamanlar için önceden bilinebilirliği gösterilmiştir.

Bu durum bilimdeki ve mühendislik sistemlerinde geniş olarak ortaya çıkan karmaşık ve önceden kestirilemeyen olayların anlaşılmasını sağlamaktadır. Bir güç sisteminin belirli yüklenme şartları altında oluşan kaotik olaylar bilgisayar simülasyon sonuçları ile gösterilmektedir.

Bu çalışmada öneri olarak; kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağımlılığı yüzünden ve herhangi bir sayısal simülasyonlardaki kalıcı kesme hataları yüzünden, kaotik davranışların gözlemlenmesi büyük bir dikkatle olmalıdır.

Bu çalışmadan sonra yapılacak araştırmalar arasında, kaotik olayların kontrolü ve kaotik olayların senkronizasyonu olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] THOMAS, R.J., "A Posturing Strategy Against Voltage Instabilites in Electric Power Systems", IEEE Power Sytems, Vol 3, No 1, pp. 87-93, February, 1988.

[2] UYAROĞLU, Y., YALÇIN, M.A., "Elektrik Güç Sistemlerinde Kaos", SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, s:27, Eylül 2001.

[3] DOEDEL E., "Numerical Analysis of Bifurcation Problems", Bristol,1996.

[4] UYAROĞLU, Y., YALÇIN, M.A., "Elektrik Güç Sistemlerinde Gerilim Çökmelerinin Çatallaşma Analizi ile Kaotik Olaylarının İncelenmesi", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Cilt 1, s:204, Eylül 2001.

[5] KAPITANIAK, T, "Chaos for Engineering", Springer-Verlag, 1998.

[6] UYAROĞLU,Y., YALÇIN,M.A., "Bifurcation Theory and its Application to Electrical Power Systems", ELECO'2001, BURSA, 2001.

[7] YALÇIN,M.A., UYAROĞLU,Y., "Elektrik Güç Sistemlerinde Kaotik Olayların Başlangıç Şartlarına Hassas Bağımlılığı", Cilt.6, Sayı.1, SAÜ.FBE. Dergisi, Mart 2002.

[8] DOBSON I, "Computing a closest bifurcation instability in multidimensional parameter space", Journal of Nonlinear Science, vol. 3, no. 3, pp.307-327, 1993.

[9] UYAROĞLU,Y., YALÇIN,M.A., "A Study on Load Enhancements in Power Systems with Respect to Voltage Stability", 3rd International Symposium on Energy, Environment&Economics, Vol.2,10, Kazan, RUSSIA, sept., 2001.

[9] CHEN , Y., "Bifurcation and Chaos in Engineering" Springer- Verlag,1998.