ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAOTİK OLAYLARIN BAŞLANGIÇ ŞARTLARINA HASSAS BAĞIMLILIĞI

M. Ali Yalçın, Yılmaz Uyaroğlu

Özet **– Bu çalışmada,geniş bir yükleme durumu aralığındaki bir güç sistemindeki kaotik davranışlar bilgisayar simülasyonları yardımıyla gözlemlenmektedir. "Tuhaf çekici" olarak ta adlandırılan Kaos'un varlığı lyapunov üstellerinin hesaplanmasıyla elde edilmektedir. 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. Son zamanlardaki, determinizmin kaotik sistemleri önceden tahmin edemeyeceği keşfi bu bakış tarzlarını değiştirmiştir. Kaos'taki bu buluş bilimlerdeki ve mühendislik sistemlerinde geniş olarak karşımıza çıkan karmaşık ve önceden kestirilemeyen olayları anlamamızı sağlamaktadır. Kaotik sistemlerin genel özelliklerinden biri de başlangıç şartlarına oldukça duyarlı olmalarıdır. Bu nedenle pratikte bire bir uyumlu kaotik devreler dizayn edilse bile bu başlangıç şartlarını aynı şekilde vermek mümkün değildir Gerilim çökmesi mekanizmasının nasıl gerçekleştiğini gösteren, mümkün olan en basit modeli elde etmek için, hassas modelleme kabulleri yapmak gereklidir. Bu çalışmada, yavaşça değişen kararlı bir denge noktasını izleyen bir güç sistemi kullanılmıştır.**

Anahtar kelimeler: Gerilim Çökmesi, **Başlangıç Şartlarına Hassas Bağımlılık**

Abstract **- Several voltage collapses have had a period of slowly decreasing voltage followed by an accelerating collapse in voltage. In this paper we analyze this type of Voltage Collapse based on a Voltage Collapse Model. The essence of this model is that the system dynamics after bifurcation are captured by the center manifold trajectory and it is computable model that allows prediction of voltage collapse.**

Keywords: **Voltage Collapse, Sensitive Dependence on Initial Conditition.**

M.Ali Yalçın, *Y. Uyaroğlu* ,Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü,54187,SAKARYA,yalcin@sakarya.edu.tr, uyaroglu@sakarya.edu.tr.

I. GİRİŞ

Bir sistemin geçmiş bilgilerine dayanarak, yapacağı davranışın tahmin edilmesi ve sosyal bilimleri de içeren çok geniş bir alanda temel bir problemdir.

Sistemin tüm durumlarının ve parametrelerinin bilinmesi halinde yapacağı davranışın tam olarak belirlenebildiği deterministik sitemler içinde bilinen en karmaşık dinamiğe sahip olan kaotik sistemler, ürettikleri sürecin tahmini en zor olan sistem sınıfını oluşturur[1].

Bu sistemlerde ayrık zamanda ölçülen işaretler kaotik zaman serileri olarak adlandırılır. Kaotik zaman serilerinin tahmini bir cebirsel işleve yaklaşım problemi olarak görülebilir. Kaos karışık nonlineer olayları açıklamayı arayan matematiksel ilmin nispeten yeni bir dalıdır[2,3].

Günümüzde fizikçiler kaos yardımıyla galaksinin oluşumunu açıklamaktadır. Hava ve depremlerin tahmini, kontrol, kanser hücrelerinin teşhis ve tedavisi gibi çeşitli pratik problemlerde bu teoriyle analiz edilebilmektedir.

Böyle sistemler nonlineerdir ve sistemin geçmiş giriş ve çıkış verisinden sistemleri modelleme düşünülmüştür.

Sistem çok yüklü olduğu zaman meydana gelen sistem kararsızlılığın bir tipide gerilim çökmesidir[4,5].

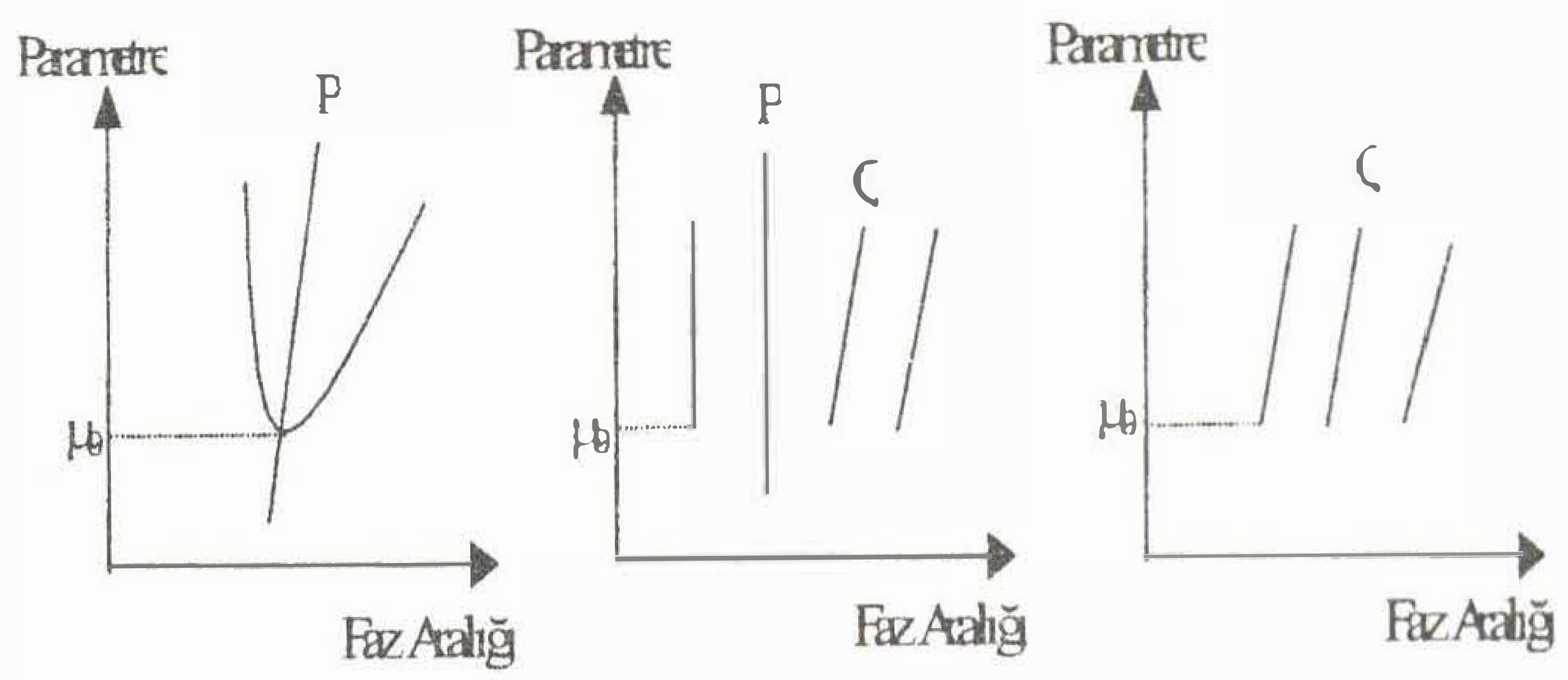
Bu olay yüklerdeki artış sebebiyle, sistemin çalışma noktasındaki yavaş bir değişim tarafından karakterize edilir, bu durumda hızlı ve ani bir değişim oluşuna kadar gerilim genlikleri kademeli olarak azalır[6,7].

II. ÇATALLAŞMA TEORİSİ

Çatallaşma olaylarını sürekli hal ve süreksiz hal çatallaşma olayları olarak sınıflandırmak çok yararlıdır. Süreksiz çatallaşma olayları durumunda sistem nominal değerinden sonsuz bir değere ulaşmaktadır.

Bir parametre kritik bir değere geçerken bir çift denge noktasının ortadan kaybolması olan, eyer noktası çatallaşması lineer olmayan dinamik olaylarda temel bir çatallaşmadır, hem de yıkıcı çatallaşmanın yada bir süreksizliliğin en basit örneğidir.

Yıkıcı çatallaşmaların diğer örnekleri, alt kritik değer hopf çatallaşması ve alt kritik değer pitchfork çatallaşması gibi alt kritik değer formunda gözüken bütün çatallaşmalardır. Eğer noktası çatallaşması durumunda, kararlı denge durumuna meyilin kesilmesi süreksiz bir çatallaşmayı gösterir. Sürekli yada süreksiz bir çatallaşmayı tanımlamanın bir yolu, her μ parametre değerini, aynı kararlı denge durumuna planlayan parametre faz fonksiyonunu kullanmaktır. Bu kavramı kullanarak, süreksiz bir çatallaşma μ değerinde bir parametre de meydana gelir. Burada parametre-faz fonksiyonu süreksizdir.



Şekil 1 μ=μ_0'da sürekli ve süreksiz çatallaşmaların şematik parametre-faz aralığı diyagramları. Q yolları kesilirken, kararlı denge yolundaki P çatallaşma noktasının öbür tarafına doğru devam eder.

Bazı kararlı denge noktalarının yollarının kesilmesi ile oluşan herhangi bir çatallaşma için eş anlamlı olarak, yıkıcı çatallaşma ve süreksiz çatallaşma terimlerini kullanacağız. Yıkıcı ve sürekli çatallaşmaların gözlemlerine dayanarak, yaklaşık olarak μ=μ_c'de, üst kritik değerli çatallaşmaları alt kritik değerli çatallaşmadan daha fazla ümit edilebilir sistem cevabı sonuçlanır.

III. UYGULANAN ÇÖZÜM METODU

Başlangıç değer probleminde, $x=x_0$ noktasından sonraki noktada fonksiyon değeri, bu $x=x_0$ noktası civarında, fonksiyonun Taylor seri açılımı yapılarak hesaplanabiliyordu. Ancak bu tür bir hesaplamada karşımıza çıkacak yüksek mertebeden türevleri bulmak oldukça zaman alıcı olacaktır. Bu nedenle Taylor seri yöntemi yerine, bu serinin indirekt olarak kullanıldığı Runge-Kutta yöntemlerini kullanmak hesaplama açısından büyük kolaylık getirecektir. Runge-Kutta yöntemleri bir anlamda integrallerin yaklaşık hesabına ait Simpson kuralına dayanır. 1891 yılında Carl Runge tarafından teklif edilmiş ve kullanıldığı yıllarda diğer yöntemlere nazaran daha hassas sonuçlar vermiştir. 1901 yılında, Kutta bazı değişiklikler yaparak yöntemi da sonuçlar verecek hale sokmuştur. Bu yöntemin değişik şekilleri mevcut olup, genel olarak fonksiy bir sonraki değeri,

$$y_{i+1}=y_i+(x_i, y_i, h).h$$

formunda hesaplanmaktadır. Buradaki ϕ (x_i, y_i, h) a üzerinde temsili eğim olarak yorumlanabilir. fonksiyon, a' lar sabitler olmak üzere,

$$\phi=a_1k_1+a_2k_2+...+a_nk_n$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemde k'lar ise;

$$k_1 = f(x_i\ y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + p_1 h, y_i + q_{11} k_1 h)$$

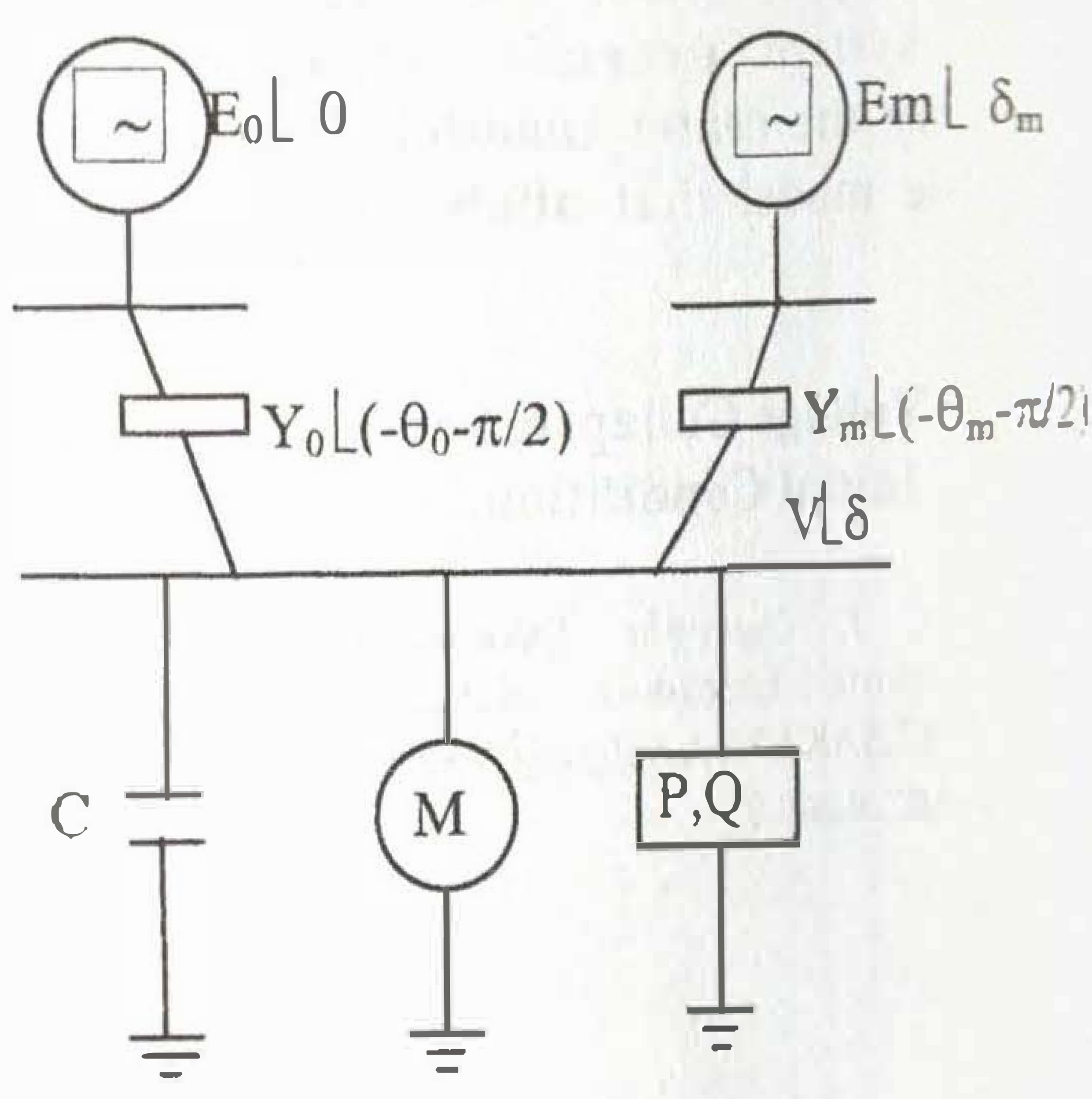
$$k_3 = f(x_i + p_2 h, y_i + q_{21} k_1 h\ q_{22} k_2 h)$$

$$k_n = f(x_i + p_{n-1} h, y_i + q_{n-1,1} k_1 h + q_{n-1,2} k_2 h + ...+ q_{n-1,} k_{n-1} h)$$

şeklindedir. Dikkat edilirse her bir k değeri bir önc k'lar cinsinden ifade edilmektedir. n değişik şek seçilerek farklı türdeki formüller elde edilebilir. n = seçilecek olursa Euler yöntemindeki formüller e edilebilir. n = 2 seçilirse ikinci mertebe Runge-K formülleri elde edilir. N = 4 seçilirse dördü mertebeden Runge-Kutta formüller elde edilir.

IV. GÜÇ SİSTEM MODELİ

Gerilim çökmesi modelinin Şekil 1'deki gösterilen sistem modeline nasıl uygulanacağını göstermek için örnek önemlidir. Güç sistem modelinde, generatörler biri salınım barası diğeri ise sabit E_m gerilim genliğ salınım denklemi tarafından verilen açı dinamikle sahiptir.



Şekil 2. Örnek güç sistemi.

$$M\ddot{\delta}_m + D\dot{\delta}_m = P_m + V_m V Y_m \sin(\delta-\delta_m-Q_m) + V_m^2 Y_m \sin Q_m$$

Burada M, d_m ve p_m sırasıyla, generatör atalet momenti damping ve mekanik güçtür. Yük modeli, dinamik bir indüksiyon motoru ve paralel bağlı bir sabit p_Q yükünü içermektedir. İndüksiyon motoru, $\dot{\delta}$ frekansı ve V yük geriliminin terimlerinde motorun aktif ve reaktif p ve Q güçleriyle tanımlanabilir. PQ yükü ve motoru için birleştirilmiş model aşağıda çıkarılmıştır.

$$P_d = P_0 + P_1 + K_{pw}\dot{\delta} + K_{pv}(V + T\dot{V})$$

$$Q_d = Q_0 + Q_1 + K_{qw}\dot{\delta} + K_{qv} + K_{qv2}V^2$$

Burada P_0, Q_0 motorun P_1 ve Q_1'de PQ yükünün sırasıyla aktif ve reaktif güçleridir. Yükün artan reaktif güç talebinde tekabül eden, Q_1 artışı sistem parametresi olarak seçilmiştir.

Yük gerilimi yaklaşık olarak 1.0 pu değerine çıkarmak için sabit bir C kapasitörü' de içermektedir. Kapasitör içeren devre yerine kapasitörlü devrenin Thevenin eşdeğerini elde ederek E_0, Y_0, ve Q_0 yeniden düzenlenerek E_0', Y_0' ,ve Q_0' elde edilir. Sistem tarafından yüklere enjekte edilen aktif ve reaktif güçler;

$$P = V_0' V Y_0' \sin(\delta+\theta_0') - V_m V Y_m \sin(\delta-\delta_m+\theta_m) + (Y_0' \sin\theta_0' + Y_m \sin\theta_m)V^2 \quad (1.a)$$

$$Q(\delta_m,\delta,V) = E_0' V Y_0' \cos(\delta+\theta_0') + E_m V Y_m \cos(\delta-\delta_m+\theta_m) - (Y_0' \cos\theta_0' + Y_m \cos\theta_m)V^2 \quad (1.b)$$

Yukarıdaki eşitlikleri düzenleyip türevli terimleri eşitliklerin sol tarafına aldığımızda sistemin diferansiyel denklemlerini elde ederiz.

$$\dot{\delta}_m = w$$

$$M\dot{w} = -d_m w + P_m + E_m V Y_m \sin(\delta-\delta_m-\theta_m) + E_m^2 Y_m \sin\theta_m$$

$$K_{qw}\dot{\delta}_m = -K_{qv2}V^2 - K_{qv}V + Q(\delta_m,\delta,V) - Q_0 - Q_1 \quad (2)$$

$$TK_{qw}K_{pv}\dot{V} = K_{pw}K_{qv2}V^2 + (K_{pw}K_{qv} - K_{qw}K_{pv})V + K_{qw}(P(\delta_m,\delta,V) - P_0 - P_1) - K_{pw}(Q(\delta_m,\delta,V) - Q_0 - Q_1)$$

Böylece dinamik yük modeli (1) eşitliği, bu güç sistem modeli için (2) formundaki diferansiyel denklemleri çözer. Teori detayları kısmında gerekli olduğu gibi (2) denklemlerinin $S^1 \times R \times S^1 \times R$ durum uzayının, pozitif değişmez kompakt bir C alt kümesini elde ederiz. Bu kompakt set aşağıdaki gibi olsun

$$S^1 \times [-W_1, W_1] \times S^1 \times [-V_1, V]$$

Burada, C pozitif değişmeyen bir kümesi olsun diye, C'nin sınırları üzerindeki vektör alanı noktaları yeteri kadar büyük seçilmiştir. Büyük w değeri için (2) formunun 2. eşitliğinde $\dot{w} = -M^{-1} d_m w$ etkilidir. Aynı formun 4. eşitliğinde ise, büyük V değeri için

$$\dot{V} = (TK_{qw}K_{pv})^{-1} K_{pw} K_{qv2} V_2$$

terimi etkilidir.

Bir eyer noktası çatallaşması δ_m, δ, w, V, Q_1 değişkenleri için, bu eşitliklerin sıfıra eşitlenen jakobiyenin determinantı ve sol tarafı sıfıra eşitlenen (2) denklemlerini çözerek bulunur.

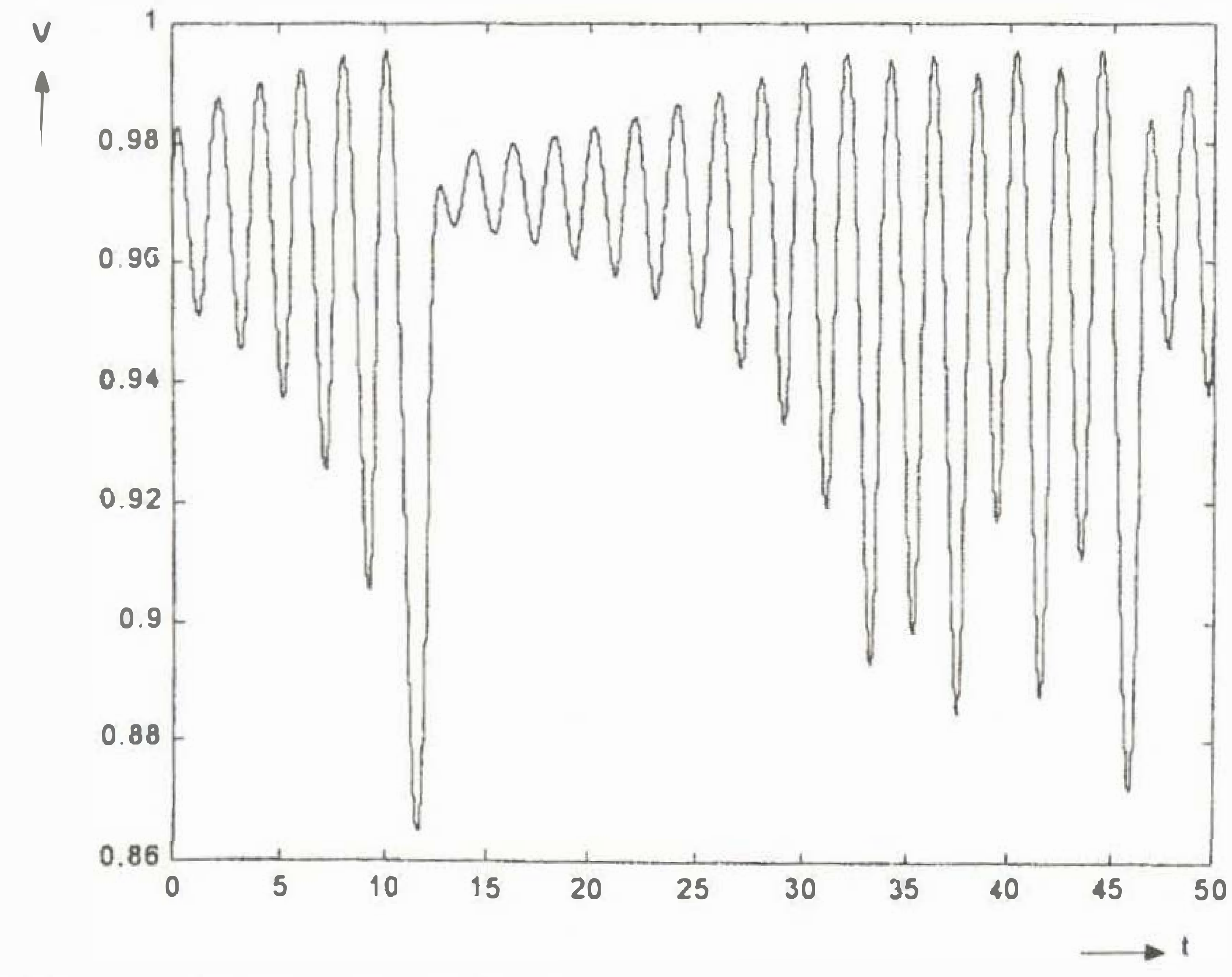
Derece olan bütün açılar hariç, bütün değerler birim değerdir. Parametreler 20°'den küçük hat açıları ve 1 pu değerine yakın V gerilimi ile bir eyer noktası çatallaşması örneğini elde etmek için ayarlanmıştır.

Çatallaşma durumunda; $x_* = (\delta_m^*, w^*, \delta^*, V^*)$ ve parametre $Q_1^* = 11.41$ değerindedir. Buradaki bütün değerler, radyan olan açılar hariç, birim değerdir.

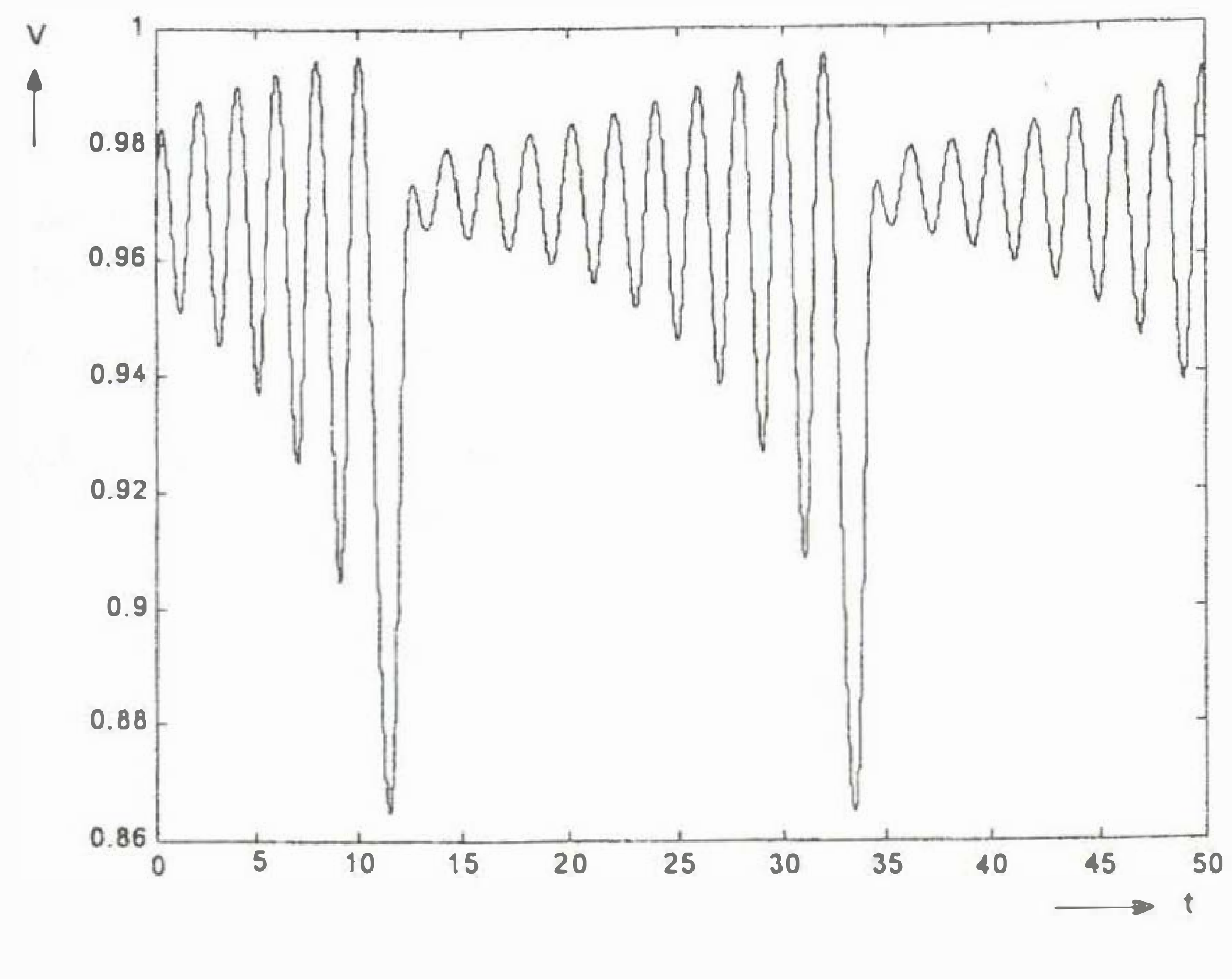
$$x_* = (0.3, 0.0, 0.2, 0.97)$$

W deki gerilimin göreceli olarak büyük negatif bileşeni, en azından başlangıçta, çatallaşmada gerilim azalsın diye W_+^c'nin uygun olduğunu gösterir.

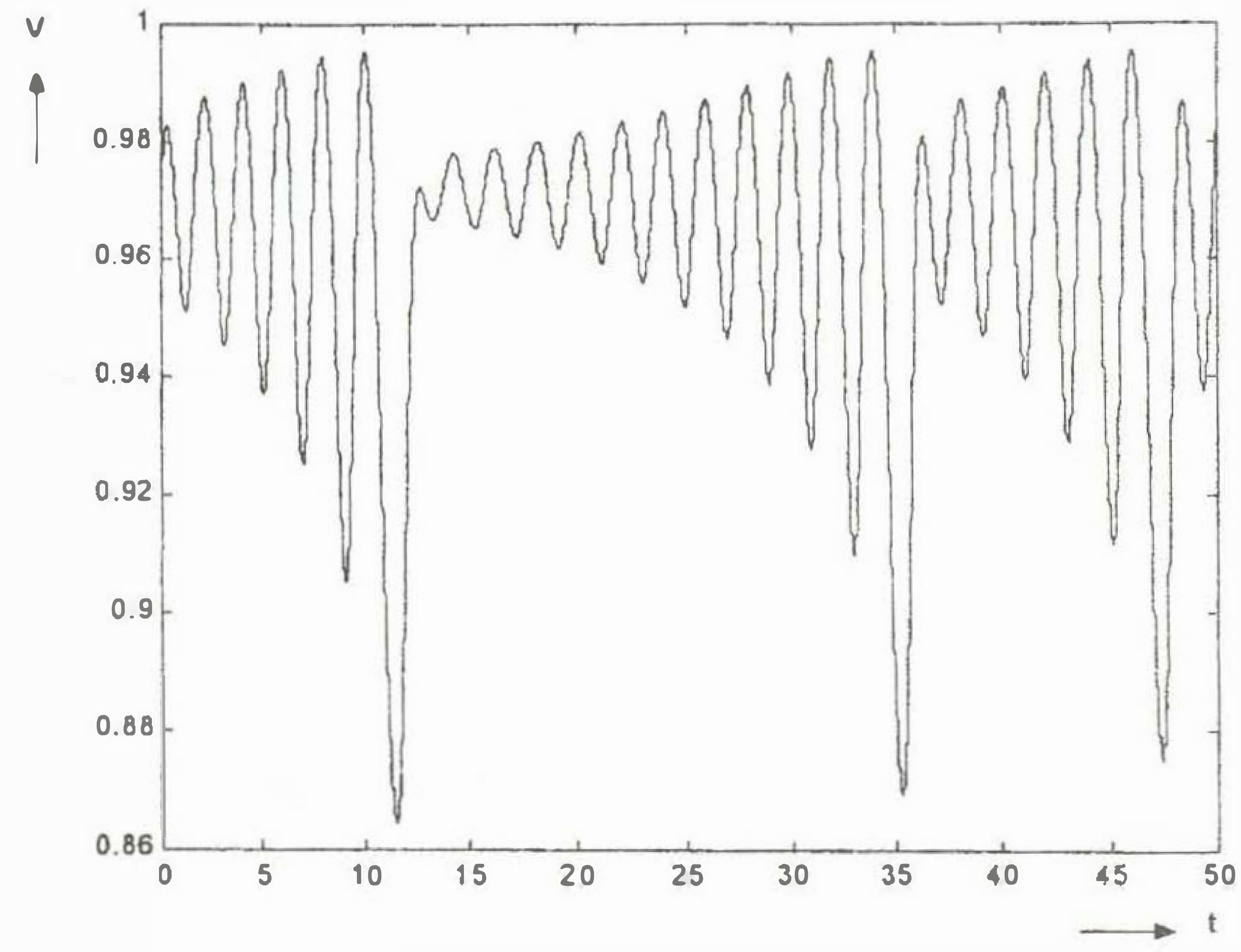
(2) formundaki denklemler, bu durumda W_+^c boyunca çökmenin karakterini belirlemek ve onaylamak için, w'nin doğrultusunda x_*'dan 0.01'e kadar yer değiştiren bir başlangıç şartından başlayarak sayısal olarak çözülürler. İntegrasyon boyunca Q_1, Q_1^*'da sabit tutulur.



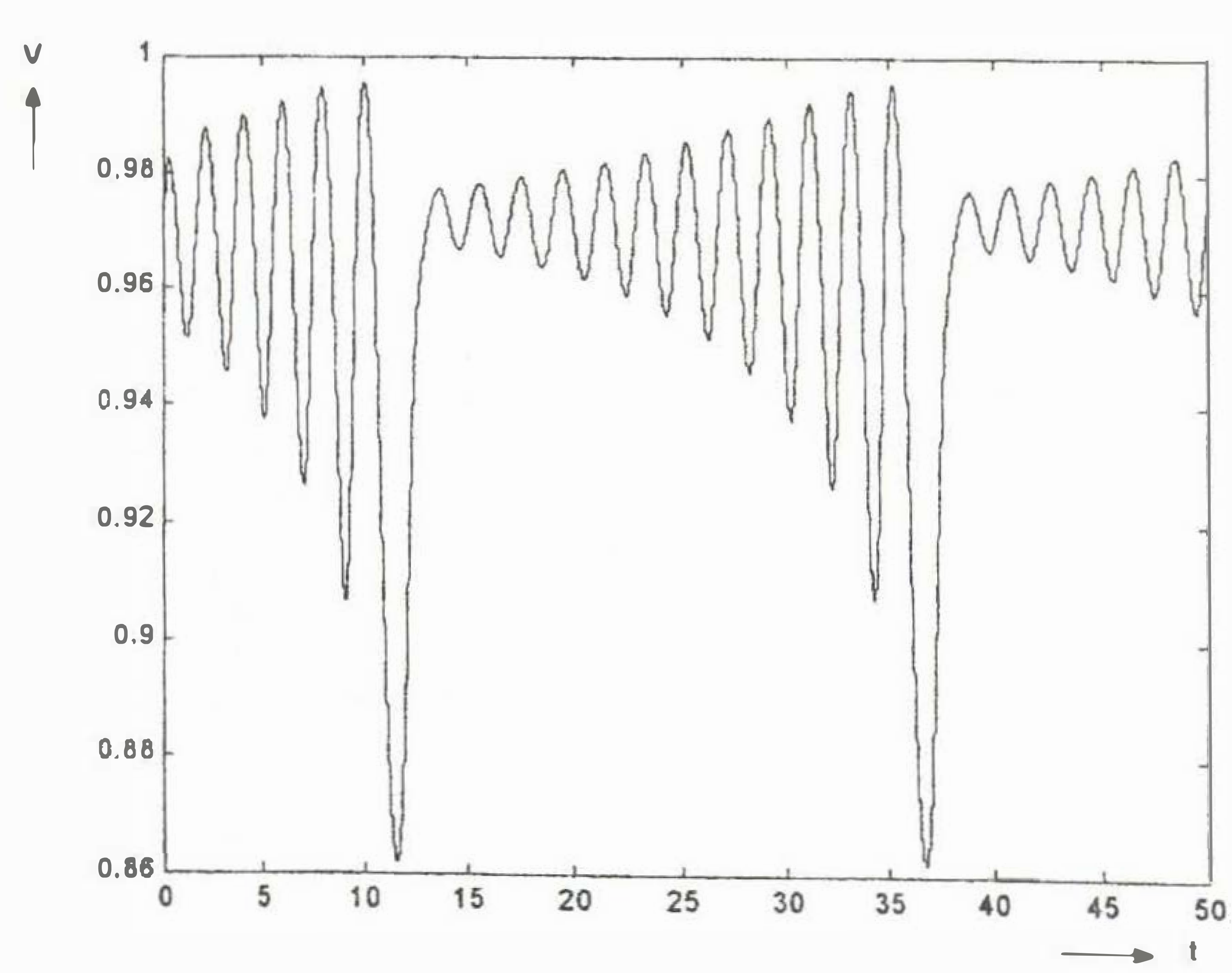
Şekil 3. (0.3, 0.0, 0.2, 0.97) başlangıç şartları için kaotik moddaki gerilim zaman serisi.



Şekil 4. . (0.3, 0.0, 0.2, 0.9701) başlangıç şartları için kaotik moddaki gerilim zaman serisi.



Şekil.5. (0.3, 0.0, 0.2, 0.9699) başlangıç şartları için kaotik moddaki gerilim zaman serisi.



Şekil 6. (0.3, 0.0, 0.2, 0.968) başlangıç şartları için kaotik moddaki gerilim zaman serisi.

V. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Lineer olmayan sistem teorilerindeki ilerleme ve son zamanlardaki pahalı ve işlem gücü yüksek bilgisayarların yaygınlığı, güç sistemlerindeki karmaşık davranışları analiz etmeye ve anlamaya sebep olmuştur.

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

Lyapunov üstellerinin hesaplanması, bir güç sistemindeki kaotik davranışların gözlemlerimizi onaylamaya yardım eder. Kaos için bir güvenilir gösterge olan geniş bantlı bir spektrumda gözlemlerimizi onaylamak için türetilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Kapitaniak,T., “Chaos for Engineering”, Springer-Verlag, 1998.(Book).
[2] Kwatny, H.G,Pasrija, A. K and Bahar, L. Y “Static bifurcations in electric power networks: Loss of steady-state stability and voltage collapse IEEE Trans. Circuits and Systems Vol 33 No 10 (October 1986).
[3] IEEE, “Special Publication 90TH0358-2-PWR “Voltage Stability of Power Systems:Concepts, Analytical Tools, and Industry Experience”, 1990.
[4] Chiang H, Dobson.I , Thomas, R.,‘‘ On Voltage Collapse in Electric Power Systems”, IEEE Power Systems, Vol.5.,No:2 May,1990.
[5] Yalçın, M.A., “Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, E-E Fakültesi, İstanbul, 1995
[6] Ian Dobson, “Observation on the Geometry of Saddle Node Bifurcation and Voltage collapse in Electrical Power Systems”, IEEE Circuits and Systems,vol.39,No:3 March,1992.
[7] Y.Uyaroğlu, Yalçın, M.A., “Elektrik Güç Sistemlerinde Kaos”, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 5,Sayı 2, ,s:27, Eylül 2001.
[8] Y.Uyaroğlu, Yalçın, 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.