

一种电力系统非线性模型的混沌特性研究

谢 华*

(电子科技大学电子机械系 成都 610054)

【摘要】针对一种电力系统模型,探讨了由确定性方程得到的运动状态的混沌特性。仿真表明了该系统对初始条件的敏感性、内在的随机性等混沌运动的特征,以及因分支、混沌现象而导致的电压骤降现象。仿真结果发现,在远离鞍形分支处的混沌区域也出现了电压骤降现象。

关键词 电力系统; Lyapunov指数; 分支; 混沌; 电压骤降

中图分类号 TM 712; O 415.5

电力系统之间的相互连接使系统复杂化,尤其是在大负载运行时,非线性特性是电力系统固有的本质特性。大多数电力系统的瘫痪都与系统的动态响应有关,特别是当用电设备需求电压达到峰值时,电力系统网络的动态值可能会到达其边界,从而导致振荡、分支和混沌,可能立即致使电压骤降。电压骤降是指电力系统的电压幅值突然降到一个不能接受的水平,从而导致系统崩溃,是系统负荷太大时产生的一种不稳定状况。本文通过对一简单电力系统模型的分支与混沌现象的分析,探讨电力系统的混沌特性以及电压骤降的原因。

1 系统模型

本文探讨的电力系统模型如图1所示,它基于Dobson、Walve等研究的模型^[1,2],在鞍形分支处出现了电压骤降现象。图1可以看作与外部大电力系统连接的局部电力系统的等效电路,外部大电力系统看成是一个不管负载大小,电压幅值和相位角都不改变的电源。图1中,外部大电力系统的端电压为 $V_0 \angle \theta_0$ (本文取 $\theta_0 = 0$),局部系统里的发电机的端电压为 $V_m \angle \delta_m$,负载的端电压为 $V \angle \delta$ 。

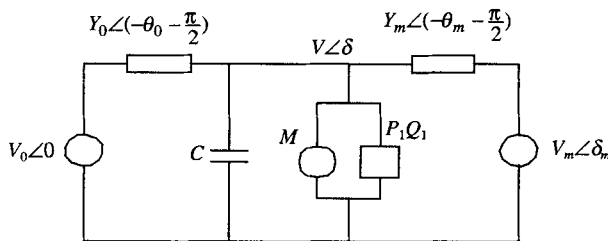


图1 三母线电力系统模型

系统方程参数按文献[1]的方法选取,按给出的 V_0 、 Y_0 、 θ_0 值得到 V'_0 、 Y'_0 、 θ'_0 ,该参数存在不容忽视的偏差。按给出的 V_0 、 Y_0 、 θ_0 值计算,得到的 V'_0 、 Y'_0 、 θ'_0 值分别为2.465 07、8.113 35、-12.406 44,由此得到的系统状态方程有一定的改变,其动态特征也有所不同。当 V'_0 、 Y'_0 、 θ'_0 分别取2.5、8.0、-12.0时,得出系统的状态方程为

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

$$\dot{\omega} = 16.666\ 67V \sin(\delta - \delta_m + 0.087\ 27) - 0.166\ 67\omega + 1.880\ 74$$

$$\dot{\delta} = 496.871\ 81V^2 - 166.666\ 67V \cos(\delta - \delta_m - 0.087\ 27) - 666.666\ 67V \cos(\delta - 0.209\ 44) -$$

$$93.333\ 33V + 33.333\ 33Q_1 + 43.333\ 33$$

$$\dot{V} = -78.76384V^2 + 26.21722V \cos(\delta - \delta_m - 0.01241) + 104.86887V \cos(\delta - 0.13458) + 14.52288V - 5.22876Q_1 - 7.03268$$

2 分支与混沌现象的仿真研究

当某个参数发生变化时,系统动力学运动类型发生变化,该参数值称为分支点。在分支点处,参数的微小变化会产生不同性质的动力学特性,所以系统在分支点处的结构不稳定。分支与混沌有着密切的联系,往往分支进行下去,系统动力学运动就演变成混沌态。演变过程强烈地依赖于初始条件,这种特性就是混沌系统所独有的,称为对初始条件的敏感性。系统出现混沌时,常常表现出“飘忽不定”的行为,类似于随机过程,但与随机过程本质是完全不同的。混沌是某些具有确定性方程的系统在某一控制参数变化时必然产生的运动状态,这种状态的产生完全由系统内因造成,不是随机性外因所引起^[3,4]。

用四阶Runge-Kutta法对系统进行仿真实验。当负载状况改变时(指无功功率 Q_1 变化时),出现分支与混沌现象。 $Q_1=10.8859, 10.8960, 11.3766, 11.3890, 11.4106$ 时为分支点,当 $Q_1=11.4106$ 时为鞍形分支点。 Q_1 在 $10.8900\sim 10.8940$ 、 $11.3766\sim 11.3880$ 两个区间时的系统状态为混沌行为。判断系统混沌行为的方法之一是应用Lyapunov指数,该指数表明在相空间中初始条件不同的两条相邻轨迹随时间按指数规律收敛或发散的度。正的Lyapunov指数意味着混沌。因为是四维系统,应有4个Lyapunov指数。例如在 $Q_1=11.3770$ 处,其最大的Lyapunov指数为0.29,其4个Lyapunov指数属于(+, 0, -, -)类型,应为混沌状态。在混沌区域 $Q_1=11.3768$ 和 11.3767 时,采用初始值(0.3500, 0.1510, 0.1500, 0.9800)时得到的二维混沌轨迹图如图2和图3所示。因该电力系统是确定性系统,故不存在任何不稳定的波动或随机的因素影响,即这种随机的运动不是由随机的负载干扰引起的,而是由系统本身的非线性、确定性的方程决定。由于混沌特性,系统在运行确定的时间后的状态是不能预测的。另外,在图3的负载电压与时间的关系图中可以看出 t 在100s左右时出现了电压骤降(曲线末的后0.01s内负载电压垂直下降到零)。在远离鞍形分支点处的混沌区域出现电压骤降现象,显示系统是不稳定的,电压骤降会使互联系统解列和系统崩溃。稍稍改变初始条件会大大改变出现电压骤降的时间快慢,说明了系统对初始条件的敏感性。采用初值为(0.3500, 0.1510, 0.1500, 0.9800)和(0.3500, 0.1500, 0.1500, 0.9800)计算,则在 $Q_1=11.3768$ 时其负载电压与时间的关系有很大的不同,如图4所示(前者为实线,后者为虚线),表明系统对初始条件的敏感性。

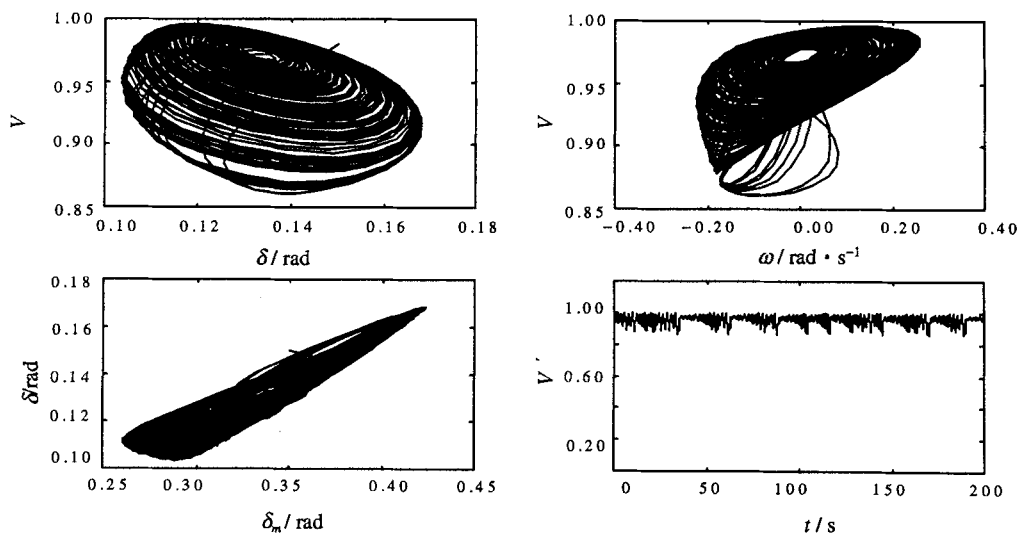


图2 $Q_1=11.3768$ 、初值为(0.3500, 0.1510, 0.1500, 0.9800)时的仿真结果

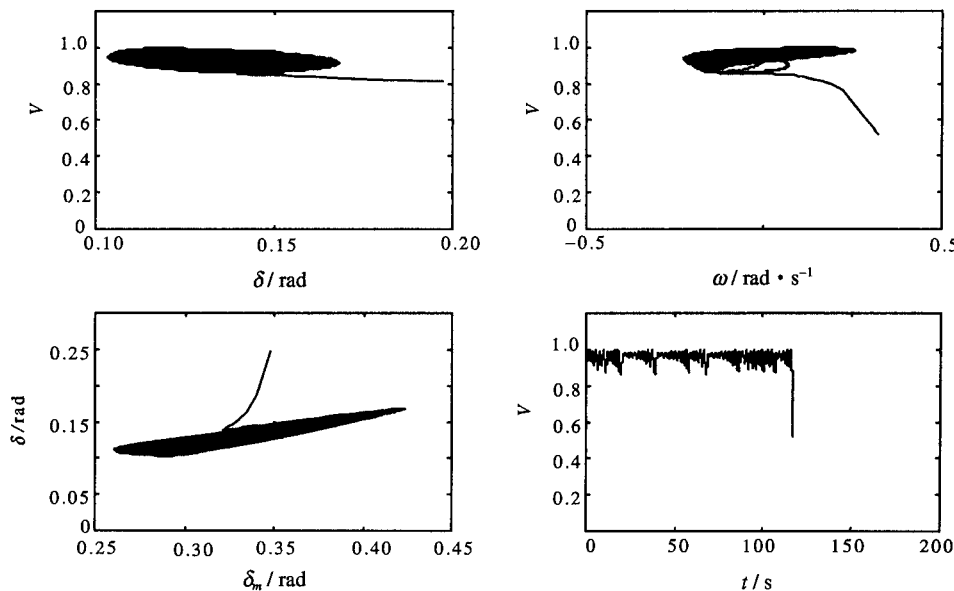


图3 $Q_1=11.3767$ 、初值(0.350 0, 0.151 0, 0.150 0, 0.980 0)时的仿真结果

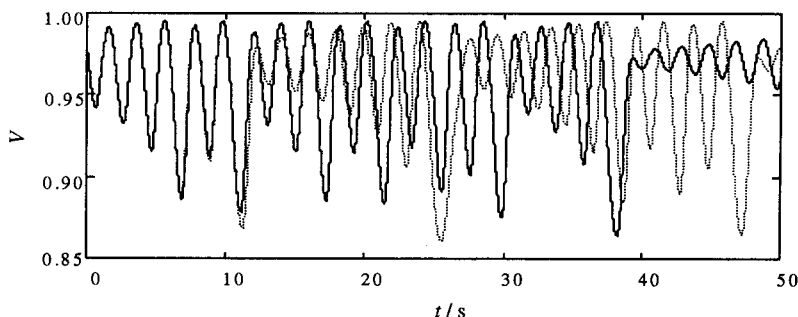


图4 $Q_1=11.3767$ ，初值为(0.350 0, 0.151 0, 0.150 0, 0.980 0)不同初值时，电压与时间关系图

3 结束语

本文分析了一个简单的电力系统模型，得出的结果对于实际的电力系统具有参考价值。动态的不稳定和振荡现象在实际电力系统中已多次观察到，目前虽然还没有严格的证据断定电力系统的分支、混沌与电压骤降之间的必然联系，但观察显示它们之间是有密切联系的。可以断定电力系统的分支与混沌是造成电压骤降的原因之一。本文对电力系统中的混沌现象进行初步探索，至于如何对电力系统中的混沌现象实施有效的控制，避免电压骤降，还有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Dobson I, Chiang H D , Thomas R J , *et al.* A model of voltage collapse in electric power system. Proceedings of the 27th IEEE Conference on Control and Decision, Austin, 1988
- 2 Walve K. Modelling of power system components at severe disturbances. CIGRE paper 38-18, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 1986
- 3 Xu Hongbing, Lu Bingchao, Chen Guangju. Controlling Chaos in nonlinear dynamical system using variable structure. Journal of University of Electronic Science and Technology, 1999, 28(3):283~285 [徐红兵, 吕炳朝, 陈光祚. 一类非线性动力学系统的变结构混沌控制. 电子科技大学学报, 1999, 28(3): 283~285]

- 4 Xie Hua. Study on printed circuit board auto testing system. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2000, 29(5): 515~517[谢 华. 印制电路板自动测试系统的设计与应用研究. 电子科技大学学报, 2000, 29(5): 515~517]

Research on Chaos of a Power System Model

Xie Hua

(Dept. of Electronic Mechanics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, a simple 3-bus power system model which includes a dynamic induction motor model is simulated to study chaotic characteristics. Given a deterministic model describing a system and an initial condition, the system behavior can not always be predicted. Sensitivity on initial condition, inherent randomization and so on are the characteristics of chaos. It is shown that voltage collapse can be resulted from bifurcation and chaos phenomena that a system may experience under the influence of system parameters. The result also shows voltage collapse in the chaotic area far from the saddle node bifurcation.

Key words power system; Lyapunov exponent; bifurcation; chaos; voltage collapse

· 科研成果介绍 ·

短波强抗干扰自适应侦收天线阵列

主研人员: 邱文杰 熊 键 刘纯勤 王 方 陈 文 付 斌

短波强抗干扰自适应侦收天线阵列结合工程应用, 着重研究了自适应算法、信号处理结构、动态特性和工程实现中的一些关键技术问题, 得到了一系列有用的结论, 为实际阵列的设计提供了充分的理论依据。该成果在通信、通信侦察、雷达、电子对抗方面有广泛的应用前景。

· 科 卜 ·