

电力系统电压骤降特性的抑制研究

谢 华*

(电子科技大学电子机械系 成都 610054)

【摘要】对于一种包含一个动态感应电动机模型的3总线电力系统模型进行了分析和仿真，研究了系统的电压骤降特性。电压骤降是指电力系统的电压突然降到了一个不能接受的水平。对系统模型参数的分析与仿真研究表明，电力系统的初始条件及电网的电力需求的变化可以导致系统的电压骤降；通过引入负载特性参数的微扰，可以抑制电力系统的电压骤降特性。仿真结果表明了微扰抑制方法的可行性。

关键词 电力系统；电压骤降；混沌；微扰；抑制

中图分类号 O415.5； TM712

电压骤降是指交流电力系统的电压幅值突然降到一个不能接受的水平，从而导致互联系统解列、崩溃。电压骤降是系统负荷太大时产生的一种不稳定状况。因为负荷增大，系统电压先发生较小的变化，然后陡然加速降低，最终导致系统崩溃。

在电压骤降时，电压控制电器，如切换式变压器，在电压陡然下降前可能会因为电压的较小变化处在允许范围内而不会动作，下降加快可能使欠电压继电器在变压器切换之前先动作。这样，控制中心的操作者不会观察到报警声音，因为此时电力系统的相位角、频率和电压幅值可能还保持在正常范围。而后出现的电压陡降使系统保护电器立即动作，互联系统解列，系统立刻瘫痪^[1]。本文通过引入负载特性参数的微扰，可以抑制电力系统的电压骤降特性^[2-4]，仿真表明了微扰抑制方法的是可行。

1 系统模型

本文探讨的电力系统模型如图1所示，它是基于Dobson和Chiang研究的模型^[1]。Dobson和Chiang应用该电力系统模型描述了有关电压骤降的一些动态特征。图1可看作与外部大电力系统连接的局部电力系统的等效电路；外部大电力系统可看作一容量无限的总线，即一个不管负载大小，电压幅值和相位角都不改变的电源。图中，该容量无限的总线的端电压幅值和相位角分别为 V_0° 和 q_0° ，即 $V_0 \angle q_0$ ，且 $V_0 > 0$ ；局部系统里的发电机的端电压为 $V_m \angle d_m$ 。图1也可描述为传输线的导纳把一个发电机、一个容量无限的电源总线、一个负载和一个电容连接起来，其负载的端电压为 $V \angle d$ ；电容 C 用来保持电压幅值接近1个单位(单位归一化)。Dobson和Chiang的模型是大电力系统模型，当 Q_1 接近11.41个单位时发生鞍形分支。

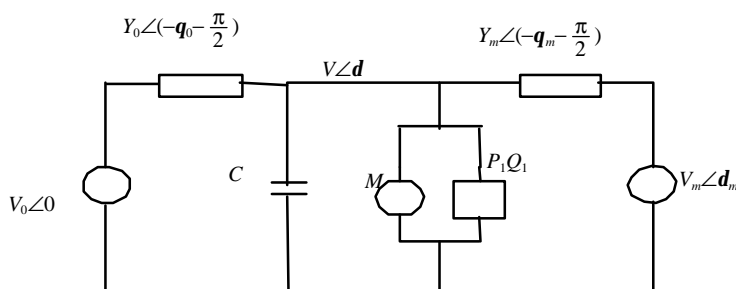


图1 三母线电力系统模型

2000年9月8日收稿

* 女 33岁 硕士 讲师

负载由一个感应电动机(模拟工业用电)和一个定常的 $P-Q$ 负载(模拟居民用电和商业用电)并联, 其数学模型为

$$\begin{cases} P = P_0 + P_1 + K_{pw}\dot{\mathbf{d}} + K_{pv}(V + TV) \\ Q = Q_0 + Q_1 + K_{qw}\dot{\mathbf{d}} + K_{qv}V + K_{qv2}V^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中 P 、 Q 表示负载的有功和无功功率; P_0 、 Q_0 表示感应电动机的有功功率和无功功率, P_1 、 Q_1 为 $P-Q$ 负载的有功和无功功率; 其余参数为负载特性参数。负载环节还包括一个维持电压幅值的电容。按戴维南等效定理, $V_0 \angle \mathbf{q}_0$ 支路和电容支路的等效电压、导纳和相位角为

$$\begin{cases} V'_0 = \frac{V_0}{(1 + C^2 Y_0^{-2} - 2CY_0^{-1} \cos \mathbf{q}_0)^{1/2}} \\ Y'_0 = Y_0(1 + C^2 Y_0^{-2} - 2CY_0^{-1} \cos \mathbf{q}_0)^{1/2} \\ \mathbf{q}'_0 = \mathbf{q}_0 + \tan^{-1} \left(\frac{CY_0^{-1} \sin \mathbf{q}_0}{1 - CY_0^{-1} \cos \mathbf{q}_0} \right) \end{cases} \quad (2)$$

因此, 负载得到的有功和无功功率为

$$\begin{cases} P = -V'_0 V Y'_0 \sin(\mathbf{d} + \mathbf{q}'_0) - V_m V Y_m \sin(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m + \mathbf{q}_m) + (Y'_0 \sin \mathbf{q}'_0 + Y_m \sin \mathbf{q}_m) V^2 \\ Q = V'_0 V Y'_0 \cos(\mathbf{d} + \mathbf{q}'_0) + V_m V Y_m \cos(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m + \mathbf{q}_m) - (Y'_0 \cos \mathbf{q}'_0 + Y_m \cos \mathbf{q}_m) V^2 \end{cases} \quad (3)$$

发电机的动态方程为

$$M\ddot{\mathbf{d}}_m + D\dot{\mathbf{d}}_m = P_m + V_m V Y_m \sin(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m - \mathbf{q}_m) + V_m Y_m \sin \mathbf{q}_m \quad (4)$$

式中 M 、 D 和 P_m 分别为发电机的惯性、阻尼系数和机械能。

由式(1)~(4)可导出四个反映系统动态的微分方程为

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{d}}_m = \mathbf{w} \\ M\dot{\mathbf{w}} = -D\mathbf{w}_m + P_m + V_m V Y_m \sin(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m) \\ K_{qw}\dot{\mathbf{d}} = -K_{qv2}V^2 - K_{qv}V + Q - Q_0 - Q_1 \\ TK_{qw}K_{pv}\dot{V} = K_{pw}K_{qv2}V^2 + (K_{pw}K_{qv} - K_{qw}K_{pv})V + K_{qw}(P - P_0 - P_1) - K_{pw}(Q - Q_0 - Q_1) \end{cases} \quad (5)$$

式中 状态变量 \mathbf{d}_m 为发电机电压相位角(与发电机转子的机械转角密切相关), \mathbf{w} 为电机转子速度, \mathbf{d} 为负载电压相位角, V 为负载电压幅值; 式中各参数与负载、电路、发电机的参数有关。以负载的电抗性功率需求作变量, 即除了 Q_1 外其余参数处于合适值并固定不变, 并将 Q_1 作为研究系统分支与混沌的控制参数。

参数基本按文献[1]选取, 只是文献[1]中的参数按给出的 V_0 、 Y_0 、 \mathbf{q}_0 值得到的 V'_0 、 Y'_0 、 \mathbf{q}'_0 的取值存在不容忽视的偏差。本文取 V'_0 、 Y'_0 、 \mathbf{q}'_0 分别为 2.5、8.0、-12.0 得出系统的状态方程为

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{d}}_m = \mathbf{w} \\ \dot{\mathbf{w}} = 16.66667V \sin(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m + 0.08727) - 0.16667\mathbf{w} + 1.88074 \\ \dot{\mathbf{d}} = 496.87181V^2 - 166.66667V \cos(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m - 0.08727) - 666.66667V \cos(\mathbf{d} - 0.20944) - 93.33333V + 33.33333Q_1 + 43.33333 \\ \dot{V} = -78.76384V^2 + 26.21722V \cos(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m - 0.01241) + 104.86887V \cos(\mathbf{d} - 0.13458) + 14.52288V - 5.22876Q_1 - 7.03268 \end{cases} \quad (6)$$

式中 角度和角速度的单位分别为 rad 和 rad/s, 其余参量的单位归一化。

本文用四阶 Runge-Kutta 法对系统进行仿真实验。取 $Q_1 = 11.3767$, 当初值为 0.350、0.151、0.150、0.980 时, 得到系统的负载电压与时间的关系如图 2a 所示。在 $t=100$ s 左右时系统出现电压骤降现象。

2 引入微扰的电压骤降特性抑制

在负载特性参数 T 项引入微扰, 由式(1)可得

$$P = P_0 + P_1 + K_{pw}\dot{\mathbf{d}} + K_{pv}(V + m\dot{V}) \quad (7)$$

式中 $m \in (0, 1]$ 。式(6)中前三个方程不变, 第四个方程变为

$$m\dot{V} = -78.76384V^2 + 26.21722V \cos(\mathbf{d} - \mathbf{d}_m - 0.01241) + 104.86887V \cos(\mathbf{d} - 0.13458) + 14.52288V - 5.22876Q_1 - 7.03268$$

取 $m = 0.98$ 、初值(0.350, 0.151, 0.150, 0.980)进行仿真, 得到系统的负载电压与时间的关系如图2b所示。取时间 $t = 5000$ s时也未出现电压骤降现象。在崩溃点附近, 通过引入微扰, 使系统可以稳定运行, 延缓或避免了电压骤降的出现。

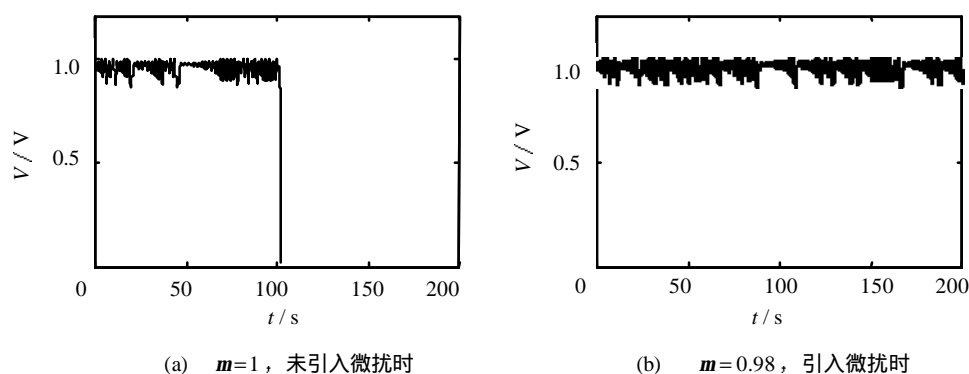


图2 当 $Q_1 = 11.3767$ 、初值为(0.350, 0.151, 0.150, 0.980)时负载电压的时间行为

3 结束语

本文引入了负载特性参数的微扰, 有效抑制了电力系统电压骤降的出现。仿真结果表明了该微扰抑制方法的可行性, 对延缓或抑制电力系统的电压骤降、系统崩溃是有效的。

如何对电力系统中的混沌现象实施更有效的控制, 完全避免电压骤降和系统崩溃, 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, TX, 1988
- 2 Chen G. Chaos: control and anti-control. IEEE Circuits and Systems Society Newsletter, 1998:1~5
- 3 Xu Hongbing, Lu Bingchao, Chen Guangju. Controlling chaos in nonlinear dynamical system using varibale structure. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1999, 28(3): 283~285[徐红兵, 吕炳朝, 陈光 . 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 cricuit board auto testing system. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2000, 29(5): 515~519[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]

Control of Voltage Collapse of a Power System

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 analyzed and simulated to study voltage collapse. Voltage collapse means the voltage of the electrical system suddenly declines to an unacceptable level. The system parameter analysis shows that the initial conditions, parameters and change of the demand of electrical can result in voltage collapse. When perturbation is applied to the system, voltage collapse can be delayed or controlled. Simulation results show the feasibility of the method.

Key words power system; voltage collapse; chaos; perturbation; control

• 科研成果介绍 •

MDA-1型调制域分析仪

主研人员: 周正中 余翔 周翟 蔡竞业 徐欣 杨鹏亮 吴德明 王竹红 钟沙拉

MDA-1型调制域分析仪是在分析国外同类仪器测试功能的基础上独立设计、自行研制的, 拥有自主知识产权。该分析仪采用二进制EDT技术实现无间隙采样, 采用全集成化的模拟内插技术, 主机高速部分采用中、大规模ECL器件, 低频及控制逻辑采用TSPLSL门阵列电路, 提高了整机的集成设计可靠性。整机的系统软件工作在Windows95平台上, 采用Visual C++下拉式菜单的窗口方式及线性、非线性自适应滤波数据处理技术。

引信信号分析识别技术

主研人员: 刘皓 魏平 肖先赐 韩春林 邹月娴 朱晓霞 陆明泉 高勇 李瑞彬

该课题成功研制出了用于引信信号分析识别的数字信号高速并行处理机。该机采用了先进的信号处理器和多路并行的设计。其四区处理器之间完备的通信链路设计具有先进的拓扑结构, 且满足算法的要求。在谱特性提取、人工神经网络分类等方法的高速并行实现方面的研究具有独创性。

• 项曦 •