

单个厂站稳定控制系统的可靠性分析

张如义¹, 周玲¹, 董贯雷², 刘文华², 张冲²

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210098; 2. 山东东营供电公司, 山东 东营 257000)

摘要: 针对单个厂站, 依据马尔柯夫过程理论, 用状态空间法分析稳定控制系统的可靠性。在不同配置方案下, 根据稳定控制系统的动作机理, 以故障率和修复率为参数, 建立稳定控制系统可靠性分析的模型, 计算拒动率和误动率, 进而得到系统有效概率作为系统可靠性指标。分析系统可靠性指标随配置方案不同呈现出的变化, 定量地表明了各配置方案的可靠性差异, 得出的量化的可靠性指标与实际不同配置方案的应用情况相符合。

关键词: 可靠性; 稳定控制; 厂站; 马尔柯夫

Reliability analysis of stability control system in single plant station

ZHANG Ru-yi¹, ZHOU Ling¹, DONG Guan-lei², LIU Wen-hua², ZHANG Chong²

(1. School of Energy and Electronics, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Dongying Power Supply Company, Dongying 257000, China)

Abstract: State-space method based on Markov process theory is used to analyze the reliability of stability control system in single plant station. Under different configurations, the failure rate and the repair rate are seen as parameters, stability control system's reliability analysis model is constructed according to the action mechanism of the stability control system and the probabilities of false-function and fail-function are computed. Moreover, the system valid probability indexes measuring the reliability of the system are computed. This paper analyzes several changing laws of the system reliability indexes with different configurations and quantitatively verifies the differences between the reliability of various configurations. The quantitative reliability indexes derived from this paper are in accordance with the actual application cases of the different configurations.

Key words: reliability; stability control; plant station; Markov

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)19-0061-04

0 引言

电力是国民经济的命脉。经济发展, 电力走向市场化, 对供电质量提出了更高的要求。近年来, 随着电网规模的扩大, 停电事故的可能影响面扩大, 带来的损失会更加严重。可见, 电力系统的安全稳定运行至关重要。稳定控制装置在国内许多地区投入使用^[1-7], 其功能主要有实现低频、低压减载或解列, 过频、过压切机或解列, 防止电压崩溃和频率崩溃。稳定控制系统对提高电网输送能力、保障系统稳定、预防大面积连锁停电事故具有重要作用。近年来国内外出现的几次大规模停电事故^[8], 给经济和政治造成巨大影响, 对稳定控制领域的研究受到更高关注。

稳定控制系统的可靠性与电力系统总体的可靠性^[9]密切相关。稳定控制系统按装置之间有无通信

分为分散型和集中型两类^[10]。稳定控制系统属于可修复系统, 其特点是系统从一种状态转移到另一种状态的概率与系统从前的历史无关, 即无记忆性。本文依据马尔柯夫过程理论, 用状态空间法分析单个厂站分散型稳定控制系统的可靠性问题, 总结在不同配置方案下稳定控制系统的动作规律。

稳定控制与继电保护并称为电力系统安全稳定运行的重要防线。经过多年的发展, 安全稳定控制系统已经形成比较成熟的体系。目前为止对继电保护系统的可靠性研究较多, 对稳定控制系统的可靠性研究较少。本文为电网可靠性评估补充了稳定控制系统的模型。

1 单个厂站稳定控制系统的模型

考虑单个厂站稳定控制系统的特点和要求, 一般有三种配置方案: 单机系统, 双机系统和三机容

稳控系统总的有效概率: $V=1-U$ (16)

2.3 三机系统

模型: 在图 1 中去掉状态 6 到状态 3 的两根直接连线, 保留对象和所有装置, 取全部的 9 种状态。

转移密度矩阵为:

$$T = \begin{bmatrix} c_{11} & \lambda_0 & 0 & 0 & 0 & 3\lambda_r & 0 & 0 & 0 \\ \mu_0 & c_{22} & 3\lambda_r & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_r & c_{33} & \lambda_r & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{pf} \\ 0 & 0 & \mu_r & c_{44} & \lambda_{pr} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_{pr} & c_{55} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_r & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} & \lambda_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_r & c_{77} & \lambda_{pf} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_{pr} & c_{88} & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{pr} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{99} \end{bmatrix} \quad (17)$$

其中: $c_{11} = -\lambda_0 - 3\lambda_r$; $c_{22} = -\mu_0 - 3\lambda_r$; $c_{33} = -\mu_r - \lambda_r - \lambda_{pf}$; $c_{44} = -\mu_r - \lambda_{pr}$; $c_{55} = -\mu_{pr}$; $c_{66} = -\mu_r - \lambda_r$; $c_{77} = -\mu_r - \lambda_{pf}$; $c_{88} = -\mu_{pr}$; $c_{99} = -\mu_{pr}$ 。

由马尔柯夫过程原理, 得线性方程组:

$$\begin{bmatrix} c_{11} & \mu_0 & 0 & 0 & 0 & \mu_r & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_0 & c_{22} & \mu_r & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{pf} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{99} \\ 0 & 0 & \lambda_r & c_{44} & \mu_{pr} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{pr} & c_{55} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3\lambda_r & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} & \mu_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_r & c_{77} & \mu_{pr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{pf} & c_{88} & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \\ P_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

解方程组得 P_i 。

其中 P_i (i 取 1,2,3,4,5,6,7,8,9) 为平稳状态概率, 进而得:

$$\text{总的拒动率: } R = P_3 + P_4 + P_5 \quad (19)$$

$$\text{总的误动率: } F = P_6 + P_7 + P_8 + P_9 \quad (20)$$

$$\text{由拒动引起的系统失效概率: } U_r = P_5 \quad (21)$$

$$\text{由误动引起的系统失效概率: } U_f = P_7 + P_8 + P_9 \quad (22)$$

$$\text{稳控系统总的失效概率: } U = P_5 + P_7 + P_8 + P_9 \quad (23)$$

$$\text{稳控系统总的有效概率: } V = 1 - U \quad (24)$$

3 算例分析

拒动率和误动率可参照权威部门的统计数据^[11]。结合实际运行的经验数据, 取 $\lambda_0 = 1.5$ 次/年, $\lambda_r = \lambda_{pr} = 0.31$ 次/年, $\lambda_f = \lambda_{pf} = 0.54$ 次/年,

$\mu_0 = \mu_r = \mu_f = \mu_{pr} = \mu_{pf} = 10.9$ 次/年。按第 2 节中的方法计算, 结果列在表 1 中。

从表 1 计算结果可以看出, 在故障率和修复率保持不变的情况下, 随着装置数量增加, 总的拒动率和总的误动率都相应地增加了, 但是对整个系统的影响呈现出不同的规律:

1) 单机系统由于只有一台装置, 它的拒动或误动, 都会引起整个稳定控制系统失效。单机系统拒动引起的系统失效概率最大, 误动引起的系统失效概率和总的系统失效概率较双机系统略低。

2) 双机系统有两台装置, 以主备关系运行, 拒动引起的系统失效概率明显降低, 有效防止了拒动引起的系统失效; 误动引起的系统失效概率稍有增加, 导致总的系统失效概率稍有增加。减少了拒动的不利影响, 却增加了误动的不利影响。欲降低总的系统失效概率, 需另采取措施减少单个装置的误动作或牺牲经济性而采用三机系统。

3) 三机系统在双机系统的基础上又增加一台装置, 出口回路采用三取二的策略, 若有一台装置误动, 不会出口, 不影响一次回路的运行, 稳定控制系统可以照常工作, 有效防止了误动引起的系统失效, 弥补了双机系统的不足。用这种方式, 拒动引起的系统失效概率和误动引起的系统失效概率都明显降低, 总的系统失效概率也随之大幅度减小。

表 1 不同配置方案下稳定控制系统的可靠性指标

Tab.1 Reliability indexes of stability control system for

different configurations					
组合方案	总的拒动率	总的误动率	拒动引起的系统失效概率	误动引起的系统失效概率	总的系统失效概率
单机系统	0.003 286	0.041 594	0.003 286	0.041 594	0.044 880
双机系统	0.003 353	0.048 993	0.000 093	0.048 993	0.049 086
三机系统	0.009 249	0.120 105	0.000 007	0.006 359	0.006 366

4 结语

本文强调了稳定控制系统对电网安全稳定运行的重要性以及对其可靠性进行分析的必要性。通过对单个厂站的稳定控制系统建模和计算, 经综合分析可见: 单机系统的拒动率指标和误动率指标都比较差, 其中误动率指标稍好于双机系统; 双机系统的拒动率指标得到有效改善, 误动率指标有待改善; 三机系统的拒动率指标和误动率指标都很优良。就经济性和可靠性两方面考虑, 双机系统应普遍采用, 单机系统可用于要求不高的场合, 三机系统用于特别重要的厂站。

参考文献

[1] 杨晋柏. 南方互联电网安全稳定控制系统的配置、功能及作用[J]. 电力系统自动化, 1996, 20 (5): 46-49.
YANG Jin-bai. The configuration and function of security and stability control system for south China interconnected power network[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20 (5): 46-49.

[2] 张启平, 曾兆祺, 王觉英. 华东 500 kV 北仑港——兰亭系统稳定控制装置的功能和作用[J]. 电网技术, 1997, 21 (1): 9-11.
ZHANG Qi-ping, ZENG Zhao-qi, WANG Jue-ying. Analysis of system stability control device used in beilungang-lanting 500 kV system in east China grid[J]. Power System Technology, 1997, 21 (1): 9-11.

[3] 章建, 周全仁, 樊福而, 等. 湖南电网安全稳定控制系统[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (3): 48-51.
ZHANG Jian, ZHOU Quan-ren, FAN Fu-er, et al. Security and stability control system in Hunan power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (3): 48-51.

[4] 丁立, 邹圣权. 湖北电网微机稳控装置运行状况和发展前景[J]. 湖北电力, 2006, 30 (5): 13-14.
DING Li, ZOU Sheng-quan. Operation and developing prospect of computerized stability control equipment in Hubei power grid[J]. Hubei Electric Power, 2006, 30 (5): 13-14.

[5] 牟宏, 邱夕兆, 马志波. 山东 500 kV 电网安全稳定控制系统[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (3): 45-47.
MU Hong, QIU Xi-zhao, MA Zhi-bo. Security and stability control system of Shandong 500 kV power network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (3): 45-47.

[6] 胡伟, 翟咏梅. 江苏电网安全稳定控制现状分析与展望[J]. 江苏电机工程, 2003, 22 (6): 1-5.
HU Wei, ZHAI Yong-mei. Present situation analysis and

prospect of security and stability control system of Jiangsu power grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2003, 22 (6): 1-5.

[7] 蓝波卫. 安全稳控装置在发电厂的应用[J]. 电力安全技术, 2009, 11 (1): 64-65.
LAN Bo-wei. The application of security and stability control device in power plant[J]. Electric Safety Technology, 2009, 11 (1): 64-65.

[8] 汪秀丽. 2005 年大停电与我国电力系统可靠性管理[J]. 水利电力科技, 2005, 31 (4): 36-42.
WANG Xiu-li. Blackout in 2005 and the management of China's electric power system reliability[J]. Water Resources and Electric Power, 2005, 31 (4): 36-42.

[9] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[10] 孙光辉. 区域稳定控制中若干技术问题[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (3): 4-7.
SUN Guang-hui. Techniques in regional stability control[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (3): 4-7.

[11] 周玉兰, 王玉玲, 赵曼勇. 2004 年全国电网继电保护与安全自动装置运行情况[J]. 电网技术, 2005, 29 (16): 42-48.
ZHOU Yu-lan, WANG Yu-ling, ZHAO Man-yong. Statistics of operation situation of protective relays and automation devices of power systems in China in 2004[J]. Power System Technology, 2005, 29 (16): 42-48.

收稿日期: 2009-10-28; 修回日期: 2010-04-13

作者简介:

张如义 (1974-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: zhngry@163.com

周玲 (1964-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为继电保护、电力系统运行与控制。

(上接第 60 页 continued from page 60)

[13] 牟龙华, 孟庆海, 刘建华. 可通信式智能选择性漏电保护系统的研究[J]. 电工技术学报, 2003, 18 (1): 82-86.
MU Long-hua, MENG Qing-hai, LIU Jian-hua. Research on communication-capable ground-fault protection system with intelligence and selectivity[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18 (1): 82-86.

[14] 邹有明, 张根现, 刘士栋, 等. 工矿企业漏电保护技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004: 102-110.

[15] Arindam Ghosh, Avinash Joshi. The use of instantaneous symmetrical components for balancing a delta connected load and power factor correction[J]. Electric Power Systems Research, 2000 (54): 67-74.

[16] Iravani M R, Karimi-Ghartemani M. Online estimation of steady state and instantaneous symmetrical components[J]. IEE Proc on Gener, Transm, and Distrib, 2003, 150(5): 616-622.

[17] 胡广书. 数字信号处理-理论、算法与实现 [M]. 二版. 北京: 清华大学出版社, 2003: 36-46.

收稿日期: 2010-02-04; 修回日期: 2010-04-03

作者简介:

赵建文 (1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电网安全与保护; E-mail: xkdzhaojw@163.com

侯媛彬 (1953-), 女, 博士, 教授, 博师生导师, 研究方向为智能控制、安全技术及其工程。