

基于 FPGA 的数字化变电站电压并列与切换设计

黄 灿, 郑建勇, 梅 军

(东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 提出了一种在合并单元内通过逻辑判别机制控制母线电压并列与切换的方法。电压并列与切换是单母分段或双母线接线变电站中保证供电可靠性的重要手段, 基于常规变电站中电压并列与切换的模拟逻辑电路, 给出了一种在数字化变电站中通过判别相关刀闸的位置状态控制电压并列与切换, 并在故障时发送告警信息的方案。该方案根除了常规变电站中硬件并列或切换装置由于继电器辅助接点接触不良而带来的一系列问题, 避免了利用微机保护完成软并列或切换时对保护硬件资源的占用, 实现了系统功能构架的模块化。设计了一种基于 FPGA 与 ARM 的合并单元样机, 在 FPGA 中通过预先设定的逻辑判别机制实现二次电压的并列与切换, 仿真结果验证了方案的正确性和可行性。

关键词: 数字化变电站; 电压并列; 电压切换; 合并单元; 现场可编程门阵列

FPGA-based logical control strategy of voltage parallel and voltage switch in digital substation

HUANG Can, ZHENG Jian-yong, MEI Jun

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: This paper presents the design of logical control strategy of voltage parallel and voltage switch in merging unit. Voltage parallel and switch are effective operations to ensure the reliability of power supply in single busbar or double busbar connected substation. Based on the analog logic circuits for voltage parallel and switch in conventional substation, a corresponding method for digital substation is proposed, which controls voltage parallel or switch by discriminating logical relations among switches and sends alarm information when fault occurs. The method eradicates a series of problems caused by the poor connections of relay's auxiliary contacts, leaves more resource space for microcomputer protection, and contributes to the functional partitioning of system. The logical control strategy is implemented in a model merging unit based on FPGA, and its validity and feasibility are verified by simulated results.

Key words: digital substation; voltage parallel; voltage switch; merging unit; FPGA

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0196-04

0 引言

近年来, 数字化变电站技术在我国得到广泛应用, 其建立在IEC 61850通信规范基础上, 由智能化一次设备、网络化二次设备分层构建, 可以实现变电站内智能电气设备间的信息共享和互操作^[1-2], 能够替代常规变电站并完成相应功能, 包括母线二次电压的并列与切换。

1 电压并列与切换的概念

单母分段和双母线接线方式广泛用于大中型变电站中, 具有供电可靠、扩建方便、运行方式灵活等优点, 两段母线即可并列运行也可分列运行, 出线可在不同母线间切换, 保证重要负荷的不间断供电^[3]。以双母线为例, 其一次系统接线如图1所示。

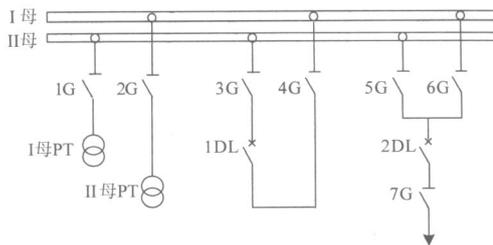


图1 双母线接线方式示意图

Fig.1 Schematic diagram of double busbar system

两段母线并列运行时, 母联断路器及两侧隔离刀闸闭合, 假设 I 母 PT 因故障或检修而退出运行, 在不需倒母线的情况下, 需将 II 母 PT 电压并列至 I 母 PT 电压, 供 I 母的线路保护、测控装置使用, 防止二次设备因失去电压而误动、拒动, 实现 PT

互为备用, 即 PT 电压并列。

两段母线分列运行时, 母联断路器断开, 当由于试验等原因而进行倒母线操作时, 一次元件所在母线发生变换, 保护测控装置的二次电压也应进行相应的切换, 以保证二次电压与一次元件所连接的母线电压对应, 即电压切换。

2 常规变电站中电压并列与切换

常规变电站中一般通过开关设备(母联断路器或隔离刀闸)的辅助触点与中间继电器(YQJ、1YQJ、2YQJ)构成的硬件触点回路实现二次电压的并列与切换操作^[4-8], 原理如图2、图3所示。PT二次电压需要并列时, 先操作一次设备, 并列把手打到合位, 母联断路器、隔离刀闸常开辅助触点串联后启动YQJ, 利用YQJ导通PT并列回路实现电压并列; 线路电压进行倒母线切换时, 线路隔离刀闸辅助触点并联后启动1YQJ/2YQJ, 通过1YQJ/2YQJ的触点实现电压切换。

常规电压并列/切换装置的缺陷主要在于开关设备辅助触点或中间继电器触点的接触不良易造成电压并列/切换失败、二次回路失压、保护误动和PT二次电压反充电等事故^[9]。

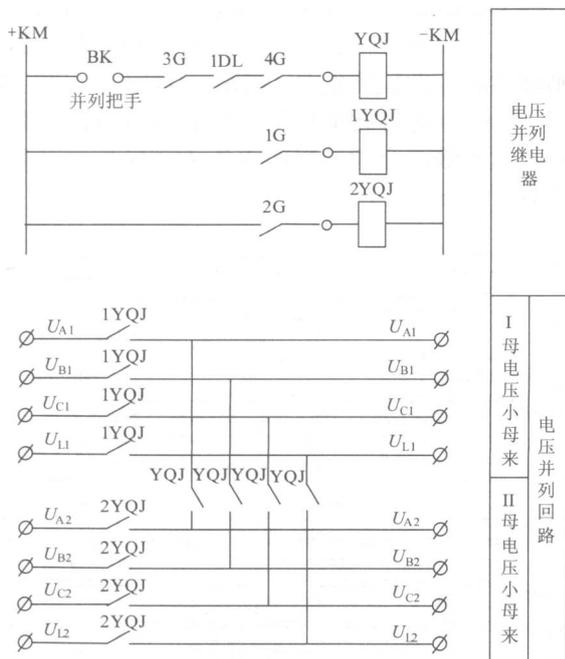


图2 电压并列回路

Fig.2 Voltage parallel circuit

3 数字化变电站中电压并列与切换

数字变电站中由合并单元(MU)通过软件逻

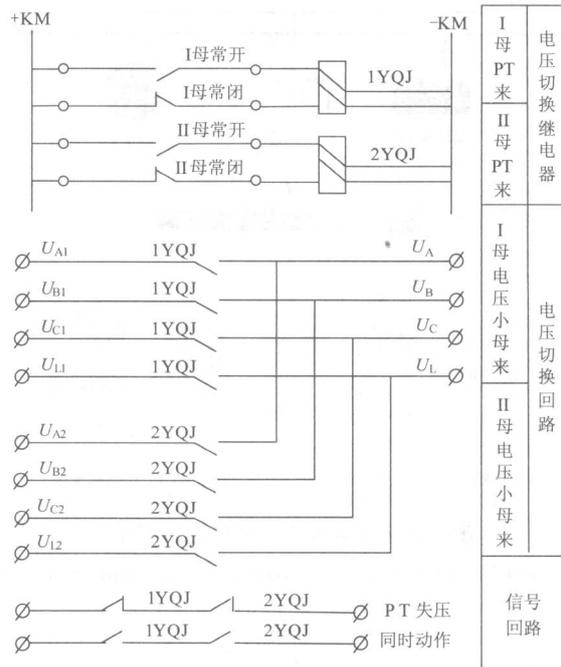


图3 电压切换回路

Fig.3 Voltage switch circuit

辑判别机制控制母线电压并列和间隔电压切换。数字化变电站按照IEC 61850标准定义的“三层两网”构建: 站控层与间隔层间通过100 Mbit/s以太网共享信息, 间隔层与过程层间目前广泛采用基于IEC 61850-9-1标准的单向多路点对点串行通信, 由母线电压合并单元接收母线EVT的电压量和智能单元的开关量(包括各种断路器、刀闸的位置信息等), 根据预先设定的判别逻辑实现电压并列, 并列后的母线电压送至间隔合并单元并在其中完成电压切换^[10], 从而选择合适的母线电压送至间隔层的保护测控、计量、故障录波等设备。IEC 61850-9-1标准中数据传输简单可靠, 但在工程应用中存在一些问题^[11], 国际电工委员会近期将其正式撤消, 推荐使用基于过程总线的IEC 61850-9-2标准实现网络通信。

IEC 61850-9-2标准下所有过程层采集信息通过交换机共享至间隔层设备, 减少了光缆的敷设, 跨间隔保护实现明了, 网络构架更加清晰, 如图4所示。智能单元将采集到的开关设备位置信息以GOOSE报文发送至过程总线, 母线电压合并单元和间隔合并单元在分别接收EVT、ECT采样值的同时, 一方面通过过程总线获取相关开关设备位置的GOOSE报文, 一方面将并列/切换后的电压采样值发送至过程总线, 并在故障时发送告警信息, 电压并列与切换的主要逻辑判别机制参见图5与表1。

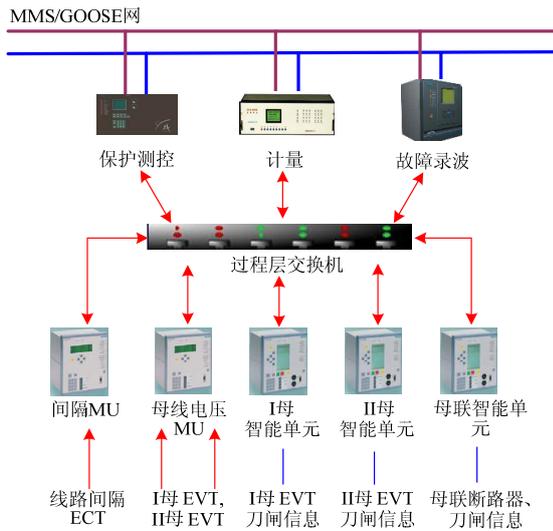


图4 电压并列与切换的网络原理图

Fig.4 Network structure of voltage parallel and switch

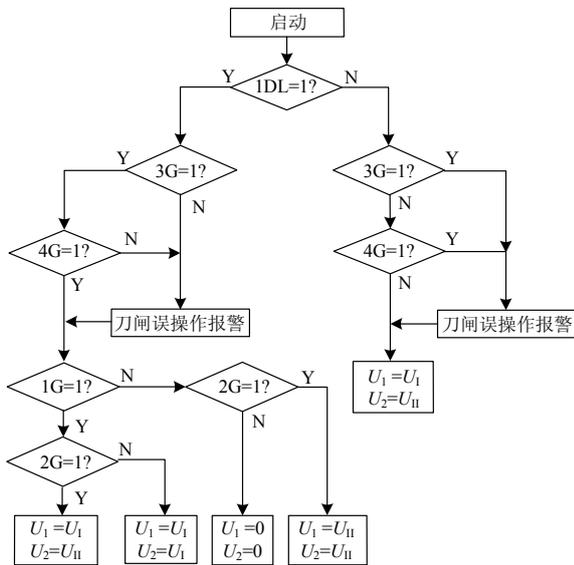


图5 电压并列的软件流程图

Fig.5 Flow chart of control logic for voltage parallel

表1 合并单元中电压切换的派别逻辑

Tab.1 Logical control strategy for voltage switch in MU

合并单元输入量		间隔合并单元输出量
5G	6G	逻辑判断
0	0	5G、6G 同时断开，输出失压报警
1	0	II 母电压切换至 I 母，输出 I 母电压
0	1	I 母电压切换至 II 母，输出 II 母电压
1	1	5G、6G 同时闭合输出同动报警及 I 母、II 母电压

注：0表示断路器断开，1表示断路器闭合。

与微机保护的软并列/切换^[12]不同，合并单元作为过程层设备只负责信息量的采集与传输，故障处

理由间隔层保护设备完成。当1DL断开时，I母、II母分列运行，3G、4G也应断开，否则输出刀闸误操作报警信号，此时不存在并列，合并单元直接输出两组EVT电压 (U_I/U_{II})；当1DL闭合时，I母、II母并列运行，3G、4G也应闭合，否则输出刀闸误操作报警，合并单元通过 1G、2G的位置信息判别I母EVT/II母EVT的工作情况（运行/退出），输出并列后的相应电压；当5G和6G同时断开时，I母、II母电压均不输出，合并单元发出失压报警信号，同时距离保护应采取闭锁措施；当5G和6G同时闭合时，合并单元发出同时动作报警信号（5G、6G同时闭合一般由于人为误操作，同动报警信号用于提醒运行人员操作失误）并输出I母、II母电压，保护、测控装置照常接收电压。

4 实验结果

基于以上分析，设计了一种基于 FPGA 与 ARM 的合并单元，辅助处理器 FPGA 负责数据的接收与处理，主处理器 ARM 负责数据的发送以及对 FPGA 的配置。FPGA 具有 I/O 资源丰富、系统集成度高、可编程、硬件执行速度快等特点，适合进行逻辑处理。在 Quartus II 环境下完成电压并列与切换的时序仿真，如图 6 所示。合并单元可以根据断路器及刀闸辅助触点的位置信息（1DL，1G，2G，3G，4G 或 5G，6G）进行智能识别，控制母线电压并列或切换，从而输出合理的母线电压 U (U_1 ， U_2) 或报警信息 (larm)。

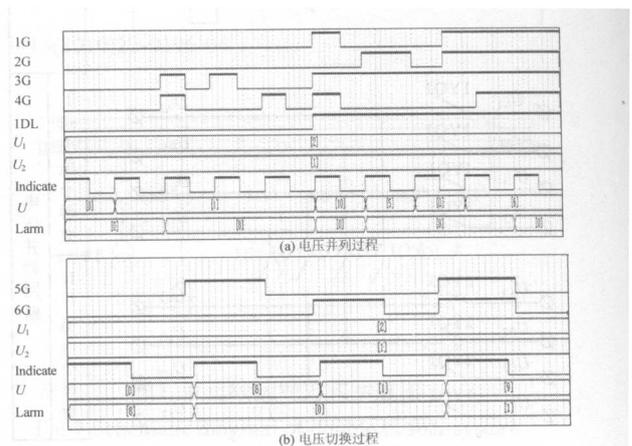


图6 电压并列与切换的仿真波形

Fig.6 Simulation results of voltage parallel and switch

5 结语

数字化变电站在合并单元中完成二次电压并列

与切换, 可以省去传统的电压并列/切换装置, 从根本上解决了硬件电路固有的缺陷, 较微机保护的软并列/切换, 减少了微机保护硬件资源的占用, 缩短了电压并列/切换时间, 同时也可实现电压回路状态和断路器及隔离刀闸辅助触点位置的监测。

智能电网对变电站提出一次设备智能化、信息标准化、系统集成化、控制自动化、保护协同化、决策在线化等要求, 以达到提高运行可靠性、优化资产利用率、减少人为操作失误的目的。数字化变电站是智能变电站实现的基础, 利用合并单元的逻辑判别机制实现二次电压的并列与切换充分体现了设备间的信息共享与互操作, 更加适应今后智能变电站的发展需要。

参考文献

- [1] 王璐, 王步华, 宋丽君, 等. 基于 IEC61850 的数字化变电站的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (24): 90-92.
WANG Lu, WANG Bu-hua, SONG Li-jun, et al. Research and application of digital substations based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (24): 90-92.
- [2] 陈天香, 王若醒, 魏勇. 数字化变电站新技术的发展现状及其对行业影响浅探[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (7): 86-90.
CHEN Tian-xiang, WANG Ruo-xing, WEI Yong. New technology development status of digital substation and its effect to industry[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (7): 86-90.
- [3] 熊信银, 范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
XIONG Xin-yin, FAN Xi-pu. Electrical part of power plant[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [4] 宋继承. 220-500 kV 变电所电气接线设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
SONG Ji-cheng. The design of secondary system in 220-500 kV substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [5] 王梅义. 四统一高压线路继电保护装置原理设计[M]. 北京: 水力电力出版社, 1990.
WANG Mei-yi. Reunification of the four high-pressure line relay protection device design principles[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1990.
- [6] 叶东印, 库永恒, 倪有仁, 等. 220 kV 钧州变电站过电压保护误动事故分析及改造方案的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (24): 97-100.
YE Dong-yin, KU Yong-heng, NI You-ren, et al. The overvoltage protection's mistake to move trouble analysis of the 220 kV Junzhou transformer substation and the research of the reformation project[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (24): 97-100.
- [7] 陆浩进, 田辉. 变电站扩建工程中电压互感器并列回路二次接线的改进措施[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (22): 117-119.
LU Hao-jin, TIAN hui. Improvement measures for the secondary wiring of the parallel circuits of voltage transformer in the substation expansion project[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (22): 117-119.
- [8] 宗秀红, 王炼, 王世祥. 电压切换回路的隐患分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (20): 69-74.
ZONG Xiu-hong, WANG Lian, WANG Shi-xiang. Hidden trouble analysis of voltage switch circuit[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (20): 69-74.
- [9] 叶罕罕, 许平, 宗洪良, 等. 数字化变电站的电压互感器配置和电压切换[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (24): 93-95.
YE Han-han, XU Ping, ZONG Hong-liang, et al. The configuration and switchover of voltage transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (24): 93-95.
- [10] 李九虎, 郑玉平, 古世东, 等. 电子式互感器在数字化变电站的应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (7): 94-98.
LI Jiu-hu, ZHENG Yu-ping, GU Shi-dong, et al. Application of electric instrument transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (7): 94-98.
- [11] 郑新才, 施鲁宁, 杨光, 等. IEC61850 标准下采样值传输规范 9-1、9-2 的对比和分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (18): 47-50.
ZHENG Xin-cai, SHI Lu-ning, YANG Guang, et al. Comparison and analysis of sampled value transmission specification 9-1 and 9-2 in IEC61850 standard[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (18): 47-50.
- [12] 温富国, 雷振锋, 李旭, 等. 关于双母线电压切换功能微机化的设计思路探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (18): 105-108.
WEN Fu-guo, LEI Zhen-feng, LI Xu, et al. Discussion on the design of micro-voltage switching function in the double busbar[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (18): 105-108.

收稿日期: 2009-11-18

作者简介:

黄 灿 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为变电站自动化与嵌入式系统设计; E-mail: wongcan@sina.com

郑建勇 (1966-), 男, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为电力电子与电力传动;

梅 军 (1971-), 男, 讲师, 主要研究方向为电力电子与电力传动。