

基于复合和分层控制的电源过压保护设计

夏德印^{1,2}, 张勃¹, 张赛¹

(1. 许昌电气职业学院, 河南 许昌 461000; 2. 许继电源有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 电力通信电源系统通常采用模块输出过压保护来保证系统过压的可靠性, 但是模块输出电压失控的情况下系统过压保护受到限制。该文提出一种基于复合保护控制和分层保护控制的方法以完善系统过压保护的可靠性。分析了系统和模块过压保护的特性及不足之处, 提出了基于滞环比较保护和综合逻辑保护的复合保护控制, 在正常和采样开路异常状态下内皆可实现输出电压的过压保护; 直流监控装置综合通信电源模块状态信息和直流母线电压信息, 基于信息逻辑判断保护控制以保障故障模块的切除; 给出了综合逻辑保护的约束条件以及信息逻辑判断保护控制策略的实现方法, 通过分层保护控制优化系统保护控制策略。实验验证了分析的正确性以及所提保护控制策略的有效性。

关键词: 复合保护; 分层保护; 过压保护; 电力通信电源系统; 采样点开路; 综合逻辑保护

中图分类号: TP273; TP29

文章编号: 1000-0682(2026)01-0118-05

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2026.01.022

Design of power overvoltage protection based on composite and hierarchical control

XIA Deyin^{1,2}, ZHANG Bo¹, ZHANG Sai¹

(1. School of Xuchang Electrical Vocational College, Henan Xuchang 461000, China;

2. XJ Power CO., LTD., XJ Group CO., LTD., Henan Xuchang 461000, China)

Abstract: The power communication power supply system usually adopts the module output over-voltage protection to ensure the reliability of the system over-voltage, but the system over-voltage protection is limited when the module output voltage is out of control. A method based on hybrid protection control and hierarchical protection control is proposed to improve the reliability of system over-voltage protection. The characteristics and shortcomings of system and module over-voltage protection are analyzed. A hybrid protection control based on hysteresis comparison protection and comprehensive logic protection is proposed, which can realize over-voltage protection of output voltage under normal and open sampling abnormal conditions. The DC monitoring devices integrated status information of communication power supply and DC bus voltage information, based on information logic protection control to ensure the removal of fault module. The constraint conditions of comprehensive logic protection and the realization method of information logic judgment protection control strategy are given, and the protection control strategy of the system is optimized by hierarchical protection control. The experimental results verify the correctness of the analysis and the effectiveness of the proposed methods.

Keywords: hybrid protection; hierarchical protection; over-voltage protection; power communication power supply system; open sampling; comprehensive logic protection

收稿日期: 2025-11-27

基金项目: 2025年河南省教师教育课程改革研究重点项目“河南省高职电气类教师数字化素养技能提升路径与实践”(2025-JSJYZD-080); 2024年高等教育教学改革研究与实践项目许昌电气职业学院重点项目“数智化背景下‘线上+线下’混合式教学模式研究与实践—电力类专业为例”(2024YJJGLX001)

第一作者: 夏德印(1986—), 男, 河南许昌人, 硕士, 副教授, 高级工程师, 河南省高级双师型教师, 中国电工技术学会会员, 国家级科普基地(施耐德智慧电力)主任, 电力工程技术中心主任, 研究方向为电力电源及自动化控制技术。E-mail: xiadeyindy@126.com

0 引言

变电站中通信设备由于传输线路的影响与继电保护双重配置的要求而承担线路保护信息的责任,由于变电站通信电源系统在通信网络稳定运行中起着重要作用,可靠的电源设备成为通信网络的电动力来源,电源系统只有源源不断提供稳定优质电能,电力系统及通信网络才会处于可靠运行状态^[1-2]。因此需要既可靠又安全的通信电源模块,在规范设计过程中通信电源模块需在全范围运行状况下保证通信设备正常运行。

通信电源模块具有输入过欠电压保护、输出过欠电压保护、输出过载或短路保护等功能^[3-4],保证通信设备在任何背景下都能正常工作。文献[5]中讨论了通信电源运行中存在的故障和阐述了电力通信电源故障处理方法,对系统存在直流母线过压故障却没有进行处理。文献[6-7]分析了功率模块中开关功率器件的过压保护策略,主要采用设置保护定值和触发临时旁路的措施。然而对于器件失效引起电力通信电源系统直流母线电压出现过压的研究较少,同时直流母线电压的安全稳定性主要通过通信电源模块的稳压及过压保护来保证,若出现直流母线过电压则会使通信设备中的器件失灵,会导致通信设备无法正常工作。同时,电力通信电源系统要求可以自动以及手动调节电压,保证通信设备的工作电压在合理范围值以内。

在极端异常状态下,模块输出电压采样点开路则传统的滞环比较保护^[8-10]关驱动就会失效,同时反馈控制信号失效则通信电源模块进入开环运行状态,进而引起输出电压不可靠而出现电压升高,导致电力通信电源系统的直流母线电压升高并超除通信设备的工作电压上限。针对上述问题,本文将综合逻辑保护引入通信电源模块,解决电压采样点开路的问题,结合正常运行状态下的滞环比较保护,得到了复合保护控制策略,结合系统信息进行逻辑判断切除故障模块,得到分层保护控制策略,最后通过实验对比验证了复合保护控制和分层保护控制的可行性,能够较好的保护通信设备正常运行。

1 通信电源原理及常规保护方法

电力通信电源系统采用2组DC/DC电源设计,输入共用220V直流系统蓄电池组,配置通信电源屏、通信馈电屏和保护馈电屏,设置2段通信馈电母线和2段保护馈电母线为通信设备提供电源,并且之间设置手动联络开关。单组通信电源屏由几个并联通信电源模块组成,且配置输出电压表和输出电流表。采用2组电源使其互为备用的方案,能够解决一组电源出现故障导致整个通信设备断电的危险性,此时另一组电源仍然能够保证通信设备供电电源的不间断,使电力通信设备正常工作。

直流监控装置监测电力通信电源系统整个回路中的信息,同时能够根据需求调节其直流母线电压。直流监控装置通过RS485接口实时查询母线表计和通信电源模块状态数据,然后通过RS485给一体化监控装置,接着转换为IEC 61850协议上送到综合自动化后台,可以将通信电源模块的状态信息通知后台。

通信电源模块由功率变换主电路拓扑结构、控制及驱动、调理及保护和微处理器等功能单元组成,如图1所示。

其中模拟采样量包括输入电压、输出电压、输出电流、原边电流、模块温度等,输出电压和输出电流经控制环路形成误差信号,通过调理及驱动控制主电路拓扑结构中功率开关管的工作,使模块能够在稳流状态或者稳压状态^[11]。输入电压、输出电压和模块温度进行调理电路和滞环比较电路设计,当超过规定的设计范围则输出高电平并进入调制及驱动单元然后关闭PWM(Pulse Width Modulation)驱动,实现通信电源模块自身的保护。

当通信电源模块输出电压超过允许范围上限值时,具有输出过压关机保护功能,故障排除后,应能人工恢复工作^[4]。针对模块受到干扰或开关机状态时出现一次输出过压而导致人工恢复的情况,采用滞环比较保护关驱动及微处理故障计数方法,提出三次输出过压锁死的保护策略,解决了输出过压误动引起的人工恢复模块的操作。

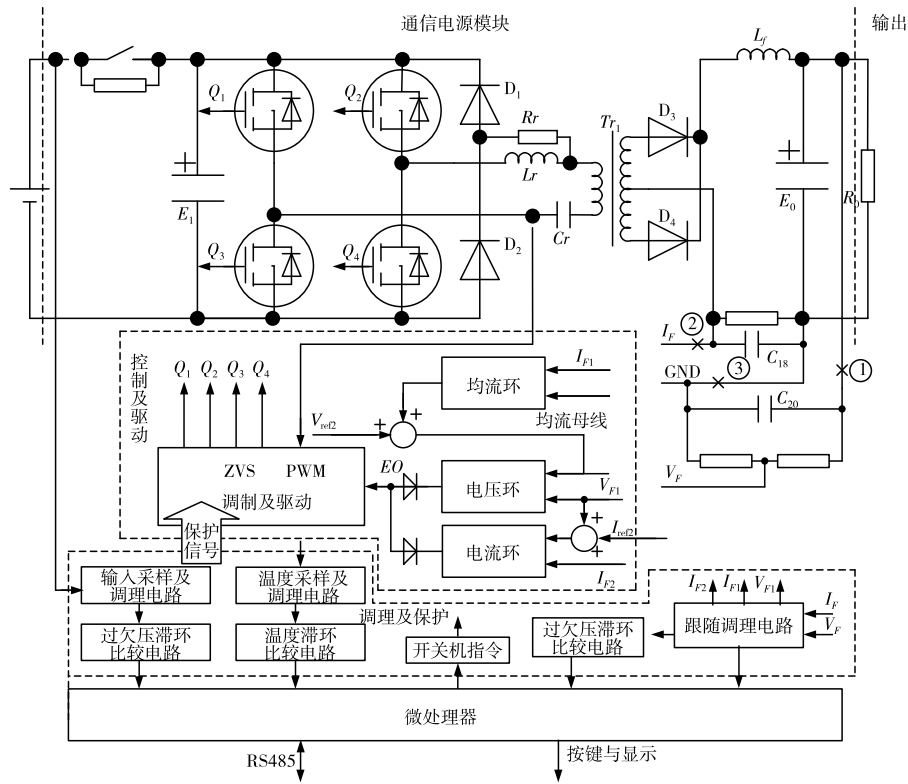


图 1 通信电源模块原理示意图

2 系统输出过压保护控制优化策略

当模块输出电压采样点开路时,根据通信电源模块功率变换主电路拓扑结构的工作原理可知,电压反馈信号 V_F 为零,电压给定 V_{ref2} 保持不变,闭环控制的电压环 PI 调节器要保证电压给定与电压反馈相等,则会调节占空比增大输出电压,然而电压反馈信号始终为零,因此占空比调节到设计的最大值,导致输出电压升高;此外由于输入电压范围可调,输出电压范围可调,则变压器的变比及占空比的调节共同保证模块全电压范围内正常工作,且保证输入最低电压和输出最高电压的情况能够运行,因此输出电压将超出输出电压范围的上限值。同时,电压反馈为零小于滞环比较过压保护的比较电压,则滞环比较保护输出为低电平,不能关闭 PWM 驱动进而实现输出过压保护,即此极端异常状态下输出过压保护电路失效。此外,由于通信电源模块并联运行,在系统负荷较重的情况下,一个模块的开路并不会引起母线电压的较高波动,因单模块受变压器自身承载能力和占空比丢失的影响,其带载能力受限,然而系统中的并联模块通常处于较小电流的均流工作状态,一个模块可能满足较轻负荷的要求,因此过高的母线电压会影响电力通信设备的正常运行。

2.1 监控保障切除故障模块保护控制

直流监控装置能够查询到故障模块上送的输出欠压告警信息,同时直流母线电压表上送的电压值不等于直流监控下发的模块电压给定电压值,以下发单一的关机命令使故障模块锁死关驱动,保障故障模块切除通信电源系统。图 2 为监控保障切除故障模块的保护策略图。

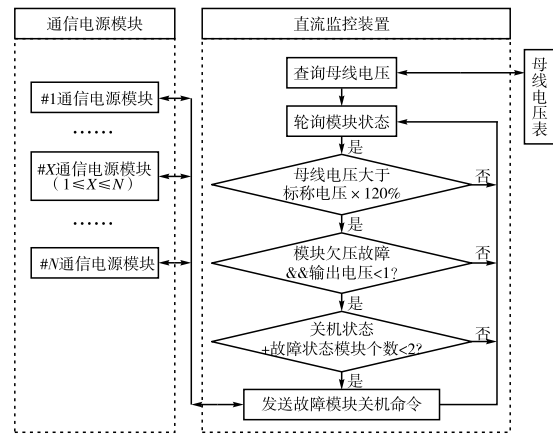


图 2 监控保障切除故障模块的保护策略

直流监控装置的不同串口按毫秒间隔分别查询直流母线电压表采样母线电压和 N 个通信电源模块的状态数据。首先查询判断母线电压表上送的母线电压是否大于标称电压的 1.2 倍,接着查询到某个通信电源模块上送输出欠压故障且输出电压小于

1 V 时,接着查询判断此时母线电压表上送的母线电压是否大于标称电压的 1.2 倍。以单次查询判断时间为依据,则直流监控装置每次获取母线电压采样数据间隔 = 所在串口接入设备数目 × 毫秒间隔,为保障以最快速度准确切除故障模块,不做防抖延迟处理。

当母线电压大于标称电压的 1.2 倍时,对于 $N + 2$ 冗余配置的通信电源系统,为保障正常状态下满足系统额定输出的要求,判断通信电源模块的故障模块个数小于 2 的条件下,再发送命令进行软关机,保障故障通信电源模块的切除,否则不进行任何操作。

综上所述,通过直流监控装置切除故障模块实现系统自愈的保护,动作时间最短为秒级,保护动作时间较长,可以作为后备故障隔离的措施。

2.2 模块自动切除故障保护控制

在极端异常条件下,输出电压采样开路及采样通道元器件失效,导致电压闭环控制变为开环控制,则输出采样为零,滞环比较保护控制失效,但模块处于欠压告警状态。然后,识别欠压告警状态,规避模块启动、正常告警和短路故障引起的欠压告警。根据综合逻辑保护控制方法,通过微处理器的软件发送软关机命令,将故障电源模块切除,故障模块允许人工修复后重新投入。综合逻辑保护控制策略流程图如图 3 所示。

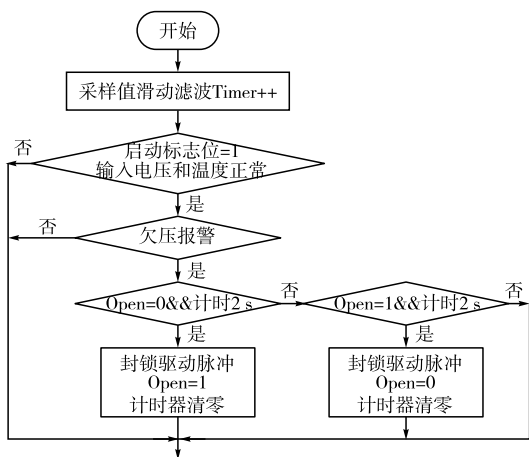


图 3 综合逻辑保护控制策略

如果是电压采样开路故障导致了欠压报警,采用循环开启/关闭驱动的方式可确认故障是否解除;由于模拟控制 IC 芯片的软启动特性,不会有开环运行过电压风险,则模块处于打嗝式输出模式。如果是因为输出短路故障导致的欠压报警,则在短路故障消失后,模块重新恢复正常输出。由于采样通道

本身 RC 滤波参数时间常数的存在,欠压故障信号最快检测时间为毫秒级,则故障模块隔离的动作时间为毫秒级。

综上所述,在滞环比较保护的基础上,通过完善模块欠压故障保护功能,可识别输出电压采样开路故障,闭锁驱动脉冲,实现快速切除故障模块的效果。

3 实验

基于监控保障切除故障模块的保护控制策略,搭建了电力通信电源系统的实验环境平台,监控装置切除故障模块前后的系统直流母线电压波形如图 4 所示。

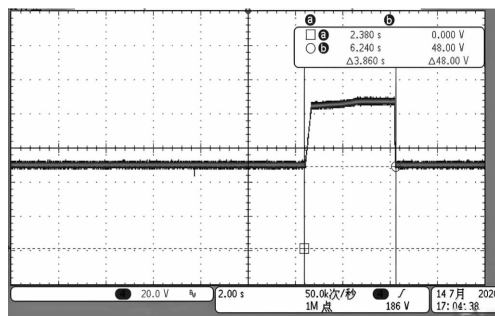


图 4 基于监控切除故障模块的母线电压波形

从图 4 中可以看出,当用直流断路器断开一台模块的采样通道后,系统直流母线电压超过过压保护设定值且经过约 4 s,监控装置下发故障模块的关机命令,系统直流母线电压恢复到正常电压,证明了监控保障切除故障模块保护控制优化方案的可行性。

基于模块自动切除故障的保护控制策略,搭建电力通信电源系统实验环境平台,输入电压为 230 V,系统直流母线电压为 48 V,直流电阻负载为 8.3Ω ,系统直流母线电压波形如图 5 所示。

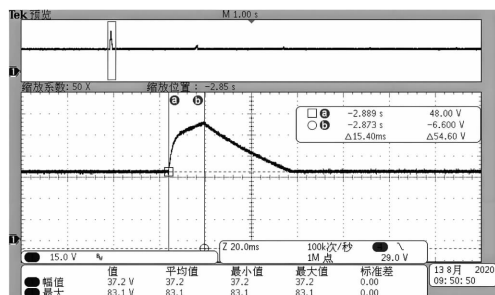


图 5 基于模块自动切除故障的母线放大波形

从图中可以看出,当用直流断路器断开一台模块的采样通道后,故障模块进入打嗝保护,最大尖峰电压为 83.1 V,系统直流母线电压超过过压保护设

定值且经过约 30 ms,随后尖峰电压逐渐降低,系统直流母线电压最后稳定在 48 V 左右,证明了模块自动切除故障保护控制优化方案的可行性。

4 结论

该文提出了一种复合保护控制和分级保护控制相结合的采样开路保护控制方法,能够实现故障模块的系统隔离。复合保护控制策略混合了滞环比较保护控制与综合逻辑保护控制,异常运行时采用综合逻辑保护控制,可以有效改善输出采样点开路的输出过压保护;正常运行时采用滞环比较保护控制,两种保护控制方式相结合并随着运行状态的变化无缝切换,使得模块在全运行状态范围内皆能够保持输出电压的保护功能。同时,结合直流监控装置的信息综合逻辑判断方法,进行系统的分层保护控制,保障了故障模块的切除,优化了系统保护控制策略。最后,搭建了异常状态下的实验平台,通过模块实验及系统试验验证了所述方法的有效性与分析的正确性。后续,可以进行采样通道多路性、保护方式多样性和保护级别层次性的方法研究,进一步完善模块输出电压控制和保护方法,进而提高模块的安全可靠性。

参考文献:

[1] 简家礼,王英. 基于红外成像及 SVM 的过压保护设备故障自动化识别方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学

报,2025, 23(08):876-882.

[2] 赵川粤,冯全源,刘恒毓. 低压系统中的过压欠压保护电路设计[J]. 电子测量技术,2022,45(07):88-92.

[3] 马铭遥,熊鹏博,孟雪松,等. 基于光伏并网逆变器直流过压故障的暂态分析及故障成因定位[J]. 高电压技术,2021, 47(01): 187-197.

[4] 刘钧迪,王飞鸣,韦德福,等. 高压开断试验的控制继电器过压击穿原因分析及保护措施[J]. 东北电力技术,2024, 45(08):40-43.

[5] 高予军,陶娜,文莉雅,等. 电力通信网中通信电源故障及维护处理技术分析[J]. 通信电源技术,2021, 38(4):218-220.

[6] 周射,刘文敏. 运放输入过压保护设计在工程中的应用[J]. 电子技术,2024,53(06):13-15.

[7] 曹洪彬,汪澜,刘红波,等. 一种过流与过压保护电路的设计方法[J]. 环境技术,2024,42(03):42-48.

[8] 袁中琛,么军,王洋,等. 适用于多 T 接新能源场站的零序过压解列保护[J]. 电力系统及其自动化学报,2024,36(02): 36-43.

[9] 居鹏,高格,王林森,等. 基于级联 H 桥逆变器的高精度电源综合保护系统设计[J]. 电源学报,2019, 17(6):70-76.

[10] 曹神抚,何叶. 高压大功率 DC/DC 的快速过压保护设计[J]. 电力电子技术,2024,58(04):35-38.

[11] 王华昕,黄兆,王杰,等. 基于改进过压限制器和 ACDTS 的混联半波长系统故障保护策略[J]. 电测与仪表,2024,61(05): 44-51.

(上接第 113 页)

[11] 齐贺闯,叶筱,高延峰,等. 基于 GA-BP 神经网络和改进粒子群算法的碰撞射流和冷却顶板复合空调系统优化[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2024, 50(1):110-117.

[12] 王杰,焦东翔,王龙宇,等. 基于模糊理论的中央空调冷水机组节能控制方法[J]. 电子设计工程, 2024, 32(16):152-156.

[13] 王海霞,熊亚飞,周义德,等. 纺织空调低能耗送回风

系统节能分析[J]. 上海纺织科技, 2023, 51(6): 60-64.

[14] 王瑞,秦建敏. 多传感特征融合的空调送风温度模糊 PID 控制方法[J]. 传感技术学报, 2023, 36(6): 943-948.

[15] 张艺涵,李瑞杰,方家琨,等. 考虑输变电设备温度约束的配电网空调负荷实时聚合调控[J]. 电力自动化设备, 2024, 44(12):76-84.

欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！

国内邮发代号:52-49 国际发行代号:BM529 定价:18.00 元/期 108.00 元/年
地址:西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编:710075 电话:029-81871277
网址:http://yb-zdh.shaangu-group.com 电子邮箱:gyybbjb@126.com