

换流阀基电子设备丢脉冲保护与控制的研究

周亮¹, 汤广福¹, 郝长城¹, 杨明武²

(1. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192;

2. 合肥工业大学 电子科学与应用物理学院, 安徽省 合肥市 230009)

Research on Control and Protection of Missing Firing Pulses for Valve Basic Electronics

ZHOU Liang¹, TANG Guangfu¹, HAO Changcheng¹, YANG Mingwu²

(1. China Electronic Power Research Institution, Haidian District, Beijing 100192, China;

2. School of Electronic Science & Applied Physics, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui Province, China)

ABSTRACT: A control strategy to avoid the malfunction of converter control and protection (CCP) system due to missing firing pulses of valve basic electronics (VBE) is proposed. The core idea of the proposed control strategy consists in the design of algorithm, namely once the pulse missing in the trigger signal, which is transmitted by CCP system via Ethernet links to the gate unit (GU) of the valve, is detected, the VBE does not do anything; based on operational experiences and mathematical statistics, when the missing of four consecutive pulses with duration of 80 ms is detected, according to the proposed control strategy the VBE sends the fail signal to CCP system to ask for the switching. The VBE system adopting the proposed control strategy is applied in the coordinate control experiments of real-time digital simulator, and experiment results show that the proposed control strategy can effectively eliminate the danger caused by existing protection methods and reduce the malfunction probability of CCP system.

KEY WORDS: thyristor valve; valve basic electronics (VBE); converter control and protection (CCP); firing system; protection of missing firing pulses

摘要: 提出了一种避免因换流阀基电子设备触发脉冲丢失而造成控制保护系统(control and protection, CCP)误动作的控制策略。该策略的核心是同时算法设计, 在控制保护系统经过以太网向门级单元(gate unit, GU)发出的触发信号出现脉冲丢失的情况下, VBE 检测到回报信号后不做任何处理, 根据运行经验和数理统计得出, 当检测到连续丢4个周波(80 ms)的脉冲时才向控制保护系统发送请求切换系统信号。基于这种控制策略设计的阀基电子系统已经在实时数字仿真器联调试验中应用, 试验结果表明, 这种控制策略有效消除了现有保护方法产生的危险现象, 避免了系统误动作的概率。

关键词: 换流阀; 阀基本电子设备; 控制保护系统; 触发系统; 丢脉冲保护

0 引言

随着电力电子器件的发展与光电技术的成熟, 晶闸管触发与在线监测系统也经历了快速的发展, 目前, 光电触发与监测方式已经成为晶闸管阀触发与监测方式的主流。在高压直流输电中, 换流站控制保护系统、换流阀基电子设备及晶闸管级门极单元构成换流阀的整个二次监控系统^[1-2]。晶闸管触发与监测系统在高压直流输电工程中完成下列功能: 发射、分配和编码解析控制保护系统送来的触发指令并发送到晶闸管级; 保护晶闸管元件不受正向过电压和恢复期内过高电压的冲击; 在站内发生短路过流时停止触发; 对晶闸管及其附属设备进行在线监测, 指出备用情况和设备的运行情况, 并在故障时发出报警和跳闸; 测量阀恢复的起始时间; 监视阀避雷器的动作情况等^[3-4]。

阀基电子设备(valve base electronics, VBE)位于地电位, 主要由触发回路与监测回路组成, 是高压晶闸管触发及在线监测系统的核心部分^[1]。VBE外形为标准机柜, 主要负责将控制保护系统(converter control and protection, CCP)的触发命令发送至门极单元(gate unit, GU), 为换流阀提供快速保护和监视换流阀的运行情况。在整个触发及监测系统^[1,5]中, VBE 占据了非常重要的位置, 其性能及可靠性的优劣直接影响晶闸管阀甚至整个电力装备能否可靠、安全、长期的运行^[6-8]。为提高稳定性, VBE 采用双冗余设计, VBE 内部具有2条互为冗余备用的数据处理通道, 任何一条通道出现故障时, 可由控制保护系统切换至另外一条通道。

本文在了解阀基电子设备原理、VBE 与控制保护系统接口关系、VBE 触发系统的基础上, 根据宁

东—山东±660 kV 直流输电工程 VBE 与 CCP 接口测试及实时数字仿真器(real time digital simulator, RTDS)闭环试验结果, 汲取三沪、灵宝背靠背等直流工程系统调试与运行的经验^[9-15], 对 VBE 丢脉冲现象进行研究, 并对出现的问题提出一种创新、实用的改进方法。

1 VBE 接口定义

换流阀的控制设备具有丰富的硬件资源和强大的软件平台, 能够满足直流控制保护系统的要求, 且功能正确、完备、可靠性高。该控制设备主要包括阀基电子设备、门级单元以及冷却系统泄露监视器。其原理图如图 1 所示。在整个监控系统中, VBE 主要负责将控制保护系统发出的的触发字与晶闸管结温保护字通过光纤发送至 GU, 同时负责接收来自 GU 的回报信息, 将其代表的晶闸管状态传递给控制保护系统。控制保护系统根据运行工况选择触发需要导通的换流阀, 并且为换流阀提供快速保护以及监视换流阀运行情况的作用。由于换流站二次系统均为双系统运行, 所以 VBE 内部主控单元也同样为双系统, 与控制保护系统相对应, CCP2 与 CCP1 地位相当, 且可相互切换。

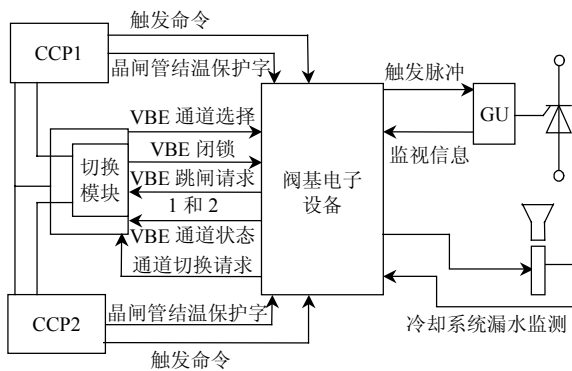


图 1 VBE 接口示意图
Fig. 1 VBE interfacing schematic

VBE 与 GU 之间采用 2 根光纤连接, 一根用于 VBE 向 GU 发送触发数据, 一根用于 GU 向 VBE 回报本晶闸管级的监视信息。所采用的光纤具有光传输能力强、可靠性高的特点。对于 VBE 和 GU 之间传送的光波, 有效传输距离可达 2 km。VBE 和 GU 之间的光纤走廊中添加适量的冗余光纤, 一旦在用光纤出现损坏, 可将损坏的光纤直接更换为冗余光纤, 而不必再打开光纤走廊。

VBE 和 CCP 之间的信号连接有电缆和光纤 2 种方式。每个 VBE 柜组分别与控制保护系统独立连接, 并且采用双通道冗余设计。VBE 输入信号有

通道选择信号、VBE 闭锁信号, 输出信号包含通道切换请求信号、通道跳闸请求信号等。同时, VBE 与 CCP 之间的通信采用 RS232 转以太网的通信方式。

2 换流阀的控制保护

2.1 触发系统

换流阀控制保护系统在正常运行时, 可连续向 VBE 发送触发命令和晶闸管结温保护字, VBE 从触发命令中提取单个阀在当前时刻触发与否的信息, 并将该信息与对应阀的晶闸管结温保护字组合成触发数据发送给该阀的各个门级单元。VBE 位于地电位, 与位于高电位的门级单元之间采用光纤通信, 在电气上完全隔离, 因此换流阀的工作状况不会对 VBE 造成任何影响, 无论一次系统正常或者故障, VBE 都能将触发数据准确地发至相应的门级单元。

CCP 与 VBE 之间传输命令采用串行编码传输。在现有的直流输电工程中, 控制保护系统与阀基电子设备之间传输触发命令一般采用并行编码传输, 即采用对应 12 个换流阀桥臂的 12 根光纤连接控制保护系统与阀基电子设备, 控制保护系统将触发命令并行下发给阀基电子设备。这种编码方式有速度快的优点, 但缺点是所需光纤数目多, 而又由于任意一根光纤故障时控制保护系统及阀基电子设备都不能正常工作, 这就意味着 12 根光纤隐藏 12 个故障点。而串行编码只需一根光纤就可以完成对 12 个桥臂的触发脉冲的传输, 这样就大大降低了由于光纤损坏问题带来的信号干扰或命令错误。

图 2 为正常触发条件下的触发字格式及时序图, 由 16 位组成, 图中, T_d 表示脉冲宽度; T_b 代表位宽; T_{int} 代表相邻触发命令间隔; F_w 表示触发字)。在一帧触发命令中, Bit0 表示起始位; Bit1~Bit12 表示阀 1 至阀 12 的是否导通状态, “1”表示触发, “0”表示不触发; Bit14 表示奇偶校验位。正常情况下, VBE 与 CCP 接口装置会给 VBE 发

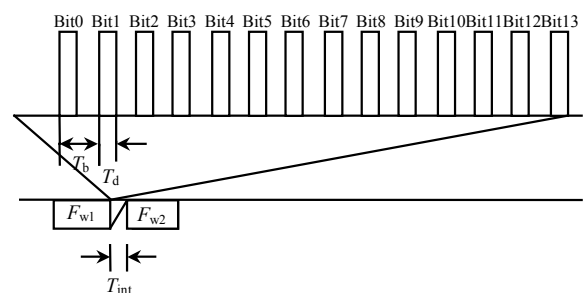


图 2 触发命令时序图
Fig. 2 Firing word format

送 4 个触发脉冲的串行触发字, 如“100000001111000”, 表示阀 9、10、11、12 触发导通。

2.2 换流阀的保护

2.2.1 数据处理通道的双冗余设计

换流阀控制设备为换流阀提供了完备的保护措施, 能够保证换流阀在各种运行工况下, 特别是在电流过零后的恢复期不受损坏。换流阀的保护措施主要包括单个晶闸管级的保护措施、控制设备异常的保护措施和通道故障的保护措施等。本文主要介绍通道故障的保护措施。

VBE 数据处理通道采用双冗余设计, 在 VBE 中, 2 块编/解码单元、光收发单元以及对应的以太网接口协同工作, 形成 2 条互为备用的双冗余数据处理通道, 这与 CCP 系统内部的两条数据处理通道形成一一对应的关系。

通道的“主”、“从”状态由 CCP 下达的开关量信号“通道 1 选择”和“通道 2 选择”来决定, 正常运行的情况下, 通道 1 与通道 2 的状态互斥。在 VBE 中, 2 条通道的编/解码单元板分别接受 CCP 对应通道下发的触发命令和晶闸管结温保护字, 通过特定的编码算法形成触发数据, 经过光收发单元发送给换流阀上的门级单元。VBE 主通道的各个编/解码单元板在接到触发命令和结温数据后, 通过背板无延时的将这些数据复制给从通道的编/解码单元板, 该操作称为电气复制。

2.2.2 通道故障

VBE 的 2 个数据处理通道对自身进行实时、全面的监测, 包括 VBE 与 CCP 的通信、VBE 与门级单元的通信、本通道内各电子元件的状态等。若通道 i 发现本通道故障, 则向 CCP 内的切换单元输出开关量信号“通道 i 切换请求”, 请求 CCP 将本通道降为从通道, 而另一通道升为主通道。若另一通道也出现故障时, 则发送跳闸请求信号。图 1 显示了通道切换与跳闸请求 VBE 与 CCP 之间的接口关系。

3 VBE 丢脉冲的控制保护策略

3.1 现有的保护策略

当 CCP 丢失某一个或者多个阀的触发脉冲时, VBE 与 CCP 的接口装置给 VBE 发送的脉冲只有 3 个或者更少的触发脉冲串行触发字。多个脉冲丢失的处理策略与丢失一个脉冲的处理方法相类似, 本文着重讨论丢失一个触发脉冲的处理策略。

VBE 现有的对丢脉冲现象的处理策略是快速

切换系统。VBE 收到只有 3 个触发脉冲的串行触发字后会立即检测到触发字不正确, 并向 CCP 发送通道切换请求信号, 通道切换将在 6~7 ms 内完成, 若系统正常, 则切换成功, VBE 主通道切换到从通道。若从系统继续丢失脉冲或者其他故障导致也不可用时, 则 VBE 向 CCP 发出跳闸请求信号。

在一个周波(20ms)内, 12 桥臂的每一个晶闸管级的导通角度为 30° , 导通时间为 1.67 ms。根据图 3 所示的 RTDS 丢脉冲试验结果, CCP 丢失阀 12 的一个触发脉冲 20 ms(一个周波)内, 在丢失脉冲 4.8 ms 后, VBE 发送切换请求信号, 6.72 ms 后, 切换请求成功。丢失脉冲总时间为 6.72 ms, 这段时间内理应导通 4 个阀。按照 12 桥臂换流阀导通顺序, 应导通第 12、1、2、3 阀。而图 3 显示了阀 1、2、3 触发脉冲宽度比原来短, 且并没有在确定的角度上接收到上升沿的触发脉冲, 阀 1、2、3、12 没有导通。

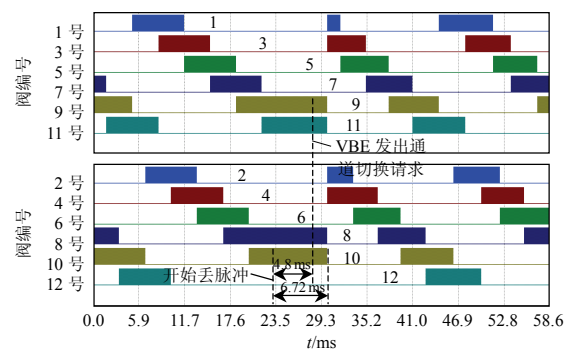


图 3 丢脉冲后触发时序图

Fig. 3 Firing word format after missing a pulse

在系统切换过程中, VBE 不会将丢失脉冲的触发字进行处理后输出, 因此门级单元接受不到新的触发脉冲, 维持原来状态。在阀 12 丢脉冲时间内, 前一周波已接收到触发脉冲的晶闸管阀 8、9、10、11 则继续接收触发脉冲, 图中显示了这几个阀接收到的触发脉冲时间较正常情况下延长了。

正常触发情况下, 宁东—山东 ± 660 kV 直流输电工程直流电压为 ± 660 kV, 直流电流约为 3.03 kA, 图 4 显示了在非正常情况下, 丢脉冲后直流正向峰值电压约为 998 kV、负向峰值电压为-700 kV, 峰值电流约为 6.5 kA, 这种情况远远超出了避雷器的保护水平, 对换流阀构成了危害。

3.2 解决方案

现有的保护策略是在检测到丢失触发脉冲时, VBE 即向 CCP 发送系统切换请求信号, 这就导致了上述问题的出现。若在 VBE 检测到丢失触发脉

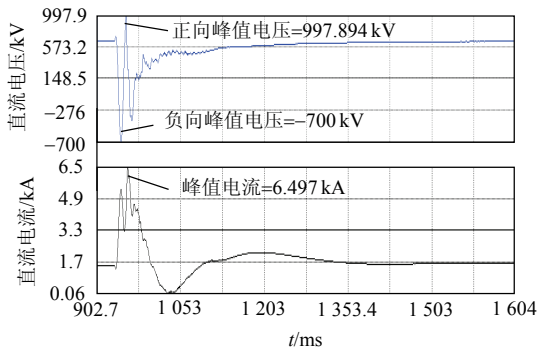


图 4 系统暂态录波图(带 VBE 丢 1 个脉冲)
Fig. 4 The waveform of transient (with VBE missing a pulse)

冲时仍将按接收到的触发字控制换流阀，而不发送系统切换请求信号，此时 VBE 不做任何处理。图 5 为 VBE 在丢脉冲后处理方法的流程图。在直流控制保护系统发出的触发字中出现连续丢失单个阀的触发脉冲时，若该现象持续时间为小于 80 ms (4 个周波)，则 VBE 继续接收阀的触发字以控制换流阀；若持续时间达到 80 ms，则 VBE 向 CCP 发出切换系统请求信号。

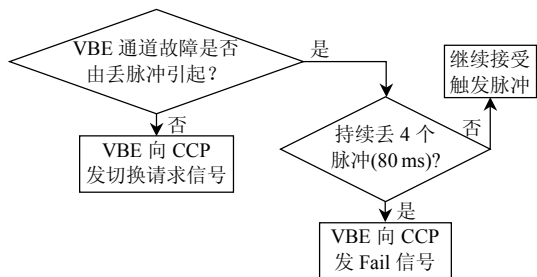


图 5 关于丢脉冲处理流程图
Fig. 5 The flow chart of sloving the missing pulse

修改保护方案后，根据如图 6 所示的 RTDS 丢脉冲试验结果，CCP 丢失阀 12 的一个触发脉冲后，VBE 不向 CCP 发送切换请求信号，VBE 继续接收来自于 CCP 的触发脉冲，其他阀的触发脉冲则正常接收，在下一周波内所有阀均可以正常触发导通。这种解决方案有效控制了试验中由于丢脉冲而导

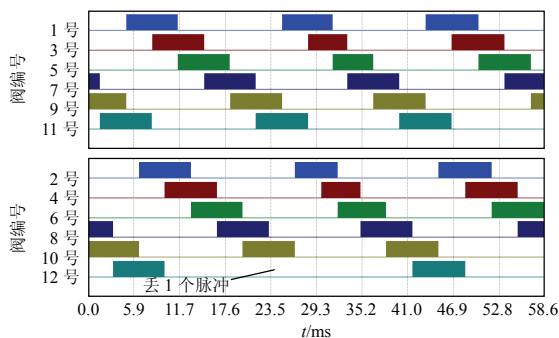


图 6 改进丢脉冲处理方案后触发时序图
Fig. 6 Firing word format after solving the missing pulse

致直流电压、电流峰值过高超出避雷器保护水平的问题，并且这种方法的实现只需要改变 VBE 内编/解码单元的内部程序，节约了成本。

4 结论

本文所提出算法的核心思想是当检测到连续丢 4 个周波(80ms)的脉冲时才向 CCP 发送请求切换系统信号。基于本文控制策略改进的控制保护系统可以有效避免因电磁骚扰，系统扰动等因素带来的保护误动作，提高了整个 VBE 系统的可靠性。

参考文献

- [1] 袁清云. HVDC 换流阀及其触发与在线监测系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999: 5-11.
- [2] 张新刚, 吕铮, 王初秋, 等. 用于换流阀运行试验的新型控制保护系统[J]. 电网技术, 2010, 34(8): 184-187. Zhang Xingang, Lü Zhen, Wang Renqiu, et al. A new control and protection system for operation test of HVDC converter valve[J]. Power System Technology, 2010, 34(8): 184-187(in Chinese).
- [3] 任孟干. 高压阀光电触发与在线监测系统的应用研究[D]. 北京: 中国电力科学研究院, 2002.
- [4] 刘飞, 卢志良, 刘燕, 等. 用于 TCR 的晶闸管光电触发与监测系统[J]. 高电压技术, 2007, 33(6): 123-128. Liu Fei, Lu Zhiliang, Liu Yan, et al. Thyristor photoelectric firing and monitoring system applied to TCR[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(6), 123-128(in Chinese).
- [5] 黄舜, 李胜, 徐永海, 等. 静止无功补偿器光电触发与监测系统设计与仿真[J]. 现代电力, 2006, 23(1): 29-33. Huang Shun, Li Sheng, Xu Yonghai, et al. Designing and emulating a firing and monitoring system of static var compensator[J]. Modern Electric Powe, 2006, 23(1): 29-33(in Chinese).
- [6] 查鲲鹏, 汤广福, 温家良, 等. 晶闸管阀运行试验的过电压保护策略研究[J]. 电力电子技术, 2006, 40(2): 107-109. Zha Kunpeng, Tang Guangfu, Wen Jialiang, et al. Study of overvoltage protection strategy of the thyristor valve operational test [J]. Power Electronics Technology, 2006, 40(2): 107-109(in Chinese).
- [7] 温家良, 汤广福, 查鲲鹏, 等. 高压晶闸管阀复合“全工况”试验装置的研究[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 38-43. Wen Jialiang, Tang Guangfu, Zha Kunpeng, et al. Investigation and improvement of the synthetic test circuit for the high voltage thyristor valves[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 38-43(in Chinese).
- [8] 温家良, 汤广福, 查鲲鹏, 等. 高压晶闸管阀运行试验方法与试验装置的研究与开发[J]. 电网技术, 2006, 30(21): 26-31. Wen Jialiang, Tang Guangfu, Zha Kunpeng, et al. Operational test method of high voltage thyristor valves and development of its synthetic test equipment[J]. Power System Technology, 2006, 30(21): 38-43(in Chinese).
- [9] 杨万开, 印永华, 王明新, 等. 灵宝背靠背直流工程换流站和系统调试总结[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 50-54. Yang Wankai, Yin Yonghua, Wang Mingxin, et al. Summary of converter station commissioning and system commissioning for Lingbao back to back HVDC project[J]. Power System Technology,

- 2006, 30(19): 50-54(in Chinese).
- [10] 杨万开, 印永华. 三峡—上海直流输电工程系统调试总结[J]. 电网技术, 2007, 31(19): 9-12.
Yang Wankai, Yin Yonghua. Summary of commissioning test for HVDC power transmission project from three gorges hydropower plant to Shanghai[J]. Power System Technology, 2007, 31(19): 9-12(in Chinese).
- [11] 杨万开, 曾南超. 灵宝背靠背直流工程系统调试中的关键技术分析[J]. 电网技术, 2007, 31(10): 32-37.
Yang Wankai, Zeng Nanchao. Analysis on several technologies applied in system commissioning test of Lingbao back to back HVDC project[J]. Power System Technology, 2007, 31(10): 32-37(in Chinese).
- [12] 梁旭明, 吴巾克, 冀肖彤. 国家电网公司直流输电工程控制保运行情况分析[J]. 电网技术, 2005, 29(23): 7-10.
Liang Xuming, Wu Jinke, Ji Xiaotong. Operating performances analysis on control and protection system of SGCC's HVDC projects [J]. Power System Technology, 2005, 29(23): 7-10(in Chinese).
- [13] 喻新强. 2003 年以来国家电网公司直流输电运行情况总结[J]. 电网技术, 2005, 29(20): 41-46.
Yu Xinqiang. Summary on operation of SGCC's HVDC projects since 2003[J]. Power System Technology, 2005, 29(20): 41-46(in Chinese).
- [14] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ± 800 kV 6400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 1-8.
Shu Yinbiao, Liu Zehong, Gao Liying, et al. A preliminary exploration for design of ± 800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6400 MW[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 1-8(in Chinese).
- [15] 余建国, 杨明, 罗海云, 等. 天广直流输电工程换流站中新技术的应用[J]. 电网技术, 2002, 26(4): 52-54.
Yu Jianguo, Yang Ming, Luo Haiyun, et al. Application of new technologies in converter stations of Tian-Guang HVDC transmission project[J]. Power System Technology, 2002, 26(4): 52-54(in Chinese).



周亮

收稿日期: 2011-04-01。

作者简介:

周亮(1984), 男, 硕士研究生, 研究方向为高压直流换流阀基电子设备;

汤广福(1966), 男, 教授级高级工程师, 博士生导师, 研究方向为 FACTS 及 HVDC 相关技术;

郝长城(1982), 男, 硕士, 工程师, 研究方向 FACTS 及 HVDC 相关技术。

(责任编辑 褚晓杰)