

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.07.014

两种特高压直流输电用晶闸管控制单元工作原理分析对比

任小静, 王 潇, 刘飞超, 王 康

(西安西电电力系统有限公司, 西安 710065)

摘要: 晶闸管控制单元是特高压用晶闸管换流阀的核心器件,其主要功能是实现阀控和换流阀之间信号的光电转换,完成对换流阀的触发、保护、状态检测等功能。笔者对目前主要采用的两种晶闸管控制单元设计理念 and 原理进行了研究,并从取能方式、正向保护触发原理、阀塔布置3个方面对两种板卡性能进行了介绍和对比,对今后开发性能更稳定可靠的高电位板具有理论和实际的指导意义。

关键词: 特高压直流; 晶闸管换流阀; 晶闸管控制单元; 晶闸管触发监测单元

Works Comparative Analysis of the Two UHVDC Thyristor Control Unit

REN Xiaojing, WANG Xiao, LIU Feichao, WANG Kang

(Xi'an XD Power Systems Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

Abstract: Thyristor control unit is the core device of UHVDC converter valves, they main complete light-electric conversion of signals between VBE and converter valve, and the functions of protection, triggering, detection to converter valve. In this paper, two kinds of current thyristor control unit are analyzed from their design concept and principle, besides introduce and compare their performances. The purport is developing converter valve thyristor control unit which have better stability and reliability.

Key words: UHVDC; thyristor valve; TCU; TFM

0 引言

特高压直流输电具有输送距离远、输送容量大、损耗低的优势,是实现中国能源资源优化配置的重要途径之一^[1-5]。中国已经建成的特高压 ± 800 kV/5 000 A 直流工程有向家坝—上海直流工程、锦屏—苏南 $\pm$ 直流输电工程、哈密—郑州 $\pm$ 直流输电工程、溪洛渡—浙西直流输电工程,十三五期间中国还将有数条 ± 800 kV 特高压直流工程开始建设,其社会效益显著。

换流阀作为高压直流输电的主要设备,其设计复杂,造价昂贵,作为换流阀核心部件的晶闸管控制单元,其主要功能是实现阀控和换流阀之间信号的光电转换,完成对换流阀的触发、保护、状态检测等功能^[6-11]。晶闸管控制单元曾一度被国外公司垄断,成为国产化的一大技术瓶颈,虽然现在已经实现国产化,但是其设计理念和技术水平等和国外并无多大区别,笔者结合目前市场主要采用的两种技术路线换流阀

用晶闸管控制单元,深入研究板卡的设计理念和工作原理,对其性能进行分析比较分析,以便开发出性能更稳定可靠的特高压换流阀用晶闸管控制单元^[12-15]。

1 晶闸管控制单元原理分析

1.1 晶闸管触发监测单元板卡原理分析

晶闸管触发监测单元(TFM)是阀基电子设备与换流阀本体的接口,主要用于电控大组件换流阀。它由 9 个功能模块组成:①均压及电压检测;② dU/dt 检测;③过电压保护;④供电;⑤取能;⑥门极脉冲放大器;⑦逻辑;⑧光接收;⑨光发射。TFM 功能框图见图 1。

作为接口,TFM 的主要功能是将阀基电子设备的信号进行光电转换,从而实现高、低压电路之间的光隔离,并对晶闸管进行触发、监测和保护。

1.1.1 触发功能

TFM 上的直流均压电阻同时作为电压检测电路的取样电阻,它会实时监测晶闸管两端电压,如果达到正电压建立值,这标志着晶闸管此时具备导通条件。如果 TFM 接收到阀基电子设备发送的触发光脉

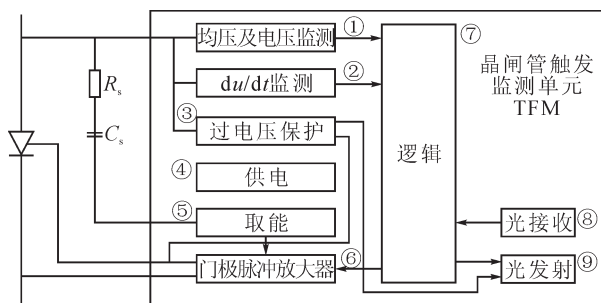


图 1 TFM 功能框图

Fig. 1 Function diagram of TFM

冲信号,TFM 将向晶闸管发送触发电脉冲信号,使晶闸管导通。触发点脉冲通过 TFM 的门极脉冲放大器,将强触发电脉冲发送到晶闸管门极,保证了一个单阀中所有晶闸管能够同时被触发,没有任何延迟。

1.1.2 电流过零检测

当晶闸管上正向电流过零时,晶闸管上的电压会达到一个负值,此电压被称作负电压建立值。TFM 一旦检测到晶闸管两端电压达到负电压建立值时,便会向阀基电子设备发送光回报脉冲说明此时晶闸管的状态。阀基电子设备便会向 TFM 发送开启反向恢复期保护功能的光信号脉冲。

1.1.3 反向恢复期保护功能

TFM 具有 dU/dt 检测电路,它会实时计算晶闸管两端电压上升率,其保护定值为 $100 \text{ V}/\mu\text{s}$,当 TFM 检测到负电压建立,并且阀基电子设备向 TFM 发送光脉冲后,TFM 才会开启反向恢复期保护功能。当 TFM 再次接收到阀基电子设备的光脉冲时,反向恢复期保护功能便会关闭。在此期间晶闸管两端电压上升率一旦超过 $100 \text{ V}/\mu\text{s}$ 时,TFM 将向晶闸管发送保护触发脉冲触发晶闸管,并产生回报光信号,发送给阀基电子设备。

1.1.4 过电压保护功能

TFM 会实时监测晶闸管两端电压,当晶闸管两端承受的电压峰值高于过电压保护值时 TFM 就会产生保护触发脉冲,使晶闸管导通,从而避免晶闸管被击穿,同时产生回报光信号发送给阀基电子设备。这部分电路是完全独立于 TFM 其他功能之外的,它不需要任何电源的供给,即使 TFM 其他功能故障,这部分电路仍然能够正常工作,并能够长时间运行,没有时间限制,具有极高的可靠性。

1.1.5 取能功能

TFM 取能电路通过 RC 阻尼回路进行耦合取能,并储存在 TFM 储能电容中。储能电容能够在交流系统故障时,仍可以提供足够的能量,使 TFM 可以在电压降至正常电压的 30% 以下时持续工作至少

0.7 s,足以安全的触发晶闸管,不会因为储能电容需要再次充电而造成触发的延迟。TFM 实物图见图 2。

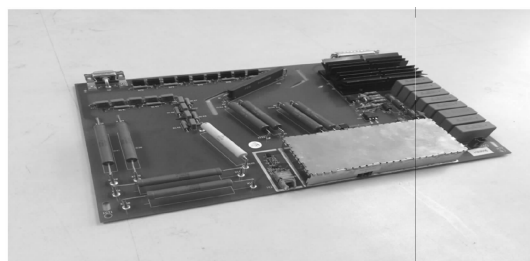


图 2 TFM

Fig. 2 TFM

1.2 晶闸管控制单元板卡原理分析

晶闸管控制单元(TCU)是阀控制监测设备与换流阀本体的接口,主要用于电控小组件换流阀。它由 8 个功能模块组成:①正向保护触发;②反向恢复期保护;③电压检测;④正常触发;⑤取能;⑥门极放大器;⑦光发射;⑧光接收。TCU 功能框图见图 3。

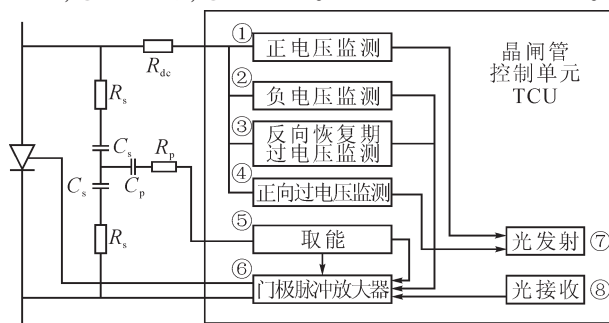


图 3 TCU 功能框图

Fig. 3 Function diagram of TCU

它的主要功能是将阀控制监测设备的信号进行光电转换,从而实现高、低压电路之间的光隔离,对晶闸管进行触发、检测和保护。

1.2.1 触发功能

TCU 通过直流均压电阻进行电压检测,它会实时监测晶闸管两端电压,如果达到正电压建立值,这标志着晶闸管具备导通条件。此时,TCU 向阀控设备发送回报脉冲,当 TCU 收到阀控设备发送的触发脉冲后,将向晶闸管发送触发电信号,使晶闸管导通。触发脉冲通过 TCU 的门极脉冲放大器,将强触发电脉冲发送到晶闸管门极,保证了单阀中所有晶闸管能够同时被触发,没有任何延迟。

1.2.2 反向恢复期保护功能

TCU 具有反向恢复期保护电路,在晶闸管工作期间,TCU 将实时监测晶闸管两端的电压值,当晶闸管电压低于负电压建立值后,TCU 将自动打开反向恢复期保护窗口,在此窗口内当晶闸管两端电压大于额定保护电压值时,TCU 将向晶闸管发送保护

触发脉冲,使晶闸管导通,并向阀控制监测设备发送回报信号。

1.2.3 过电压保护功能

TCU 具有过电压保护触发电路,TCU 通过直流均压电阻检测晶闸管两端电压,当晶闸管两端承受正向过电压并达到额定的保护电压值时,TCU 将产生保护触发脉冲,使晶闸管导通,从而避免晶闸管击穿。同时产生回报脉冲,发送至阀控制监测设备。

1.2.4 取能功能

TCU 取能电路通过 RC 阻尼回路进行耦合取能,并储存在 TCU 储能电容中。储能电容容量选择较小,这使得 TCU 在触发一次晶闸管后迅速充电,触发系统随时可以再次触发晶闸管。无论是整流还是逆变,TCU 的所有功能只需要微秒级的时间便可准备完毕。即使交流系统故障,完全断电,只要交流系统恢复,TCU 便可以迅速充电并正常工作,不会因为储能电容需要长时间充电而造成触发延迟。TCU 实物图见图 4。

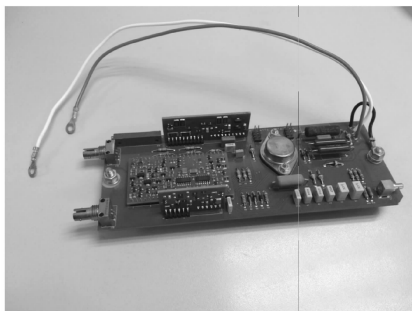


图 4 TCU

Fig. 4 TCU

2 两种板卡对比分析

从板卡功能上分析,两种晶闸管控制单元功能基本相同,主要作用包括正向保护触发、反向恢复期保护、电压监视、正常触发、取能等,只是实现原理有所不同,分析如下。

2.1 取能方式不同

TFM 板的取能回路见图 5,直接取自晶闸管级一次阻尼回路 $R_s C_s$,器件工作电压较高,工作电流较大,如个别器件出现故障可能导致电容类器件过热。TCU 板见图 6,取能回路通过独立的耦合回路 $R_p C_p$ 实现,所有器件均在低电压低电流工况下工作,没有大功率电子器件,运行温度较低。

2.2 正向保护触发原理不同

TFM 正向过电压保护功能是通过 BOD 器件串联连接晶闸管门极,BOD 器件实时监测晶闸管两端电压,当到达保护值时,BOD 瞬间击穿,从而晶闸管门极获得触发脉冲,晶闸管将保护触发,电流通过晶

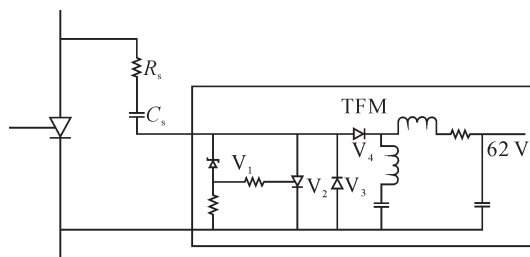


图 5 TFM 板卡取能回路原理图

Fig. 5 Principle of TFM power tapping circuit

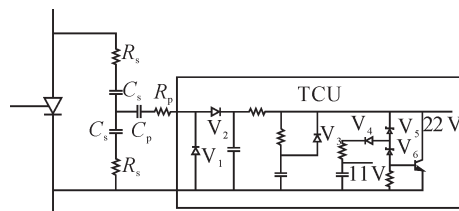


图 6 TCU 板卡取能回路原理图

Fig. 6 Principle of TCU power tapping circuit

闸管,不会在 TFM 板上流过。这部分电路是完全独立于 TFM 其他功能之外的,它不需要任何电源的供给,即使 TFM 其他功能故障,这部分电路仍然能够正常工作,并能够长时间运行,没有时间限制,具有极高的可靠性,而且 TFM 板卡的 BOD 保护值是固定值。

TCU 通过直流均压电阻检测晶闸管两端电压,当晶闸管两端承受正向过电压并达到保护值时,TCU 将产生保护触发脉冲,使晶闸管导通,从而避免晶闸管击穿。与 TFM 不同的是,TCU 板卡的 BOD 保护定值不是定值,而是与晶闸管级所承受的过电压陡度有关,陡度超过一定值时,随着电压陡度的升高,正向保护触发电压值逐渐降低,陡度拐点由板卡上的电容 C_{10} 决定,见图 7。

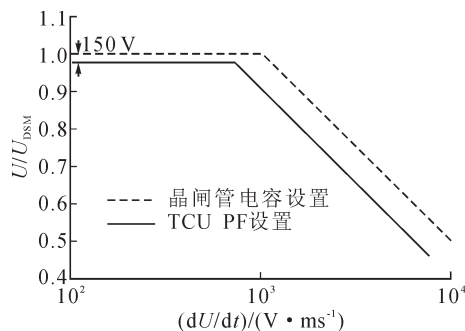


图 7 不同 dU/dt 下的正向保护触发电压

Fig. 7 Positive protection firing voltage under different dU/dt

2.3 阀塔上布置不同

TCU 安装在几乎密闭的金属屏蔽盒内,即使由于个别器件开路或短路引起电路板起火,也只限于在屏蔽盒内燃烧,不会蔓延至其他器件,且屏蔽良好,抗电磁干扰。同时屏蔽盒安装于水冷散热器上,

也可以起到降温的作用,即使环境温度上升至 60 ℃,TCU 上所有器件也不会超过 90 ℃。

TFM 板卡独立布置在阀塔组件上,未加装屏蔽盒,且直流均压电阻直接焊接在板卡上,导致板卡温度较高,防火、防水性能不及 TCU 板。

3 结语

两种晶闸管控制单元都是换流阀的核心器件,是换流阀控制系统与换流阀本体的接口,实现晶闸管触发、电压及状态监视和反馈、晶闸管过电压保护等功能。当晶闸管控制单元出现故障时,晶闸管级将无法正常工作,阀控系统也将无法获取晶闸管级的状态,其对于换流阀的重要程度可想而知。

对于不同类型的换流阀,晶闸管控制单元的功能大同小异,只是实现方式和保护原理略有不同,通常根据换流阀设计厂家的设计理念而定。

安全可靠、功能稳定、防火防水是晶闸管控制单元设计的目标,也是特高压换流阀设计的目标,分析对比不同类型的晶闸管控制单元,对其板卡设计理念和原理的深入理解,有利于开发性能更稳定可靠的特高压换流阀产品。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压直流电气设备[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
LIU Zhenya. UHVDC equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press,2009.
- [2] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 第2版.北京:中国电力出版社,2011.
ZHAO Wanjun. High voltage direct current engineering technology[M]. 2nd Edition. Beijing: China Electric Power Press,2011.
- [3] 刘振亚. 特高压直流输电技术研究成果专辑[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
LIU Zhenya. Research production of UHVDC transmission technique[M]. Beijing: China Electric Power Press,2008.
- [4] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术,2005,29(14):1-3.
YUAN Qingyun. Present state and application prospect of UHVDC transmission in China[J]. Power System Technology,2005,29(14):1-3.
- [5] GB/T 20990.1-2007 高压直流输电晶闸管阀 第一部分:电气试验[S].2007.
GB/T 20990.1-2007 Thyristor valve for HVDC transmission Part1:Electrical testing[S].2007.
- [6] 周会高,许 钊,黄 超,等. PSCAD 在晶闸管取能回路分析中的应用[J]. 高压电器,2005,41(4):270-272.
ZHOU Huigao,XU Fan,HUANG Chao,et al. Application of PSCAD in analysis of thyristor energy storage circuit[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(4):270-272.
- [7] 陈兴旺,梁帅奇,胡宗亚. 高压直流输电换流阀晶闸管控制单元原理分析[J]. 中国新技术新产品,2011(1):105-106.
CHEN Xingwang,LIANG Shuaiji,HU Zongya. Analysis principle of thyristor control unit of HVDC converter valve[J]. China New Technologies and Products,2011(1):105-106.
- [8] 马振军. HVDC 晶闸管换流阀中晶闸管反向恢复期保护电路几个问题的探讨[J]. 高压电器,2002,38(4):8-9.
MA Zhenjun. Discussion on some issues about recovery protection firing for HVDC thyristor valve[J]. High Voltage Apparatus,2002,38(4):8-9.
- [9] 郝新,徐文立,张曾科,等. 大功率晶闸管数字触发电路的设计[J]. 电气传动,2001,31(3):29-31.
HAO Xin,XU Liwen,ZHANG Zengke,et al. The design of high-power SCR digital trigger circuit[J]. Electric Drive,2001,31(3):29-31.
- [10] 赵智大. 高电压技术[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
ZHAO Zhida. High voltage engineering[M]. Beijing: China Electric Power Press,1999.
- [11] 陆建挺,杨 涛,申 萌,等. HVDC 晶闸管换流阀非周期触发试验中恢复期保护的探讨[J]. 高压电器,2011,47(11):102-105.
LU Jianting,YANG Tao,SHEN Meng,et al. Discussion on recovery protection for HVDC thyristor valve in the non-periodic firing tests[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(11):102-105.
- [12] 舒印彪. 中国直流输电的现状与展望[J]. 高电压技术,2004,30(11):1-2.
SHU Yinbiao. Present status and prospect of HVDC transmission in China[J]. High Voltage Engineering,2004,30(11):1-2.
- [13] 曾南超. 高压直流输电在我国电网发展中的作用[J]. 高电压技术,2004,30(11):11-12.
ZENG Nachao. Role of HVDC transmission in the power system development in China[J]. High Voltage Engineering,2004,30(11):11-12.
- [14] 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.
YUAN Qingyun. HVDC thyristor valve and its firing and monitoring system on line[M]. Beijing: China Electric Power Press,1999.
- [15] 蓝元良,汤广福,印永华,等. 串联晶闸管反向恢复暂态过程的研究[J]. 电网技术,2006,30(16):15-19.
LAN Yuanliang,SHANG Guangfu,YIN Yonghua,et al. Study on transient of reverse recovery of series thyristors[J]. Power System Technology,2006,30(16):15-19.

任小静(1982—),女,硕士,工程师,研究方向为高压直流输电换流阀研制。