

新一代高压软起动器光电触发系统的研制

李泽泉¹, 张少云¹, 陈刚², 彭京², 刘斐²

(1. 南车电气技术与材料工程研究院, 湖南 株洲 412001; 2. 株洲变流技术国家工程研究中心有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 触发技术是高压软起动器的核心技术。文章介绍了一种高压软起动器的光电触发系统, 详细描述了该系统的晶闸管阀触发功能和晶闸管状态检测功能, 并通过实验验证了该系统的有效性。

关键词: 光电触发; 高压软起动器; 晶闸管阀; 触发电流

中图分类号: TN344

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2011)06-0006-04

Development of A New-generation Photoelectric Firing System for High-voltage Soft Starter

LI Ze-quan¹, ZHANG Shao-yun¹, CHEN Gang², PENG Jing², LIU Fei²

(1. CSR Institute of Electrical Technology & Material Engineering, Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. Zhuzhou National Engineering Research Center of Converters Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Firing technology is a core technology of high-voltage soft starter. This paper proposes a photoelectric firing system of high-voltage soft starter. The firing of thyristor valve and monitoring of thyristor state for the system are described in detail, and the experimental results indicate effectiveness of this system.

Key words: photoelectric firing; high-voltage soft starter; thyristor valve; trigger current

0 引言

晶闸管串联式高压软起动器具有启动平稳、冲击电流小、无触点等优点, 在高压大功率电机传动系统中得到了广泛的应用。晶闸管串联阀组的触发系统是高压软起动器的关键部分, 其性能决定了高压软起动器能否稳定可靠运行。中国南车的高压软起动器产品原有的触发系统为光电触发系统。该系统是通过接收低压控制系统传来的三脉冲信号来实现晶闸管触发、状态检测等功能的, 需要比较复杂的译码电路^[1-2]。为了适应高压软起动器小型化发展的趋势, 我们开发了电路简化的新一代光电触发系统。该系统以光纤为传输媒介, 使光电信号在低压控制系统与高压晶闸管阀之间双向流动, 实现晶闸管阀触发和晶闸管状态检测等

功能。

1 晶闸管阀触发的一般要求

高压晶闸管阀触发系统主要分为三类: 脉冲变压器触发、直接光触发和光电触发。脉冲变压器触发系统虽然结构简单、经济实用, 但存在体积庞大、抗电磁干扰能力差等问题。直接光触发系统稳定可靠, 但其价格昂贵, 不适用于对成本控制要求较高的高压软起动器。光电触发系统虽然比前两种触发系统在电路上复杂, 但具有高低压隔离性能好、抗电磁干扰能力强、价格适中等优点, 适合高压软起动器晶闸管阀触发的应用。

晶闸管的触发电流 I_G 与触发电压 V_G 必须大于其额定触发电流 I_{GT} 与额定触发电压 V_{GT} , 晶闸管才能可靠地触发。由于是电流控制型器件, 晶闸管的触发脉冲一般以电流参数来定义。晶闸管触发电流的幅值 I_{GM} 和上升时间 t_r 对晶闸管的开通有着关键性的影响。幅值

高、上升时间短的触发脉冲一般称为强触发脉冲。在强触发脉冲的触发下,晶闸管开通时间短,开通时可承受的阳极电上升率 di/dt 大,开通损耗小。在晶闸管阀中,要求相互串联的晶闸管尽可能同时导通,否则后导通的晶闸管将承受过电压。最大限度地保证触发电流上升沿同时到达和使用强触发脉冲触发,是串联晶闸管尽可能同时导通的关键。在高压软起动器中,一般要求强触发脉冲的参数为: $t_r \leq 1 \mu s$ 、 $I_{GM} \geq 10I_{GT}$ 、 $I_G \geq 1.5I_{GT}$ 。

2 新一代光电触发系统的原理与实现

新一代光电触发系统主要由光纤、晶闸管门极驱动电路、晶闸管状态检测电路和取能电路组成。光纤作为信号传输媒介连接低压控制系统和高压侧门极驱动电路、状态检测电路。门极驱动电路接收到低压控制系统的光信号后,发出触发脉冲,它与晶闸管阀直接电连接,不经过脉冲变压器等媒介。状态检测电路检测晶闸管状态,并将状态信号通过光纤传送给低压控制系统。门极驱动电路和状态检测电路由取能电路供电。系统框图如图1所示。

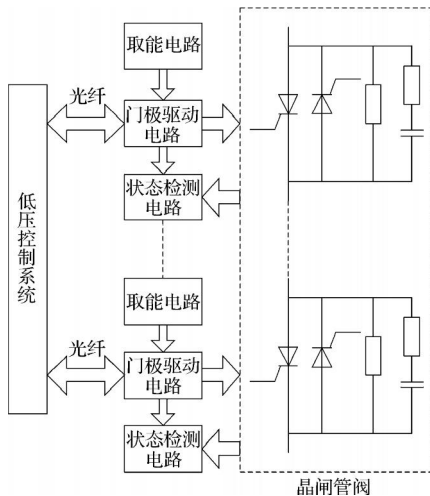


图1 光电触发系统原理框图

Fig. 1 The illustration of photoelectric firing system

2.1 门极驱动电路

门极驱动电路由光电转换单元和脉冲功率放大单元组成(图2)。光电转换单元将来自低压控制系统的光脉冲信号转换为电脉冲信号,再经脉冲功率放大单元放大,形成触发电流脉冲。

在软起动器中,一只晶闸管在一个工频周期内需要宽度大于 60° 的触发脉冲或者间隔为 60° 的双脉冲。我们采用的是一个工频周期内间隔为 60° 的双脉冲列的形式。一个脉冲列的宽度不超过 $350 \mu s$,脉冲周期为 $50 \mu s$,占空比为0.5。

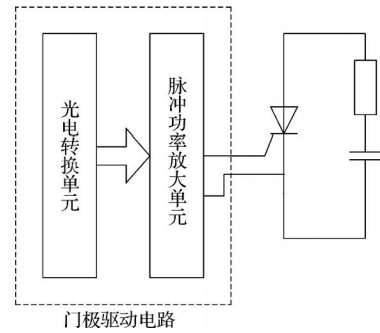


图2 门极驱动电路原理框图

Fig. 2 The illustration of gate-driving circuit

2.2 状态检测电路

高压软起动器在主电路上电之后、电机启动完成之前这段时间内需要对每只晶闸管的状态进行检测。如果发现晶闸管状态异常,则不能投入运行或者立即终止运行。在工程上,一般采用检测晶闸管端电压的方法来检测晶闸管状态。我们设计的晶闸管状态检测电路如图3所示。下面以检测晶闸管T1的状态为例说明其原理。设晶闸管T1两端承受的正向电压为 U ,忽略二极管V1的压降,则电阻 R_3 所分得的电压 U_{R3} 为:

$$U_{R3} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

U_{R3} 与比较单元1设定的阈值 U_f 相比较,当 $U_{R3} > U_f$ 时,比较单元1输出高电平,光电转换单元将该高电平转换为光信号并传送给低压控制系统。在T1导通之前,低压控制系统选择合适的时机对检测电路发送的信号进行判断,即可确定晶闸管状态。

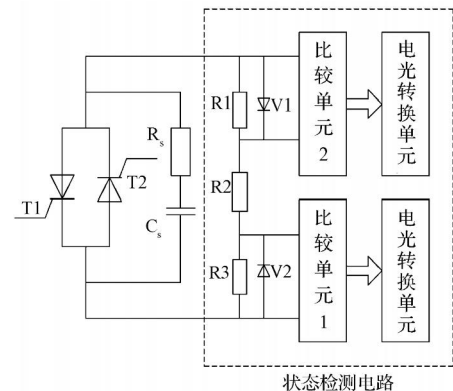


图3 晶闸管状态检测电路原理框图

Fig. 3 The illustration of the monitor of thyristor state

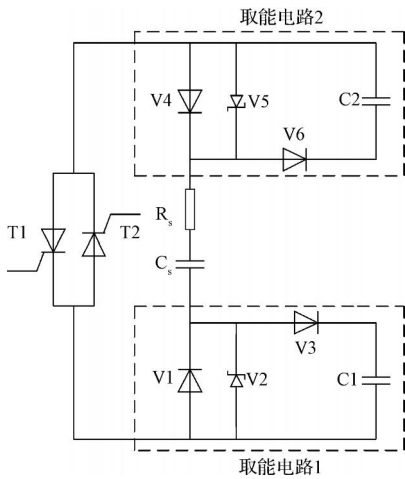
2.3 取能电路

取能电路为门极驱动电路和状态检测电路提供电源。门极驱动电路、状态检测电路直接与晶闸管阀电连接,属于高压系统。因此,取能电路的设计首要考虑的是高低压系统之间的绝缘问题。按绝缘方式的不同,我们设计了两种取能电路:直接高压取能电路和耦合电流取能电路。

直接高压取能电路原理如图4(a)所示。其原理是利用与晶闸管并联的RC吸收网络的充放电来储存能量。下面以图4(a)中的取能电路1为例说明直接高压取能电路的原理。当晶闸管T2开通或截止时,电容 C_s 会充电或者放电。充放电电流经过二极管V3对电容C1充电。当C1电压升高到一定程度后,稳压管V2动作,将充放电电流旁路。设晶闸管T2开通前或者截止后的电压为 U_T ,在稳压二极管V2动作之前,电容C1获得的平均电荷为:

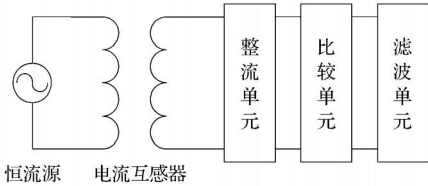
$$Q=2fU_TC_s$$

直接高压取能电路完全属于高电压系统,具有结构简单、成本低廉等优点。但直接高压取能电路只能用于软起动,不能用于软停车^[3]。对于软停车,我们采用耦合电流取能电路(图4(b))。电流互感器的一次侧为低压侧,二次侧为高压侧。高低压系统之间通过电流互感器及其一次侧导线绝缘。电流互感器二次电流经过整流、滤波和稳压后,输出一个稳定的直流电源。



(a) 直接高压取能电路原理框图

(a) The illustration of power supply from high voltage system



(b) 耦合电流取能电路原理框图

(b) The illustration of power supply from coupling current

图4 取能电路原理框图

Fig.4 The illustration of power supply

2.4 RC吸收网络对触发的影响

在晶闸管变流器中,为了抑制晶闸管关断时的反向过电压,通常在其两端并联RC吸收网络。RC吸收网络会对晶闸管的触发产生一定影响。合理地匹配光电触发系统参数与RC等参数,是触发系统取得理想效果的重要保证。

高压软起动器的负载为异步电动机,属于感性负

载,其电流上升率较小。晶闸管开通时,吸收电容通过吸收电阻和晶闸管形成一个放电回路。放电电流与负载电流叠加,增大了晶闸管开通时的 di/dt 。 di/dt 的增加对触发有以下3个影响:(1)提高了晶闸管触发时所需的门极电压 V_G ,选取脉冲功率放大电路的电源参数时应充分考虑到这一点;(2)提高了对触发电流的要求,晶闸管应尽可能快地有更多区域导通,避免因局部过热而损坏;(3)由于刚开通便获得了一个初始电流峰值,晶闸管可以更快开通,既提高了晶闸管阀开通时的动态均压性能,又降低了对触发脉冲宽度的要求。

3 实验分析

10 kV/2.4 MW高压软起动器在启动380 V/55 kW电机时一只晶闸管的触发电流波形如图5和图6所示,其晶闸管为ABB的5STP 08G6500,图5为一个脉冲列,图6为该脉冲列中的第一个脉冲。从图可以看出,触发电流幅值 $I_{GM} > 8 A$,上升时间 $t_r < 1 \mu s$,上升率 $dI_G/dt \approx 10 A/\mu s$,电流平台值为0.8 A。

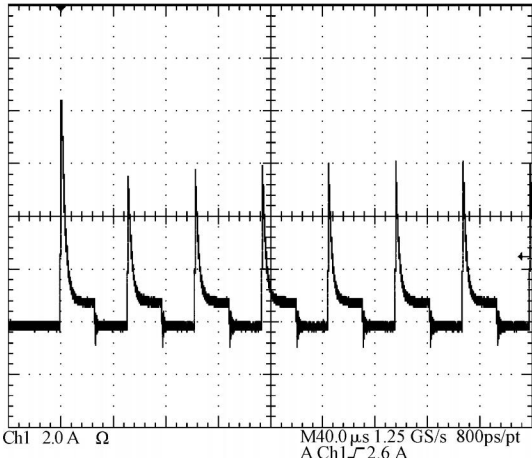


图5 门极触发电流脉冲列

Fig.5 Pulse train of gate current

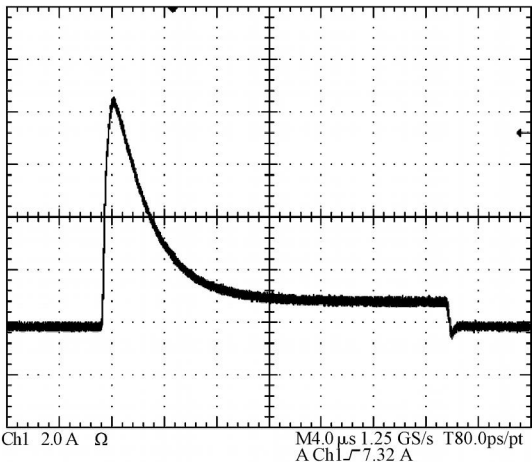


图6 脉冲列中的第一个脉冲

Fig.6 The first pulse of the pulse train

为了验证高压软起动器在使用该触发系统时的动

态均压性能,我们进行了均压实验。在6组晶闸管串联的高压软起动器中施加交流3 000 V电压,并通以有效值为400 A的电流,测量同相晶闸管端电压。图7所示为C相3组晶闸管的端电压。实验证明,被测高压软起动器有着良好的动态均压性能。

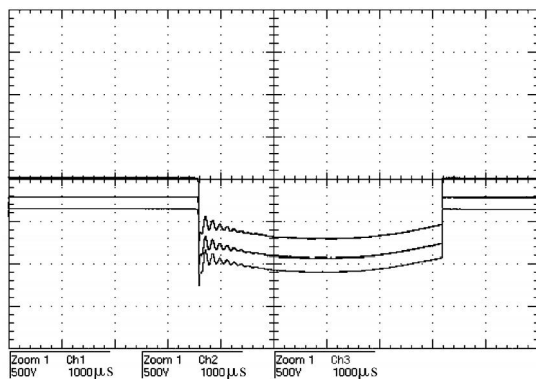


图7 C相3组晶闸管的端电压波形

Fig. 7 The voltage waveform of three groups of thyristors in phase C

4 结语

本文介绍了一种高压软起动器的光电触发系统,重点介绍了其门极驱动电路、晶闸管状态检测电路和取能电路,并针对触发脉冲性能对于高压晶闸管阀的影响、RC吸收网络对于触发的影响进行了讨论。实验结果证明了其可行性与可靠性。该系统在中国南车的高压软起动器产品中得到了批量应用,取得了良好的社会效益。

参考文献:

- [1] 杨杰. 29 kV高压晶闸管阀触发系统隔离技术和晶闸管过电压保护方法[J]. 机车电传动, 2000(2): 23-26.
- [2] 张斌. 高压晶闸管阀在牵引供电网自动过分相中的应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2003.
- [3] 蒋家久. 中压交流电机软启动技术问题探讨[J]. 机车电传动, 2004(3): 8-11.

(上接第5页)

- [3] 杨德刚, 刘润生, 赵良炳. 三相高功率因数整流器的电流控制[J]. 电工技术学报, 2000, 15(2): 83-87.
- [4] 裴迅, 方宇, 王儒, 等. 三相高功率因数电压型PWM整流器控制策略[J]. 电工技术学报, 2008, 23(11): 96-102.
- [5] 陈瑶, 董亦斌, 金新民. 基于PWM整流器的SVPWM谐波分析新算法[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(13): 76-80.
- [6] 高格, 傅鹏. 可控并联十二脉波四象限运行整流电源的研制[J]. 电工技术学报, 2004, 19(4): 16-20.
- [7] 朱建林, 张建华, 郭有贵, 等. 过调制矩阵变换器的电压传输特性及谐波分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(10): 110-113.
- [8] 王兆安, 杨君, 刘进军, 等. 谐波抑制与无功功率补偿[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [9] 李圣清, 何伟华, 罗飞, 等. 串联混合型有源电力滤波器对三相负载谐波源补偿特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(34): 115-119.
- [10] 涂春鸣, 罗安, 汤赐, 等. 注入式混合型有源电力滤波器的控制算法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(24): 52-58.
- [11] 祁才君, 陈隆道, 王小海. 应用插值FFT算法精确估计电网

谐波参数[J]. 浙江大学学报, 2003, 37(1): 112-116.

- [12] 王杰, 郑建勇, 梅军, 等. 基于FBD法的谐波检测方法和低通滤波器的优化设计[J]. 电测与仪表, 2010, 47(7): 50-55.
- [13] Luo An, Shuai Zhikang, Zhu Wenji, et al. Combined System for Harmonic Suppression and Reactive Power Compensation[J]. IEEE Trans. on Ind. Electron, 2009, 56(2): 418-428.
- [14] 吴传平, 罗安, 徐先勇, 等. 采用V/v变压器的高速铁路牵引供电系统负序和谐波综合补偿方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(16): 111-117.
- [15] 皮俊波, 姜齐荣, 魏应冬. 一种基于链式结构UPQC的电气化铁路同相供电方案研究[J]. 电力设备, 2008, 9(10): 4-9.
- [16] Asiminoaei L, Aeloiza E, Enjeti P N, et al. Shunt active-power-filter topology based on parallel interleaved inverters[J]. IEEE Trans. on Ind. Electron, 2008, 55(3): 1175-1189.
- [17] Xiao P, Venayagamoorthy G K, Corzine K A. Seven-level shunt active power filter for high-power drive system[J]. IEEE Trans. on Power Electron., 2009, 24(1): 6-13.
- [18] 刘庆丰, 王华民, 冷朝霞, 等. 采用波形合成法的级联型多电平逆变器谐波控制[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(6): 69-73.