

一起 SVC 一相可控硅全部击穿的原因分析

胡建农

(上海梅山钢铁股份有限公司能源环保部,江苏南京 210039)

摘要:静止型动态无功补偿(SVC)装置在钢铁企业已得到广泛使用,稳定运行尤其重要。本文对两大类典型触发装置在电气设备放电时的抗干扰性能分析,找到 SVC 一相可控硅全部击穿的原因。建议一般工业用户注意电气设备放电对触发装置的影响。

关键词:集中脉冲触发;单阀脉冲触发;污闪现象;可控硅阀的部分开通

中图分类号: TN34

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0061-03

上海梅山钢铁股份有限公司于 2001 年引进的第二套静止型动态无功补偿(SVC)系统,系国外的第三代产品,型号为 LVVR 30/244,用于对 25 MV·A 炼钢精炼炉(LF 炉)的谐波治理。安装在 LF 炉电源 30 kV 母线,采用晶闸管控制的电抗器(TCR)+谐波滤波器(FC)组合而成的静止型动态无功补偿装置,由一组容量为 22 Mvar 的可控硅控制电抗器和 22 Mvar 两组滤波电容器组成。其中可控硅采用双向可控硅型号为 5STB 1365N。使用一段时间后经常发生穿墙套管的户外侧有放电现象,在采取现场清洗手段后继续投运,某日突然发生“过流保护速断”动作,检测后发现有一相可控硅全部击穿(ca 相)。

1 SVC 在钢铁企业中的重要性

静止型动态无功补偿(SVC)装置是电力系统用于电网谐波治理有效手段,钢铁企业主要用于对热轧机组、炼钢精炼炉和炼钢电弧炉进行动态无功补偿。补偿前炼钢精炼炉所对应的上级变电站 110 kV 母线的实际检测数据为:短时间电压闪变 P_{σ} 最大值三相分别为 1.594 p.u., 1.531 p.u., 1.496 p.u., 超过允许值,测试期间 A 相 5 次超标, B 相 4 次超标, C 相 3 次超标。长时间电压闪变 $P_{1hA}, P_{1hB}, P_{1hC}$ 三相别为 0.938 p.u., 0.875 p.u., 0.844 p.u., 超过允许值。而三相谐波电压总畸变率分别为 0.72%, 0.75%, 1%, 低于标准 2%, 各次谐波电流均未超过限值。由此可见炼钢精炼炉产生的高次谐波对电网影响小,主要是精炼炉负载产生的大量无功引起电压闪变,频繁电压闪变对电网的污染很大。

谐波治理在过去普遍认为是对电网有利,是解决用户产生的谐波对电网的污染问题,以及消除由于高次谐波引起的发热和能耗^[1]。但在上海梅山钢铁股份有限公司的实际生产中发现谐波和闪变会对计算机控制系统产生严重影响,造成批量废品。在计算机控

制系统普遍使用的今天,谐波治理更是产品质量的重要保证。

2 可控硅相关技术要求

2.1 可控硅的关键参数

供电系统与一般电机拖动系统所使用的可控硅装置有所不同,供电系统使用的可控硅装置的特点是电压高、电流大、外部干扰源多而且复杂的特点。可控硅是 SVC 的关键部件,可控硅的关键参数有 $U_{DRM}, U_{RRM}, dV/dt, di/dt$ 。其中可控硅触发特性非常关键,当门极加入触发电流后,元件首先在门极的附近逐渐形成导通区,并且随着时间的增长导通区逐渐扩大直至全部结面变成导通,如在结面还没有全导通时电流已升到很大,大的电流密度可能在门极的附近的结部发生过热使元件损坏^[2]。所以规定通态临界电流上升率 di/dt 极限值。

2.2 可控硅触发装置

可控硅触发是在门极加上大于 1.2 V 的触发信号,经过 8~30 μs 的时间使可控硅全导通^[2],通常采用脉冲触发。目前一般有 2 类典型触发装置,一类装置的结构是集中脉冲触发,如图 1 所示。

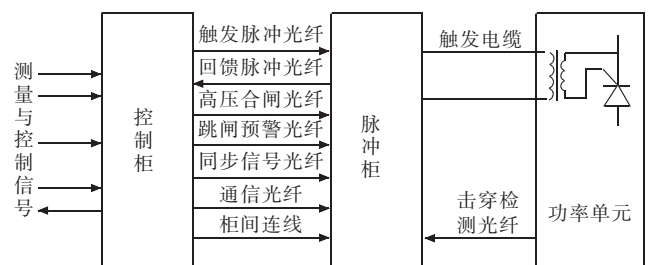


图 1 集中脉冲触发系统图

集中脉冲触发装置基本原理:脉冲柜接收到控制柜给出的晶闸管触发光信号后,驱动脉冲触发光电转换板,将光信号转换成电信号送给脉冲形成单元。脉冲形成单元是整个脉冲柜的核心部分。在这个单元里,脉冲形成器接收光电转换单元送来的电信号,通过输入

脉冲前置放大、前沿脉冲控制、前沿脉冲形成、脉冲控制、振荡、逆变等电路模块,将其放大形成 T_{ab+} , T_{ab-} , T_{bc+} , T_{bc-} , T_{ca+} , T_{ca-} 6路方波脉冲信号。6路强触发脉冲通过阻抗匹配电路使脉冲变压器 T_1 , T_2 的次级感应出一个脉冲(如图2所示),再通过脉冲电缆接到可控硅门极,触发可控硅。

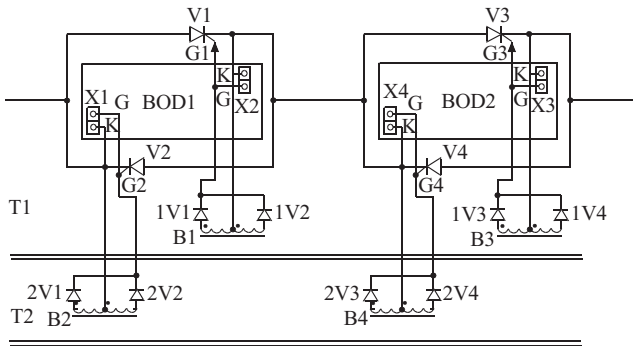


图2 集中脉冲触发原理图

另一类装置的结构是单阀脉冲触发,如图3所示。

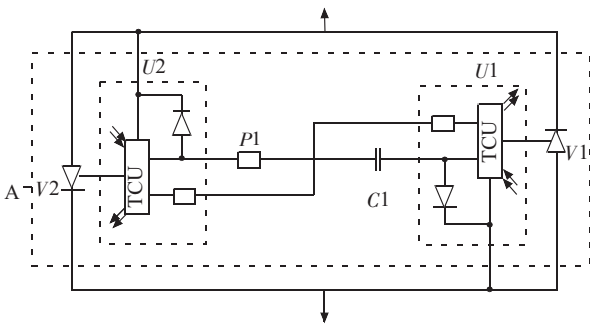


图3 单阀脉冲触发原理图

单阀脉冲触发装置基本原理:为每个可控硅阀配一个独立的触发装置TCU。触发装置TCU的工作电源直接从可控硅阀取用,与外部的联络只有2根光纤FP,IP,将脉冲形成单元、触发控制逻辑单元、紧急触发回路和触发脉冲检测回路集成在一起,与可控硅阀装在一块电路板上或一个框架上,极短的触发脉冲输出线直接与可控硅阀的门极连接。触发装置接收到控制柜给出的晶闸管触发光信号后,FP将光信号转换成电信号,通过触发控制逻辑单元输出触发脉冲,触发可控硅开通,如图4所示。

3 穿墙套管的闪络与污闪现象

在电力系统线路和设备上发生放电、闪络是常见现象,多数是在外部条件发生变化时,原来绝缘状态正常的设备产生放电现象,当外部环境一旦改变,放电现象随之消失。也有发展迅速直至闪弧导致相间短路的故障发生。上海梅山钢铁股份有限公司有一个新建的35 kV变电站,由于一次设备是按半敞开式设计的,10 kV绝缘子选用户内型绝缘子,在一次狂风暴雨中,20 min内从闪络发展到闪弧再到三相短路事故的发生。

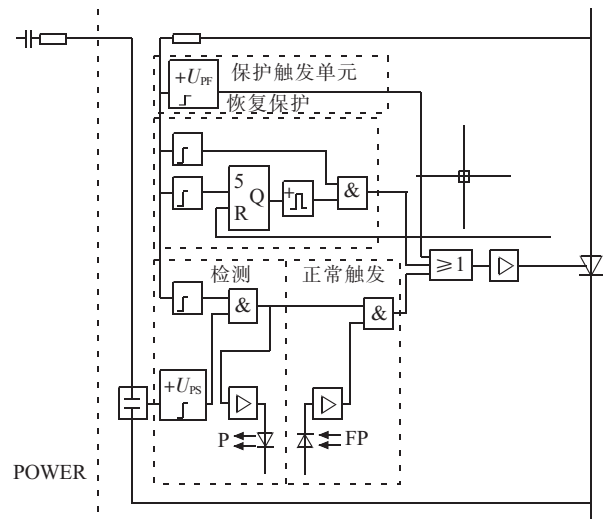


图4 TCU原理图

在重污染区域,电气设备经常发生放电、闪络现象,由于空气中污染介质很不稳定,往往不容易及时准确判断。在有关文献中对绝缘子的沿面局部电弧爬电所导致的局部电弧贯通,因无法解释绝缘子表面无痕的闪络现象,归为不明闪络。造成绝缘子极间空气间隙绝缘强度下降的原因,是由于绝缘子周围空间的电荷衍生电场改变了空气间隙内的场强分布,将绝缘子极间空气间隙击穿。当绝缘子附近空间内,由于污染注入空间电荷电量达到一定数量级时,将发生绝缘子极间空气间隙击穿,也可称为污闪现象。这些与钢铁企业的部分重污染区域,电气设备经常发生的闪络现象很吻合,应引起高度重视。

4 事故分析

4.1 设备的选型

SVC的稳定器TCR的额定容量为22 Mvar,TCR控制系统采用国外厂商自行研制的MACH2模拟控制系统,SVC的晶闸管阀塔采用单阀脉冲触发,为当时普遍采用的成熟技术,其晶闸管元件的门极为“电触发”。含BOD保护,即晶闸管正向电压超过设计值时的强迫安全导通。晶闸管阀塔与触发控制及在线监测系统之间采用光纤通信,防止触发信号在传输过程中受到电磁干扰的问题。晶闸管阀塔采用纯水冷却,占地面积很小。装置FC额定容量为22 Mvar,由3次和5次2组单调谐滤波器构成,3次滤波支路容量9 Mvar,5次滤波支路容量13 Mvar。

双向可控硅型号为5STB-1365N, V_{RM} (U_{DRM})=5600 V, V_{SM} = 6500 V (最大断态浪涌峰值电压), I =1390 A (70 °C), di/dt =24 kA/8.3 ms,每相有16片串联使用。穿墙套管爬电距离为室外1000 mm,室内380 mm。闪络距离为室外467 mm,室内330 mm。

从主要设备的选型来看,可控硅的各项参数都能

满足工况要求。但穿墙套管选型低于用户要求的重污染环境最小爬电距离,不满足重污染环境穿墙套管户外绝缘子的最小爬电距离应为 1255 mm 的要求。导致在正常使用条件下发生放电现象,同时闪络距离室外为 467 mm,在重污染环境下易产生污闪现象。

4.2 dV/dt 的增大

由于在穿墙套管固定的底板上有一似焊点的痕迹,厂商认为发生了拉弧现象,由于拉弧造成 dV/dt 的迅速增加导致。一般认为爬电拉弧其能量应该是相当大的,同时应在绝缘子的表面留下爬电拉弧痕迹。另外如发生过拉弧就应该有 2 个灼烧点,另 1 个灼烧点应是带电的部分及套管端部的铝制均压罩,与底板的灼烧程度来比,铝制均压罩上应该留下更重的灼烧痕迹(因为铝比铁的熔点低)。但实际情况是,铝制均压罩均无灼烧痕迹,穿墙套管的表面也未发现爬电闪络痕迹。其故障时所发生的闪络应该是污闪现象,污闪现象一般不会产生很大的 dV/dt 。

在工厂中大量使用可控硅变流设备和电源装置,设备上时常发生污闪现象,也没有发生导致击穿可控硅阀的事故的记录。此套设备中使用的穿墙套管其闪络距离 467 mm(室外),在重污染地区发生了污闪现象是必然的,但不应该是造成一相可控硅全部击穿的直接原因。

4.3 di/dt 的上升

外商另判定在开状态下,由于闪络引起 di/dt 上升,导致可控硅阀全部损坏。一般闪络现象都发生在接近于相电压最大值的瞬间,相电压的突然降低而引起的回路等效放电电容电流,其特点是衰减快且共振频率高达数千赫,可产生很高的 di/dt 。但由于本系统中有大容量的补偿电抗器,对放电电容电流有遏制作用, di/dt 不会迅速上升,造成一相可控硅全部击穿的可能性不大。

4.4 可控硅触发装置的结构

将损坏的可控硅阀打开后,其所拍摄的照片来看,可控硅阀均在门极附近烧坏。外商也怀疑是触发脉冲不正常导致可控硅阀部分开通,使可控硅阀全部击穿。但事故后对所有可控硅触发单元进行测试,各单元的性能均正常。

前面分析中将目前国内、国外常用的可控硅触发系统归纳为两大类典型触发装置,一类是集中脉冲触发,另一类是单阀脉冲触发。单阀脉冲触发在进口设备中广泛使用,本套 SVC 系统中的可控硅触发装置是单阀脉冲触发。

单阀脉冲触发有着多方面的优点,特别是脉冲触发器输出与门极之间的距离极短,每个可控硅阀的触发器输出连接线完全一致,使得输出的触发脉冲抗电

磁干扰性强,触发的同步控制精度高。而“集中脉冲触发”装置从脉冲柜输出的触发脉冲,先经过屏蔽电缆接到可控硅阀组处的脉冲变压器原边,再从脉冲变压器的付边分别接到每个可控硅阀的门极(有长度差),对触发的同步控制精度有影响,抗电磁干扰性相对较差。

2 种触发装置的供电方式存在较大差异,集中脉冲触发装置是由脉冲柜中独立的电源装置供给电源,电源装置的输出电压稳定。同时装置中的前沿脉冲控制、前沿脉冲形成、脉冲控制、振荡、逆变等电路模块都是在稳定的电压下工作,高压主回路的波形异常对脉冲触发不会产生影响。在脉冲形成到触发脉冲输出前,每相上的脉冲触发是同一的(如 T_{ab+})。而单阀脉冲触发装置的每个 TCU 单独取电源,由于电源直接取自可控硅阀两端,高压回路的波形受各种因素的影响,必然对 TCU 的工作电源产生影响。如果在可控硅阀附近的局部放电、闪络,本相的电压突然降低,或瞬间为零,必然会对 TCU 的输出触发脉冲产生影响,是有可能引发可控硅全部击穿的。

分析 TCU 的工作原理,TCU 模块中含正常触发、检测、恢复保护、保护触发单元。正常触发时由检测单元产生的电压,在 FP 光控信号的控制下,输出一个触发电压 U_c ,宽度约 50 μs 的方波脉冲波形触发可控硅开通,可控硅阀的开通面积 S 达 100%,可控硅阀的通流能力为额定电流 I_d 。可控硅阀组正常工作。如果出现另一种情况,可控硅阀在触发脉冲的前沿触发下开始逐渐打开,此时穿墙套管正好产生污闪现象,由于穿墙套管在可控硅阀附近,TCU 的工作电源电压与闪络电压一样突然降低或瞬间为 0,从而引起输出方波脉冲波形变窄的不正常脉冲。

失去持续触发电压的可控硅阀导通区面积 S 无法逐渐扩大,导致可控硅阀没有全部开通,可控硅阀的部分开通使阀的通流能力达不到额定电流 I_d 。但可控硅阀一旦打开后,外部负载电流由工况确定,仍保持很大的数值,通流能力的不足使可控硅阀在门极附近烧坏。由于保护单元的脉冲波形是同一工作电源,同时受到污闪引起高压回路的波形变化干扰,不能使可控硅阀继续打开,无法起到保护作用。这应该是造成一相可控硅全部击穿的真正原因。

5 结束语

通过以上事障原因分析,建议工业用户在 SVC 选型和使用过程中,注意对重污染环境下,设备的相关参数合理确定,特别是距离阀组较近的穿墙套管等要提高防污等级。对触发系统是单阀脉冲触发装置的 SVC,不能在污闪状态下继续使用,以防同类事故的发生。

(2) 将整个区域电网的故障定位功能集中在中心变电站的 1 台装置中, 实现了故障信息的集中获取和同步分析, 装置占用屏柜少, 投资省, 经济实用。

(3) 柔性光学互感器体积小, 重量轻, 抗电磁干扰能力强, 可灵活适应于各种现场条件, 实现不停电安装和检修, 现场施工简单。

(4) 检修机制简单, 异常情况处理智能化, 使用及维护工作量小。

本方案对于架空线—电缆混合线路较多的城市电网来说, 具有较大的推广使用价值。

参考文献:

- [1] 江少成, 岳亚丽, 潘震宇, 等. 架空线—电力电缆混合线路特性及保护配置探讨[J]. 四川电力技术, 2009, 32(6): 42-44.
- [2] 许晓慈. 架空—电缆混合线路的自适应保护方案[J]. 华东电力, 2005, 33(9): 58-60.
- [3] 范春菊, 宋蓓华, 郁惟镛. 电缆—架空混合线路相间距离保护方案研究[J]. 供用电, 2006, 23(5): 33-36.
- [4] 沈 军, 李超群, 朱晓彤, 等. 高压电缆—架空线混合线路重合闸新判据[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(13): 97-100.
- [5] 吴承恩, 郇能灵, 郁惟镛. 超高压电缆—架空线混合线路故障

测寻方法[J]. 供用电电力系统自动化, 2005, 29(10): 26-29.

- [6] 王晓菁. 光学电流互感器的研究方向与现状[J]. 电力科学与工程, 2008, 24(2): 34-36.
- [7] 吴 罡, 李 琳, 李 翔. 110 kV 智能变电站设计方案初探[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(2): 31-35.
- [8] 张沛超, 高 翔. 智能变电站[J]. 电气技术, 2010(8): 4-10.
- [9] 金 逸, 刘 伟, 查显光, 等. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(2): 12-15.
- [10] 许小兵, 董丽金, 袁 栋. 智能变电站小电流接地选线装置的研究与实现[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 55-58.

作者简介:

- 李园园(1974), 女, 河南济源人, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 沈 军(1975), 男, 江苏南通人, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 朱晓彤(1976), 男, 江苏常州人, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 王 耀(1980), 男, 安徽合肥人, 工程师, 研究方向为一次设备;
- 刘革明(1980), 男, 湖北武汉人, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护及控制系统。

Faulty Zone Discrimination Method and Realization for Cable-overhead Mixed Lines in Regional Power Grid

LI Yuanyuan, SHEN Jun, ZHU Xiaotong, WANG Yao, LIU Geming
(NARI-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes a new method to discriminate the faulty zone for cable-overhead mixed lines in regional power grid based on Flexible Optical Current Transducer (FOCT) and smart substation technology. The overall scheme of the new method, as well as the device realization, maintenance and error handling are discussed in details. The practical application of the method indicates that it is effective to discriminate the faulty zone in regional power grid.

Key words: cable-overhead mixed line; regional power grid; faulty zone; faulty zone discrimination; flexible optical current transducer (FOCT)

(上接第 63 页)

参考文献:

- [1] 杨志新, 杨世海. 基于串联补偿的间谐波抑制技术研究[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(2): 38-42.
- [2] 赵殿甲. 可控硅电路[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1986: 2-79.

作者简介:

- 胡建农(1958), 男, 安徽芜湖人, 高级工程师, 从事高压电气设备 & 能源设备技术管理工作。

Analysis of SVC Single-Phase SCR Breakdown

HU Jiannong

(Energy&Environment Department of Shanghai Meishan Iron&Stell Co.Ltd., Nanjing 210039, China)

Abstract: Static Var Compensation (SVC) device has been widely used in iron and steel enterprises. For enterprises' safe production, it is critical to keep SVC operated in a state. In this paper, the anti-jamming performance of two kinds of typical trigger device in the environment of electrical equipment discharge is analyzed, and the reason of causing SVC single-phase SCR breakdown is obtained. Based on the study, we suggest general industrial users to pay attention to the impact of electrical equipment discharge on trigger device.

Key words: concentrated pulse trigger; single valve trigger pulse; flash-over phenomenon; thyristor