

电流型脉冲驱动的 10 kV SVC 装置的研制

许珉, 卢宜, 王克文

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 介绍了一种采用电流型脉冲驱动和基于 DSP 处理器的 10kV TCR 型 SVC 装置, 包括硬件结构、设计特点与控制方法。利用电流互感器传递触发脉冲, 隔离高压, 较好地解决了低成本隔离问题。与采用光纤和脉冲变压器的 TCR 型 SVC 装置相比, 具有价格低和绝缘容易的明显特点。

关键词: 静止无功补偿器; 晶闸管控制电抗器; 电流型脉冲驱动

中图分类号: TM714.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)16-0066-04

0 引言

TCR 型静止无功补偿器, 对抑制冲击负荷造成的电压波动, 稳定系统电压, 提高电网功率因数, 降低线损等具有控制快速, 可连续调节, 效果显著等特点, 具有广泛应用前景^[1]。但对于高压系统, 需要将可控硅串联使用, 为了隔离, 常采用光纤进行信号传递, 串联可控硅的同时触发也不易实现, 装置技术难度较大, 成本较高, 其应用受到了限制。在国内的应用中, 文献[2]采用高阻抗变压器的 TCT 型 SVC, 其优点是可控硅在变压器低压侧, 耐压和隔离易解决, 但变压器损耗功率, 也增加了装置的成本。文献[3]介绍了第一套国产 TCR 型 SVC, 但隔离及触发问题未涉及。文献[4]和[7]中采用真空接触器投切电容器。在文献[5]介绍的 TCR 型 SVC 方案中, 采用光纤实现触发隔离。文献[6]和[9]采用可控硅投切电容器, 即 TSC 型 SVC。文献[8]介绍了对 SVC 的监测。

本文研制的 TCR 型 SVC 装置采用电流型脉冲驱动电路, 利用电流互感器隔离高压和传递触发脉冲, 绝缘容易, 价格低, 较好地解决了同时触发和低成本隔离问题。

1 SVC 系统硬件结构

本文研制的静止无功补偿装置硬件由测量与控制、触发和功率驱动、晶闸管主回路及滤波器组成。SVC 系统硬件结构如图 1 所示。

1.1 测控模块

SVC 控制器采用 TMS320F206 型 DSP 处理器, 运算速度快, 32 k × 16 位 FLASH 存储器存储固化程序, 保存重要数据。采用 14 位 A/D 变换器, 同时采样, 测量精度高。3 片 D/A 变换器的输出电压控制

三相晶闸管的导通角。一个红外串行通讯接口, 与调试计算机通讯, 利用调试计算机设置功率因数和电压定值。测量采用均方根法计算三相电压、电流、有功功率、无功功率和功率因数, 为调节功率因数和调节电压提供数据。在电抗器晶闸管支路加装电流互感器(如图 2 所示), 为 SVC 控制提供晶闸管支路的电流。对于分相调节, 需要测量三个电抗器晶闸管支路的电流。零序电压的测量可以使装置在发生单相接地故障时闭锁 SVC 装置, 另外, 装置还具有断线闭锁功能和硬件自复位电路。

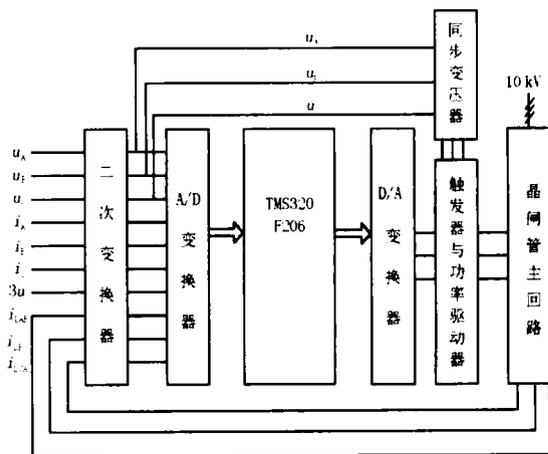


图 1 SVC 的硬件结构

Fig. 1 Hardware structure of SVC

1.2 晶闸管主回路

晶闸管主回路采用三角形接线, 晶闸管设在两个电抗器中间, 每个回路装设一个电流互感器测量晶闸管主回路的电抗器电流。晶闸管采用串联接线, 每个角接回路由两串各若干个串联晶闸管阀体反并联组成。每串晶闸管采用 RC 均压电路以实现静态及瞬态的均压。晶闸管主回路如图 2 所示。 Q 是测量点的无功功率, Q_L 是电抗器吸收的无功功

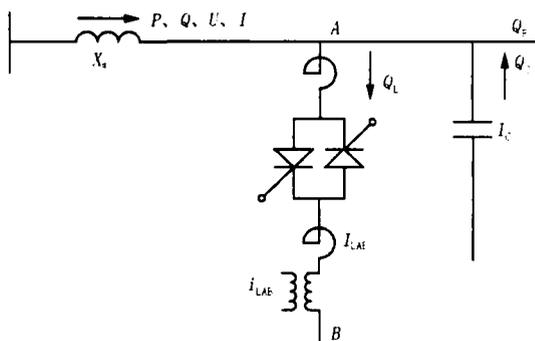


图2 SVC 接线图

Fig. 2 Connection diagram of SVC

率, Q_F 是负载无功功率, Q_C 是固定电容器容量。

TCR 型 SVC 的工作原理是:通过调节晶闸管的导通角控制电抗器回路的电流,在 Q_F 减小时,增大 Q_L ,在 Q_F 增大时,应减小 Q_L ,可连续调节电抗器回

路的无功功率,不仅可以改善功率因数,还可以抑制电压波动。

1.3 触发与功率驱动电路

1.3.1 串联晶闸管的触发与关断要求

在一只晶闸管的电压不能满足要求时,需要将多只晶闸管串联。串联晶闸管要求同一瞬间导通和关断,因此往往要求强触发。本系统强触发脉冲上升时间小于 $3 \mu s$,触发电流 $(3 \sim 5) I_{CT}$ (每串中晶闸管的最大触发电流)。由于本系统晶闸管带的是大电感负载,触发脉冲用宽脉冲最佳,但脉冲宽度过大不易通过电流互感器。经试验,脉冲宽度大于 $2 ms$ 就能可靠触发晶闸管。串联晶闸管的同时导通由一次侧串联的电流互感器来保证,关断时间的一致性靠选配,即选择反向恢复电荷较接近的晶闸管组串。

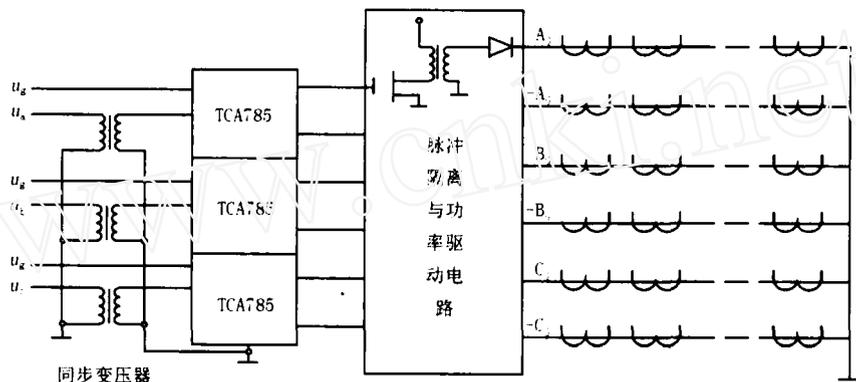


图3 触发与功率驱动电路

Fig. 3 Triggering and driving circuit of SVC

1.3.2 触发与功率驱动电路

由于主回路晶闸管工作电压 $10 kV$,要求功率驱动电路与晶闸管的绝缘耐压大于 $50 kV$ (DC)。必须对触发电路进行隔离。触发电路一般有两种:一种方式是采用脉冲变压器的触发与隔离电路,由于用于 $10 kV$,必须加强绝缘,成本较高,且只适用于几只晶闸管串联的情况。第二种方式采用光导纤维进行触发与隔离,需要光电转换、脉冲放大和辅助电源^[10],成本昂贵。本系统采用电流型脉冲驱动电路,因而可以采用价格较低的电流互感器,绝缘容易且成本低。与使用光纤和脉冲变压器相比,成本较低。触发脉冲用电流互感器铁芯面积要选的大一些,使其工作在磁化曲线的线性段,可以加快电流响应时间,电流上升时间短;为了保证电流互感器原、副边绝缘的耐压要求,副边采用了高压绝缘线等绝缘措施加强绝缘;触发脉冲用电流互感器低压侧要接地以保证设备和人身安全。

本系统触发电路、脉冲隔离与功率放大电路由完全相同的电路组成。采用三片 TCA785 高性能触发电路,功率驱动电路采用电流型脉冲驱动电路,六路输出(如图 3 所示),每路串联若干只电流互感器,一次侧流过同一驱动电流,保证了接在二次侧同一串的晶闸管同时触发和触发电流大小的一致性。控制电压 U_g 由 D/A 变换器产生,对三相不平衡负载可以使用三片 D/A 变换器分相控制触发角。

2 SVC 的控制方法

2.1 功率因数的调节

功率因数高于定值时,需要增大电感电流 ΔI_L ,将晶闸管回路吸收的无功功率增大 ΔQ_L ,降低功率因数,如图 2 所示,如果功率因数的上限定值为 $\cos \phi_d$,则

$$\text{由 } \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + \Delta Q_L)^2}} = \cos \phi_d \text{ 可得}$$

$$P^2 = \cos^2 \phi_d [P^2 + (Q + \Delta Q_L)^2]$$

$$P^2 - P^2 \cos^2 \phi_d = \cos^2 \phi_d (Q + \Delta Q_L)^2$$

$$P^2 \sin^2 \phi_d = \cos^2 \phi_d (Q + \Delta Q_L)^2$$

$$\Delta Q_L = P \tan \phi_d - Q$$

由 ΔQ_L 可以计算出来电感电流增量为

$$\Delta I_L = \frac{\Delta Q_L}{3U} \text{ (三角形接线)}, \text{ 根据 } \Delta I_L \text{ 计算出晶闸管回路电流为 } I_L + \Delta I_L。$$

功率因数低于定值时,需要减小电感电流 ΔI_L ,将晶闸管回路吸收无功功率减少 ΔQ_L ,提高功率因数,如图 2 所示,如果功率因数的下限定值为 $\cos \phi_d$,则

由 $\frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q - \Delta Q_L)^2}} = \cos \phi_d$ 可得

$$\Delta Q_L = Q - P \tan \phi_d$$

由 ΔQ_L 可以计算出电感电流

$$\Delta I_L = \frac{\Delta Q_L}{3U}, \text{ 根据 } \Delta I_L \text{ 计算出晶闸管回路电流为}$$

$I_L - \Delta I_L$ 。

为避免频繁调节,可增大功率因数定值上下限范围。

2.2 电压的调节

电压调节的目的是减小电压波动,提高电压的稳定性,电压控制采用 PID 算法, U_d 为电压定值, U_c 为电压测量值, X_s 是线路电抗。电压的 PID 控制框图如图 4 所示。调节规律:电压高于定值, PID 输出的 ΔI_L 为正,增大晶闸管回路电流到 $I_L + \Delta I_L$; 电压低于定值, PID 输出的 ΔI_L 为负,将晶闸管回路电流减小到 $I_L + \Delta I_L$ 。电压调节的 PID 算法中的比例系数按下式计算: $K = -(U_d - U_c)/X_s$ 。

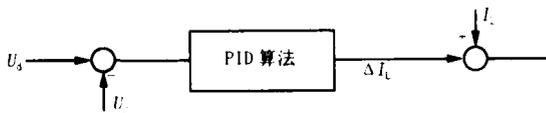


图 4 SVC 的 PID 控制框图

Fig. 4 PID control diagram of SVC

电压调节范围可以通过设置电压上下限来控制。装置还可以通过设置功率因数和电压定值来控制装置是以调节无功功率为主还是以调节电压为主。

2.3 感性无功电流的控制

TCR 输出的感性无功电流 I_1 通过调节触发角 α 可以在 0 到 I_m (幅值) 范围连续调节,感性无功电

流 I_1 与触发角 α 之间的关系为

$$I_1 = \frac{2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} I_m$$

当 $\alpha = \pi/2$ 时, $I_1 = I_m$, 当 $\alpha = \pi$ 时, $I_1 = 0$ 。由于它们之间关系为非线性,本装置采用分段线性化的方法计算触发角 α 和控制电压 U_x 。

3 结论

本文研制的 TCR 型 SVC 装置采用 DSP 做为控制器,采用电流型脉冲驱动电路,由串联电流互感器传递触发脉冲,一次侧流过同一驱动电流,保证了接在二次侧同一串的晶闸管同时触发和触发电流大小的一致性。而采用电流互感器隔离高压,绝缘容易,价格低,较好地解决了低成本隔离问题。本装置可以连续调节电抗器回路的无功功率,不仅可以改善功率因数,还可以抑制电压的波动,由于成本降低,可应用在重负荷 10 kV 线路、变电站和电压波动较大的企业,具有更广泛的应用范围。本装置已完成研制和调试并投入现场运行。

参考文献:

- [1] 孙元章,王志芳,卢强. 静止无功补偿器对电压稳定性的影响[J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(6): 373-376.
SUN Yuan-zhang, WANG Zhi-fang, LU Qiang. The Effect of SVC on the Voltage Stability[J]. Proceedings of the CSEE, 1997, 17(6): 373-376.
- [2] 刘益良. 2 × 30t 电弧炉 TCT 型静止无功功率补偿 (SCV) 装置[J]. 特殊钢, 1999, 20(1): 51-53.
LIU Yi-liang. TCT Static Wattless Power Compensation (SVC) Device for 2 × 30t Electric Arc Furnace[J]. Special Steel, 1999, 20(1): 51-53.
- [3] 翁利民, 张广祥, 曾莉. 武钢硅钢 SVC 的研制与实际效果的评价[J]. 电力系统自动化, 2000, 21(10): 39-42.
WENG Li-min, ZHANG Guang-xiang, ZENG Li. Research and Practical Effect Assessment of SVC in Silicon Steel of Wisco[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 21(10): 39-42.
- [4] 王建斌, 吴启涛, 纪延超, 等. 10kV 高压无功功率自动补偿系统的研制[J]. 电网技术, 2001, 25(5): 66-67.
WANG Jian-ze, WU Qi-tao, JI Yan-chao, et al. Development of 10 kV Automatic Reactive Power Compensating System[J]. Power System Technology, 2001, 25(5): 66-67.

- [5] 吴杰. 大型电弧炼钢炉 SVC 方案设计及其实效效果 [J]. 电网技术, 2001, 27(1):76-79.
WU Jie. Scheme Design and Its Practical Effect of SVC for a Large Scale Arc Furnace [J]. Power System Technology, 2001, 27(1):76-79.
- [6] 黄绍平, 彭晓, 沈喜明. TSC 无功补偿装置的设计 [J]. 高压电器, 2003, 39(6):33-35.
HUANG Shao-ping, PENG Xiao, SHEN Xi-ming. Design of TSC Reactive Power Compensation Device [J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(6):33-35.
- [7] 闫静, 金黎, 闫青春. 10 kV 柱上无功自动补偿装置的研制 [J]. 电力自动化设备, 2004, 24(5):57-60.
YAN Jing, JIN Li, YAN Qing-chun. Development of 10kV Pole-mounted Automatic Reactive Compensation Equipment [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(5):57-60.
- [8] 李建华, 陈建业, 张海波, 等. 虚拟仪器技术在 SVC 监测系统中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(5):65-67.
LI Jian-hua, CHEN Jian-ye, ZHANG Hai-bo, et al. Application of Virtual Instrument Technology to SVC Monitoring System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(5):65-67.
- [9] 赵广, 陈建业, 逯帅. 基于 DSP 的静止无功补偿装置控制器设计 [J]. 电力电子技术, 2002, 36(3):1-4.
ZHAO Guang, CHEN Jian-ye, LU Shuai. Design of DSP Based SVC Controller [J]. Power Electronics, 2002, 36(3):1-4.
- [10] 王兆安, 张明勋. 电力电子设备设计 and 应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
WANG Zhao-an, ZHANG Ming-xun. Power Electronics Equipments Design and Application Manual [M]. Beijing: China Machine Press, 2002.

收稿日期: 2004-11-25; 修回日期: 2005-04-01

作者简介:

许珉(1956-), 男, 副教授, 研究方向为电力系统监视与控制; E-mail: xumin@zzu.edu.cn

卢宜(1951-), 男, 高级工程师, 研究方向为电力电子技术应用;

王克文(1964-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统稳定与控制。

Development of the current pulse driving 10kV SVC device

XU Min, LU Yi, WANG Ke-wen

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A current pulse driving and DSP processor based 10kV SVC device was presented, including the hardware structure, design characteristic and the control technique. With current transformers used to transfer the trigger pulses and insulate the high voltage, the problem of low cost insulation was solved preferably. Compared with the TCR typed SVC using fiber and pulse voltage transformer, the presented device possesses the obvious characteristics of the lower cost and easier insulation.

Key words: static var compensation(SVC); thyristor controlled reactor(TCR); current pulse driving

(上接第 65 页 continued from page 65)

(1. Chemistry Department, Henan Education Institute, Zhengzhou 450003, China;

2. Physics Department, Henan Education Institute, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: This paper introduced a way to design on-line remote monitoring system for power transformer based on CAN bus. In this system, the host can on-line monitor many remote power transformer by CAN communication, analyse the running parameters and predict the failure of the power transformer. It is reliability, effectiveness and suppressing interference. It is easy to connet a new CAN node.

Key words: CAN bus; power transformer; monitor