

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.016

# 可控硅串级使用触发电路

周浩<sup>1</sup>, 孙晓<sup>2</sup>, 杨永<sup>3</sup>, 肖强晖<sup>1</sup>, 易吉良<sup>1</sup>, 卢祥江<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007;  
2. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007; 3. 中国人民解放军 75123 部队, 广西 桂林 541005)

**摘要:**可控硅作为开关元件在高压测控领域中应用越来越多。为了更好的保证高电压作业条件下的人身安全、元器件性能稳定、测试数据更加精准,对可控硅串级使用中电路的改进显得尤为必要。文章利用 R-C 回路进行了动态均压保护以及并联 R 的静态均压保护方法,提出了一种在高电压条件下可控硅作为开关元件串级使用的触发电路的改进方法,使可控硅串级触发电路的稳定性有了进一步的提高,解决了使用中容易误触发、不能同步触发、温度过高等缺点。在现场试验中,串级后的可控硅各项性能稳定、可靠。图 3 表 1 参 9

**关键词:**可控硅;串级;保护;稳定

中图分类号:TM774 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2012)06-0062-03

## Design of the Trigger Circuit for SCR Cascade

ZHOU Hao<sup>1</sup>, SUN Xiao<sup>2</sup>, YANG Yong<sup>3</sup>, XIAO Qianghui<sup>1</sup>, YI Jiliang<sup>1</sup>, LU Xiangjiang<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 212007, Hunan, China;  
2. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, Hunan, China;  
3. 75123 Unit of the PLA, Guilin 541005, Guangxi, China)

**Abstract:**In the high-pressure measurement and control field, SCR as a switching element in the circuit design is used more and more frequently. In order to better guarantee the personal safety of high-voltage operating conditions, components performance stable, accurate test data, the improvement of the SCR cascade circuit is particularly necessary. Resistor-capacitor circuit by using dynamic voltage protection, as well as parallel resistor static pressure protection, the paper proposed an improvement method—a high voltage conditions SCR as a switching element cascade trigger circuit, so that the SCR string level trigger circuit stability being further improved to solve the short comings, such as false triggering in use, fail to trigger synchronization, too high temperature etc. In field trials, the performance of SCR cascade proved stable and reliable. [ Ch,3 fig.1 tab.9 ref. ]

**Key words:**silicon controlled rectifier(SCR); cascade; protection; stable

## 0 引言

近年来,可控硅广泛的应用在各种测控行业,并且其串级使用时容易发生的误触发、不能同步触发等情况限制了它的应用。为了更好发挥可控硅的开关作用,获得更好的测控数据,一般需要一系列的措施,但是造成成本太高或者是效果不明显,文章对可控硅特性的分析,提出了一种能够对高压可控硅串级使用时

较好的进行静、动态均压保护的方法。该方法有效地保障了高压可控硅串级使用时的安全、可靠运行,从而获得较好的经济效益。

## 1 可控硅串级使用原理

在测控行业<sup>[1-2]</sup>中,如电机匝间耐压测试,往往加载在电机匝间中的电机高达几千,甚至几万伏,此时可控硅往往需要承受自身耐压值的几倍或者几十倍的电

收稿日期:2012-05-12;修回日期:2012-09-07

基金项目:住建部节能监管平台研制与节能改造项目资助(财建[2010]520-05)

作者简介:周浩(1987),男,湖南浏阳人,湖南工业大学硕士研究生,主要研究方向为智能系统。E-mail:zhouhao0903@yahoo.com.cn;通信作者:孙晓,副教授,硕士生导师,主要研究方向为机电控制与计算机技术。

压,这种情况下,市面上就没有符合耐压值的可控硅了,必须将可控硅串级形成可控硅组。

### 1.1 可控硅串级个数的计算

在高电压测控行业中,对可控硅串级使用,与电阻串级类似,耐压值会有所改变,为了保证测试系统的安全,在设计中对可控硅要降低标定的耐压值使用<sup>[3]</sup>。

设串级后单个可控硅的耐压值为  $U_2$ ,串级前单个可控硅的耐压值为  $U_1$ ,取  $U_2 = 0.8U_1$ 。

设所需的串级可控硅的数量为  $n$ ,可控硅串级后的可控硅组承受的正向峰值电压为  $U_m$ ,则

$$n = \frac{2U_m}{U_2} = \frac{2U_m}{0.8U_1} = \frac{U_m}{0.4U_1} \quad (1)$$

### 1.2 可控硅组的同步导通时间

由于单个可控硅<sup>[4,5]</sup>的触发导通时间  $T_{on}$  可能不同,所以在串级使用时,由于各个元件的触发时间不同会导致可控硅组不能同时触发,或者脉冲宽度不够,不足以使可控硅导通。由此可能导致其中的一些可控硅已经导通,而其他的可控硅未导通,此时匝间高压都集中在导通的可控硅上,将导致元器件的损坏,导致整个测试中断失败。在设计中必须首先考虑同步导通时间。

### 1.3 最大正向平均漏电流

可控硅使用中一项很重要的参数为最大正向平均漏电流  $I_f$ ,由于每个可控硅的最大正向平均漏电流  $I_f$  有所差别,在未进行任何保护措施的情况下直接串级,可能使加在可控硅的电压有很大差别,此时可能导致可控硅被击穿。

## 2 可控硅组的设计

由于串级使用的可控硅参数不同,采用对可控硅的阳极与阴极之间并联电阻  $R_2$  的方法,即静态均压。计算方法见公式

$$R_2 = (k - 1) \frac{U_1}{I_R} \quad (2)$$

式中:  $I_R$ —正向平均漏电流;

$k$ —可控硅组准许电压不均匀系数。

考虑到可控硅组的同步触发,对保护电路进行并联<sup>[6]</sup>R-C 回路进行动态均压保护。

基于上述原理以及注意事项,设计一种可控硅保护电路,如图1所示。

图中,  $D_2$  为利用二极管的单向导通性,保证只有正脉冲输出至控制级,隔开反向电压;

$D_1$  为对负脉冲进行短路保护,将反向电压短路;

$R_1$  为限制输出触发电流,选择数值为  $24 \Omega$ ;

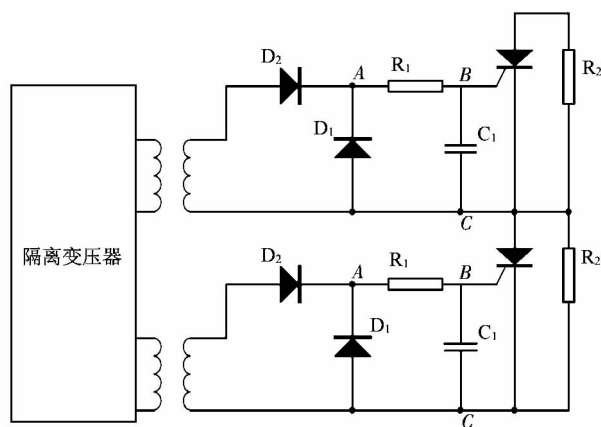


图1 可控硅保护电路

Figure 1 Protection circuit of SCR

$C_1$  为使脉冲变缓,防止误触发,选择数值为 101;  $R_2$  为静态均压保护电阻,一般选择为  $1 M\Omega$ 。

选取 A, B, C 3 点为测量点,利用示波器抓取 A 和 C 两点可控硅组触发导通时的波形。波形见图2。

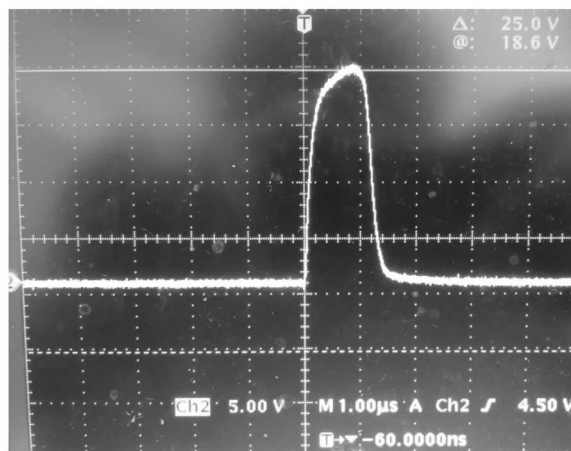


图2 可控硅导通波形图(对示波器拍摄)

Figure 2 Trigger waveforms of SCR

由图2可见,可控硅触发后,波形光滑,波峰处未出现陡峭尖峰,可见采用了静、动态保护后,效果明显。

## 3 实际应用

经过一系列的处理后可控硅组应用在电机匝间耐压试验系统<sup>[7-8]</sup>中,采用 MTC110-18 型可控硅整流桥模块,这种模块自带两组可控硅,耐压  $1 800 V$ ,电流  $110 A$ 。电路原理如图3。

设计以  $30 kV$  电机匝间试验台<sup>[9]</sup>为例,经过公式(1)计算,得出  $n = 41.7$ ,考虑到测试稳定性与准确性,取  $n = 42$ ,即使用 21 个 MTC110-18 型可控硅整流桥模块串级。对电机匝间耐压试验设置为  $1 s$  试验一次,环境温度为  $5^\circ C$ ,试验台连续运转  $5 h$ ,每间隔  $30 min$

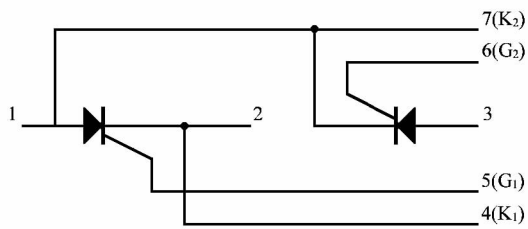


图3 MTC110-18 原理图

Figure 3 Schematic of MTC110-18

利用红外线测温仪测量一下 MTC110-18 模块的温度, 数据见表 1。

表 1 各个元器件温度值

Table 1 Various components temperature

试验时间	试验电压/kV	环境温度/℃	R <sub>1</sub> 温度/℃	R <sub>2</sub> 温度/℃	C <sub>1</sub> 温度/℃	MTC110-18温度/℃
10:00	25	5.3	5.3	5.3	5.3	5.7
10:30	25	5.3	5.5	5.4	5.3	5.4
11:00	25	5.3	5.5	5.4	5.4	5.7
11:30	25	5.3	5.4	5.7	5.1	5.6
12:00	25	5.3	5.7	6.1	5.8	5.6
12:30	25	5.3	5.1	7.0	5.7	5.7
13:00	25	5.3	5.5	10.0	4.8	5.6
13:30	25	5.3	5.3	8.0	5.5	5.6
14:00	25	5.3	7.9	8.0	5.6	5.7
14:30	25	5.3	5.4	7.5	5.5	5.6
15:00	25	5.3	5.5	6.7	5.6	5.6

由表 1 知,连续运转 5 h 后, MTC110-18 型可控硅整流桥的温度接近于常温。可见,设计中的可控硅组保护电路取得了良好的效果。

#### 4 结论

通过上述论证,采用简单的 R-C 回路,完成了可控硅串级使用过程中保护电路的静、动态均压保护。其特点在于,结构简单、维护方便、成本低、性能稳定,较好地满足了可控硅组的同步触发的要求。对高压测控行业以及需要可控硅作为开关元件的行业具有很明显的指导意义。

#### 参考文献 (References):

- [1] 李果,刘和平.基于虚拟仪器的 EPS 用感应电机测试系统[J].微电机,2010,43(11):89-92.
- [2] 刘华麟,雷潇,王有元,等.变压器绕组微小变形脉冲响应检测系统的设计[J].电测与仪表,2011,48(11):10-13.
- [3] 姚立海.电机安全性能自动测试系统[D].杭州:浙江大学,2003.
- [4] 李贞晓,杨春霞,栗保明.高功率脉冲电源中晶闸管应用的研究[J].电力电子技术,2010,44(10):87-90.
- [5] 江泳,杜峰,崔关照,等.可控硅关断参数分析及新型可控硅的应用[J].郑州轻工业学院学报,2004,19(1):44-45.
- [6] 孙晓,周浩,卢祥江.旋转机械振动测试平台的设计[J].湖南工业大学学报,2012,26(2):56-59.
- [7] 沈凯明,王玉芬,常兴.电机测试系统的 PLC 控制[J].轻工机械,2010,28(4):76-79.
- [8] 党存禄,鄢家财,宋文超,等.石油钻机 SCR 系统谐波抑制与无功补偿[J].电力电子技术,2010,44(10):103-105.
- [9] 周鹏,王英.能量回馈型异步电机测试系统[J].电机与控制应用,2011,38(4):57-60.

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

### 《轻工科技》2013 年征订启事

《轻工科技》原名《广西轻工业》,创刊于 1984 年,经国家新闻出版总署批准,2012 年 1 月更名为《轻工科技》,是广西轻工业科学技术研究院主办的优秀学术期刊,国内外公开发行,国际标准刊号 ISSN 2095-3518,国内统一刊号 CN 45-1385/TS,中国知网全文收录。

**欢迎投稿** 主要栏目:食品与生物、机械与电气、化工与材料、计算机科学与信息技术、资源与环境、纺织与设计、家具与设计、检测与分析、经济与管理、理论探讨。投稿邮箱:qgkj@vip.126.com。

**欢迎订阅** 本刊 2013 年为月刊,大 16 开本,168 页。每期定价为人民币 15 元(含包装邮寄费),全年为 180 元,国内外公开发行。可以通过邮汇或银行转账直接汇款到编辑部订阅(汇款后请来邮件说明)。汇单请注明订阅《轻工科技》份数。电话:0771-4518435,邮箱:qgkj@vip.126.com。

**邮局汇款:**地址:广西南宁市经开区迎凯路 8 号

邮编:530031

收款单位:《轻工科技》编辑部

**银行转账:**开户行:广西北部湾银行南宁市荣宝华支行

帐号:80003409688881

户名:广西轻工业科学技术研究院

### 《现代化工》征订启事

《现代化工》(www.xdhg.com.cn)创刊于 1980 年,是由中国化工信息中心主办的大型综合性化工技术类期刊,中文核心期刊,曾多次获得国家期刊奖,在化工领域有很大影响。《现代化工》以战略性、工业性和信息性为特色,致力于科技成果向生产力的转化,侧重应用技术,报道内容广,发行范围大,是化工及其相关领域从事科研、设计、教学、信息研究和技术管理人员的首选综合性技术类期刊。主要栏目有:“专论与评述”、“技术进展”、“科研与开发”、“工艺与设备”、“信息技术应用”等。

《现代化工》为月刊,2012 年全年定价为:300 元/年(印刷版),500 元/年(电子版)。

地址:北京安外小关街 53 号(100029)

电话:010-64444090(杨丽)

E-mail:mci@cheminfo.gov.cn。

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.017

# 轴向永磁卸载混合磁悬浮轴承 $\mu$ 控制器

田陈鑫, 谢伟东

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**磁悬浮轴承是一种新型无接触轴承,文章以带有永磁卸载轴承的轴向电磁磁悬浮轴承为研究对象。由于对永磁力的线性化产生一定误差,为保证稳定悬浮本文利用结构奇异值  $\mu$  综合法设计了电磁轴承  $\mu$  控制系统,并将永磁力误差作为不确定量引入。最后通过仿真证明控制器满足工作要求。图5参11

**关键词:**永磁卸载轴承;电磁轴承;鲁棒控制; $\mu$ 综合法

中图分类号:TH133.35 文献标志码:B 文章编号:1005-2895(2012)06-0065-03

## $\mu$ Controller Design for Axial AMB with a Permanent Unloading Magnet

TIAN Chenxin, XIE Weidong

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Magnetic suspension bearing is a new non-contact bearings technology. This paper focused on an axial active magnetic bearing with a permanent unloading magnet, and designed an active magnetic bearing  $\mu$  controlling system with  $\mu$  comprehensive method. Because of the permanent magnet linear force with some errors, in order to ensure stable suspension, a  $\mu$ -Synthesis control system is needed, as well as quoted the permanent magnet error as an uncertain quantity. Finally, the simulation proved the controller can meet the job requirements. [Ch, 5 fig. 11 ref.]

**Key words:** permanent unloading magnet; active magnetic bearing; robust control;  $\mu$ -synthesis

### 0 引言

磁悬浮轴承是利用磁力使转子无接触悬浮的一种新型轴承,具有无摩擦、无需润滑等优点<sup>[1]</sup>。根据磁力来源可分为电磁轴承、永磁轴承和超导轴承。电磁轴承通过控制器控制电磁铁对吸引力实现转子稳定悬浮,具有刚度和阻尼可调的优点。永磁轴承是由永磁铁提供转子悬浮所需的磁力,其具有结构简单、无需外部能量的特点。结构中既有电磁铁,又有永磁铁或超导体的称为混合轴承<sup>[2]</sup>。混合磁悬浮轴承综合电磁磁悬浮轴承阻尼刚度可调以及永磁轴承节能的优点。本文的研究对象即为永磁——电磁混合磁悬浮轴承,其中永磁轴承起卸载作用,承受大部分转子的重力;电磁轴承起调节作用,控制转子使其稳定悬浮。

控制器是电磁轴承设计的核心,其性能直接决定了轴承的刚度、阻尼等参数<sup>[3]</sup>。由于永磁轴承磁力与位移为非线性关系,在对其线性化时存在一定误差。为使转子稳定悬浮,考虑采用鲁棒  $\mu$  控制策略<sup>[4]</sup>,将

永磁力线性化后的误差作为参数摄动进行有针对性的抑制。

### 1 电磁轴承建模分析

电磁轴承结构由控制器、功率放大器、电磁铁和位移传感器组成。其工作原理为利用位移传感器检测转子偏离参考位置的位移,控制器计算出控制信号,然后功率放大器将控制信号转换为控制电流,达到调节电磁力使转子回到给定位置<sup>[5-6]</sup>。

由于永磁铁吸引力不仅与材料和气隙厚度有关,还受其形状等因素的影响,吸引力和气隙厚度为非线性函数<sup>[7]</sup>,且很难得到其函数表达式。用 ANSYS 分析,将气隙分为几层分别计算得:在最接近时,转子与永磁轴承间的气隙为 1 mm,永磁力为 1 000 N;在平衡位置处气隙为 1.5 mm,永磁力为 860 N;在最远即起浮位置处,气隙为 2.7 mm,永磁力为 610 N。分析磁悬浮轴承工作过程可知,当转子发生偏离而处于平衡位置下方时,要求轴承对转子的吸引力大于转子自身

收稿日期:2011-10-13;修回日期:2011-10-30

作者简介:田陈鑫(1986),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事电磁轴承、飞轮电池方面的研究。E-mail:xwd@zjut.edu.cn