

大功率晶闸管全动态测试台开发

王昊, 范荣贵, 赵海旭, 崔异鹏, 任润楠

(天津电气科学研究院有限公司, 天津 300180)

摘要: 基于对直流整流装置使用的大功率晶闸管与散热器压接组件进行全面动态性能测试的需求, 开发了大功率晶闸管检测试验台系统。详细阐述了该试验台的主要组成部分、工作原理及系统软件的开发。

关键词: 大功率晶闸管; 测试台; 全动态

中图分类号: TM732 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqed20766

Development of Full Dynamic Test Bench for High Power Thyristor

WANG Hao, FAN Ronggui, ZHAO Haixu, CUI Yipeng, REN Runnan

(Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China)

Abstract: Based on the requirement of comprehensive dynamic performance testing of high-power thyristor and radiator crimping components used in DC rectifier, a high-power thyristor testing test-bed system was developed. The main components, working principle and system software development of the test-bed were described in detail.

Key words: high power thyristor; test bench; full dynamic

我单位生产的大功率整流装置主要应用于冷轧钢铁行业的直流电机调速控制, 而大功率晶闸管组件是直流整流装置的重要组成部分, 所以晶闸管组件的品控对于直流整流装置的整体正常运行起到非常重要的作用。本套试验测试台系统的开发设计也就应运而生。

1 试验系统的硬件设计和测试原理

1.1 试验台设计要求

晶闸管全动态测试台主要技术指标如下^[1]:

- 1) 通态平均电流 I_{TAV} : 100 ~ 2 000 A;
- 2) 通态平均电压 U_{TAV} : 0 ~ 2.5 V;
- 3) 断态及反向重复峰值电压 U_{DRM}/U_{RRM} 范围: 0 ~ 5.00 kV;
- 4) 断态及反向峰值漏电流 I_{DRM}/I_{RRM} 范围: 0 ~ 300 mA;
- 5) 电流测试精度: 0.5%;
- 6) 电压测试精度: 0.5%;
- 7) 温度测试精度: 0.5 K;
- 8) 控制方式: 计算机控制;

9) 数据记录: 通态平均电流值、 U_{DRM}/U_{RRM} 值、 I_{DRM}/I_{RRM} 值及通流时间等, 记录导入 EXCEL 表。

1.2 试验系统硬件组成

该套测试试验台的硬件系统主要包含4大部分, 分别为: 大电流回路系统、高压回路系统、风道系统及测控采集系统。该测试试验台硬件部分详细功能包含系统部分见图1。

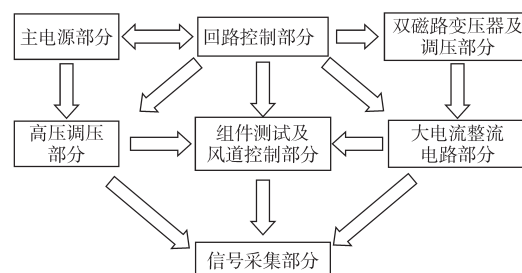


图1 试验系统概括框图

Fig.1 General diagram of test system

主电源部分提供三相380 V电源和单相380 V电源。三相380 V为主电路总电源, 同时为控制系统部分提供供电。单相380 V电源由三相380 V电源经三相变单相变压器转换而来, 用来作为大

基金项目: 晶闸管全动态测试台(GE2015GHD004)

作者简介: 王昊(1990-), 男, 本科, 助理工程师, Email: w57121@163.com

电流回路和高压回路的电源。主电源部分的主回路示意图如图2所示。

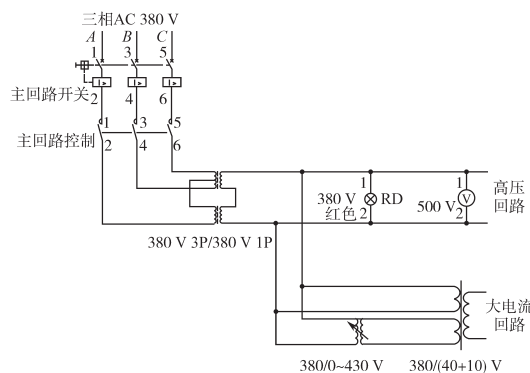


图2 主电源供电示意图

Fig.2 Schematic diagram of main power supply

图2还包含了大电流回路的单相双磁路变压器和调压变压器部分。单相主回路供电经双磁路变压器和单相调压变压器后,为大电流的主回路提供40~50V的可变电压,然后经过由单相移相脉冲控制器控制的整流回路输出正弦半波导通的脉动直流电流,通过调节该脉动直流电流的平均电流(I_{TAV})大小作为测试组件的通态电流(被测试晶闸管组件的门极触发控制与大电流整流回路的门极触发保持一致,统一经由脉冲信号放大控制板输出,从而保证动态测试时的相序统一)。

高压回路部分也是通过单相380V电源供电,然后通过380V/0~430V 2KV·A可调变压器及380V/4 500V 1KV·A升压变压器后,可实现该回路电压的0~5000V的连续可调。高压回路经二极管整流后输出为单相脉动直流电压,通过高压继电器控制输出的脉动直流电压的正向重复峰值电压 U_{DRM} 和反向重复峰值电压 U_{RRM} 的大小,来作为测试组件的断态重复峰值电压。高压回路输出的脉动直流电压与大电流回路的脉动直流的相序相差180°,进而使得动态测试晶闸管组件时可以同时施加高压大电流^[2-3]。

高压回路供电的示意图如图3所示。

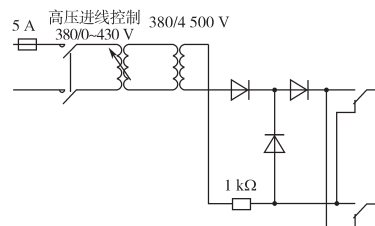


图3 高压回路供电示意图

Fig.3 Schematic diagram of power supply for high voltage circuit

被测件回路将低压电源与高压电源同时汇总在被测件上,通态电压测量回路由高压继电器控制接通,同时高压回路与测量回路进行连锁以防高压烧毁测量仪表。

被测件回路示意图如图4所示。

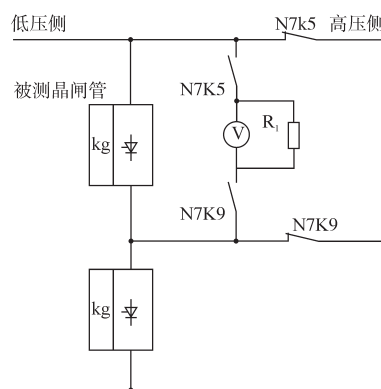


图4 被测件回路示意图

Fig.4 Circuit diagram of the test object

1.3 被测试晶闸管组件特性

晶闸管的结构和电气符号如图5所示,其工作原理特性可归纳为以下几点:

- 1)当晶闸管阴极K和阳极A承受反向电压时,无论门极G是否触发,都无电流导通;
- 2)当晶闸管阴极K和阳极A承受正向电压时,只有门极G有触发电流的前提下晶闸管才会导通;
- 3)晶闸管一旦导通,门极将无法控制晶闸管是否导通,晶闸管将一直保持导通;
- 4)若要关断晶闸管,只能利用外电压和外电路的作用使导通电流降至接近于零的某一数值之下。

晶闸管试验件的特性反映到伏安特性上则如图6所示。位于第I象限的是正向特性,位于第III象限的是反向特性。当 I_G 等于0时,如果在两端施加正向电压,则晶闸管处于正向阻断状态,只有很小的正向漏电流(虚线以下部分)。如果正向电压超过临界极限即正向转折电压 U_{B0} ,则漏电流急剧增大,器件开通(由高阻区经虚线负阻区到低阻区)。随着门极电流幅值增大,转折电压逐渐降低。导通后的晶闸管阳极通过较大的电流,本身的压降也很小,在1V左右。导通时,如果门极电流为零,并且阳极导通电流降至接近于零的数值 I_h (维持电流)以下,则晶闸管又进入正向阻断状态。当晶闸管施加反向电压时,其处于反向阻断状态,仅有极小的反向漏电流通

过。当反向电压超过反向击穿电压 U_{R0} 后,外电路若无限制措施,则反向漏电流急剧增大,导致晶闸管发热损坏。

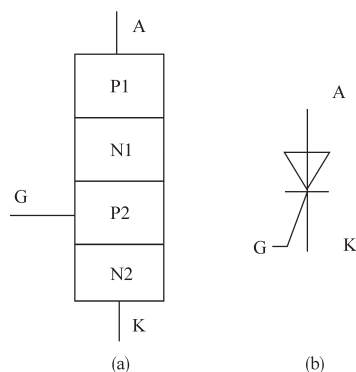


图5 晶闸管结构和电气符号

Fig.5 Thyristor structure and electrical symbols

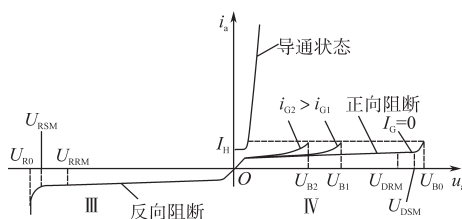


图6 晶闸管伏安特性曲线

Fig.6 Volt-ampere characteristic curve of thyristor

根据上述的晶闸管的伏安特性,组件的测试试验依照厂家提供的晶闸管器件数据进行测试,需要进行测试的试验数据如下:

1) 静态测试数据

- ①断态正向重复峰值电压 U_{DRM} : $0 \sim 5\,000\text{ V}$;
- ②断态正向漏电流 I_{DR} : $0 \sim 20\text{ mA}$;
- ③断态反向重复峰值电压 U_{RRM} : $-5\,000 \sim 0\text{ V}$;
- ④断态反向漏电流 I_{RR} : $0 \sim 20\text{ mA}$ 。

2) 动态测试数据

- ①通态正向平均电流 I_{TAV} : $0 \sim 2\,000\text{ A}$;
- ②通态正向平均电压 U_{TAV} : $0 \sim 5\text{ V}$;
- ③通态组件晶闸管温升 ΔT : $0 \sim 100^\circ\text{C}$;
- ④通态正向重复峰值电压 U_{DRM} : $0 \sim 5\,000\text{ V}$;
- ⑤通态正向漏电流 I_{DR} : $0 \sim 20\text{ mA}$;
- ⑥通态反向重复峰值电压 U_{RRM} : $-5\,000 \sim 0\text{ V}$;
- ⑦通态反向漏电流 I_{RR} : $0 \sim 20\text{ mA}$ 。

2 试验台信号采集系统及软件设计

本套晶闸管组件测试试验台系统编辑采用的是National Instruments(NI)信号采集系统。该数据采集系统可以同时进行多组传感器信号的处理,拥有精确、稳定的数据处理能力,可以实时

将所需采集的各传感器信号转换成图形信号,进而精确地测算出测试试验所需的各项数据。

系统的操作软件是通过基于应用NI数据采集系统的NI LabVIEW2014编程软件,依据本套测试试验台所需要测试采集的数据和回路控制的基础操作编写而成,同时本操作软件将同步记录的试验数据转换成EXCEL表格形式进行归档。试验测试系统的主要操作流程如图7所示。

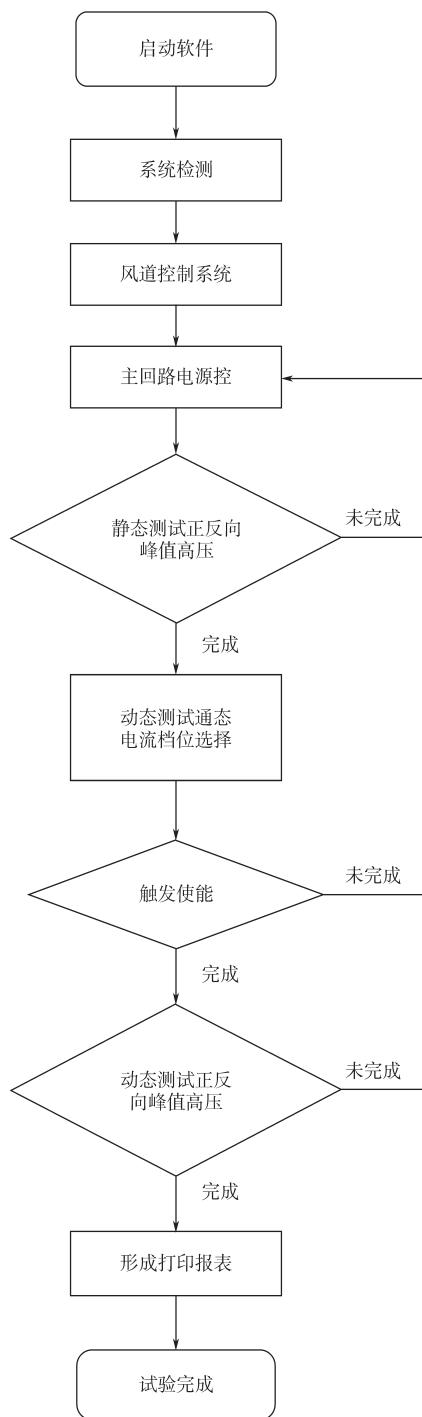


图7 试验测试系统的主要操作流程

Fig.7 Software flowchart of the system

除上述流程图中所包含部分,程序中还根据试验环境及设备的安全状况,添加了相关连锁功能;根据试验进行到判断环节时的情况,添加了对设备及元器件的保护功能。当检测到电压、通态电流、断态电压数值超出额定数值时,系统主回路会自动执行断开保护,待测试试验台检修后再次重新进行试验测试。

3 风道控制系统

上述的大电流回路系统和高压回路系统为测试晶闸管组件试验系统主要组成部分,而风道控制系统的主要功能是在封闭的试验平台环境下,为试验测试组件提供一个温度和风速可调的试验环境,从而保证试验测试数据的合理性。

风道控制系统由加热器及温度传感器组成,将被测试组件的环境温度加热至40℃左右,这样可以保证测试试验环境温度的合理性。风道的风速调节功能是通过ABB ACS500变频器控制风道轴流风机转速实现风道风速的0~8 m/s可调,通过风速给定来实现被测试组件测试环境的加温和试验件测试时的风冷冷却。

4 试验结果及分析

为了验证试验台测试结果准确性,使用经过中国合格评定国家认证委员会(CNAS)认证的仪表进行校验,结果如表1~表4所示。

表1 通态平均电流

Tab.1 Average current measurement

显示电流/A	实测电流/A	不确定度 $U_{rel}(k=2)/\%$
600	604.37	0.20
800	799.91	0.20
1 000	1 009.32	0.20

表2 断态漏电流测量

Tab.2 DC current measurement

示值/mA	实测值/mA	不确定度 $U_{rel}(k=2)/\%$
4	3.648	0.20
6	5.423	0.20
8	7.238	0.20

表3 通态平均电压测量

Tab.3 DC voltage measurement

示值/V	实测值/V	不确定度 $U_{rel}(k=2)/\%$
0.84	0.816 9	0.30
0.66	0.649 2	0.30

表4 温度测量

Tab.4 Earth resistance measurement

示值/℃	实测值/℃	不确定度 $U_{rel}(k=2)/\%$
40.2	40.01	0.17
40.1	40.01	0.17

经过测量校准,测试结果表明测试精度满足设计要求。同时被测件电压波形如图8,图9所示。测试结果与晶闸管理论特性相符合,可以认为测试台结果真实有效。

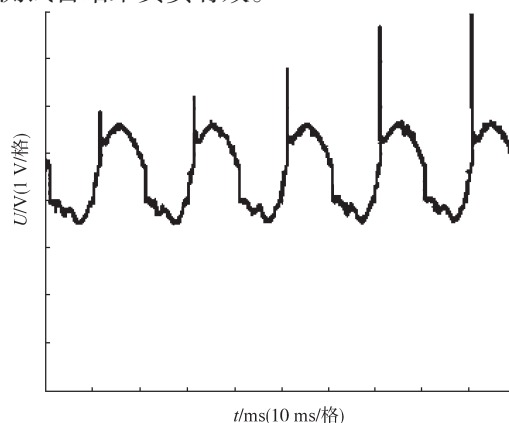


图8 未接通测量回路

Fig.8 The curves of the measuring circuit unconnected

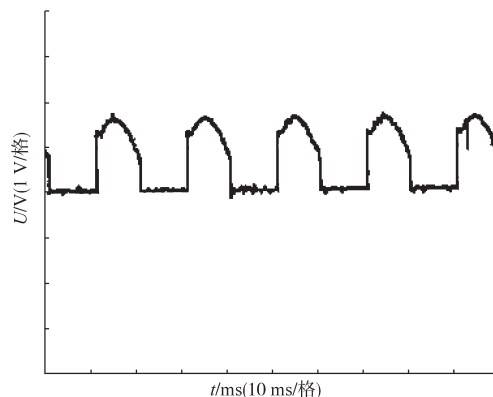


图9 接通测量回路

Fig.9 The curves of the measuring circuit connected

5 结论

大功率晶闸管测试试验台经过整体性能测试及验证试验检测后,现已经可以投入测试使用。通过实际使用,可以证实该系统软硬件的设计合理可靠,也为直流整流装置设备的稳定运行提供了进一步的保证。

参考文献

- [1] 天津电气传动设计研究所. 电气传动自动化技术手册[M]. 第2版. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 王兆安,刘进军. 电力电子技术[M]. 第5版. 北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部. JB/T 7626-2013. 反向阻断三极晶闸管测试方法[S]. 北京:机械工业出版社,2013.

收稿日期:2018-05-31

修改稿日期:2018-08-20