

## 直流断路器批量特性测试系统设计

李鹏 齐放 范海峰 闫栋 段培华  
(天津航天机电设备研究所 天津 300301)

**摘要:**针对直流断路器安秒特性和脱扣特性测试效率低、稳定性差的特点,给出了批量测试的系统解决方案。搭建工控机 PCI 系统平台通过程控电源提供测试电流,利用控制模块的数字电平信号来切换开关系统的继电器来组成串联或并联测试回路,最大限度提高了系统的测试效率,并且通过间接测量反馈信号的形式计算性能测试时间等重要数据。最后结合实际测试,验证了该系统设计的有效性。本研究更好的服务该领域设计、工艺、生产、制造以及加工等相关产业,具有非常广阔的应用前景。

**关键词:**直流断路器;安秒特性测试;脱扣测试

**中图分类号:** TP24 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 216.2

### Design of batch characteristic test system for DC circuit breaker

Li Peng Qi Fang Fan Haifeng Yan Dong Duan Peihua  
(Tianjin Institute of Aerospace Mechanical and Electrical Equipment, Tianjin 300301, China)

**Abstract:** This paper presents the batch test solution to focus on low efficiency and poor stability during the ampere-second and tripping characteristic testing of DC circuit breaker. The IPC system is designed to provide test current by programmable power supply. The switching system is designed to form a series or parallel test circuit to maximize the test efficiency of the system and calculate the performance test time and other important data by feedback signals which are measured indirectly. Finally, the validity of the system design is verified with actual test.

**Keywords:** DC circuit breaker; ampere second characteristic test; tripping test

### 0 引言

19世纪70年代初期,美国通用电气公司与麻省理工国家磁实验室共同研制了第一台直流断路器。后来到20世纪70、80年代,欧洲的BBC公司和美国西屋电气公司都分别研制出了直流断路器,专门用于太平洋的联络线。当时,日本也积极地研制直流断路器。包括三菱、日立、东芝等公司,都分别研制了相应断路器产品。日立公司的250 kV/8 kA的直流断路器还具有高速重合功能,属于当时一大突破;三菱公司设计的±500 kV DC GIS,通过很长时间的测试实验,也运行正常;东芝公司制造的±500 kV/3 500 kA直流断路器还当成了金属回路转换断路器使用。

目前变电站的直流馈电网络多采用树状结构,从蓄电池到站内用电设备,一般经过三级配电,每级配电大多采用直流断路器作为保护电器。由于上下级直流断路器的保护动作特性不匹配,在直流系统运行过程中,当下级用电设备出现短路故障的时候,经常引起上一级直流断路器的越级跳闸,从而引起其他馈电线路的断电事故,进而引起变

电站的一次设备如变压器、高压开关、电容器等的事故。为防止因直流断路器等动作特性不匹配带来的危险隐患,国家电网公司对于运行中的和新装的相关直流断路器,规定必须进行安秒特性和脱扣特性测试,保证其性能指标与原设计标准相符合,以确保直流回路级差间正确的配合<sup>[1]</sup>。

本文提出了一种直流断路器批量特性测试解决方案,提高测试效率和有效性的同时,更好的服务该领域设计、工艺、生产、制造以及加工等相关产业,具有非常广阔的应用前景。

### 1 系统总体设计

测试系统总体设计如图1所示,首先工控机PCI系统通过串口或 GPIB 等方式控制程控电源来输出指标要求电流;利用控制模块的数字电平信号来切换开关系统的继电器来组成串联或并联测试回路;通过分析计算得到脱扣时间等重要测试参数。电流传感器一方面可以监测当前实际供电的电流值,另一方面可以在长时间脱扣测试时辅助判断由于结构故障无法发生机械触发动作的断路器。

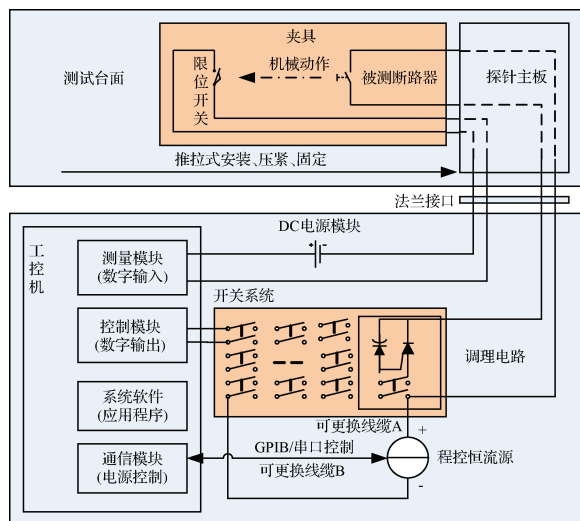


图1 测试系统总体设计

安秒特性测试时并联单个执行测试;长时间脱扣测试时全部串联同时测试。系统测试回路开关系统切换基本原理如图2所示,通过对K1~K6继电器打开闭合的控制,形成特性测试回路。测试断路器响应与否是通过与之对应夹具上的限位开关状态的检测以及电流传感器来间接获得的<sup>[2-4]</sup>。

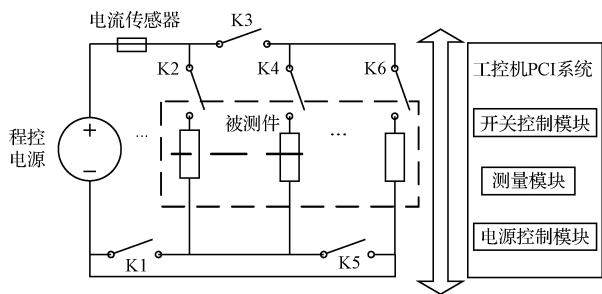


图2 开关系统测试回路基本原理

### 1.1 安秒特性测试

基本原理如图3所示,当系统选择短时安秒特性模式测试时,首先程控断开K2、K4、K6偶数系列继电器,闭合K1、K3、K5奇数系列继电器,然后测试第1台断路器时,闭合K2,程控电源上电,开始该断路器短时间安秒特性测试,实时分析测量结果并记录,程控电源断电,程序控制开关断开K2,闭合K4继续第2台断路器测试,以此类推。全部测试完成,更换断路器夹具,继续下一批次测试。

### 1.2 长时间脱扣测试设计

基本原理如图4所示,当系统选择长时间脱扣测试模式时,首先系统软件控制开关系统全部闭合,然后断开奇数系统开关K1、K3、K5,这样全部被测断路器串联起来。程控电源上电,开始断路器长时间脱扣测试,实时测量并记录,结束测试后程控电源断电,更换断路器夹具,进行下一批次测试。

经过测试时间的积累,不合格的断路器可能会发生开路动作,那么串联测试回路即成为开路状态,为了使剩余

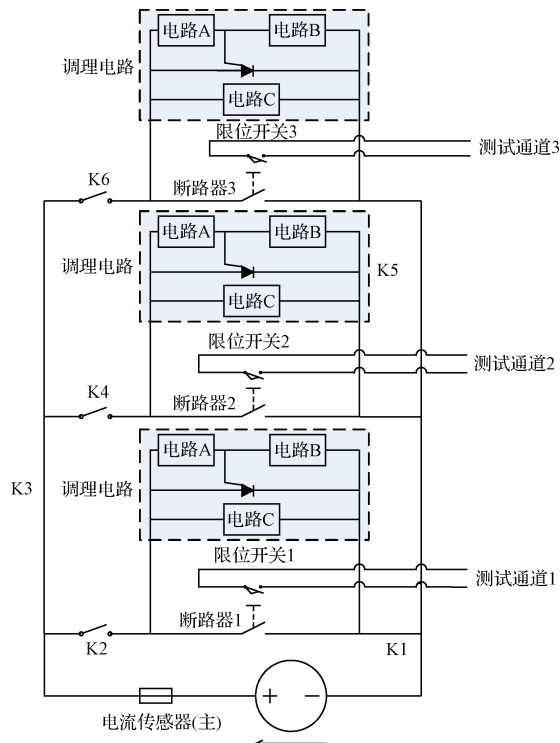


图3 安秒特性测试回路(并联)

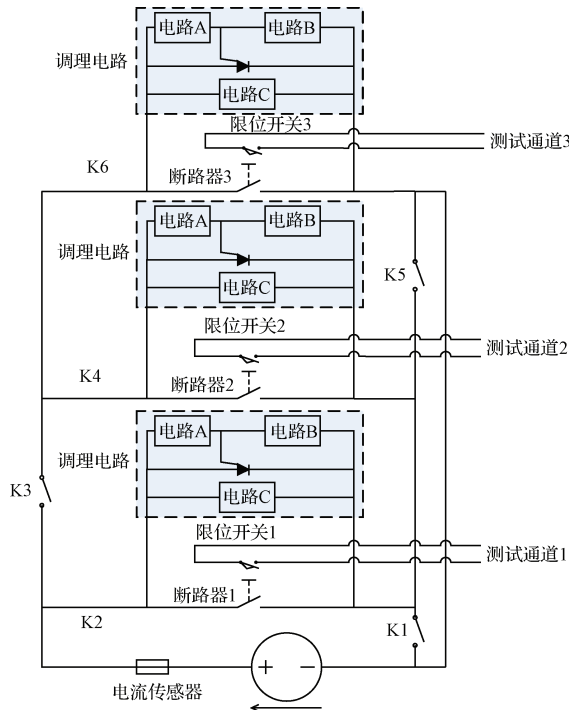


图4 脱扣测试回路(串联)

断路器继续持续测试,设计了专用调理电路,其作用是缓冲吸收断路器开路瞬间的高电压冲击,避免对其他断路器造成影响;又能在极短时间内短路不合格继电器使测试回路继续工作。图4中电路A:触发控制(作用于晶闸管门极)<sup>[5]</sup>;电路B:稳定断路器作用的补偿电路<sup>[6-8]</sup>;电路C:缓冲吸收电路<sup>[9-12]</sup>。

在无电路调理情况下,断路器跳变瞬间,电压波形如图5所示。结果显示尖峰电压约17V,调整时间约10 $\mu$ s。经过缓冲吸收电路调理后,电压波形如图6所示。结果显示尖峰电压约5V,调整时间约20 $\mu$ s。调理电路将尖峰电压约17V降至5V左右,调整时间从10 $\mu$ s变为20 $\mu$ s,实验表明该电路具有缓冲吸收作用。同时当有断路器发生断开动作,电路的调整恢复如图7所示,调整时间约10 $\mu$ s左右,晶闸管短路调理电路效果明显,瞬时短路快速恢复测试回路。

## 2 软件设计

系统软件利用LabVIEW平台进行设计开发,软件系统采用经典的生产者消费者架构。程序设计流程如图8所示

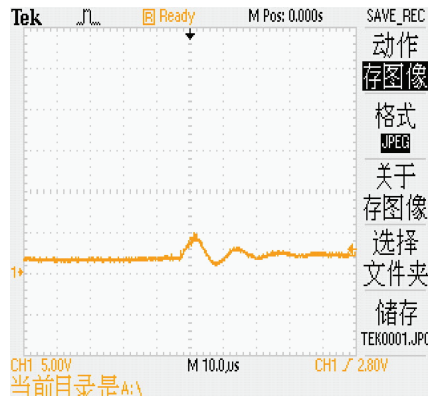


图6 缓冲吸收

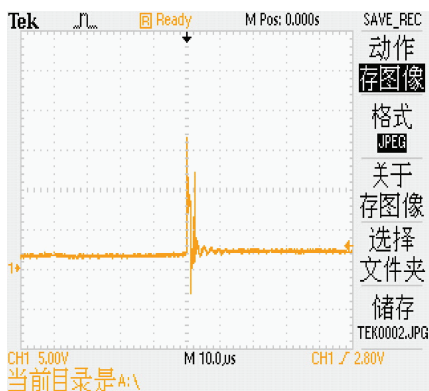


图5 无调理

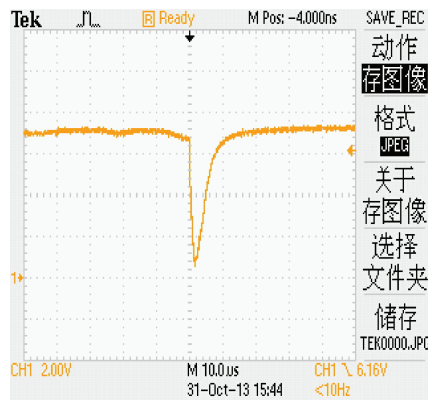


图7 瞬时短路

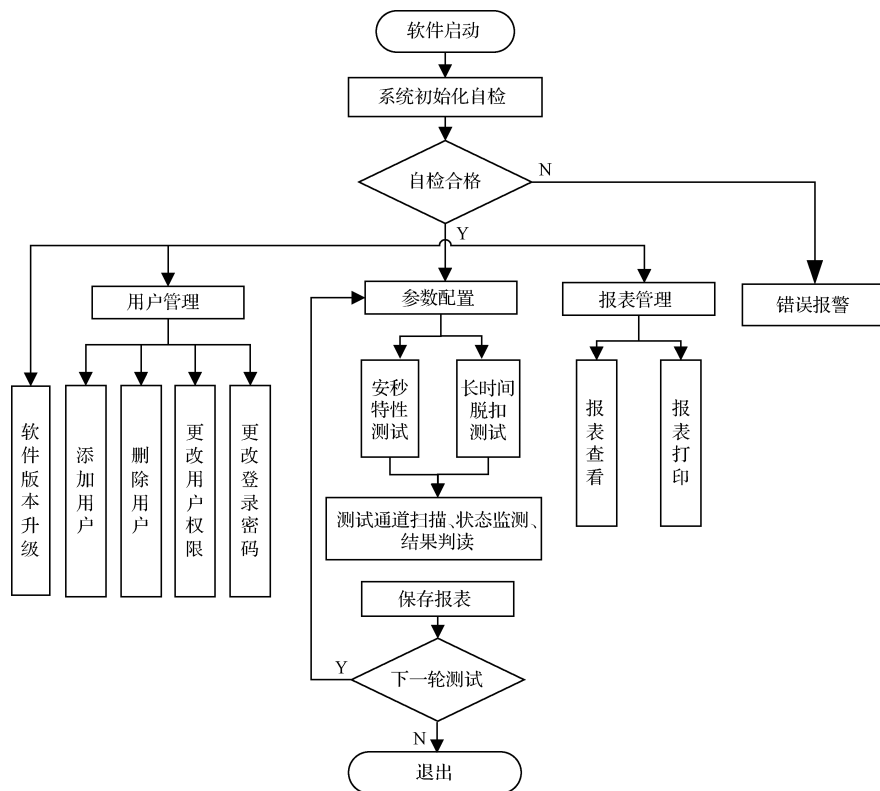


图8 软件流程

示。通用测试框架软件的设计包括用户管理、参数配置、报表管理、错误报警 4 部分组成,本节描述了上述软件的功能需求。用户管理功能可以提高系统的安全性和可控性;参数配置功能涵盖系统运行过程中所需的各项参数;报告管理功能使用户可在直观的拖放式环境下迅速采集数据、进行高级分析并创建自定义报告<sup>[13-15]</sup>。

### 3 实际案例测试

根据生产工厂实际测试情况,随机抽取 1 000 台 DBF-1 型直流断路器进行测试,包括系统安秒特性测试、长时间脱扣测试。通过与传统测试系统对比,不难得出安秒特性检查速度提升约 9 倍,极限动作电流检查速度提升约 8 倍,封胶后检查速度提升约 9 倍,本文设计提出的直

流断路器批量测试解决方案效率明显提高<sup>[6]</sup>。产量对比表如表 1 所示。

### 4 结论

本文提出的直流断路器批量特性测试系统,具有可操作性,可缩短直流断路器生产厂家的,大幅度提高其产能。产品性能测试是生产序列中不可或缺的一部分,本系统能够大幅度地缩短断路器生产厂商的生产周期、增加产能、防止人工误判、保证测试质量。同时,工控机平台具备很强的扩展能力,通过测试资源和开关资源的增多,整体系统的测试能力可成倍数增加,且设备间可以级联,可实现多工位同步操作。在当今直流断路器需求旺盛的形势下,具有非常广阔的应用前景。

表 1 正常情况下测试产量对比

测试项	描述	传统效率	本系统效率
安秒特性测试	在 25℃±3℃时,产品通 2In 额定电流,测量动作时间应为 5~20 s,测 3 次,间歇时间不小于 30 min。	约 30 只/h	约 280 只/h
极限动作电流测试	在 25℃±3℃下,产品通以 1.5In 额定电流,1 h 内产品应断开。	约 12 只/h	约 100 只/h
	在 25℃±3℃下,产品通以 1.15In 额定电流,1 h 内产品不应断开。	约 12 只/h	约 100 只/h
封胶后测试	25℃±3℃条件下,通 2In 电流,测量动作时间一次应为:5~20 s。	约 30 只/h	约 280 只/h

### 参考文献

- [1] 荣命哲,杨飞,吴翊,等. 直流断路器电弧研究的新进展[J]. 电工技术学报, 2014, 29(1):1-9.
- [2] 魏晓光,高冲,罗湘,等. 柔性直流输电网用新型高压直流断路器设计方案[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(15):95-102.
- [3] 刘磊,王海云,董溪坤,等. 直流断路器开断方法及应用概述[J]. 化工自动化及仪表, 2013, 40(12):1449-1452.
- [4] 许沛丰,陈延昌,肖红玉,等. 直流断路器保护特性测试装置的研制[J]. 水电能源科学, 2010, 28(12):121-123,92.
- [5] 王晨,庄劲武,张超,等. 串联晶闸管在大脉冲电流下的开通过程研究[J]. 电机与控制学报, 2014, 18(3):14-19.
- [6] MORISHITA Y, ISHIKAWA T, YAMAGUCHI I, et al. Applications of DC breakers and concepts for superconducting fault-current limiter for a DC distribution network[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2009, 19(4):3658-3664.
- [7] 何郁,漆柏林. 直流接地引起断路器跳闸的原因分析及对策[J]. 继电器, 2001(11):50-51.
- [8] 查申森,郑建勇. 混合式断路器的 IGBT 串联均压技术[J]. 电网技术, 2010, 34(4):177-182.
- [9] 符强. 基于 LabVIEW 的虚拟机器人界面模式设计[J]. 计算机系统应用, 2007(9):117-119.
- [10] 张军,刘笃喜,魏宏波,等. 一种基于 TCP/IP 的嵌入式网络化监控系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2007(5):21-24.
- [11] 朱忠建,杨倬,裴军,等. 直流断路器瞬动式磁脱扣器的设计分析[J]. 电器与能效管理技术, 2014(11):30-33.
- [12] 李春海,伍萍辉,曾成,等. 塑壳断路器延时特性自动检测系统[J]. 电子设计工程, 2011, 19(24):133-135.
- [13] 刘毅,周维维,陈国通. 直流系统保护电器级差配合的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2):45-49,54.
- [14] 夏初阳,龚祚勇,陈胜. 电磁瞬动脱扣器数字化设计软件开发[J]. 低压电器, 2014(4):20-22.
- [15] 宋承天,王克勇,郑链. 迫弹引信涡轮电机模拟信号发生器设计[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(3):614-617.

### 作者简介

李鹏,1985 年出生,工学硕士,工程师,主要研究方向为航空航天测试测量技术。  
E-mail:lipenglp0805@163.com