

# 一种直流断路器通断特性测试仪的研制与应用

王 浩, 单小勇, 袁 田

(徐州供电公司, 江苏 徐州 221000)

**摘 要:**笔者通过对当前变电站直流管理工作存在的问题进行探讨, 并分析研制一种适合测试变电站额定电流100A 以下等级直流断路器、熔断器分断能力和级差配合的硬件仪器, 通过该仪器可以对直流断路器和断路器之间、熔断器和熔断器之间、直流断路器和熔断器之间进行级差配合试验, 得出各试验的结果, 本文主要阐述了该仪器的设计思路与原理分析, 力求分析和总结各仪器在实际应用中的可行性、并评估该仪器的应用效果。

**关键词:**直流断路器; 熔断器; 仪器; 通断特性; 超级电容

## 0 前言

目前变电站或自动化主站机房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。在直流系统运行过程中, 如果上下级直流断路器保护动作特性不匹配, 出现短路故障时, 就会引起越级跳闸, 直流断电, 可能造成事故照明电源失电, 一次设备分合闸、信号、控制、报警等回路失灵, 继电保护和自动装置直流电源消失, 严重会引起保护失灵、开关拒动、通道中断…

《直流电源系统运行规范》第十二条第八款规定“直流熔断器和空气断路器应采用质量合格的产品, 其熔断体或定值应按有关规定分级配置和整定, 并定期进行核对, 防止因其不正确动作而扩大事故”;《直流电源系统技术监督规定》第二十七条中规定:“…自动空气断路器使用前应进行特性和动作电流抽查。…”;《预防直流电源系统事故措施》第十一条中规定:“…使用前宜进行安秒特性和动作电流抽检…”。

为防止因直流断路器及其它直流保护电器动作特性不匹配造成误动作, 国网公司对于新装和运行中的直流保护电器, 规定了必须进行通断特性测试, 保证性能与设计相符, 以确保直流回路上下级配合的正确性。目前, 直流保护电器的安秒特性一般在国家级实验室或检测站进行测试, 设备占地面积大, 巨型的充电装置和大电流负载箱, 操作复杂; 检修期间, 维护人员因不具备相应的测试手段和工具, 无法检验直流保护电器的安秒特性是否满足要求。

进行直流断路器安秒特性的测试, 可以保证上

下级之间直流断路器的选型和定值正确, 决定了元件能否实现保护的级差配合, 能否在直流回路故障时选择地切除故障, 并把故障限制在最小范围内。这是直流电源故障有效控制的必要措施, 直接关系到电网地安全, 对防止事故扩大、保证电力系统安全运行至关重要。

## 1 国内外研究水平综述

目前, 直流断路器的通断特性测试都是在国家级实验室、检测站或生产厂家进行, 设备都是采用大型的充电装置和大电流负载箱, 快速记录仪、电流钳等, 具有设备笨重、不便携带和现场使用, 接线复杂、操作繁琐等缺点, 并且需要大量人工干预、人工计算等工作才能完成。部分运行单位利用变电站的充电机和蓄电池组对直流保护的断路器进行级差测试, 电流难以准确调节, 时间也难以准确测量, 设备也无法完成全部数据和全范围测量。国内沿处于研发试制初期, 在专业刊物上有零星报道, 但未见相关课题实质性研究。通常直流断路器分断特性的研究有两种方法:

高频开关电源模块法。即通过若干个高频开关电源模块并机输出测试所需要的试验电流。

蓄电池供电法。利用蓄电池瞬间大电流放电特性, 配合恒流控制电路及相关保护电路提供测试所需要的试验电流。

因高频开关电源在启动时有一定稳定时间且大电流输出特性需要更多模块并机支持, 响应时间较长, 而由于直流断路器在短路速断阶段分断时间为毫秒级, 且电流值较大, 所以高频开关电源法并不

适用于本项目。蓄电池能在瞬间提供大的冲击电流，在安全及循环寿命方面有不足之处，尤其当直流断路器故障无法脱扣时，电池就会因长时间大电流放电而爆炸，具有安全隐患。

国外电力企业由于体制与国内差别较大，运行维护管理规范也存在许多不同，所以对于国外情况我们不做过多考虑。

## 2 关键技术和研究难点：

(1) 优化软件配置，本系统不仅可以对单个直流断路器进行开关特性测试，而且能够对整个变电站直流系统的级差配合进行全面测试，并且通过分析软件计算出各级开关容量、馈线选择、等影响级差的相关配合数据；

(2) 保证最大电流情况下体积的最小化，以解决现场测量难题；

(3) 产生的断路器短路电流的恒流源，一般要求电流应大于  $10I_n$ ，如果采用高频开关电源则价格极高且不易实施，蓄电池有日常维护、循环寿命、安全因素等不足之处；因此本方案中采用了超级电容提供电源的办法，这主要基于三个原因：

1) 超级电容优良的大电流放电特性，能持续提供短时间的大电流。

2) 断路器的分断时间一般仅为毫秒级（小型断路器一般为  $3\sim 4\text{ms}$ ，塑壳断路器为  $7\sim 10\text{ms}$ ），所以对电源的要求是瞬间的大电流，而采用超级电容是本方案的一个有效解决办法。

3) 超级电容充电快速，循环寿命长、不需日常维护、安全可靠。

## 3 系统的框架与设计

### 3.1 建立一整套科学合理的级差配合管理系统

建立一整套科学合理的级差配合管理系统，通过对直流断路器和断路器之间、熔断器和熔断器之间、直流断路器和熔断器之间进行级差配合试验，得出各试验的结果，并分析和总结各配置在实际应用中的可行性、器件选用的合理性和存在的问题，建立一套可以完善变电站直流系统级差配合的理论。

### 3.2 硬件仪器的设计

研究和开发一套适合测试变电站额定电流 63A 以下等级直流断路器、熔断器分断能力和级差配合

的硬件仪器，仪器主要由电源、恒流驱动、检测和控制显示等三部分组成。

#### (1) 电源部分的设计

本仪器的实施难点在于产生的断路器短路电流的恒流源，一般要求电流应大于  $10I_n$ ，如果采用高频开关电源则价格极高且不易实施，蓄电池有日常维护、循环寿命及安全隐患等不足之处；因此本方案中采用了超级电容提供电源的办法，这主要基于三个原因：

1) 超级电容优良的大电流放电特性，能持续提供短时间的大电流。

2) 断路器的分断时间一般仅为毫秒级（小型断路器一般为  $3\sim 4\text{ms}$ ，塑壳断路器为  $7\sim 10\text{ms}$ ），所以对电源的要求是瞬间的大电流，而采用超级电容是本方案的一个有效解决办法。

3) 超级电容充电快速，循环寿命长、不需日常维护、安全可靠。

#### (2) 恒流驱动部分的设计

采用线性电路的恒流控制技术，使用新型功率器件，使得恒流驱动电路响应速度快，恒流精度高，且线路简洁，易于实现。

#### (3) 检测、精确控制部分的设计

采用微控制器技术，可对断路器分断时间进行高精度测试，测试精度可达  $0.01\text{ms}$ ，并可通过键盘任意设置控制电流，测试人员直接进行直流断路器短路分断时间的测试，整个测试过程相当简便。

仪器系统实现框架图如图 1 所示。

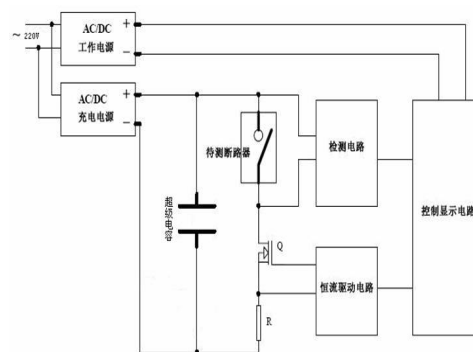


图 1 系统框架原理图

设备同时应具有相应的保护功能，测试大电流速断过程中，若直流断路器在达到保护时限后仍未分断，设备应将自动停止放电过程，确保测试的安全性和可靠性。

## 4 研制方案及实施测试

首先对各种直流断路器、熔断器收集资料，对变电站直流馈线方式进行调研，并制定可行性研制、试验方案。

随后研制开发直流断路器通断特性测试系统，进行实验室初步测试，对结果进行分析并加以改进。

最后在变电站首先对待测试馈线支路上直流断路器及熔断器分别进行按秒特性测试，对比其保护特性曲线，分析是否具有配合的选择性，再对整个馈线支路进行级差配合测试，进行理论分析和实验验证。如测试情况良好，达到设计目标，可投入使用。利用开发的直流断路器通断特性测试系统，分别对直流断路器和断路器之间、熔断器和熔断器之间、直流断路器和熔断器之间级差配合试验，得出各试验的结果，并分析和总结各配置在实际应用中的可行性、器件选用的合理性和存在的问题，建立一套可以完善变电站直流系统级差配合的理论。

本仪器的实现较为复杂，既要研制直流断路器通断特性测试系统，又要进行多种保护元件级差配合试验，并形成一套直流系统级差配合的指导理论，通过对两段型直流断路器之间的级差配合试验、三段保护直流断路器瞬时脱扣特性和级差配合试验、直流断路器和熔断器之间的级差配合试验、交直流两用断路器的瞬时脱扣特性与级差配合试验、熔断器和熔断器之间的级差配合试验的具体实施，得出各试验的结果，并分析和总结各配置在实际应用中的可行性、器件选用的合理性和存在的问题，为我公司直流系统断路器和熔断器的配合提高指导意见。

变电站直流系统断路器通断特性及级差配合测试系统于2012年11月份在徐州供电公司使用以来，先后在几个变电站直流系统进行了断路器级差配合、安秒特性校验测试工作，应用情况良好，效果显著。测试系统采用集中控制分体作业方式，现场接线简单，使用方便，事故预防措施到位，安全可靠；采用现场蓄电池组作为测试电源，待测线路采用现场实际馈线回路，完全真正模拟现场直流系统短路故障，测试结论真实可靠；测试过程中，实时采集直流电压、电流及断路器分断时间，并以波形方式显示，直观方便，具有功能齐全、界面友好、操作简便等特点。

试验报告（表 1~4）及截图（图 2~5）如下：

（1）试验测试 1：

测试时间：2012-11-23 11:06:54

测试类型：全点测试

生产厂家：ABB

开关型号：S252S B3 DC220V

测试间隔：120

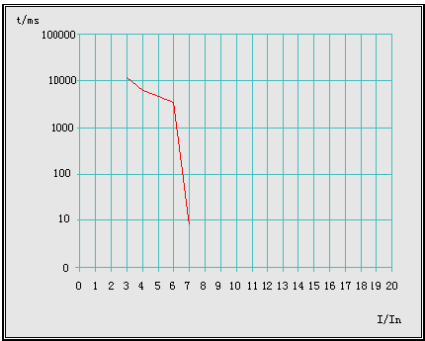


图 2 ABB S252S B3 DC220V 测试结果

表 1 ABB S252S B3 DC220V 测试报告表

电流/A	n	T1/ ms	T2/ ms	T3/ ms
121.2	3	1854	1686	1491
160.4	4	739	702	747
199.8	5	298	255	201
240.1	6	63	69	92
280	7	3	2	1

（2）试验测试 2：

测试时间：2012-11-25 16:51:48

测试类型：全点测试

生产厂家：西门子

开关型号：5SJ52 C6

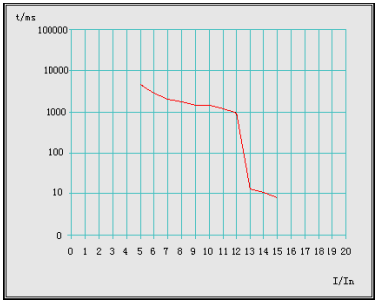


图 3 西门子 5SJ52 C6 测试结果

表 2 西门子 5SJ52 C6 测试结果报告

电流/A	n	T1/ ms	T2/ ms	T3/ ms
29.9	5	6453	4893	4710
36.3	6	2885	2877	2876
41.9	7	1990	2020	2074
51.2	8	1735	1855	1771
57.2	9	1391	1442	1452
58.8	10	1409	1422	1441
66.2	11	1195	1206	1178
72	12	960	969	966
77.9	13	19	35	13
80.7	14	11	10	11
29.8	15	2737	9	8

## 试验测试 3:

测试类型: 全点测试

生产厂家: 北京人民电器

开关型号: GM32M-2300R C10

测试间隔: 33:

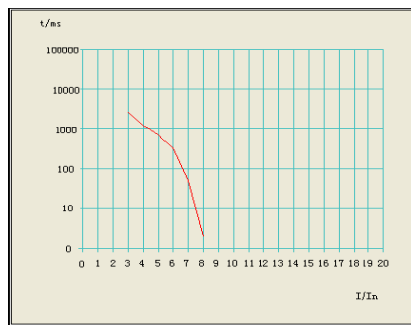


图 4 北京人民电器 GM32M-2300R C10 测试结果

表 3 北京人民电器 GM32M-2300R C10 测试结果报告

电流/A	n	T1 / ms	T2 / ms	T3 / ms
30	3	3865	2763	2650
40.6	4	1216	1167	1219
49.4	5	803	671	707
57.9	6	328	355	340
70.8	7	35	2	51
80	8	2	3	2

## (4) 试验测试 4:

测试类型: 全点测试

生产厂家: 北京人民电器

开关型号: GM100M-2340R-40

A 测试间隔: 31

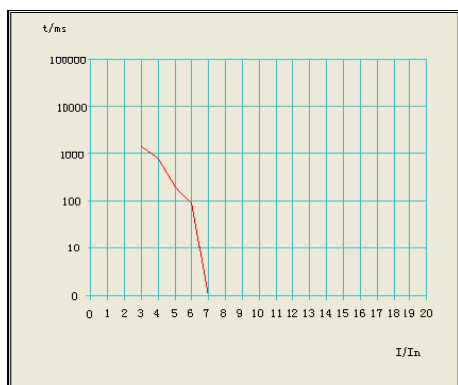


图 5 北京人民电器 GM100M-2340R-40 测试结果

表 4 北京人民电器 GM100M-2340R-40 测试结果报告

电流/A	n	T1 / ms	T2 / ms	T3 / ms
121.2	3	1854	1686	1491
160.4	4	739	702	747
199.8	5	298	255	201
240.1	6	63	69	92
280	7	3	2	1

通过项目的实施,使我公司在变电站直流系统上下级断路器之间的级差配合方面解决没有检测手

段,没有更为合理的分析理论等长期存在的问题,能有效减少由于级差不合造成的误动,尤其是越级误动,避免扩大事故。

## 5 技术难点和创新点

## 5.1 本仪器的技术难点主要分为四个部分

(1) 测试电源要求输出电流大、寿命长。

为直流断路器产生短路电流时,恒流源的输入研发,一般要求电流应大于  $10 I_n$ ,如果采用高频开关电源则价格极高且不易实施,蓄电池有日常维护、循环寿命及安全隐患等不足之处;因此本方案中应研究采用更为可行的电源输入方案。

(2) 试验测试电源要求且响应速度快

直流断路器短路速断电流一般为  $7 \sim 14 I_n$ ,分断时间一般仅为毫秒级(小型断路器一般为  $3 \sim 4 \text{ms}$ ,塑壳断路器为  $7 \sim 10 \text{ms}$ ),因此,对测试恒流源输出能力及响应时间要求交很高。

(3) 验测试电源要求安全、可靠

为确保测试的安全性和可靠性,在测试大电流速断过程中,若直流断路器在达到保护时限后仍未分断,设备应将自动停止放电过程,设备同时应具有相应的保护功能。

(4 检测、控制部分要求精密

利用线性电路的恒流控制技术,采用微控制器技术,选取新型功率器件,对断路器分断时间进行高精度测试,测试精度可达  $0.01 \text{ms}$ ,并可通过旋钮任意设置控制电流,即可进行直流断路器短路分断时间的测试,简化测试过程。

## 5.2 仪器的创新点

(1) 优化了软件配置,不仅能对单个直流断路器进行开关特性测试,还可为整个变电站直流系统的级差配合提供实践理论。

(2) 保证最大电流情况下体积的最小化,以解决现场测量难题;整个系统采用集中控制分体作业的方式,提高了系统的灵活性。

(3) 产生断路器短路电流的恒流源,一般要求电流应大于  $10 I_n$ ,如果采用高频开关电源则价格极高且不易实施,蓄电池有日常维护、循环寿命、安全因素等不足之处。

(4) 针对于放电元件的充电快速,循环寿命长、不需日常维护、安全可靠方便,也得到了良好的解决方案。

(5) 数据采集部分:应用高精度存储记录仪,100M/s 的采样率,12 位的分辨率,速度快,精度高,抗干扰能力强;

(6) 延时保护单元:采用大功率直流接触器控制回路通断,并应用西门子多功能时间继电器短时接通延时保护功能,保证测试过程的安全性和可靠性;

(7) 管理软件:具有数据管理、查询、分析和报表输出打印等功能,使用方便。

(8) 可对直流开关回路短路电流和分断时间进行准确测量,电流精度 0.2 级,分断时间测试精度高达 0.01ms;本方案中采用能持续提供短时间的大电流且分断时间在毫秒级(小型断路器一般为 3~4ms,塑壳断路器为 7~10 ms)的电气元件;现场实况的最真实反映:采用现场蓄电池组作测试电源,真正模拟现场回路,与实际开关短路脱扣故障状况完全相同。

## 6 结束语

本文探讨仪器的研制,解决了变电站直流系统上下级断路器之间的级差配合方面没有校验手段的难题,适合测试变电站额定电流 100A 以下等级直流断路器、熔断器分断能力和级差配合的硬件仪器,

可以完成直流断路器和断路器之间、熔断器和熔断器之间、直流断路器和熔断器之间进行级差配合试验,得出各试验的结果,并分析和总结各配置在实际应用中的可行性、器件选用的合理性和存在的问题,建立一套可以完善变电站直流系统级差配合的理论。有效减少了由于级差配合不当造成的误动,尤其是越级跳闸,避免事故扩大,增强了直流电源系统的安全性、稳定性。使用该仪器系统可准确测试直流断路器和熔断器电流-时间动作特性,验证变电站直流系统上下级保护元件之间的配合是否具有选择性,避免直流配电网出现越级跳闸而引发的大面积停电事故,从而提高变电站直流系统的健康水平,具有显著的技术和经济效益。为电网的安全稳定运行提供更好的技术支持与保障。应用前景十分广阔。

### 作者简介:

王 浩(1975—),男,江苏徐州人,高级工程师、高级技师,从事电力调控运行专业,E-mail: 5997650@qq.com;

单小勇(1967 年 6 月—),男,汉族,江苏徐州人,助理工程师、技师,从事配网工程管理专业;

袁 田(1987—),女,汉族,江苏徐州人,硕士研究生。从事电力调控运行专业。