

基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统

周 鑫¹,鲁铁成¹,罗容波²,张 博¹,万家伟¹,余光凯¹,胡泰山¹

(1. 武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072;2. 广东供电公司 佛山供电局有限公司,广东 佛山 528000)

摘要: 精确测量气体绝缘组合电器(GIS)触头的回路电阻,有利于降低 GIS 故障的发生概率,因此提出了一种基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统。该系统的硬件主要由工控机、充电模块、主放电回路、电压隔离传感器以及数字信号处理模块构成,给出了系统的软件流程图。某 500 kV 变电站内 GIS 设备的现场试验表明,该系统能够在现场产生千安级的冲击电流,与常规直流回路电阻测试仪相比,其灵敏度和测量精度更高。

关键词: 千安级冲击电流; 超级电容器; GIS; 导电连接件; 测量; 回路电阻

中图分类号: TM 93

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.01.025

0 引言

气体绝缘组合电器(GIS)由于具有体积小、占地面积少和维护方便等优点,在电力系统中得到了广泛应用。但每年因 GIS 故障而导致的电网事故,给国民经济造成了严重的损失。2010 年 4 月,佛山供电局辖区世龙站发生单相短路故障,导致 GIS 触头烧蚀;2010 年 6 月丹桂站母线发生三相短路,电弧导致母线烧蚀。事后调查发现,投运前采用传统回路电阻测量方法测量的回路电阻数据合格,但是在投运后事故仍然发生^[1-10]。因此,精确测量 GIS 触头的回路电阻,将有利于降低 GIS 故障的发生概率,对电力系统安全运行尤为重要。

目前,回路电阻测量主要难在测量电流较小导致无法准确测量 GIS 触头的接触电阻,而提高测量电流将导致设备过重,不便于现场试验。常用的直流电流源回路电阻测量仪,虽然电流稳定、便于测量,但只能输出 100~600 A 的电流,要产生更大的电流,设备成本和重量都将大幅增加,导致其便携性差,不利于现场检修试验的开展。基于电容电感组成二阶振荡电路^[11]的测量方法,虽可通过采样电流峰值附近的信号消除电感对测量结果造成的影响,但是其产生的电流峰值也仅为 100 A,而且持续时间较短,对消除触头的表面膜不利。工频交流电流源进行接触电阻的测量时,感应电压会影响测量的准确性。采用电解电容作为电源时,需要大量的电容串并联才能输出大电流,仍不能解决体积和重量的问题。

上述测量方法都有一定的局限性,因此本文提出采用基于超级电容器的冲击电流源,对接触电阻进行测量。超级电容器具有特大电容量、内阻小、充放电速率高、安全系数高和长期使用免维护等优良特性,能够满足现场产生千安级电流的要求且方便携带^[12-18]。

1 回路电阻测量原理

本文构建的基于超级电容器的测量回路,如图 1 所示。图中, C 为超级电容器的电容, $C=165\text{ F}$; r 为超级电容器的内阻, $r=6.3\text{ m}\Omega$; V_{D0} 为晶闸管; R_0 为分流器, $R_0=75\text{ }\mu\Omega$; L_1 和 R_1 分别为测量引线的电感和电阻; L 和 R 分别为被测 GIS 的电感和电阻。

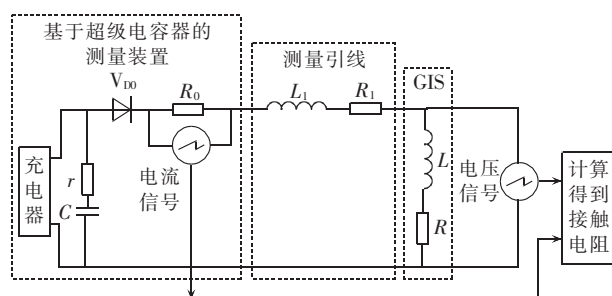


图 1 基于超级电容器的测量回路示意图
Fig.1 Schematic diagram of measuring circuit based on super-capacitor

首先将超级电容器充电到所需电压,触发 V_{D0} 导通后,电容 C 经主放电回路放电,测量回路将产生幅值为千安级的冲击电流;将测量得到的分流器两端的压降转换为电流信号、GIS 触头两端的压降作为电压信号,可计算得到接触电阻的大小。图 2 为充电电压为 10 V 时放电电流幅值和被测元件的端电压幅值。

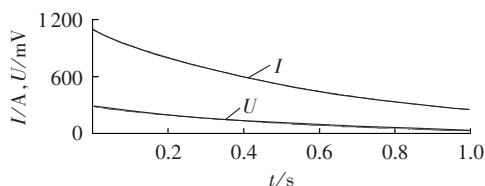


图 2 充电电压为 10 V 时放电电流及被测元件端电压波形

Fig.2 Waveforms of discharging current and terminal voltage when charging voltage is 10 V

被测元件的压降 $u(t)$ 与回路作用电流 $i(t)$ 的关系为:

$$u(t)=R(i,t)i(t)+Ldi(t)/dt$$
 (1)

其中, R 和 L 分别为某一时刻被测元件的电阻和电感。

图 1 所示的测量回路中,回路电感主要是被测对象的连线电感,测量的前几毫秒,测量端的电压接近电容器的充电电压,此时电感的压降远大于接触电阻的压降;而当电流达到最大值时, $di(t)/dt$ 接近为 0,此时测量端的压降信号为纯电阻压降,该电阻的大小将主要反映导电杆触头接触状况。根据式(1)进行推导,得到接触电阻的计算表达式为:

$$R(m)=\frac{u(m)}{i(m)}-L\frac{i(m+1)-i(m)}{i(m)\Delta t}$$
 (2)

其中, m 为采样点; Δt 为采样间隔; L 可通过不同幅值电流的测量结果计算得到; $u(m)$ 和 $i(m)$ 可通过测量得到; Δt 为采样频率的倒数。

2 系统主要硬件设计

2.1 系统硬件整体设计

基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统主要由工控机、充电模块、主放电回路、电压隔离传感器以及数字信号处理模块等组成。图 3 为系统硬件原理框图。

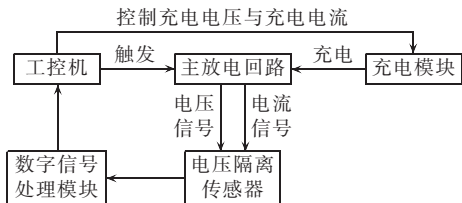


图 3 系统硬件原理框图

Fig.3 Block diagram of system hardware

如图 3 所示,工控机通过串口控制充电电压与充电电流后发出充电指令,充电模块对超级电容器充电;充电完毕后,充电回路自动断开;工控机发出触发指令,晶闸管导通,超级电容器对回路放电;电压与电流信号通过电压隔离传感器进行放大;放大后的信号进入数字信号处理模块,并将接收到的信号进行模数转换后送入工控机进行数据处理,存储结果并生成报表。

2.2 超级电容器

超级电容器是构成系统电源的核心部件,是一种介于电池与普通电容之间的无源器件,具有电容的大电流快速充放电特性,同时也有电池的储能特性,并且重复使用寿命长,放电时利用移动导体间的电子(而不依靠化学反应)释放电流,从而为设备提供电源。

超级电容器的电容量(C)、超级电容器的内阻(r)以及充电电压(U_c)是影响放电电流波形以及幅值的主要因素。通过 ATP 仿真计算,得到不同因素对测量回路放电电流的影响。表 1—3 分别为不同条件下,回路中的放电电流峰值。由表 1—3 可知:当超级

电容器内阻和充电电压一定时,电容量越大,放电电流的峰值就越大;当超级电容器电容量和充电电压一定时,内阻越小,放电电流的峰值就越大;当超级电容器电容量和内阻一定时,充电电压越大,放电电流的峰值就越大。因此,选取超级电容器的原则是电容量要大且内阻要小,并可以通过增加充电电压提高放电电流的峰值^[19-25]。

表 1 不同超级电容器电容量下,回路中放电电流峰值($r=6.3\text{ m}\Omega$, $U_c=30\text{ V}$)
Table 1 Peak value of discharging current for different values of C , when $r=6.3\text{ m}\Omega$ and $U_c=30\text{ V}$

超级电容器电容量 / F	放电电流峰值 / A
54	3150.4
63	3174.1
83	3196.9
110	3210.7
165	3233.8

表 2 不同超级电容器的内阻下,回路中放电电流峰值($C=165\text{ F}$, $U_c=30\text{ V}$)

Table 2 Peak value of discharging current for different values of r , when $C=165\text{ F}$ and $U_c=30\text{ V}$

超级电容器内阻 / $\text{m}\Omega$	放电电流峰值 / A
6.3	3233.8
9.5	2374.8
12.5	1853.5
16.3	1613.4
18.1	1431.1

表 3 不同充电电压下,回路中放电电流峰值($C=165\text{ F}$, $r=6.3\text{ m}\Omega$)

Table 3 Peak value of discharging current for different values of U , when $C=165\text{ F}$ and $r=6.3\text{ m}\Omega$

充电电压 / V	放电电流峰值 / A
10	1121.2
15	1488.5
20	2028.4
25	2602.2
30	3233.8

在充分考虑现场测量要求以及便携性的基础上,本文采用电容量为 165 F、内阻为 6.3 $\text{m}\Omega$ 的超级电容器,其质量为 13 kg。在一般现场试验条件下,该超级电容器能满足产生千安级峰值电流的要求。

2.3 数据采集

基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统,选用适当量程和高响应速度的电压隔离传感器保证数模转换的精度,提高数据采集卡的利用率,同时也实现强、弱电的隔离。利用差分通道采集经电压隔离传感器放大过的 2 路信号,并将信号接地连接到低电压输入端,以避免共模电压引起的接地环路噪声。数字信号处理模块采用 16 位的数模转换器,其采样频率为 250 kHz,并采取“先采集、先存储、后处理”的模式,保证了回路电阻测量系统抗干扰和高速采样的特点。

3 系统软件设计

基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统的软件部分采用 Labview 图形化编程语言开发,系统主要功能模块包括:充/放电控制、数据采集控制、数字滤波、数值计算、数据显示、数据存储和生成报表等,程序流程如图 4 所示。

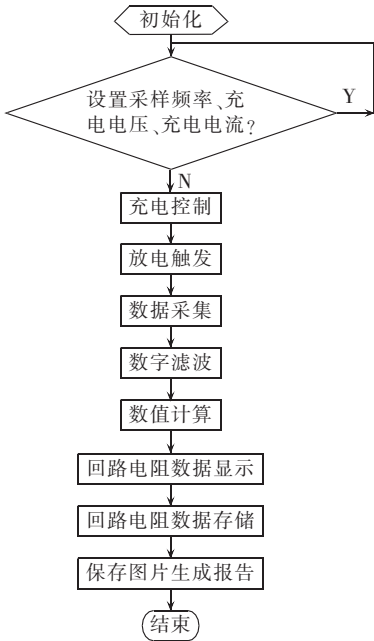


图 4 系统软件流程图
Fig.4 Flowchart of system software

试验时将测量的数据存入数据库,存储内容包括变电站名称、被测对象名称、试验时间、回路电流波形、电压波形以及回路电阻值,用户可根据现场实际情况设置测量参数。软件集成了试验对象的历史数据,用户可根据年、季度、月份、日等选项查询数据,以便用户直观了解 GIS 触头的历史测量数据,方便安全维护。

4 实验室调试

以 100 $\mu\Omega$ 分流器模拟被测导电连接件,试验目的在于评估基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统的测量准确性及稳定性。另外,在充电电压为 30 V 时,测量不同阻值的标准电阻,验证测量系统在不同测量范围内的测量准确性,为测量装置的主要技术指标的提出提供依据。在不同的充电电压下,分别进行 5 组试验,放电电流峰值、回路电阻值以及测量相对误差如表 4 所示。测量系统对 60~1500 $\mu\Omega$ 标准电阻的测量结果及相对误差如表 5 所示。

表 4 的试验数据表明:基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统的放电电流峰值,随着充电电压的增加而增大,当充电电压大于等于 15 V 时,放电电流峰值超过了千安级;测量数据的分散性较小,说明系统的稳定性良好。由于本系统计算回路电阻时选择的

表 4 100 $\mu\Omega$ 标准电阻的测量结果
Table 4 Measuring results for standard resistor of 100 $\mu\Omega$

充电电压/V	放电电流峰值/A	回路电阻/ $\mu\Omega$	相对误差/%
15	1434.8	99.10	0.90
	1488.5	99.26	0.74
	1419.0	99.18	0.82
	1434.0	99.14	0.86
	1443.1	99.15	0.85
20	2009.8	99.94	0.06
	2009.9	99.88	0.12
	2031.3	100.03	0.03
	2028.4	100.12	0.12
	1996.7	100.13	0.13
25	2602.6	100.59	0.59
	2616.3	100.66	0.66
	2604.9	100.58	0.58
	2631.8	100.61	0.61
	2636.2	100.70	0.70
30	3220.5	100.22	0.22
	3173.4	100.01	0.01
	3239.4	100.36	0.36
	3233.8	100.06	0.06
	3252.2	100.28	0.28

表 5 不同标准电阻下测量结果
Table 5 Measuring results for different standard resistors

充电电压/V	电阻标准值/ $\mu\Omega$	测量值/ $\mu\Omega$	相对误差/%
30	60	59.62	0.13
	100	100.11	0.11
	300	300.89	0.29
	500	501.76	0.35
	1000	1003.14	0.31
	1500	1505.43	0.36

是当电流达到最大值的时刻,此时 $di(t)/dt$ 接近为 0,而不是完全等于 0,因此测量结果有一定的误差。但是根据测量结果,在不同充电电压下,测量结果的相对误差均在 1% 以内,测量精度较高。

由表 5 数据可知,在测量范围为 60~1500 $\mu\Omega$ 、充电电压为 30 V 时,测量结果的相对误差均在 0.5% 以内。而 GIS 触头的回路电阻范围也正是位于此区间(几十至几百微欧),因此,该测量系统能够满足工程实际需要。

5 现场试验

5.1 试验布置

针对某在建 500 kV 变电站的 GIS 进行现场试验,试验回路包括母线侧接地刀闸、断路器、电流互感器、线路刀闸和线路接地刀闸。试验中,还将可调节插入深度的弹簧触头与新建的 GIS 间隔串联构造故障状态,并对 GIS 间隔的接触状态进行评估。故障状态示意图如图 5 所示。被测的 GIS 间隔总长为 18.5 m,测量引线共 10 m,对 B 相进行测量,其回路电阻允许的管理值范围为 225~345 $\mu\Omega$ 。

为了验证基于千安级冲击电流的回路电阻测量

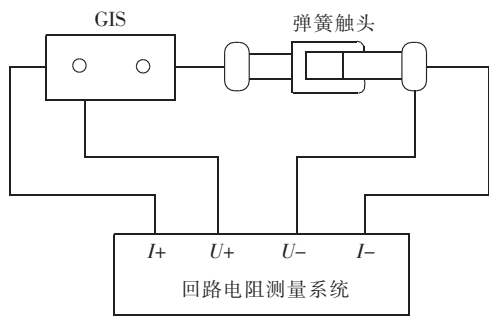


图 5 GIS 故障状态示意图
Fig.5 Schematic diagram of GIS fault

系统测量的有效性,将本文系统测量结果与常规直流回路电阻测试仪测量结果进行对比。

5.2 测量结果及分析

5.2.1 GIS 间隔测量结果

针对某在建 500 kV 变电站内多间隔 GIS 设备进行现场试验,对比测量结果见表 6。采用常规直流测试仪进行测量时,随着直流电流从 100 A 增至 600 A,回路电阻逐渐增大;采用本文测量系统进行测量时,随着作用电流幅值达到千安级,回路电阻基本趋于稳定。利用管理值判断可知,2 种测量系统测得的结果均在允许范围之内,表明 GIS 触头接触状态良好。

由表 6 可知,GIS 触头接触状态良好时,采用常规直流测试仪测量的结果较分散,而采用本文测量系统测量的结果稳定性高,回路电阻值基本不变。这是因为当 GIS 触头正常连接时,接触面处的接触点数足够多,其呈现的回路电阻很小,在通过额定及以下电流时,接触斑点处的温升不超过允许值,回路电阻变化不大。其次基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统能产生千安级的作用电流,在复杂电磁环境

下利用千安级的作用电流测量,抗干扰能力较强。

5.2.2 GIS 间隔与触头串联测量结果

将上述多间隔 GIS 设备与可构造故障的弹簧触头串联进行现场试验。弹簧触头的接触压力主要体现在主触头里镶嵌的 2 根弹簧上,由弹簧触头的结构尺寸可知,当插入深度为 33~63 mm(63 mm 时为完全插入)时,2 根弹簧都作用在右侧触头上,接触压力不变;当插入深度小于 33 mm 时,只有 1 根弹簧作用在右侧触头上,接触电阻会有明显的变化;当插入深度小于 21 mm 时,触头不与弹簧接触,接触电阻会明显增大。测量结果对比如表 7 所示。

当该 GIS 间隔与弹簧触头串联时,由于串联连接处的连接电阻较大,导致测量时总的回路电阻阻值较大;当触头插入深度为 28 mm 时,由于常规直流测试仪的功率较小,不能够产生 600 A 的放电电流。

当 GIS 间隔与接触良好的触头连接时,采用常规直流测试仪测量的回路电阻随着直流电流幅值的增加逐渐增大,测量结果分散;采用本文测量系统,随着作用电流幅值达到千安级,回路电阻的测量结果基本稳定。

当 GIS 间隔与故障触头连接时,随着作用电流幅值的增加,回路电阻逐渐增大。相对常规直流测试仪,采用本文测量系统测量的回路电阻变化明显,特别当触头插入深度为 28 mm 时,测量值明显增大,反映了触头存在故障。这是因为当 GIS 触头连接出现故障时,接触处的接触点数会大幅度下降,其呈现的回路电阻将增大;当连接处通过的电流较大而接近额定电流时,由于局部温度升高会导致接触点变软,失去导电性能,甚至导致接触处的接触斑点熔融,GIS

表 6 本文系统与常规直流测试仪测量结果对比
Table 6 Comparison of measuring results between proposed system and traditional DC loop resistance tester

测量编号	直流电流 /A		冲击电流 /A		回路电阻 /μΩ	
	常规测试仪	本文测量系统	常规测试仪	本文测量系统	常规测量仪	本文测量系统
1	100	—	—	1 092.72	301.4	320.50
2	200	—	—	1 394.67	307.8	321.01
3	600	—	—	1 672.54	319.6	321.09

表 7 GIS 故障状态下,本文系统与常规直流测试仪测量结果对比
Table 7 Comparison of measuring results between proposed system and traditional DC loop resistance tester when GIS is in faulty condition

接触状态	直流电流 /A		冲击电流 /A		回路电阻 /μΩ	
	常规测试仪	本文测量系统	常规测试仪	本文测量系统	常规测量仪	本文测量系统
GIS 间隔+触头 (插入 63 mm)	100	—	—	1 042.53	943.3	968.48
	200	—	—	1 344.66	955.0	968.73
	600	—	—	1 643.33	960.3	970.84
GIS 间隔+触头 (插入 48 mm)	100	—	—	968.44	958.9	971.78
	200	—	—	1 322.99	962.3	974.22
	600	—	—	1 613.15	965.7	985.70
GIS 间隔+触头 (插入 28 mm)	100	—	—	973.70	979.2	1 052.76
	200	—	—	1 300.96	979.9	1 061.28
	600	—	—	1 602.31	—	1 063.51

触头的回路电阻变化明显。

6 结论

a. 本文研制了以超级电容器为核心的回路电阻测量系统的充电模块和基于千安级冲击电流的回路电阻测量系统。

b. 试验结果表明,该测量系统能够产生千安级的冲击电流,测量稳定性高,测量结果准确,相对误差在 1% 以内。

c. 现场试验结果表明,该测量系统比常规直流测试仪器有更高的测量精度与灵敏度,更容易发现导电连接件接触不良的问题,且抗干扰能力更强。

参考文献:

- [1] HOLM R. Electrical contact[M]. New York, USA:Springer,1979: 73-89.
- [2] 李正红,文小平. 一起 220 kV 断路器单相拒合故障分析及防范措施[J]. 电力自动化设备,2011,31(5):145-151.
LI Zhenghong,WEN Xiaoping. Analysis of 220 kV circuit breaker single-phase closing failure and its countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(5):145-151.
- [3] 陈化钢. 高低压开关电器故障诊断与处理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000:34-47.
- [4] 颜湘莲,宋杲,王承玉,等. 基于 SF₆ 气体分解产物检测的气体绝缘开关设备状态监测[J]. 电力自动化设备,2014,34(6):83-88,95.
YAN Xianglian,SONG Gao,WANG Chengyu,et al. Gas-insulated switchgear state monitoring based on SF₆ decomposition products detection[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(6): 83-88,95.
- [5] 印华,姚强,王勇,等. 一起 GIS 事故的分析与处理[J]. 高压电器,2009,45(2):122-123.
YIN Hua,YAO Qiang,WANG Yong,et al. Analysis and disposal of a gas insulated switchgear accident[J]. High Voltage Apparatus,2009,45(2):122-123.
- [6] 胡晓光,孙来军,纪延超. 基于线圈电流和触点状态的断路器故障分析[J]. 电力自动化设备,2006,26(8):5-8.
HU Xiaoguang,SUN Laijun,JI Yanchao. Circuit breaker fault analysis based on coil current and contact states[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(8):5-8.
- [7] 国连玉,李可军,梁永亮,等. 基于灰色模糊综合评判的高压断路器状态评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):161-167.
GUO Lianyu,LI Kejun,LIANG Yongliang,et al. HV circuit breaker state assessment based on gray-fuzzy comprehensive evaluation[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(11): 161-167.
- [8] 中华人民共和国电力工业部. DL/T596—2005 电气设备预防性试验规程[S]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [9] 中国南方电网有限责任公司. Q/CSG10007—2004 电力设备预防性试验规程[S]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [10] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50150—2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S]. 北京:中国计划出版社,2006.
- [11] 刘福才,金书辉,赵晓娟,等. LC 串联谐振和 LCC 串并联谐振在高压脉冲电容充电电源中的应用比较[J]. 高电压技术,2012,38(12):3347-3356.
LIU Fucui,JIN Shuhui,ZHAO Xiaojuan,et al. Comparison of LC series resonant and LCC series-parallel resonant in high-voltage pulse capacitor charging power supply application[J]. High Voltage Engineering,2012,38(12):3347-3356.
- [12] 李军徽,朱星旭,严干贵,等. 模块化 VRB-EC 混合储能系统配置与控制的优化[J]. 电力自动化设备,2014,34(5):67-71,78.
LI Junhui,ZHU Xingxu,YAN Gangui,et al. Optimal configuration and control of modular VRB-EC hybrid energy storage system[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(5):67-71,78.
- [13] 储军,陈杰,李忠学. 电动车用超级电容器充放电性能的试验研究[J]. 机械,2004,3(31):20-23.
CHU Jun,CHEN Jie,LI Zhongxue. Experimental research on carbon based supercapacitors' character of great current charge and discharge[J]. Machinery,2004,3(31):20-23.
- [14] 曹秉刚,曹建波,李军伟,等. 超级电容在电动车中的应用研究[J]. 西安交通大学学报,2008,42(11):1317-1322.
CAO Binggang,CAO Jianbo,LI Junwei,et al. Ultracapacitor with applications to electric vehicle[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2008,42(11):1317-1322.
- [15] GAO Lijun. Power enhancement of an actively controlled battery/ultra-capacitor hybrid[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2005,20(1):236-243.
- [16] 蒋玮,陈武,胡仁杰. 基于超级电容器储能的微网统一电能质量调节器[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):85-90.
JIANG Wei,CHEN Wu,HU Renjie. United power quality conditioner based on supercapacitor for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(1):85-90.
- [17] 谢金龙,李艳霞,初振明,等. 超级电容器储能材料的研究进展[J]. 材料导报,2012,26(8):14-18.
XIE Jinlong,LI Yanxia,CHU Zhenming,et al. Research progress on storage materials of supercapacitor[J]. Materials Review,2012,26(8):14-18.
- [18] 段建东,叶兵,张青山,等. 基于翅片散热和 ZigBee 的开关柜触头温度测控系统[J]. 电力自动化设备,2014,34(7):157-162.
DUAN Jiandong,YE Bing,ZHANG Qingshan,et al. Online contact temperature monitoring and control system based on finned radiator and ZigBee for switch cabinet[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(7):157-162.
- [19] RUNDE M,LILLEVIK O,LARSEN V. Condition assessment of contacts in gas-insulated substations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2004,19(2):609-617.
- [20] LANDRY M,TURCOTTE O,BRIKCI F. A complete strategy for conducting dynamic contact resistance measurements on HV circuit breakers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2008,23(2):710-716.
- [21] AICHI H,TAHARA N. An analysis on the electrolyte bath[C]//The 17th International Conference on Electrical Contacts. [S.l.]: VDE,1994:201-208.
- [22] JOHAL H,MOUSAVI M J. Coil current analysis method for predictive maintenance of circuit breakers[C]//Transmission and Distribution Conference and Exposition. [S.l.]:IEEE/PES,2008:1-7.
- [23] MENG Yongpeng. The detection of the closing moments of a vacuum circuit breaker by vibration analysis[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2006,21(2):652-658.

(下转第 174 页 continued on page 174)

Influences of insulation monitoring system on rotor grounding protection during DC excitation process and countermeasures

LI Huazhong, CHEN Jun, ZHANG Qixue, YAN Wei

(Nanjing Nari-Relays Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The improper alarm or trip of rotor grounding protection during the DC excitation is analyzed based on a field case. The circuit composed of the DC insulation monitoring system and the rotor grounding protection is analyzed, and the calculation formula of rotor grounding resistance is deduced, which shows that the rotor grounding resistance is related to the grounding resistance and balance resistance of DC insulation monitoring system. When the resistor settings of rotor grounding protection are biased towards sensitivity, if the grounding resistance of DC insulation monitoring circuit is not large enough, the rotor grounding protection may improperly alarm or trip. Corresponding solutions are given based on the theoretical analysis.

Key words: electric generators; relay protection; rotor grounding protection; DC excitation; DC insulation monitoring

(上接第 169 页 continued from page 169)

- [24] LANDRY M. An improved vibration analysis algorithm as a diagnostic tool for detecting mechanical anomalies on power circuit breakers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(4): 1986-1994.
- [25] BRAUNOVIC M, MYSHKIN N K, KONCHITS V V. Electrical contacts fundamentals, applications and technology [M]. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press Inc, 2006: 67-75.



周 鑫

电压试验技术、GIS 状态检测方面的研究工作 (E-mail: 2010282070205@whu.edu.cn);

鲁铁成 (1953—), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为高电压与绝缘技术、电气设备故障诊断;

罗容波 (1979—), 男, 湖北天门人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力系统高压电气设备试验工作;

张 博 (1979—), 男, 河北武强人, 副教授, 博士, 研究方向为高电压与绝缘技术、电气设备故障诊断。

作者简介:

周 鑫 (1986—), 男, 湖北武汉人, 博士研究生, 从事高

Loop resistance measuring system based on kA-level impact current

ZHOU Li¹, LU Tiecheng¹, LUO Rongbo², ZHANG Bo¹, WAN Jiawei¹,

YU Guangkai¹, HU Taishan¹

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Foshan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Foshan 528000, China)

Abstract: Since the accurate loop resistance measuring of GIS (Gas Insulated Switchgear) contacts is helpful to reduce GIS failure probability, a loop resistance measuring system based on kA-level impact current is proposed. Its hardware consists of IPC (Industrial Personal Computer), charging module, main discharging circuit, voltage sensor and digital signal processor. The flowchart of its software is given. The field tests for the GIS equipments of a 500 kV substation show that, the system can generate kA-level impact current on field and its sensitivity and accuracy are higher than those of traditional DC loop resistance tester.

Key words: kA-level impact current; super-capacitor; gas insulated switchgear; contactor; measurements; loop resistance