

6~10 kV 电网电容电流测试仪的研制

李晓波¹, 王崇林¹, 宗剑², 梁睿¹

(1. 中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 上海应用技术学院机电学院, 上海 200235)

摘要: 为了更安全、可靠且快捷地测量出 6~10 kV 电网的电容电流, 笔者在总结现存电容电流测试方法的优缺点的基础上, 提出了单相经电阻接地间接测量电容电流的方法, 详细推导了其原理, 给出了所设计的 6~10 kV 电网电容电流测试仪的硬件框图和软件流程。该测试仪可适用于各种小接地电流系统单相接地电容电流的测量。最后通过测试实例证明了该测试仪具有简单、易实施、测试过程安全、测量精度高、测试时间短等优点。

关键词: 电网; 电容电流; 测试仪

中图分类号: TM93

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)01-0040-03

A New Capacitive Current Measurement System for 6~10 kV Distribution Network

LI Xiao-bo¹, WANG Chong-lin¹, ZONG Jian², LIANG Rui¹

(1. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China;

2. School of Mechanical & Electrical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: In order to measure the capacitive current in 6~10 kV power distribution network more securely, more reliably and faster, this paper summarized different schemes to measure capacitive current and analyzed their merits and shortcomings, and then proposed a new method to indirectly measure and calculate the capacitive current of distribution network with single phase to earth via resistance. Moreover, the principle of this method was deduced, and the schematics of hardware and software of the measurement 6~10 kV system were given. This system can be used in each kind of network in despite of the means of neutral point to earth. A measurement example verified its simplicity, accuracy, safety and speed.

Key words: distribution network; capacitive current; measurement system

0 引言

我国 6~10 kV 电网中性点一般采用中性点不接地方式, 该方式的最大优点是发生单相接地时能够持续运行不超过 2 h。但随着电力系统的飞速发展, 此类电网对地的电容电流不断增大, 过大的对地电容电流会产生很多危害^[1]。此时中性点宜采用经消弧线圈接地方式, 即利用消弧线圈产生的电感电流对电容电流进行补偿。因此, 如何准确、方便地测量该类电网对地电容电流, 对于合理选择其中性点运行方式 (即中性点不接地还是经过消弧线圈接地)、正确选择消弧线圈容量等具有重要意义。此外, 要抑制电网的铁磁谐振过电压也需要了解电网对地电容 (对应电容电流的大小) 的大小^[1]。再者, 在 6~10 kV 电网中一般均装设有小电流接地选线装置, 这类产品大部分是以电网单相接地时的零序电压、零序电流 (即电网对地电容电流) 等的大小为依据进行选线的^[1, 2]。因此很有必要研制一种针对 6~10 kV

电网的电容电流测试仪。

我国 6~10 kV 电网无中性点, 其电容电流测量方法比较复杂。目前, 测定这类电网单相接地电容电流的方法主要有如下几种: 直接接地法、附加电容法、信号注入法等。上述已有的各种测试方法或者存在安全性和可操作性上的不足, 或者所需仪器较多, 所需时间较长, 或者测量精度较低^[1-5]。因此, 笔者提出了一种单相经电阻接地的间接测量方法。该方法具有简单、易实施、测试过程安全、测量精度高、测试时间短、应用范围广等优点^[2]。

1 单相经电阻接地法测量电容电流的原理

图 1 为中性点不接地电网发生单相 (以 A 相为例) 经电阻接地的等效电路图。图 1 中 r 为电网每相对地绝缘电阻; C 为电网每相对地电容; R_E 为 A 相的接地电阻; U_A 、 U_B 、 U_C 为电源三相电压; U_{AR} 为故障点 A 相对地电压。

当电网 A 相 G 点经电阻 R_E 接地时, 可利用戴维南定理对电路进行等效。具体作法是将 R_E 看成是

收稿日期: 2007-04-13; 修回日期: 2007-09-23

作者简介: 李晓波 (1976-), 男, 河南省灵宝人, 在读博士研究生, 讲师, 研究方向为供电安全, 微机保护与智能电器。

有源二端网络 G-D 的负载电阻, 而开路电压为 A 相没有经过电阻接地时 G 点的对地电压 (即 U_A), 其等效内阻等于整个电网中三相电源电压均为零时 G-D 的入端阻抗。忽略掉电源变压器和电网线路阻抗的影响, 则可得到计算流经接地电阻 R_E 的电流 I_{RE} 的等效电路图, 见图 2。

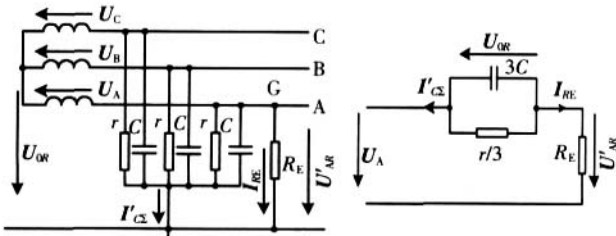


图 1 中性点不接地电网单相经电阻接地等效电路图 图 2 中性点不接地电网单相经电阻接地戴维南等效电路图

在图 2 中, 令 $Z_0 = \frac{1}{j3C + \frac{3}{r}}$, 则可得

$$U_{0R} = -Z_0 \cdot I_{RE} \tag{1}$$

式(1)中 U_{0R} 为 A 相经电阻 R_E 接地时电网零序电压。

图 3 为中性点不接地电网发生单相直接接地的等效电路图。图 3 中各个参数所代表的含义同图 1。同样按照戴维南定理, 忽略电源变压器和电网线路阻抗的影响, 可得到计算单相直接接地电流 I_E 的等效电路图, 见图 4。依图可得

$$U_0 = -Z_0 \cdot I_E \tag{2}$$

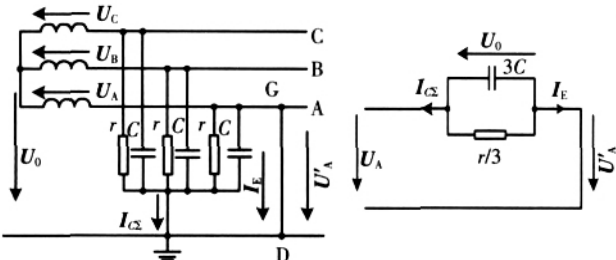


图 3 中性点不接地电网单相直接接地等效电路图 图 4 中性点不接地电网单相直接接地戴维南等效电路图

式(2)中 Z_0 表达式同上, U_0 为 A 相直接接地时电网的零序电压。

将式(2)与式(1)相比, 则可得到

$$I_E = \frac{U_0}{U_{0R}} \cdot I_{RE} \tag{3}$$

从而可以得到电网单相直接接地时的接地电流大小为

$$I_E = \frac{U_0}{U_{0R}} \cdot I_{RE} \tag{4}$$

式(4)便是该电容电流测试仪的测量依据。测量接地时电网的零序电压可以从 TV 二次侧来测量。则式(4)变为

$$I_E = \frac{U_{02}}{U_{0R2}} \cdot I_{RE} \tag{5}$$

式(5)中 U_{02} 、 U_{0R2} 分别为电网单相直接接地和经电阻接地时的二次零序电压。众所周知, 6~10 kV 电网单相直接接地时的二次零序电压为电压互感器二次线电压, 是个已知量 (一般情况下为 100 V), 而 U_{0R2} 、 I_{RE} 可以通过测量得到。这样就能够间接得到电网单相直接接地时的接地电流。需要指出的是, 上述各式是在中性点不接地方式下分析得出的, 但推导中并没有涉及电网中性点的接地方式。另外从式(5)中也能看出, 最终计算单相接地电流和 Z_0 无关, 而 Z_0 的大小和中性点接地方式有关。因此, 该测试仪适用于任何小接地电流系统单相接地电容电流的测量, 其应用范围广。

另外若测得 I_{RE} 超前 U_{0R2} 的角度, 则可得到电网的电容电流 I_C 和电网对地绝缘电阻电流 I_r 。可按式(6)进行计算

$$\begin{cases} I_C = I_E \cdot \sin \theta = \frac{U_{02}}{U_{0R2}} \cdot I_{RE} \cdot \sin \theta \\ I_r = I_E \cdot \cos \theta = \frac{U_{02}}{U_{0R2}} \cdot I_{RE} \cdot \cos \theta \end{cases} \tag{6}$$

2 电容电流测试仪软硬件设计

如图 5 为电容电流测试仪的硬件框图。电网单相经电阻接地时的二次零序电压 U_{0R2} 、流过接地电阻的电流 I_{RE} 、电网线电压引入该装置后, 经过信号预处理 (包括微型互感器的隔离、放大、滤波、整流等) 送入 A/D 和方波形成电路。方波形成电路用来测量 I_{RE} 与 U_{0R2} 的角度。MCU 通过计算后便能够得到电网的单相直接接地电流、电网的电容电流、单相直接接地时的绝缘电阻电流、测试时的电网二次零序电压等一些信息, 同时还能记录测试时间。

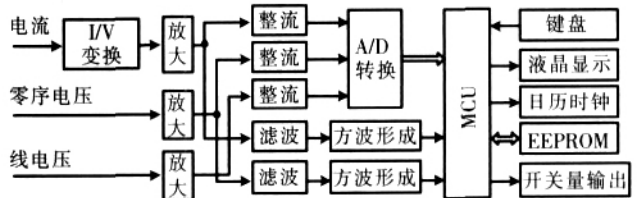


图 5 电容电流测试仪硬件框图

信号的隔离放大采用精密微型互感器 SPT204A 和精密运放 OP07 实现; 整流电路采用基于 OP07 的高精度全桥整流电路; 电流和电压经过带通滤波后送入比较器 LM339, 所形成的方波送入 MCU 的外部中断输入端, 并在内部定时器的配合下测量出电流和零序电压的相位差即测出 θ 角; A/D 转换部分采用 12 位并行 A/D 转换器 MAX197 来实现; MCU 采用能够在线下载程序并且内含 FLASH 存储器的 AT89S52; 键盘采用独立式结构, 共设 4 个按键: 确认键、返回键、上行左移键、下行右移键等。通过键盘能够输入线电压值、设定时间及查看测量结果等; 液

晶部分采用基于 SED1520 控制器的点阵图形模块 12232H, 利用汉显技术显示测量结果; 日历时钟采用日历时钟芯片 DS12C887; EEPROM 采用 2 线串行 EEPROM 芯片 S-24C04 来存放测试结果。该测试仪能够存储多达 28 次的测量结果。开关量输出用来控制测试的开始与结束。

软件编写基于模块化的思路, 分成了电流电压幅值计算模块、角测量模块、人机接口模块、EEPROM 写入模块等。图 6 为该测试仪主程序流程图。图中关于电容电流测试的启动方式有两种: 一种为通过键盘启动, 这种方式又分成手动测量和自动测量两种, 手动测量的测试总时间可选择, 而自动测量的测试总时间固定; 另一种启动方式通过判断零序电压和流过接地电阻的电流是否超过门槛值来实现。图 7 为液晶显示的菜单树结构图。

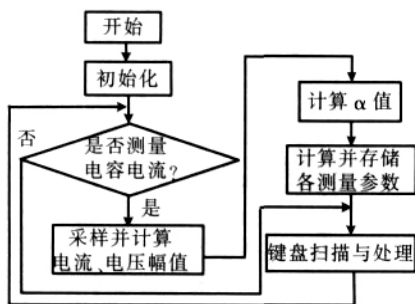


图 6 电容电流测试仪主程序流程图



图 7 电容电流测试仪菜单树结构

3 微机型配电网电容电流测试仪测试实例

图 8 为在某校高压实验室 6 kV 电网采用该电容电流测试仪进行电容电流测试的接线图。图中开关柜 1 控制 3 组电容器组, 模拟电网对地的电容。3 组电容器组一端分别接到 6 kV 母线的三相上, 另外一端连在一起并可可靠接地。开关柜 2 控制接地试验的开始与结束, 其 A 相经该测试仪的电阻接地 (接地线上串有一电流互感器, 也属于该测试仪的一部分, 其二次已经与测试仪的单片机系统相连), 同时从 TV 柜将零序电压和电网线电压的信号引入该测试仪。改变接入各个电容器组的高压电容器的数目和数值, 得到的测试数据见表 1。电容电流其理论

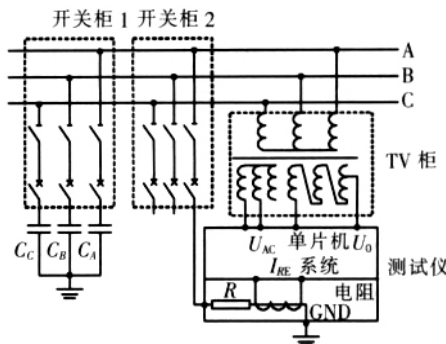


图 8 电容电流测试接线图

表 1 电容电流测试结果

测试次数	电容配置/ μF			理论值		实测值				
	C_A	C_B	C_C	C	I_C/A	I/A	I_C/A	I_R/A	U_0/V	I_{AC}/V
1	0.91	0.89	0.89							
	0.88	0.90	0.89	10.76	12.61	12.93	12.93	0.04	35.23	107.39
	0.88	0.90	0.90							
	0.89	0.92	0.91							
	0.91	0.90	0.91							
	0.88	0.90	0.88							
2	3.94	4.11	4.09							
	4.04	4.09	4.02	58.82	68.91	69.38	69.38	0.11	6.81	107.26
	4.11	4.15	4.03							
	4.12	4.10	4.10							
	1.51	1.52	1.51							

值的计算可按式 (7) 进行

$$I_C = U C \tag{7}$$

式 (7) 中 U 为电网一次相电压; C 为三相对地电容值之和。

从表 1 可看出, 电容电流测量结果和其理论计算值接近, 证明该测试仪具有较高的精度。

4 结语

随着电力市场改革的深入, 要求供电具有极高的安全性和可靠性。而配电网对地电容电流的大小对系统的安全性和可靠性至关重要, 供电部门需要很好地掌握其大小及变化。文中所讨论的 6~10 kV 电网电容电流测试仪就能很好满足这一要求。该测试仪具有测量原理简单、适用范围广、操作安全、简便易用、测量时间短、测量结果准确等优点, 具有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 王崇林. 中性点接地方式与消弧线圈 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [2] 牟龙华, 孟庆海. 供配电安全技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 刘力, 孙结中. 一种测量配电网电容电流的新方法 [J]. 电网技术, 2001, 25(5), 63-65.
- [4] 王盛起, 丛树勤, 郭荣欣. 单相接地电容电流简便间接测量法 [J]. 高电压技术, 1995, 21(4), 47-48.
- [5] 王志金, 贾素梅, 贾国良. 电网电容电流的外加信号测量法 [J]. 电工技术杂志, 2002, 20(9): 31-32.