

自动消弧装置新型测控系统的研制

陈忠仁^{1,2}, 吴维宁², 陈家宏², 张勤²

(1. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074; 2. 国家电网公司武汉高压研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要: 介绍了笔者研制的一种自动消弧装置的新型测控系统。从保证测量精确性和控制准确性两个方面入手, 设计了测控系统的硬件和软件, 使装置的整体性能得到大幅度的提高; 针对实际运行现场干扰严重的情况, 采取了有效的抗干扰措施, 保证了装置运行的可靠性。

关键词: 消弧装置; 测控系统; 研制

中图分类号: TM93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)01-0064-04

0 引言

消弧装置是一种广泛地应用在配电网的电力自动化设备。它能自动测量和跟踪电网的电容电流, 在单相接地时输出电感电流, 以补偿电网的电容电流, 减小接地点的残余电流, 使接地电弧瞬间自行熄灭, 电网不至于因弧光接地过电压发展成相间短路而引起线路跳闸, 从而保障了连续可靠的供电, 因而得到了推广使用。

自动消弧装置自上世纪 90 年代初在我国出现, 发展至今, 呈现出百花齐放的态势, 各种补偿原理的装置相继出现, 各种相关技术的研究也在不断的推陈出新^[1]。作为一种自动化产品, 消弧装置的测控系统是其核心所在, 不仅决定了整个装置的性能, 也决定了装置能否正常、可靠地运行, 是每个消弧装置厂家致力于技术改进的主要方向。为了满足用户不断增长的对自动化产品新功能的需求, 研制了消弧装置新型测控系统。

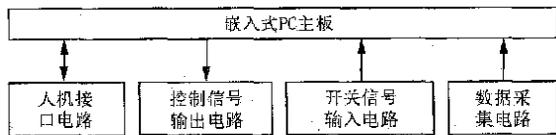


图1 消弧装置测控系统的硬件组成框图

Fig. 1 Hardware composition of the measurement and control system of arc-extinguish device

1 测控系统的硬件设计

测控系统的硬件组成如图 1 所示。选用嵌入式 PC 主要是基于应用开发的方便, 由于许多厂商提供了众多的与 PC 兼容的 CPU、套片、以及周边相关设备, 也就提供了更多的可选择性, 易于成本的控制。

同时, 面向 PC 的软件产品(实时操作系统、设备驱动程序、函数库、应用程序、开发工具等)唾手可得, 易学易用, 大大缩短了产品开发周期; 产品维护功能的升级也十分方便。

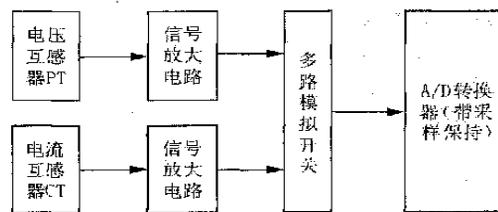


图2 数据采集电路框图

Fig. 2 Block diagram of data acquisition circuit

1.1 数据采集电路

数据采集电路的组成如图 2 所示。被测的电压信号和电流信号经装设在消弧线圈处的互感器先变为 100 V 和 5 A, 再接入到测控系统的电压互感器 PT 和电流互感器 CT 的输入端。PT 和 CT 均为电流输出型互感器, 可将输入的大信号转换成适合电子电路检测的电流信号输出, 同时起到了信号隔离作用。信号放大器选用低失调电压(微伏级)、低失调电流、低漂移、低噪声、高精度的 OP-07, 在同相端接入补偿电阻, 补偿失调电压和失调电流, 以消除对小信号测量的影响^[2]。由于电压互感器 PT 是在输入端串联电阻将电压信号转换成电流信号来进行测量的, 这里仅给出电流互感器的电路图。图中的电容起滤波作用, 二极管起保护作用。

A/D 转换器选用美国模拟器件公司生产的 AD1674, 它是市面上常见的逐次比较型 A/D 转换芯片, 分辨率为 12 位, 采样速度为 10 μs, 内部自带采样保持, 可以简化硬件电路的设计^[3]。自动消弧装置作为配电网电容电流的实时监测系统, 测量的为工频 50 Hz 的正弦交流信号, 选用 AD1674 能够很好地

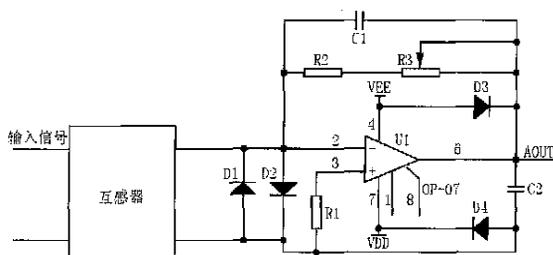


图3 交流信号放大电路

Fig.3 Alternating current signal amplification circuit

满足采样速度与精度的要求。

1.2 开关信号输入电路和控制信号输出电路

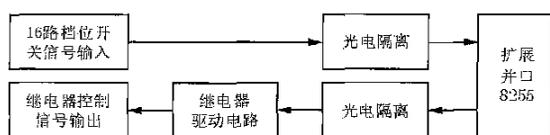


图4 开关量输入输出框图

Fig.4 Block diagram of switched input and output

开关量输入输出如图4所示。16路档位开关信号为远方的接点由电缆引入到测控系统。采用光电耦合器主要基于以下考虑:其一,光耦的输入阻抗很小,属于电流驱动型器件,只要在输入端有一定数值的电流流过(通常为10mA),就能可靠地动作,可以得到准确的开关状态;其二,可以有效地隔离长线上引入的干扰,干扰电压虽然幅值较大,但能量小,只能形成微弱电流,不能使光耦动作;其三,光耦实现了测控系统和现场信号的隔离,能有效地保护测控系统。图5所示为一路线开关信号的输入隔离电路。

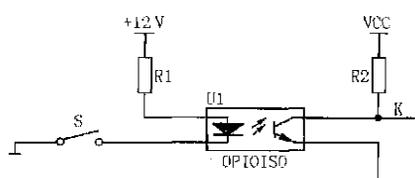


图5 一路档位开关信号的输入隔离电路

Fig.5 Switched signal input isolation circuit

控制信号输出的光电隔离电路和上述电路类似。由于需要通过继电器来投切大功率强电设备,如交流接触器、电机等,为避免强电串入对弱电系统造成损坏,必须将继电器驱动电路和数字电路的地通过光耦进行隔离。此外,继电器的线圈属于感性负载,在投切时对电源造成的冲击和干扰,极易通过共地串入到数字电路中,造成数字逻辑电路紊乱乃至不能工作,从这个角度上讲,光耦的隔离也是

必不可少的。

1.3 人机接口电路

人机接口电路必须满足用户对设备进行管理和维护的各种需要,为此,配置了大屏幕液晶,可显示汉字、图形,中文菜单,界面直观。设计三个按键,为光标左移、光标右移、确定键,操作起来简单方便。同时,加强了对电网接地故障数据记录的管理和备份,除了保存足够多的故障数据记录以供用户查询外,还配置了微型打印机,除在接地时自动打印外,用户还可随时打印。打印出来的数据可粘贴到用户的工作日志上做永久的保存之用。还设计了指示灯和报警信号,便于用户随时掌握装置的运行状况。

另外,装置还具有RS232/RS485接口和RJ45接口,前者可将装置的数据传送到变电站综合自动化系统和调度自动化系统,后者可将装置的数据上到Internet,纳入到电力系统的MIS系统的管理之中,同时也方便厂家通过Internet在线更新装置的软件,在线了解装置的运行状态,在线进行装置的安装调试,维护工作等。

1.4 硬件抗干扰设计

前已述及,采用光电隔离器件,可抑制长线干扰,把强电和弱电隔离,以避免强电对测控系统的干扰和损害,但若要实现真正的隔离,则必须事先在电源端进行隔离,为此采用了DC-DC电源隔离技术,使模拟信号、数字信号和开关量输入输出信号的电源的地相互隔离开来;模拟地和数字地只在一点处连接。

实践证明,电子设备故障的90%来源于电源的噪声干扰。为了减小此类干扰,交流电源在进入机箱后必须通过隔离变压器、低通滤波器来减少和滤除高频噪声。在电路板的电源设计时,也加强了抗噪声的措施,如在电源输出端并联钽电容和瞬变电压抑制器(TVS管),可有效地抑制高频干扰和尖峰电压,在每个集成芯片的电源输入端并入退耦电容,在电源输出端和芯片比较集中的地方还串入了T型滤波三引脚电容器,此种电容器形成T型滤波器,通过两个集成的铁氧体磁珠,提供与电源串联的高电感,通过旁路电容提供接地低电感,当频率高于常用的去耦电容器时,其衰减量增大,对于直流电源线的高频噪声抑制效果很好。此外,为了减轻大电流负载(如DC-DC转换器、液晶等)对电源线上电流的过量抽取而导致电压的瞬间拉低,在这些负载前串入低值电感以稳定电压。

对于装设在干扰比较严重的变电站的消弧装置

来说,采取以上严格的抗干扰措施非常必要,它是保证装置可靠运行的前提条件。

2 测控系统软件设计

测控系统的主程序流程如图 6 所示。对于一个实用的测控系统来说,测量的精确性和控制的准确性必须首先得到保证。除了硬件要满足要求外,软件设计也必须充分考虑到这些方面。

自动消弧装置需要采集的数据有中性点电压、中性点电流,为了保证采样的精确度,软件设计方面,一是保证足够多的采样点数,根据香农采样定理和实践经验,每周波至少采样 2 个点以上,大于 50 个点则精度提高不再显著^[4];设计中采用每周波(20 ms)采样 50 个点,保证足够的采样精度;二是数据处理程序的设计,包括数字滤波,粗大误差的消除等。粗差的消除根据拉依达准则,连续采样 10 个周波,得到十个数据,计算这 10 个数据的均值和均方差,当

$$|x_i - \bar{x}| > 3 \quad (1)$$

则判断 x_i 为坏值而剔除,重新计算剔除后的数据的均值和方差,再比较判断,一直重复至没有坏值时为止^[5]。最后计算得到的均值即为需要的电压和电流值(测量满足正态分布),可将其代入公式计算得到电网的电容电流。

在控制准确性方面,一是开关信号的检测准确性,前述的光电隔离电路利用回路中流过一定数值的电流来判断开关的通断状态,可有效地避免长线衰减和干扰所造成的误判,同时采取软件冗余技术,在很短的时间内连续多次读取开关状态,当多次读取的开关状态均一致时,方始有效,否则重新读取、判断;二是控制信号的准确性,在继电器硬件接线实现互锁的同时,软件设计亦实现了互锁,即同一时间内输出状态相反的继电器用同一个控制字输出。此外,考虑到继电器的固有动作时间,软件要进行充分的延时。

3 电容电流的测量算法

本装置中的消弧线圈为调匝式,电容电流的计算采用了三点算法。以往的两点算法忽略了系统的阻尼率,带来了较大的算法误差;和两点算法不同,三点算法增加了一个测量点,将阻尼率包含在公式中,计算精度大大提高。计算电容电流的零序等值

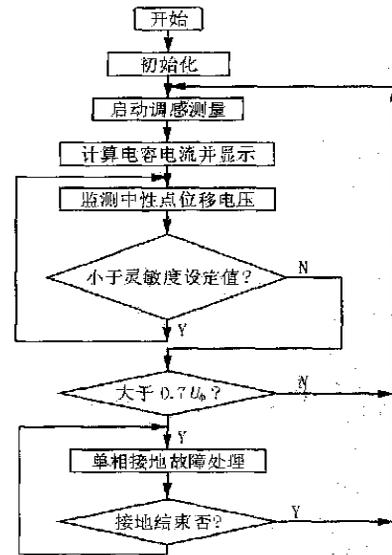


图 6 主程序流程图

Fig. 6 Block diagram of main program

电路如图 7 所示, U_{un} 表示不对称电压, X_L 表示消弧线圈的感抗, X_C 是线路对地电容抗, r 表示线路对地泄漏电阻与阻尼电阻的总和,任意调节三档,可得位移电压 U_0 的三个方程

$$U_{01} = \frac{U_{un}}{\sqrt{v_1^2 + d^2}} \quad (2)$$

$$U_{02} = \frac{U_{un}}{\sqrt{v_2^2 + d^2}} \quad (3)$$

$$U_{03} = \frac{U_{un}}{\sqrt{v_3^2 + d^2}} \quad (4)$$

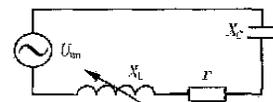


图 7 系统零序等值电路

Fig. 7 Zero-sequence equivalent circuit of power distribution system

以上各式中 d 为系统总的阻尼率。位移电压可以直接测得,消弧线圈每档的感抗值已知,脱谐度

$$v_1 = \frac{X_{L1} - X_C}{X_{L1}}$$

$$v_2 = \frac{X_{L2} - X_C}{X_{L2}}$$

$$v_3 = \frac{X_{L3} - X_C}{X_{L3}}$$

代入(2)(3)(4)式,解出系统对地电容抗 X_C ,由此算出系统的电容电流。

4 实验室模拟试验和挂网运行

消弧装置测控系统研制成功后,为了检验其各项性能指标,在实验室用调压器、升压变压器和高压电容器建立了等效的模拟电网,以电容器(集中参数)模拟线路分布电容,接线如图8所示。消弧线圈

表1 消弧线圈的电抗值

Tab.1 Reactance value of arc suppression coils

分接位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
电流/A	10.0	14.6	19.3	23.9	28.6	33.2	37.9	42.5	47.1	51.8	56.4	61.1	65.7	70.4	75.0
电抗值/	606.2	415.2	314.1	253.6	212.0	182.6	159.9	142.6	128.7	117.0	107.5	99.2	92.3	86.1	80.8

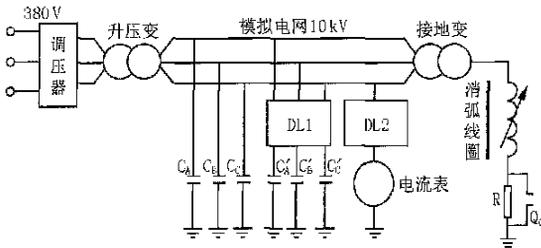


图8 消弧装置在模拟电网中的测量跟踪和单相接地试验

Fig.8 Measuring and tracing capacitive current and single-phase-to-ground fault test

在消弧线圈的测量跟踪试验中,接入模拟电网的对地电容值($C = C_A + C_B + C_C$)已知,即电容电流 I_C 的实际值已知,装置显示的为 I_C 的测量值,由二者可计算出测量的精度。跟踪试验通过断路器DL1接入或者断开部分电容来模拟电网运行方式的改变(或为出线数的改变),单相接地试验通过闭合断路器DL2使电网某一相接地运行,消弧线圈输出补偿电流 I_L 。试验均在标准相电压下进行。

表2 测量、跟踪和单相接地试验结果

Tab.2 Test results for measuring and tracing capacitive current and single-phase-to-ground fault

I_C 实际值/A	I_C 测量值/A	跟踪正确动作否	补偿电流 I_L /A	残流 I_D /A
13.2	13.4	正确	14.6	1.2
27.4	28.0	正确	28.6	0.6
45.9	45.1	正确	47.1	2.0

后进行挂网运行试验。该变电站的10kV电网分为两段,平时并联运行,总电容电流为38.6A,装置测得的电容电流为39.1A,重复测得的结果分别为39.1A、39.3A、38.8A,可见装置有着较好的重复性。在运行方式和出线发生改变时,装置能够准确地跟踪。接地发生时,能够快速输出补偿电流,补偿后的残流小于5A,效果令人满意。

的容量为460kVA/10kV,调节范围为10~75A,共分15档,每档的电抗值如表1所示。试验的内容包括电容电流的测量试验、跟踪试验和单相金属性接地试验,试验结果如表2所示。

5 结论

所研制的消弧装置新型测控系统经实验室模拟试验和挂网运行试验表明,电容电流的测量精度优于3%,跟踪的准确率大于99%,补偿后的残流小于5A。装置运行良好,未出现死机和程序紊乱的现象,说明所采取的抗干扰措施发挥了作用。为保证装置的可靠性,还设置了看门狗电路。特别值得一提的是,装置的数据采集系统的测量精度有了大幅度的提高,使得装置可以运行在高度平衡(位移电压 U_0 极低)的电网,这大大提高了装置的适应性和灵活性,满足了配电网不断发展的需要。

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 赵新民. 智能仪器设计基础[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1999.
- [3] 李华. MCS-51系列单片机实用接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- [4] 沈兰荪. 数据采集技术[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1990.
- [5] 赵怀林. 微机测量与数据误差处理方法[J]. 电测与仪表,2002,39(5):33-36.

(下转第72页 continued on page 72)

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of Protective Relaying in High Voltage Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [2] 高中德. 超高压电网继电保护专题分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1990.
GAO Zhong-de. Special Analysis of Protective Relaying in Super High Voltage Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1990.

er Press, 1990.

收稿日期: 2004-04-16; 修回日期: 2004-09-16

作者简介:

陆征军(1973-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护和自动装置的研究工作; E-mail: luzj@nari-relays.com

吕航(1971-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护和自动装置的研究工作;

李力(1970-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护和自动装置的研究工作。

Effects of distributed capacitance on fast busbar differential protection in transmission line

LU Zheng-jun, L ÜHang, LI Li

(NARIRELAYS Electric Co., Ltd, Nanjing 211100, China)

Abstract: This paper analyzes the influence of fast busbar differential protection caused by distributed capacitance in high voltage long distance transmission line during transient process. The high frequency component caused by distributed capacitance in transient process, may result in maloperation of busbar differential protections, which should be taken seriously in designing of RCS915 differential protection.

Key words: busbar differential protection; distributed capacitance; transient states

(上接第 59 页 continued from page 59)

陈赤培(1954-), 男, 高级工程师, 兼职教授, 长期从事电网自动化系统工程设计和规划;

刘静芳(1977-), 女, 硕士研究生, 从事电力自动化系统的研究。

Research and design of the integrated PAS/ DMS/ DMIS/ TMR systemLUO Jie¹, CHEN Chi-pei², LIU Jing-fang¹

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Jiangxi Electric Power Design Institute, Nanchang 330006, China)

Abstract: To build the integrated power supervision and control automatic system is a general idea in power industry and technology standard groups. The paper discusses the necessity and complexity of information exchange for the interrelated automatic subsystems in initial stages of electric power, and points out the objective of the integrated system based on IEC 61970 and CIM/ XML is seamless. On the basis of database system, network and communication technology, the integrated platform, with which data and information can be sharable to the interrelated automatic subsystems, is built up. In the end, both the technology in process of building the system and the marked advantages of the system are discussed.

Key words: power supervision and control automatic system; integration; SCADA/ PAS; CIM/ XML

(上接第 67 页 continued from page 67)

ZHAO Hui-lin. The Research on Computer Measuring and Data Error Processing [J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2002, 39(5): 33-36.

陈忠仁(1971-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为配电网自动化技术; E-mail: chenchen0520@sohu.com

吴维宁(1964-), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统监控技术和电磁兼容技术;

陈家宏(1960-), 男, 教授级高工, 研究方向为电力系统监控技术和高压探测技术。

收稿日期: 2004-04-28; 修回日期: 2004-05-25

作者简介:

Development of a new measuring-control system of automatic arc-suppression deviceCHEN Zhong-ren^{1,2}, WU Wei-ning², CHEN Jia-hong², ZHANG Qin²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper introduces a new measuring-control system of automatic arc-suppression device. The hardware and software for the system are devised in light of measurement precision and control accuracy. To make sure that the device operates reliably in substation, this paper adopts effective anti-interference measures.

Key words: arc-suppression device; measuring-control system; development