

一种新型测量模式的 PT 二次压降监测系统的设计

赵富海, 冯雷

(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 河南 郑州 450015)

摘要: 为了打破现有的人工拉线对 PT 二次压降进行测量的传统模式所存在的种种弊端, 设计了一种基于低压电力线载波通信(PLC)技术和利用 GPS 授时作为同步时间源的 PT 二次压降监测装置。利用 PLC 技术的通信特点, 并与高精度 GPS 授时功能有机结合起来, 给出了对 PT 二次压降进行测量并确保其测量精度的设计原理和方法。实验表明, 现场无需布线即可实现 PT 二次压降的高精度监测和数据的实时远传, 数据采集真实有效, 精度高, 可靠性好, 工作效率和自动化水平大大提高。

关键词: PLC; GPS; PT 二次压降; PT 二次线缆; 异地同步测量

Design and research of PT secondary voltage drop monitoring system based on PLC and GPS

ZHAO Fu-hai, FENG Lei

(The 27th Research Institute of CETC, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: To cancel abuses of traditional modes in PT secondary voltage drop measurement by manual routing, a PT secondary voltage drop monitoring device based on PLC techniques and using GPS timing is developed. Utilizing the characteristics of PLC technology for communication, and combining the high accuracy GPS timing organically, the design principle and approach to measurement of PT secondary voltage drop, and guaranteeing its measurement accuracy are presented in this paper. The experiment result shows that high accuracy monitoring of PT secondary voltage drop, and real time and remote transmission of the data can be achieved without wiring in the field. The data acquired is real and effective with high accuracy, high reliability, high efficiency and high automatization.

Key words: PLC; GPS; PT secondary voltage drop; PT secondary wire & cable; synchronization measurement at strange places

中图分类号: TM933 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)16-0070-04

0 引言

目前,电压互感器二次压降的测量方法有很多,通常有间接测量法和直接测量法两种。可以用互感器校验仪外加辅助电缆来测量,也就是直接测量法。此方法采用测差原理,准确度高、易于实现,但存在严重的缺陷就是每次测量时需要从电能表接线端铺设临时测量电缆至电压互感器二次端子处,然后将测试仪在此处接入进行测量。而采用临时铺设电缆的方式存在着线路长、电缆重、易断裂、放线环节繁琐、工作效率低下、人身安全得不到切实保障等问题,而且也可能威胁到现场其他设备的安全运行。目前出现了一些用无线电通信方式实现的间接测量法,其优势在于不用远距离铺设电缆,避免了直接测量法带来的诸多问题,既可以进行定期测量也可以实现长期连续监测。但在实际应用中有许多场所为保证发电厂、变电站内其他设备的运行安全而禁用无线电设备,所以其使用范围受到一定限制。

1 系统结构组成及总体设计思路

1.1 系统组成结构示意图(如图1所示)

1.2 系统总体设计思路

由于采用测差原理的直接测量法(校验仪法)和无线电通信的间接测量法均存在诸多弊端,因此为避免目前测试方法的缺点,本方案设计时采用了低压电力线载波通信 PLC(power line carrier)技术实现电压互感器二次压降的监测及数据的传送,此法可以归类为间接测量法。采用此法进行测量的好处在于,既节省了铺设临时电缆的工作量,同时也避免了对其他设备的无线电干扰。总体设计思路是:可以在电压互感器(PT)二次侧端子箱处和电能表接线端子处各安装一电压监测模块 A 和 B(如图1下部左、右虚框内),由电压互感器处的模块 A 将该处的电压有效值和相位信息通过 PT 二次线缆发送至在电能表处的模块 B,模块 B 可作为上位机将两处的电压进行比较即可得出两端电压的幅值差

和相位差,从而得到电压互感器二次回路的比差和角差,并按要求进行显示、打印和存储。同时为解决采样时因时钟不统一而导致的测量精度不准问题,A、B 两单元还特别设计有 GPS(Global

Position System)授时功能,其主要目的是利用 GPS 系统的 100 PPS (Pulse Per Second) 脉冲在单片机控制信号的作用下实现对 A、B 两处记数值的异地同步采样^[1],从而实现高精度测量。

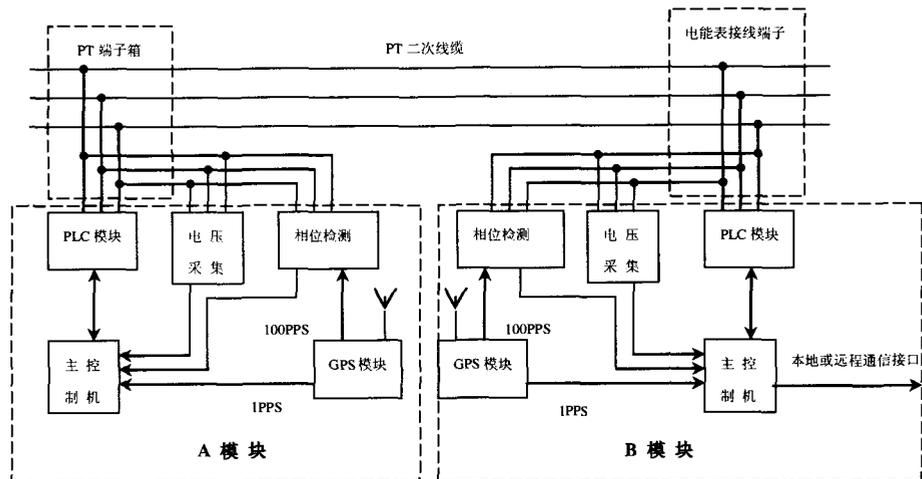


图 1 系统组成结构示意图

Fig.1 Structural diagram of system constitution

2 系统设计方法

2.1 电压互感器二次压降测量的基本原理

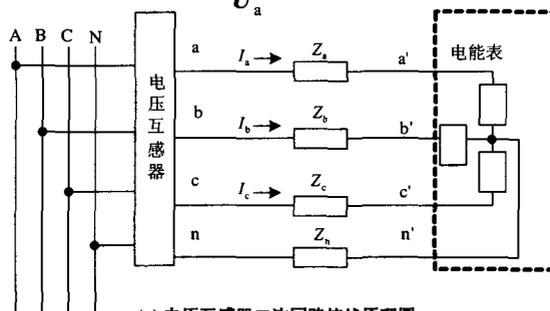
电压互感器二次回路的首末端可以近似地看作一个变比为 1 的电压互感器,这样应用电压互感器校验原理就很容易分析了^[2]。电压互感器的误差定义为:当将反转 180° 的次级电压向量按额定变比折算至初级回路后,它与实际初级电压向量之差,对实际初级电压向量的比值即为电压互感器的误差。

以下以三相四线方式为例进行分析,电压互感器二次回路接线原理及矢量图,如图 2(a)所示。图中 a、b、c、n 为 PT 二次侧接线端,a'、b'、c'、n' 为电能表接线端。由于 PT 二次回路中存在阻抗 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 、 Z_n ,即造成 $U_a \neq U_{a'}$, $U_b \neq U_{b'}$, $U_c \neq U_{c'}$,所以 PT 二次回路中不可避免的产生了比差(f)和角差(δ)。根据图 2(a),可以得到三相电压之间的矢量关系,如图 2(b)所示。由图 2(b)可知,电压向量 ΔU_a 在 U_a 上的同相分量为 $\Delta U_a'$,正交分量为 $\Delta U_a''$ 。由于实际中相位差 δ 很小,故同相分量 $\Delta U_a'$ 与 U_a 之比可近似得到比差 f_a ,即

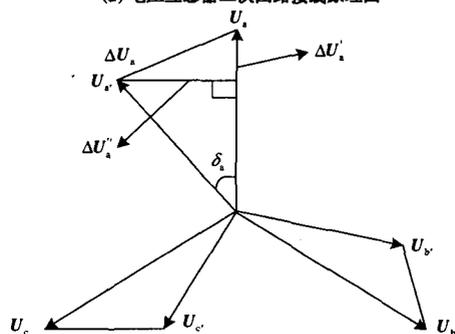
$$f_a = \frac{\Delta U_a'}{U_a} \times 100\% \quad (1)$$

正交分量 $\Delta U_a''$ 与 U_a 之比为角差 δ_a ,即

$$\delta_a = \text{tg}^{-1} \frac{\Delta U_a''}{U_a} \times 3438(') \quad (2)$$



(a) 电压互感器二次回路接线原理图



(b) 三相电压矢量图

图 2 电压互感器二次回路及矢量图

Fig.2 Secondary loop and vector diagram of voltage gross-inductor

2.2 系统总体技术难点分析及其解决办法

在实际应用中,由于对系统测量的比差分辨率要求达到 10^{-5} 级,即交流电压100 V输入时可分辨出一个毫伏,同时对角差的测量精度要求达到 $\pm 1'$,所以实现信号的高精度采样就显得十分重要,这也是本设计的最大技术难点。

为解决上述问题,本设计采用了一系列应对措施。在间接法的PT二次压降的比差测量中,应直接测出电压向量的模,即 $|U_a|$ 和 $|U_b|$,也就是在测量点测出电压的有效值,为实现它的高精度测量,本设计采用了0.05级高精度电压表进行测量^[3]。在对角差的测量中,由于要求达到 $\pm 1'$ 的测量精度,因此设计时采用锁相环电路将电网频率信号360×60倍频,并用该倍频信号作为计数器的时钟信号,计数器记录倍频后的脉冲信号就可满足角差测量精度的要求。当然,若为了进一步提高测量精度,还可将上述倍频后的信号再次10倍频。具体角差的采样办法是:交流信号每次电压过零时,计数器开始复位,即重新开始计数,单片机在GPS的100 PPS脉冲的作用下实现对两端计数值的同步采样,每接收到一个或几个100 PPS引起的中断后,读取计数器的当前计数值,PT二次线路两端计数值的差值,即为PT二次计量回路的角差。

2.3 系统各组成部分设计

2.3.1 基于电力线载波通信技术的A、B模块通信设计

为省去每次现场PT二次压降测量时室内计量点与室外电压互感器PT之间人工拉线的麻烦,提高检测工作效率,本设计特别利用了电力线载波通信技术,将现场已有的PT二次线缆作为A、B之间通信的传输通道,其电力线载波调制解调器工作原理如图3所示。因为A、B模块之间的通信要通过PT二次线缆传输信号,所以应在PT二次线缆和载波电路之间设置一藕合接口电路,接收信号时滤去二次电压回路上的工作电压,让载波信号传输过来。信号输出时把调制好的信号传送到PT二次线缆上去。

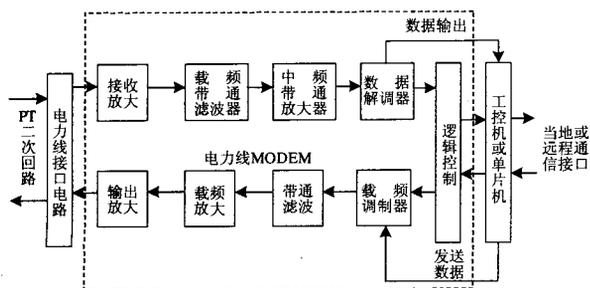


图3 电力线载波调制解调器工作原理图

Fig.3 Principle diagram of power-line carrier modem

调制解调器的收、发状态由工控机或单片机进行控制,发送和接收的载波信号由电力线接口电路完成与PT二次线缆的耦合。该调制解调器采用FSK键控、半双工通信方式,载波中心频率调整为符合标准范围要求的67.50 kHz。其中的反馈电路可使载波信号在PT二次线缆上传输时衰减较大的情况下也能稳定输出。通过调制解调器,就可将A模块所采集的数据通过PT二次线缆传送到B模块。

电力线MODEM选用进口电力线专用芯片,经过独特的软硬件设计,可成功地实现在PT二次线缆上数据的可靠传输,在一般电力线路质量条件下,误码率小于 10^{-5} 。

2.3.2 基于GPS的异地同步测量

通常情况下,GPS接收机至少提供两种形式的时间信号,即1 PPS信号和串口时间代码。1 PPS的脉冲时间与世界协调时间UCT(Universal Coordinated Time),两者同步误差不超过 $1 \mu s$,串口信息在1 PPS脉冲之间给出,其中包括的时间信息用来说明前一个1 PPS脉冲对应的UCT时间(年、月、日、时、分、秒)。根据系统测量精度要求,本设计所采用的接收机模块可提供100 PPS信号,其时钟精度可达纳秒级^[4]。系统采用这三种信号即可同步测量出电压向量。

在对二次压降进行采集时,设计成对每一周期的二次压降进行采集,采用主从机预约时间、每次采样间隔1秒或几秒的方式测量电压向量。主从机预约时间以GPS的1 PPS信号为准,A、B模块中的单片机在预约时间到来时,按照GPS的100 PPS信号引发的中断去读取计数器的当前值,同时对电压有效值进行采样并依次存储,等待1秒钟后,从机将采样的数据发送到主机,主机再依次对数据进行计算处理,得出这1秒钟内的二次压降值。

2.2.3 电压有效值测量

在对电压有效值进行测量时,计算真有效值的算法十分重要。选择适宜的算法不仅能提高系统精度而且可减少硬件开销,降低成本。由电工学知识可知:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (3)$$

对一个周期的电压信号进行离散,电压离散采样如图4所示,离散后将有限个采样电压值与采样间隔时间 ΔT 的乘积求和,可近似地表达出一个周期 T 内对电压瞬时值的积分^[3],因此,电压有效值表达式可以写为:

$$U \approx \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^N u_n^2 \Delta T} \quad (4)$$

式中： ΔT 为相邻两次采样的时间间隔； U_n 为第 $n-1$ 个时间间隔的电压采样瞬时值； N 为 1 个周期内的采样点数。

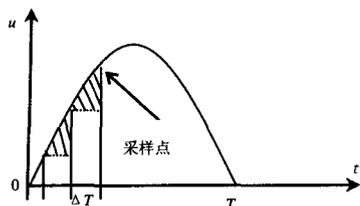


图 4 电压离散采样示意图

Fig.4 Demonstrating diagram of discrete voltage-sampling

在实际采样过程中，相邻两次采样时间间隔是相等的，即 $N = \frac{T}{\Delta T}$ ，上式可简化为：

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n^2} \quad (5)$$

这就是数字信号处理器对经离散后的被检测信号进行计算的理论公式。它是根据一个周期 T 内各采样瞬时值及采样点数来计算信号的有效值公式。从中我们发现离散后的电压有效值计算公式只能近似等于电压有效值的定义公式，所以这就是为什么系统的测量误差不可能为 0 的原因，然而，我们如果缩短系统模数转换时间，提高运算速度，从而增加采样点个数，这样可进一步提高系统测量精度。

2.3.4 过零比较器设计

为了准确捕捉到两测量点电压间的相位误差，应设计过零点检测电路，通过此电路实现两测量点相位差的测量。电路由两个光耦和异或门以及限流电阻组成，其工作原理图如图 5 所示。

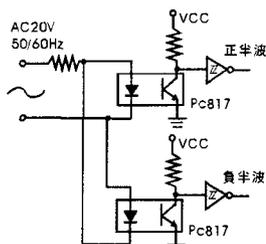


图 5 过零比较器电路工作原理图

Fig.5 Principle diagram of zero-passing comparative circuit

过零比较器的输入波形如图 6 (a) 所示。光耦二极管导通有 0.7 V 的死区，所以经光耦输出的正负半周方波，如图 6 (b)、(c) 所示，经施密特电

路整形再送入异或门后可输出图 6 (d) 的脉冲，图 6 (d) 的脉冲发生时刻就是被检测正弦波过零时刻。在实际应用中，A 模块和 B 模块各含一套过零检测电路，在测量角差时由 B 模块向 A 模块发送同步采样指令，两模块同时采样两处过零点的电压信号。A 模块的过零信号发生时刻传回 B 模块，然后与 B 模块采集到的过零时刻求差即可得到角差。

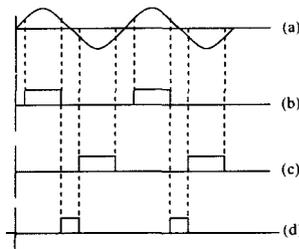


图 6 过零检测脉冲波形图

Fig.6 Pulse waveform diagram for zero-passing checking

2.3.5 主控制机设计

主控制机主要完成 A、B 两模块的同步采样、比差和角差的运算、最终数据的显示打印和存储等功能。本设计采用嵌入式工业系统 PC104 作为主控制机，具有体积小、可靠性高、组态灵活、可高级语言编程等优点，不必再重新开发新的控制计算机。主控制机上运行的应用程序基于 windows 操作系统，可用 Vb 或 Vc 高级语言编程，将计算得到的最终数据存储于电子硬盘中。同时主控机带有本地或远程通信接口，以便于同当地检测仪器和设备进行通信，实现当地数据交换和远传。此外，主控制机还可驱动液晶显示屏实现显示功能，所带打印接口连接打印机后可将数据打印输出。

4 结论

本文将 PLC 应用同 GPS 授时功能有机结合在一起，设计了一种当地或远程对 PT 二次压降进行高精度测量的自动化监测系统，实现了无需布线即可人工现场测量或远程实时自动测量之目的。PT 二次压降测量作为电能计量装置综合误差测量的重要组成部分，该系统的开发与应用对推进电能计量技术进步，改进落后测量方式，不断提高电能计量管理现代化水平、体现公平正义和优质服务水平，具有十分重要的现实意义。

参考文献

[1] 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990.

(下转第 98 页 continued on page 98)

的下层(电缆夹层的上面)敷设有接地铜网。保护屏的接地铜排通过不小于 4 mm^2 的铜线(辫子线)接入铜网上。而铜网则在电缆夹层的入口处与变电站的主接地网进行可靠焊接。通过这些措施,保证一点接地。

3.6.4 装置本身的屏蔽接地

(a) 屏柜的屏蔽接地

微机保护一般采用柜体结构,为保证整个柜体的屏蔽作用,柜体的前后门必须通过导线联接于柜体的接地铜排上,通过铜网接地。

(b) 装置的箱体屏蔽接地

对于微机保护的箱体,各厂家材料可能不一样,但均应按前面所述屏蔽的要求制造。为保证可靠的屏蔽,各箱体均应通过导线接到柜体的接地铜排上,通过铜网接地。

(c) 装置本身的防干扰接地

装置本身的防干扰接地,主要是交流变换器中间屏蔽层及换流器铁芯的接地,其次是低通滤波回路的防干扰接地,再就是电流回路的防干扰滤波器的接地,这些接地均通过装置的接地端子接入柜体的接地铜排上,通过铜网接地。

3.6.5 关于 10 kV 馈线保护对反事故技术措施的落实

对于 110 kV 以上的系统的反事故技术措施,各级技术部门已反复下达,这里仅对 10 kV 馈线系统的防干扰技术措施提几点看法。由于 10 kV 馈线系统对反事故技术措施的落实不尽人意,因而其微机保护的损坏和死机现象较多,尤其是采取分散布置的综自站,为使微机保护不致受干扰损坏,应注意以下几点:

(a) 由于 10 kV 开关室无接地铜网,开关柜一

般是焊接于接地基础型钢上,必须保证焊接的可靠,即每处焊接部分必须为型钢宽度的2倍。同样,基础型钢与地网扁铁的焊接也应有地网扁铁宽度的2倍,且保证焊接的十分可靠。否则,应保证开关柜体与主接地网的可靠联接。

(b) 必须保证互感回路的接地,保证装置的内部接地,装置箱体的接地均牢靠地接入与接地型钢可靠焊接的柜体。

(c) 直流电源滤波器的接地线同样应牢固地接入接地柜体,并且电源滤波器的输入输出线应有较大的距离,切忌不可平行。电源滤波器的输出线应尽可能短。

(d) 敷设控制电缆的金属电缆桥架,必须可靠接地。

4 结论

本文主要针对株洲电网近年来在电气二次工作中遇到的实际典型事例,浅谈了二次回路抗干扰措施在株洲电网实际中的应用,系统阐述了干扰的分类及其防范。实践证明,这些方法是行之有效的,通过这些措施的落实,取得了良好的效果,基本解决了现场运行中微机保护的抗干扰问题,大大改善了微机保护运行的电磁环境。

参考文献

- [1] “防止电力生产重大事故的二十五项重点要求”继电保护实施细则[Z].

收稿日期:2008-04-10; 修回日期:2008-06-02

作者简介:

吴小忠(1974-),男,硕士,主要从事继电保护、通信及自动化专业技术管理。E-mail:yyangchen@126.com

(上接第73页 continued from page 73)

HE Li-min. Design of MCS-51 Monochip Application System[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press,1990.

- [2] 汪洋.基于凌阳单片机的电压互感器二次压降全自动测量仪的研制[J].电测与仪表,2003.

WANG Yang. Development of Voltage Cross-inductor Secondary Voltage Drop Fully-automatic Measurement Device based on Sunplus Singlechip[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2003.

- [3] 王群,王兆安.时域中非正弦周期电流的分解及其各分量的测量[J].仪器仪表学报.

WANG Qun, WANG Zhao-an. Decomposition and Component-measurement of Periodic Non-sine Wave

Current in Time-domain[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument.

- [4] 肖大维.GSP的电压向量测量新方法及其应用[J].电子技术应用,2005.

XIAO Da-xiong. New Measurement Method of GSP Voltage-vector and Its Application[J]. Application of Electronic Technique,2005.

收稿日期:2008-07-23; 修回日期:2008-07-30

作者简介:

赵富海(1966-),男,高级工程师,主要研究方向为电力系统自动化;E-mail:zhaofuhai2005@126.com

冯雷(1974-),男,工程师,主要研究方向为电力电子技术。