

基于电力线传输技术的智能化防窃电装置

段晨旭,杨修文,刘 媛

(山东建筑工程学院 信息与电气工程学院,山东 济南 250014)

摘要: 基于电力线传输技术的智能防窃电装置由监测单元、中央处理单元和电力线收发器等硬件组成。通过对高供低计或高供高计三相三线供电用户的二次侧电压、电流进行实时监测,分析电压、电流之间的相位关系。对于二次侧电流相线接错和电压相线接错等窃电方式进行实时监控,并记录用电情况和线路接线状况。由单片机模拟 Neuron 芯片串行通信的专用工作方式控制双频载波电力线收发器,并经过中继器实现通过电力线实时数字传送用户的用电信息。根据电力线收发器硬件的信息传送方式,通信协议采用了 CAN 2.0B 的主要结构,并在应用层增加了纵向奇偶校验,进一步提高了数据通信的可靠性。

关键词: 防窃电; 电力线收发器; 通信协议

中图分类号: TM 732

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)06-0057-05

0 概述

10 kV 及以上的工业用电一般采用三相三线的供电方式,电能计量采用高供低计和高供高计两种方法,电能计量仪表使用三相两元件电能表。由于电能计量主要决定于电压、电流、功率因数三要素和时间的乘积,因此,改变三要素中的任何一个,都可以使电能表慢转、停转甚至反转,从而影响电能表的准确计量^[1]。特别是高压供电低压计量方式通过电压互感器(TV)和电流互感器(TA)计量电能,用户可以在不影响回路供电的情况下通过改变二次侧接线等多种方法改变电能表的计量结果。

目前,防窃电技术措施多采用专用计量箱或专用电表箱的方法,如:高供高计专变用户采用高压计

量箱,高供低计专变用户采用专用计量柜或计量箱,阻止其接触计量装置的一次或二次设备,从而达到防窃电的目的。这种方法维护不方便,长期使用其防护作用会降低。

随着网络通信技术和微计算机技术的不断发展,结合窃电的基本方法和三相三线电能表的接线关系,利用电力线和电力传输模块并采用 CAN 总线传输协议,通过仪器检测并防止窃电现象的发生,同时解决了实时检测用户用电信息和信息共享问题,提高了用电计量的安全性。

1 防窃电原理分析

窃电方法归纳起来大体可分为欠电压和欠电流两种。其他方法如移相和扩差等实现较前两种复杂,而且窃电方法过于明显。这里主要针对高供低计的电能计量系统,用户既可以通过简单的、不定时的

切断 TV 二次侧相电压或短路 TA 二次侧的线电流影响电能计量精度,也可以将二次侧相电流的接线顺序故意接错直接改变电能表的计量结果,前一种窃电方式通过突击检查可以发现问题,而后一种方式就只能通过仪表检测其电压和电流的相位关系发现问题。

电压相位确定时,TA 的二次侧共有 8 种接线组合^[2~4]。在 8 种接线组合中只有 1 种接线组合可以正确计量电能,2 种接线组合使电能表不走,3 种接线组合使电能表反转,还有 2 种接线组合使电能表正转,但计量误差较大。表 1 是几种接线组合对照表。

表 1 三相三线电能表接线对照表
Tab.1 The connections of three-phase three-wire power meter

电流相序	有功功率	相位关系 (U_a, U_b 为基准)	
$I_a \quad I_b$	$\sqrt{3} UI \cos \varphi$	φ	φ
$-I_a \quad -I_b$	$-\sqrt{3} UI \cos \varphi$	$180^\circ - \varphi$	$180^\circ + \varphi$
$I_b \quad I_a$	0	$120^\circ + \varphi$	$240^\circ + \varphi$
$-I_b \quad -I_a$	0	$300^\circ + \varphi$	$60^\circ + \varphi$
$-I_b \quad I_a$	$2UI \sin \varphi^*$	$300^\circ + \varphi$	$240^\circ + \varphi$
$I_b \quad -I_a$	$-2UI \sin \varphi$	$120^\circ + \varphi$	$60^\circ + \varphi$
$-I_a \quad I_b$	$UI \sin \varphi^*$	$180^\circ - \varphi$	φ
$I_a \quad -I_b$	$-UI \sin \varphi$	φ	$180^\circ + \varphi$

注: * 的计量结果为正转但误差大; φ 为负载上同一相中电压和电流的相位差 ($41.4^\circ \sim 18^\circ$)。

电能表反转或不转容易被直接观察到,重点分析电能表正转但计量误差大的情况。设三相负载是平衡对称的,关系如下:

$U_a = U_b = U_c = U, \quad I_a = I_b = I_c = I, \quad \varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = \varphi$

图 1 为两表法测量三相电路的有功功率。 W_1 和 W_2 为两块电动式功率表,其中粗线代表电流线圈,与负载串联;细线代表电压线圈,与负载并联。两表中分别接入线电压: U_{ac} 和 U_{bc} , 接入相电流分别为: I_a 和 I_b 。图 2 为两表法时的向量图。

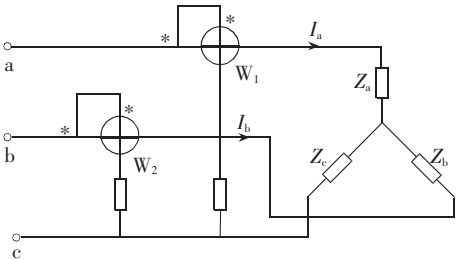


图 1 两表法测量三相电路的有功功率
Fig.1 Dual-meter method for active power measuring in three-phase circuit

下面分析在不改变相序的情况下,只改变相电流接线方法对电能表计量精度影响的几种情况。

a. 唯一正确接线组合: 第一元件 U_{ac}, I_a 和第二元件 U_{bc}, I_b 。

$P_1 = U_{ac} I_a \cos(30^\circ - \varphi)$
 $P_2 = U_{bc} I_b \cos(30^\circ + \varphi)$
 $P = P_1 + P_2 = UI [\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)] = \sqrt{3} UI \cos \varphi$

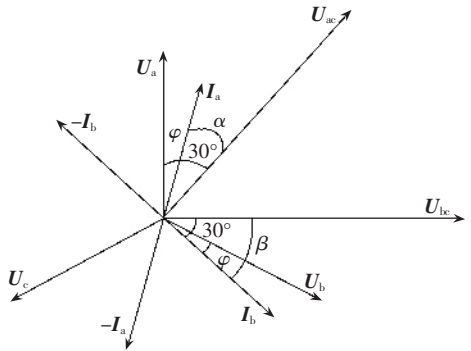


图 2 两表法时的向量图

Fig.2 The vector diagram of dual-meter method

b. 两相电流中有一相电流反接, 电能表转速变慢。第一元件 U_{ac}, I_a 和第二元件 $U_{bc}, -I_b$ 接法:

$P_1 = U_{ac} I_a \cos(30^\circ - \varphi)$
 $P_2 = U_{bc} I_b \cos(150^\circ - \varphi)$
 $P = UI [\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(150^\circ - \varphi)] = UI \sin \varphi$

c. 两相电流分别与另一元件交叉接线, B 相电流反接, A 相电流正接。电能表转速变慢。第一元件 $U_{ac}, -I_b$ 和第二元件 U_{bc}, I_a 接法:

$P_1 = U_{ac} I_b \cos(90^\circ - \varphi)$
 $P_2 = U_{bc} I_a \cos(90^\circ - \varphi)$
 $P = UI [\cos(90^\circ - \varphi) + \cos(90^\circ - \varphi)] = 2UI \sin \varphi$

正确接线时 $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$, 而另外两种接线方式时 $P = UI \sin \varphi$ 和 $P = 2UI \sin \varphi$ 。错接线时电能表虽然能够正转但转速减慢,从而达到窃电目的。

2 总体方案设计

装置由监测终端和中继器两部分组成。图 3 为系统的总体框图。

监测终端安装在用户现场,通过检测用户端二次侧电压和电流及各相电压、电流的相位关系,实时记录现场用电情况。并将检测的结果在线分析,通过查表显示电能表的接线情况和各参数之间的关系状况。记录和显示的结果包括:出现故障的情况(起始时间、结束时间、故障原因)、接线状况(是否正确、有无改动、改动时间)、用电质量和用电负荷情况等。通过 EEPROM 保存所有记录以备查询,并采用电力线收发器实现监测结果的数据传输。

中继器与监测终端配合使用,中继器跨接在变压器一次侧和二次侧两端,实现 10 kV 中压段与低压段的信息交换。

2.1 系统硬件设计

2.1.1 检测终端的硬件结构

检测终端由微计算机、电力线收发器、EEPROM, TV, TA、过零检测电路、A/D 转换、LED 数码显示器及键盘等组成。

图 4 为监测终端的电压、电流相位检测部分的电路原理图。二次侧三相电压和三线电流分别通过

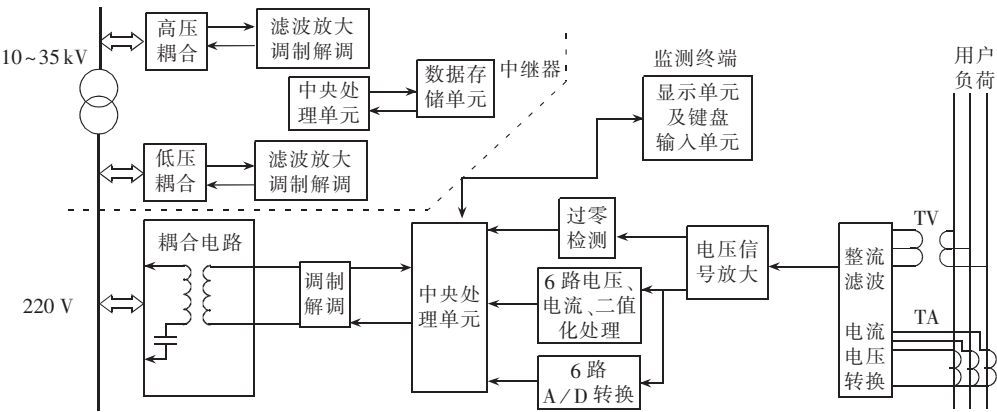


图 3 系统总体框图
Fig.3 The systematic block diagram

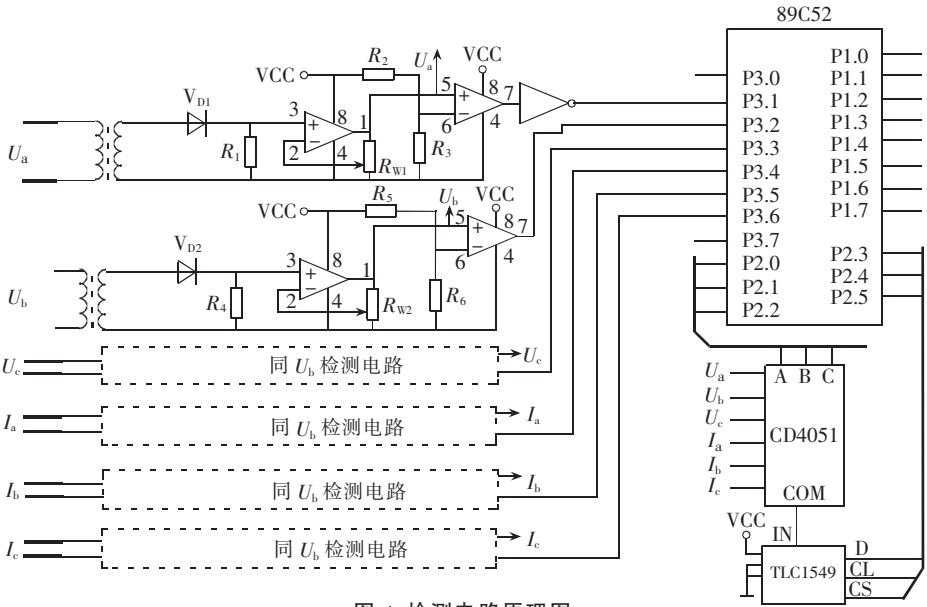


图 4 检测电路原理图
Fig.4 The block diagram of measuring circuit

TV 和 TA 将检测的电压、电流转换为标准的 0~2mA 电流信号,此电流信号经过电阻回路,转换为电压信号,再经过二极管整流、放大器放大后分成两组信号。

a. 一组为连续的 6 路模拟信号,经 CD4051 多路开关送到 TLC1549 串行 A/D 转换器转换成二进制形式串行输入到计算机 P2.3 端。

b. 另一组为经过比较器组成的过零检测电路比较后,将 6 路连续的模拟信号转变为 6 路电平信号,直接输入到单片机 P3 口的相应管脚上。其中,利用 U_a 电平信号的上升沿经反向器后向后,下降沿向 CPU 发出中断请求。作为采样和判断 6 路电平信号相位的参考点。

为了减少判断的条件,三相电压相序由供电部门工作人员按 A,B,C 的相序正确接线,供电系统投入使用后,相序不能随意改变。如果装置使用过程中改变相序接线,则监测装置检测为非正常情况,并记录和远传检测结果。

检测装置以 A 相电压波形过零为基点,经反相

器接 89C52 的 P3.2 (INT0),设置 T0 为定时器工作方式,定时周期为 2 ms 作为 P3 口的采样周期,采样周期间隔 36°。当中断产生后,P3 口以 2 ms 的时间间隔采样 P3 口,10 次为 1 个周期,为保证监测数据的可靠可多采样几个周期,并将采样结果保存在单片机 RAM 区的位寻址单元中。CPU 根据存在位寻址单元中的检测结果,查表分析电压和电流的相位关系,如果电流相位发生 7 种接线组合错误中的任何一种,则认为是接线错误(窃电行为),装置保存和记录接错线类型和时间、发出报警并通过电力线发送检测信息;如果是电压相序发生改变则认为是故障或窃电,装置重复上一种情况时的工作。

2.1.2 载波通信模块与微计算机的连接

在实现用户用电信息检测的基础上,使用电力线载波技术,在现有的供电网络上实现数据信号传输。目前,国内外使用的电力线载波收发器一般由信号耦合、信号滤波、功率放大、调制/解调等几部分组成^[5]。其中,调制解调技术是通信成败的关键,

常用的通信方法有扩频调制解调(SC1128)和双频载波(PLT-22)等方式,SC1128 价格便宜,但参数设置比较复杂;PLT-22 价格较高,但设置较为简单。两

种器件各有特点,都在使用。这里介绍电路简单并采用双频 BPSK 技术的 PLT-22 电力线收发器的使用^[6]。图 5 为载波通信模块与微计算机的连接电路。

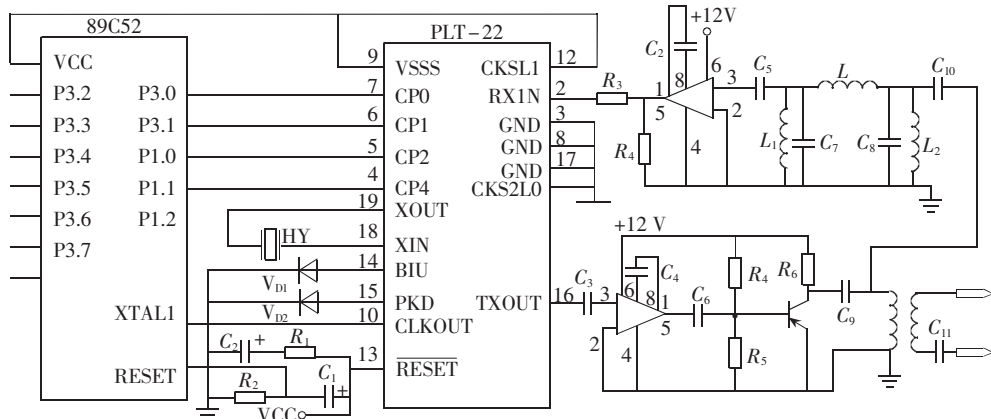


图 5 载波通信模块与微计算机的连接

Fig.5 The connections between carrier communication module and microcomputer

PLT-22 是配合 LonWork Neuron 芯片使用的模块,这一点限制了该模块的使用范围。经分析发现,Neuron 芯片在与 PLT-22 接口时采用专用工作方式,在专用工作方式下 CP0 为串行输入、CP1 为串行输出端、CP2 为帧同步脉冲输出、CP4 为位同步脉冲输出。图 6 为专用工作方式下串行通信的时序图,根据时序图,采用单片机 89C52 的异步串行通信接口 P3.0 和 P3.1 与 PLT-22 的 CP0、CP1 连接,P1.0 和 P1.1 与 PLT-22 的 CP2、CP4 连接,通过软件模拟 Neuron 芯片的专用工作方式下发送数据和接收数据的时序,实现电力线载波的数字传输。

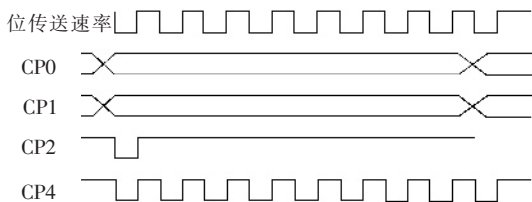


图 6 专用方式下串行通信时序图

Fig.6 The sequence of serial communication in special model of Neuron

发送和接收双方采用统一的硬件结构和通信比特速率,遵守约定的通信协议格式。发送端将数据以帧格式数据包,在帧同步脉冲和位同步作用下串行输入到 PLT-22 的 CP0 端,PLT-22 以双频调相波通过耦合电路发送到电力线。在另一端接收端通过耦合电路将调相信号输入的 PLT-22,PLT-22 再将发送端的信号还原为串行帧格式,在帧同步和位同步脉冲作用下输入到单片机的串行接收端。

2.2 防窃电装置软件设计

2.2.1 采样及模型分析运算程序设计

采样电路输入到单片机的信号为 6 路开关量和

6 路模拟量,模拟量用于对供电和用电质量的监控;6 路开关量(3 路相电压、3 路相电流)作为防窃电参数。以 A 相电压过零为起点,以 2 ms 的时间间隔连续采样。首先判断三相电压相序是否正确、有无断线、有无短路,然后查表分析各电压相位与电流相位的关系是否正确。定时记录检测结果。

2.2.2 收发器通信程序设计

LonWorks 的通信方式中一般采用差分曼彻斯特编码技术,但其专用通信工作方式的帧格式为无编码、无同步头的原始报文^[7]。根据这一点可以充分利用 89C52 单片机异步串行通信能力强的特点,使用单片机的串行通信方式 3,并同时通过 P1.0 和 P1.1 输出帧同步和位同步脉冲,通过软硬件配合的方法实现数据传送。

通信程序设计分为:初始化程序、发送子程序和接收子程序 3 部分。其中,数据发送采用定时发送、随机发送和请求/应答发送 3 种方式。数据发送过程采用查询方式。数据接收采用中断方式,这样有利于通信的实时性。当管理部门需要了解各终端的用电情况时,可采用请求/应答方式向终端发出远程帧,监测终端在中断方式下接收远程帧,并返回数据帧。

2.2.3 电力线载波通信协议

目前,国外的电力线载波收发器件多采用基于 LonWork 技术的传输协议。由于 LonWork 技术需要专用开发装置,不利于普通用户的使用。采用了常用的 51 系列单片机作为中央处理单元,参考了 CAN 总线的通信协议^①,并且在应用层增加了 1 个字节的纵向奇偶校验,进一步提高了纠错能力。

采用单片机串行通信方式 3 以字节为单位的帧

① SC1128 扩频通信芯片使用手册,北京智源利和微电子技术有限公司。

传送方式。在报文结构上参照 CAN 总线协议,采用 4 字节标识符、1 字节帧信息、8 字节数据位和 1 字节校验字节。报文中包括了地址信息、命令信息和数据信息,最后 1 字节的奇偶校验位,为前面所有字节的异或值。采用 CAN 总线的传输协议,简化了寻址方式和仲裁方法。图 7 是报文格式。

CAN 帧信息 (1 字节)	CAN 标识符 (4 字节)	数据帧 (8 字节)	校验 (1 字节)
-------------------	-------------------	---------------	--------------

图 7 信息传输的报文格式

Fig.7 The message format of information transmission

3 结论

基于电力线载波技术的智能防窃电装置通过监测二次侧电压、电流的接线情况,既可以防止窃电情况的发生,又可以实时检测用户的用电情况,并使用电力线将检测结果传送用电管理部门,提高了用电管理的实时性。目前电力管理部门大力推广用电计量的网络化管理。这其中信息的无线传输、专线传输及电力线载波传输等方法都是可选方案。虽然,利用电力线传输数据要增加中继器使信息越过变压器传输,可能增加设备投资,但可减少线路上的投资,从总体上考虑利用电力线传输信息特别适合电力设备网络化的发展。

参考文献:

[1] 刘 军,高 亮,蔡振江,等. 单相全电子式防窃电电能表的研制[J]. 河北农业大学学报,2003,26(2):93-96.
LIU Jun,GAO Liang,CAI Zhen-jiang,et al. Development of single phase and all electronic anti-steal watt-hour meter[J]. **Journal of Agricultural University of Hebei**, 2003,26(2):93-96.

[2] 张有顺,冯井冈. 电能计量基础[M]. 北京:中国计量出版社,1995.
[3] 李振雷. 窃电与反窃电方法的深层次研究[J]. 天津电子技术,2004,(1):31-34.
LI Zhen-lei. Deep research of steal or anti-steal electric power [J]. **Electron Technology of Tianjin**,2004,(1):31-34.
[4] 孙洪波,唐治德,李翼望. 三相三元件有功电能表防窃电技术[J]. 重庆大学学报,2002,(12):87-90.
SUN Hong-bo,TANG Zhi-de,LI Yi-wang. Power-theft-preventing technology for three-phase three-element active electric power meter [J].**Journal of Chongqing University**,2002,(12):87-90.
[5] 洪 利,伍 魏. 电力线收发器与神经元网络接口[J]. 国外电子元器件,2002,(6):7-8.
HONG Li,WU Wei. Interface of the power line transceiver and neural network[J]. **International Electronic Elements**,2002,(6):7-8.
[6] 丁 辉. 电能表联合接线的向量分析法[J]. 电测与仪表,2001,(11):29-32.
DING Hui.Vector analysis in united connection of electric power meter [J]. **Electrical Measurement & Instrumentation**,2001,(11):29-32.
[7] 饶远涛,邹继军,郑勇芸. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

段晨旭(1957-),男,山东乳山人,副教授,主要研究方向为计算机控制技术(E-mail:duanchenxu@yahoo.com.cn);
杨修文(1977-),男,山东济南人,助教,硕士,主要研究方向为网络控制技术;
刘 媛(1981-),女,山东济南人,硕士研究生,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

Intelligent electricity-filch monitoring device based on power line transmission technology

DUAN Chen-xu,YANG Xiu-wen,LIU Yuan

(Dept. of Information and Electrical Engineering,Shandong University of Architecture and Engineering,Ji'nan 250014,China)

Abstract: An intelligent electricity-filch monitoring device based on power line transmission technology is introduced,which consists of monitoring unit,CPU,power line transceiver and so on. The secondary voltage and secondary current of three-phase three-wire power supply are real-timely monitored.The phase relationship between voltage and current is analyzed to detect the electricity steal by means of improper connection of secondary phase lines of current and voltage,and the power consumption conditions and power line connections are recorded. Microcomputer simulates the special working mode of Neuron chip in serial communication to control the double-band carrier power line transceivers,and transmits user's real-time power consumption information with power line via repeaters. According to the information transmission way of power line transceiver,the main structure of CAN 2.0B is adopted in the communication protocol and the sum check is added in application layer to enhance the reliability of data transmission.

Key words: electricity steal prevention; power line transceiver; communication protocol