

基于GPS的母线电压相角测量研究及实现

段俊东¹, 尹秀刚¹, 孙彦楷¹, 郭志忠²

(1. 河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454001; 2. 许继电力科学研究院, 北京 100085)

摘要: 介绍了一种基于GPS高精度全网统一时钟的稳态相角测量的硬件方案。该设计采用模块化结构, 由两个(或多个)过零点时标生成模块和一个中心处理模块组成, 利用过零点时标生成模块为电压过零点打上精确的时间标签, 并上传到调度中心, 由中心处理模块对上传的一系列时间信息进行处理, 计算出电压的稳态相角。可与目前的调度自动化系统配合使用实现电力系统的稳态相量可观, 具有安装和调试方便、传输信息量小、速度快、抗干扰强、测量准确等优点。

关键词: GPS; 过零点检测; 相角测量; 时间标签; EMS

Study and implementation of the measurement for bus voltage phase angle based on GPS

DUAN Jun-dong¹, YIN Xiu-gang¹, SUI Yan-kai¹, GUO Zhi-zhong²

(1. College of Electrical Engineering & Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. XJ Electric Power Science Institute, Beijing 100055, China)

Abstract: The technical method is introduced in this paper for the steady state phase angle measurement and the research aspects in applications based on GPS. In the design of this unit, a modularized method is adopted, which by the two (or more) measurement modules and a control module. The zero-crossing is marked on time label by measurement module. The time label is transferred to dispatching centers. Control module disposes data and calculates the steady state phase angle. This design and SCADA can be used in conjunction with, to achieve the steady-state phasor of the power system can be observed. It has the advantages of easy installation and debugging, small amount of information, high-speed transmission, anti-interference measures and accurate measurement.

Key words: GPS; zero-crossing detection; phase angle measurement; time label; EMS

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)15-0072-03

0 引言

电压相量是电力系统的一个重要参数, 其中母线电压相量是系统运行的主要状态变量, 是系统能否稳定运行的标志之一^[1]。由于相角涉及到电力系统的监视、控制和保护等诸多领域, 因此, 对相角的有效及精确测量, 无论是对电力系统的静态稳定, 还是暂态稳定都有极其重要的意义。

然而长期以来, 由于没有一个绝对的参考电压相角^[1], 系统没有统一的时标, 受配置及受传输通道的影响, 电力系统中各节点电压的相角差很难直接测量到。随着通信技术的发展, 特别是全球定位系统(GPS)的出现, 为电力系统提供了统一的时钟标准, 使电压相量的同步测量成为可能。西方国家从九十年代之后开始把电压相量测量装置(PMU)应用于电力系统的监测、稳定控制和保护的理论及应用研究工作中。国内的一些单位和学者也开展了PMU

的研究开发工作, 并取得了一些成果^[1]。

本文针对GPS系统的特点, 在相角测量装置中建立了高精度的统一时钟, 为相角测量提供了时钟精度上的保证。并论述了相角测量原理。以DSP芯片为核心, 实现了基于过零检测法的GPS同步电压相角测量装置的软硬件设计。

1 相角测量原理^[2]

对电力系统不同节点的电压进行采样, 生成各节点电压相量的正序相量, 在统一的时间坐标系上对电力系统的状态进行分析。利用过零点时标生成模块为正序电压的过零点打上精确的时间标签, 并上传到调度中心, 由中心处理模块对上传的一系列时间信息进行处理, 计算出电压的稳态相角。

假设电站A和电站B的电压在某一时刻进行采样, 对采样数据进行相应处理即可得到电站A电压的过零点 t_{A1} 、 t_{A2} 、 t_{A3} …。电站B电压过零点 t_{B1} 、

t_{B2} 、 t_{B3} ...，并由CPU为其打上时间标签。 Δt 为A站电压第 k 个过零点到B站电压下一个过零点之间的时间差， $\Delta t = t_{Ai} - t_{Bi}$ ，假定 $i = 2n - 1$ ，($n = 1, 2, 3 \dots$)为电压由负到正的过零点， $i = 2n$ ，($n = 1, 2, 3 \dots$)为电压由正到负的过零点； T 为A站(或B站)电压第 k 个过零点到下一个过零点之间的时间差。

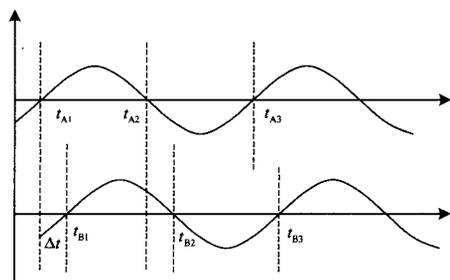


图1 相角测量算法原理

Fig.1 Schematics of phase angle arithmetic

图1中，设电站A的一个过零点时刻为 t_{A1} ，电站B的一个过零点时刻为 t_{B1} ，则两电站之间的电压相角差为：

$$\delta = \frac{\Delta t}{T} \times 180^\circ = \frac{t_{A1} - t_{B1}}{t_{A2} - t_{A1}} \times 180^\circ \quad (1)$$

$T = t_{Ai+1} - t_{Ai}$ 为电压相量变化的半波周期， $\Delta t = t_{Ai} - t_{Bi}$ ($i = 1, 3, 5, 7 \dots$ 或 $2, 4, 6, 8 \dots$)。

2 相角测量装置的结构

测量装置采用模块化结构，它由GPS接收机、通信模块、两个(或多个)过零点时标生成模块和一个中心处理模块组成^[3]，整体结构如图2所示。

GPS主要完成采样数据的同步及获得时间信息，方便后续数据的统一分析，因此，可以对大范围的监测节点在同一时间的数据进行比较处理，通信模块用来将处理过的数据信息通过高速通信网络上传到调度中心，实现远程数据传送；数据处理单元是整个系统的核心，其中过零点时标生成模块用软件设计的方法实现对正序电压过零点的检测，并为其打上精确的时间标签，中心处理模块完成对过零点时标生成模块上传的一系列时间数据的处理，计算出电压的稳态相角，实现对电力系统的实时监控。

由于50 Hz工频产生1 ms的误差，其相角就差 18° ，而电力系统各节点间电压相角测量要求时钟同步精度比较高，如果相角测量误差要求小于 1° ，也就是时间同步精度要小于55 μs 。目前GPS同步

误差可以精确到1 μs ，随着高精度、高速A/D转换器 and 处理器芯片的出现，研制满足精度要求的硬件已不太困难。本文提出的相角测量原理框图如图2所示。

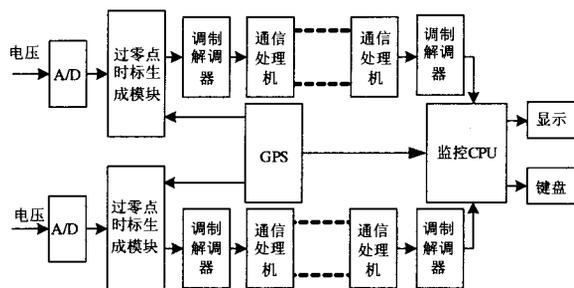


图2 相角测量装置结构图

Fig.2 The structure of phase angle measurement unit

2.1 时钟模块

GPS接收器提供的1 pps信号是以秒为单位、精度为1 μs 的国际标准信号，这种信号在全球任何地方皆能可靠地收到，因此，若以该信号为标准时钟源去同步电网中运行的时钟，就能保证各厂站时钟的高精度同步运行，这就真正解决了电网时间统一的难题。该同步时钟以GPS接收器为核心，借助于微处理器完成三个部分的功能：(1)将国际标准时间转换为当地时间予以显示，即年、月、日、时、分、秒；(2)向用户提供不同规格的同步脉冲信号，具体为：秒脉冲、时脉冲以及由分频器输出的不同频率的信号；(3)经过不同标准的串行口(如RS-232、RS-485)输出不同格式的时间代码。

基于单片机外部晶振恒温条件下的稳定性，结合秒脉冲统计意义下的稳定性好的特点，通过程序设计可实现实用化的全网统一时钟。

过零点时标生成模块利用计数器和GPS秒脉冲建立起统一的高精度的时钟，并且利用GPS时钟提供的秒脉冲信号，每秒同步一次测量装置的时钟，这样消除了测量装置中的时钟累积误差。同时通知过零点时标生成模块，在新的采样点下计数器重新清零。并可计算出1秒内计时器的记录采样脉冲的次数，我们用过零点时刻计数器的计数值除以1秒内计数器的计数次数得出过零时刻的具体时间。这样我们就在全网整个测量系统中建立了一个统一的高精度的实时时钟系统^[4]。

2.2 数据采集与处理

TMS320LF2407A是TI公司C2000系列的一个主推类型。专为实时信号处理而设计。它采用流水线的设计，增强型的哈佛结构。40 MHz的晶振频率使单指令周期缩短为25 ms，片内高达32 kb 16位

FLASH程序存储器, 2.5 kb × 16位的数据/程序RAM, 544 b的DARAM和2 kb的SARAM。而且程序存储器、数据存储器和I/O空间都可以外扩至64 k。10位A/D的最小转换时间为375 ns, 支持RS232、SPI、SCI、CAN等多种通讯方式, 使系统设计灵活简单^[4]。

过零点时标生成模块经串口从GPS接收机收到的国际标准时间信息, 当过零点时标生成模块检测到电压过零点时读取GPS的时间信息(精确到秒), 秒以下的时间用从本秒脉冲出现后开始计数的采样点序号乘以采样周期来计算, 两个时间相加作为当前采样点的时间标签。这样我们就可得到高精度的过零点的时间标签。数据采集电路如图3所示。

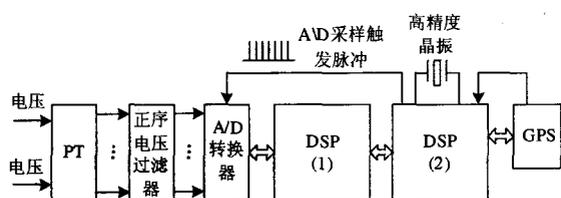


图3 数据采集电路框图

Fig.3 Block diagram of data acquisition

过零点时标生成模块把得到的精确的过零点时间标签上传到调度中心, 由中心处理模块(CPU采用TMS320LF2407A)实现对一系列时间信息进行计算处理, 计算出电压的实时相角。

被测信号受A/D转换器分辨率的限制, 在信号过零点附近, 当 u 在 $-\frac{U_{dm}}{2^k} \sim \frac{U_{dm}}{2^k}$ 转换器的采样值全为零。所以, 当采样频率较高时, 对正信号进行采样后, 零点周围的采样可能不止1个为零。设 U_m 为正弦波的幅值, 当 $|u| \leq \frac{U_m}{2^k}$ 时, 即 $n_1\tau \leq t \leq n_2\tau$ 时采样值全为零。用软件的方法搜索零点时, 信号的真正零点采样数为 n_0 , 则 $n_0 = (n_1 + n_2)/2$ 。

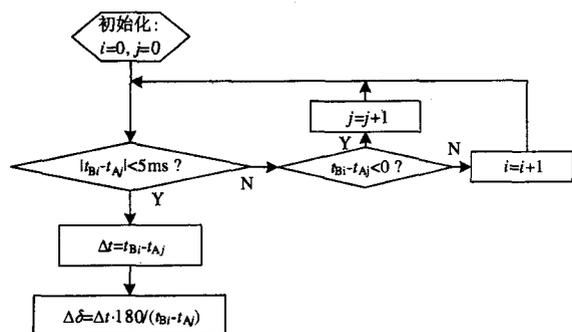


图4 相角算法流程图

Fig.4 Flow chart of phase angle algorithm

2.3 通信部分

通信模块中, 由各个过零点时标生成模块负责与调度中心的通信, 并且负责测量的节点正序电压的过零点及为其打上时间标签。它把一系列过零点的时标封装成数据帧, 通过RS485, 再经串行口与以太网相连, 实时相角测量装置要求通信系统具有较高的通信质量和速率, 故我们用光纤把数据传送到调度中心。

为了便于数据通过广域网传输, 我们也可以增加一块以太网控制器, 可以方便地接入以太网, 然后通过接口转换方便地连入广域网。测量装置配置网络接口, 实现起来相对简单, 只需在通信模块上增加一个以太网控制器。当然, 要实现网络间的互访还要在网络层嵌入IP协议, 在传输层嵌入TCP或UDP协议。这样, 测量装置不仅具有优越的联网功能, 而且能满足数据传输实时性的要求^[5]。

3 抗干扰措施

首先, 基于GPS秒脉冲是保证测量装置获取精确时标的关键, 因此正确识别秒脉冲信号是确保同步采样的关键, 而GPS的秒脉冲信号只是通过一根信号线来传送, 故受到干扰的可能性很大, 干扰的秒脉冲会造成测量装置产生误差。根据秒脉冲总是位于2s的交界处的特点, 我们可以利用单片机的定时器鉴别所接受的秒脉冲是否位于正确位置, 如果不是, 则可以判断该信号不是真正的脉冲信号, 从而防止CPU的错误操作。

其次, 中心处理模块对过零点时标生成模块上传的数据要进行有效的筛选, 可采用下式来筛选。

$$\Delta t = |t_{Ai} - t_{Bj}| \quad (2)$$

由于电力系统中各电站的母线相角差小于 90° , 故有

$$\Delta t = |t_{Ai} - t_{Bj}| < \frac{90^\circ}{360^\circ} T \quad (3)$$

对于 $\Delta t > \frac{90^\circ}{180^\circ} T$ 的数据应该筛选掉, 由此实

现了对测量数据的有效筛选, 提高了实时测量相角的准确性。

4 结束语

电力系统广域测量技术给电网的实时监控、安全评估、保护和实时决策引入一个新的发展方向。本文综述相角测量算法的基本原理, 实现了基于

(下转第78页 continued on page 78)

网后退出。断路器辅助触点为断路器本体的辅助动断触点。

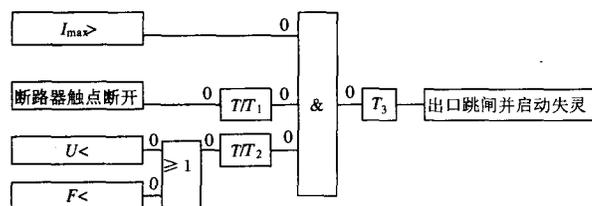


图4 误上电保护方案逻辑图

Fig.4 Retrofit logic diagram for inadvertent energizing protection

方案中低压元件判断发电机盘车,未合励磁开关的情况,低频元件判断发电机转速未到额定转速已合励磁开关的情况。方案不考虑转速达到额定转速且已合励磁开关时发生非同期合闸的情况,根据运行需要可在保护或同期装置中设置非同期合闸保护功能。误上电出口适当延时, T_3 取 100 ms, 过流定值取 0.5 倍额定电流。 T 为防抖动时间, 取 50 ms, T_1 和 T_2 整定为 1 s。低压元件取 50~60 V(线电压), 低频元件取 48 Hz。

3 结束语

大型发电机组在并网时断路器断口闪络和盘车或转子静止时误合闸产生的电流会导致机组设备损

坏和事故范围扩大。近年来国内发电厂发生过多起类似事故, 损失十分惨重。通过配置误上电保护可以消除设备损坏和事故范围扩大的隐患, 确保机组设备的安全。

参考文献

- [1] 陆于平, 史世文, 李莉. 大型发电机微机型误上电保护[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(7): 25-29.
LU Yu-ping, SHI Shi-wen, LI Li. Inadvertent Energizing Protection for Large Generator Based on Micro-computer[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(7): 25-29.
- [2] 王步华. 非同期并列对汽轮发电机组的危害[J]. 华中电力, 1999, 12(1): 29-30.
WANG Bu-hua. Harm Done to Turbogenerators by Asynchronous Parallelizing[J]. Central China Electric Power, 1999, 12(1): 29-30.
- [3] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
WANG Wei-jian. The Principle and Application of Relay Protection of Main Equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

收稿日期: 2008-03-25; 修回日期: 2008-06-03

作者简介:

金崇光(1976-), 男, 工程师, 从事电厂电气设备技术管理工作。E-mail: jincg@smnpc.com.cn

(上接第 74 页 continued from page 74)

GPS 实时相角测量装置, 可以实时得到电网的状态量, 该装置采用模块式结构, 提高了相角测量装置的可靠性。充分利用了数字信号处理芯片的特点, 结构简单具有较高的性价比, 且上传的信息只是过零点的时标, 因此具有传输的信息量相对很小的特点。广域测量为电力系统提供了新的安全监控手段, 对整个系统的合理调度、科学管理提供了有力保障。

参考文献

- [1] 周捷, 陈尧, 崔建中. 母线电压同步相角测量算法研究及实现[J]. 继电器, 2002, 30(3): 13-16.
ZHOU Jie, CHEN Yao, CUI Jian-zhong. Study and Implementation of the Algorithm for Bus Synchronized Voltage Phase Angle Measurement[J]. Relay, 2002, 30(3): 13-16.
- [2] 郭茂, 彭白杨, 冯旭. 电力系统实时相角测量新方法[J]. 电测与仪表, 2000, 37(19): 21-22.
GUO Mao, PENG Bai-yang, FENG Xu. The New Method of Phase Angle Measurement in Electric Power System[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2000, 37(19): 21-22.

- [3] 卢志刚, 穆永民. GPS 技术在实时相角测量中的应用[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(6): 22-22.
LU Zhi-gang, MU Yong-min. Application of GPS in Real-Time Phasor Measurement[J]. Electric Power Automatic Equipment, 2000, 20(6): 22-22.
- [4] 任先文, 谷延辉, 解东光, 等. 电网广域测量系统中 PMU 的研究和设计[J]. 继电器, 2005, 33(14): 52-56.
REN Xian-wen, GU Yan-hui, XIE Dong-guang, et al. Study and Design of PMU in Dynamic Security Monitoring System[J]. Relay, 2005, 33(14): 52-56.
- [5] 胡绍谦, 王晓茹. 基于 GPS 技术的电力系统同步相量测量装置[J]. 电子工程师, 2003, 29(11): 21-23.
HU Shao-qian, WANG Xiao-ru. Synchronized Phasor Measurement Device in Power System Based on GPS[J]. Electronic Engineer, 2003, 29(11): 21-23.

收稿日期: 2007-11-05; 修回日期: 2008-01-10

作者简介:

段俊东(1969-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统分析与控制;

尹秀刚(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: xiugang516@126.com

孙彦楷(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为复杂系统的控制理论及应用。