

基于 MB 90543 的高性能 GPS 同步时钟研制

邹 晖¹,李志康¹,黄益庄¹,庄清泉²

(1. 清华大学 电机工程与应用电子技术系,北京 100084;

2. 大庆石油设计院,黑龙江 大庆 163712)

摘要: 全球定位系统(GPS)同步时钟由 GPS 接收器、单片机及其外围电路组成。以 MB 90543 为核心的时钟中心处理单元负责读取 GPS 接收器发送的数据信息并作适当处理,从中获取 ASCII 码国际标准时间的时间信息,经转换为 BCD 码后的串行时间信息供显示。该时钟选用可供嵌入式系统应用的 M12 GPS 接收器,可输出时间精度为 1 μ s 的秒脉冲。测频和数码管显示电路保证了电网频率的实时测量和显示。时钟软件包括初始化、接收器收/发、串口/CAN 总线收/发、显示等子程序。采用串行通信方式授时,串行数据的收/发均采用中断方式,能提供日期和时间信息;而采用脉冲校时时,可保证装置的校时误差小于 50 μ s。在时钟装置中,采用以上 2 种综合校时方式。指出正确识别秒脉冲信号是确保同步校时的关键,软件及外部硬件计数阵列给秒脉冲信号加硬件窗的抗干扰措施效果良好。所设计的同步时钟投入运行后表明,符合设计要求。

关键词: GPS 时钟; 校时; 变电站自动化

中图分类号: TM 734

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)08-0049-04

在变电站中,各类自动化及继电保护装置的时间同步是事故分析的前提^[1]。目前,各级变电站中,大多采用全球定位系统(GPS)校时系统同步时间,现已广泛应用于故障录波、事件记录、故障测距、相位测量及电流差动保护中^[2]。

1 GPS 同步时钟设计

1.1 功能设计

1.1.1 工作原理

GPS 系统主要由空间星座、地面监控和用户设备 3 大部分组成。用户设备主要由 GPS 接收机硬件和数据处理软件,及微处理机和终端设备组成。GPS 接收机的硬件,一般包括主机、天线和电源,主要功能是接收 GPS 卫星发射的信号,以获得必要的导航信息及观测量,并经简单数据处理而实现实时导航和定位;软件部分是指各种后处理软件包,其主要作用是对数据精加工,以便获得精密定位结果。由于 GPS 用户的要求不同,GPS 接收机有许多不同的类型,一般可分为导航型、测量型和授时型^[3]。

GPS 同步时钟由 GPS 接收器、单片机及其外围电路组成,总体结构框图如图 1 所示。

单片机将 GPS 模块输出的二进制码转换成标准北京时间,从 4 个串行通道发送出去;捕捉从测频电路传输的与电网同步的方波信号,进行时间测量和运算,得到电网当前频率,再和时间信号一起送到前面板显示。

1.1.2 功能实现

该设计中,数据处理集中在对 GPS 接收板发回的报文解码和对需要发送的串行数据报文编码,单

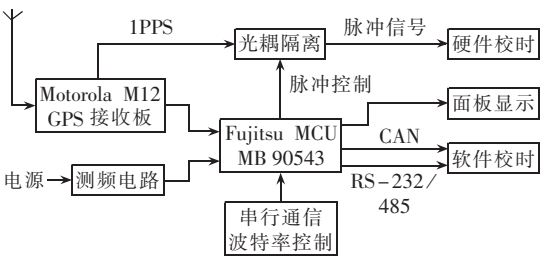


图 1 GPS 同步时钟结构框图

Fig.1 Structural diagram of GPS synchronizing clock

片机的运算量并不大。富士通单片机 MB 90543 采用 16 位 CPU,专为高速实时处理设计,甚至能处理 32 位数据,可以充分保证数据处理的实时性。该单片机集成 2 路 CAN 总线控制器及 2 路串行通信口(UART)控制器,只需 CAN 收发器和光耦隔离等极少的外围芯片配合就能输出任意波特率的串行时间信号。该中心处理单元既拥有强大的浮点运算能力,又具备多路通信能力,使整个电路板的复杂度降低、集成度提高,大幅提高了整个系统的可靠性。

考虑到授时方式和授时间隔对授时精度的影响(具体分析见第 3 节),在授时策略上,该设计采用了综合授时方式和提前发送技术。同时采用了秒脉冲抗干扰技术,提高了秒脉冲的抗干扰能力。上述措施保证了时钟的精度符合变电站自动化系统的校时精度要求。

1.2 时钟硬件设计

1.2.1 中心处理单元

时钟的中心处理单元负责读取 GPS 接收器发送的数据信息,并对这些信息作适当处理,从中获取 ASCII 码的国际标准时间(UCT)时间信息,并将其转换为 BCD 码的串行时间信息。同步时钟装置除

了以 RS-485、RS-232 和 CAN 3 种通信标准接口向外发送每秒 1 次的串行时间信息外,还可根据实际需要,按照某种通信规约在适当的时候以适当的频率为电力系统设备或装置校时。

为了达到以上要求,采用 MB 90F543 作为时钟的中心处理单元。该单片机具有几个特性。

a. CPU 内核支持高级语言,有增强乘法指令、增强位操作指令等,拥有强大的浮点运算能力。

b. 嵌入 Flash ROM 支持自动编程。可通过 UART₁ 口在板编程,方便了现场调试。

c. 2 路 CAN 总线控制器,支持 CAN 2.0A 和 CAN 2.0B 协议,速率从 10 Kbit/s~1 Mbit/s 可编程,

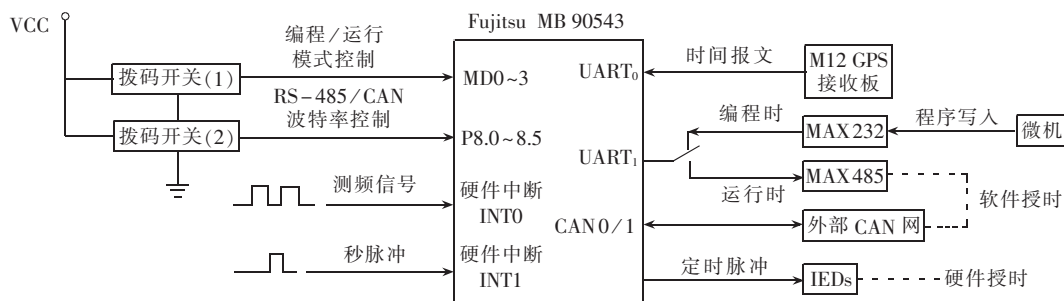


图 2 单片机与外围芯片接口电路图

Fig.2 Interface circuit between single-chip microprocessor and its peripherals

Philips 公司的 CAN 总线收发器 PSA 82C250 相连,用于与外部 CAN 现场总线网络通信。MAXIM 公司的低功耗接口芯片 MAX485 和 MAX232 扩展了单片机的 2 路 UART 口,使得该时钟适用于通过 RS-485 和 RS-232 串行通信网络校时。

MCU 的程序烧写步骤如下:

a. 在微机上运行 SOFTUNE V3,新建一个工程,完成程序编写和调试后,编译成十六进制的 .hex 文件;

b. 调节拨码开关(1)使 MCU 进入编程模式,同时,通过跳线使 UART₁ 口通过 MAX232 芯片与微机相连;

c. 上电,将 .hex 文件导入到烧写程序,该烧写程序自动将 .hex 文件转换成机器可识别的二进制文件,并下载到 MCU 的 ROM 中。

完成程序烧写后,将 MCU 调节到运行模式,该时钟即可正常工作。

1.2.2 GPS 接收器

本时钟选用 Motorola 公司 M12 GPS 接收器。该接收器专为嵌入式系统应用而设计,能通过 1 个反相 TTL 串行接口提供自身位置、速度及时间信息,并输出时间精度为 1 μ s 的秒脉冲。

它的具体工作过程是:在完成初始自检后,它将自动接收来自天线的 GPS 射频信号,经过变频、放大、混频与 TTL 转换等一系列处理过程,对其视界内几何位置最佳的数颗卫星进行跟踪,测量出信号从卫星到接收天线的传播时间,解译出 GPS 卫星所发出的导航电文,最后经串行口传出数据^[4]。

M12 GPS 接收器采用的是 3 V 电源,故采用 5 V

另外有 8 个片内缓冲区,可满足复杂的通信要求。

d. 2 路 UART 口拥有全双工缓冲区,可以运行在同步/异步方式。

e. 种类繁多、功能齐全的定时器。2 路 16 位重装入定时器、I/O 定时器、自由定时器及输入捕获定时器。

f. 同时支持 C 语言和汇编语言的集成开发环境 SOFTUNE V3,具有全软件仿真功能;配备 MB 2140 A 硬件在线仿真系统(ICE),就可以进行逻辑时序级调试。

该单片机与外围芯片的接口如图 2 所示。

MB 90F543 内部集成 2 路 CAN 总线控制器与

输入、3.3 V 输出的 AS1117 芯片进行电源隔离转换。接收器输出的脉冲为每秒 1 次,高度 3 V,宽度 20 ms,其前沿的精确度为 $\pm 0.5 \mu$ s。用于驱动的或门和光耦都以速度为最重要的选择指标,本装置选用高速 COMS 门 74 HC 32 和高速光耦 6 N137,两者的额定延迟时间均为几十纳秒,所以整个信号输出时间误差能够控制在 $\pm 1 \mu$ s 之内。

1.2.3 测频电路和数码管显示电路

测频电路的输入信号直接取自于交流 220 V 电网引入的电压信号,通过电压变换器将电压降到 6 V,再经过 RC 网络的带通滤波和分压,送入运算放大器 LM293。运算放大器采用开环连接,可看成为电压比较器。于是正弦信号变为同步的方波信号(如图 3 所示),方便了单片机的后续处理。

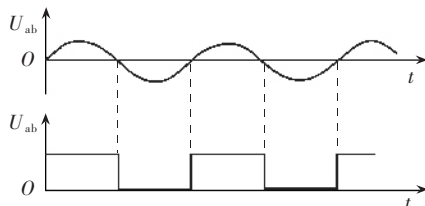


图 3 测频电路波形示意图

Fig.3 Waveform of frequency measuring circuit

电网电压经过前述电路变为方波,单片机的硬件中断口捕获方波下降沿,并用计时器计时。取出 1 s 中完整方波的总个数和相应总时间,即可得到方波的平均周期,进而算出电网 1 s 内的总体频率。

时钟前面板上显示实时电网频率、日期、时间和相关工作状况。LED 显示控制和驱动集成电路选用 MAX7219。它采用动态扫描方式,可直接共阴

极驱动 8 位 8 段的数码管或 64 只发光二极管,段驱动电流典型电流为 -40 mA。

1.3 时钟软件设计

主程序流程图如图 4 所示。

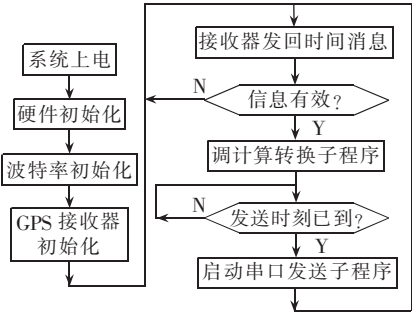


图 4 主程序流程图

Fig.4 The flowchart of main program

首先,初始化 MAX 7219、CAN 控制器、串行口、GPS 模块、定时器和外部中断,然后进入主循环,等待中断。所有的子程序都以中断的方式触发进入。

本设计中, M12 GPS 接收器通过模拟串行方式与单片机通信。单片机首先向 GPS 接收器发送固定格式的初始化命令。接收到该初始化命令后, GPS 接收器每秒钟都会自动发送其位置、速度及时间信息,截取其中时间和卫星捕获信息,其格式为:以“@@Ha”开始,以“< CR>< LF>”结束。需要对接收到的数据进行判断,对于符合以上条件的数据,方可认为有效;否则把无效数据过滤掉。

有效数据接收完成后,首先通过调用数据处理函数,提取出需要用到的日期、时间、卫星等参数,并转换成各自定义的 BCD 码和 ASCII 码形式,再调用显示、串口发送、CAN 总线发送等子程序,完成时钟的各项功能。

2 同步时钟授时原理

在变电站授时系统中,授时过程包括软件授时和硬件对时 2 个部分,如图 5 所示。

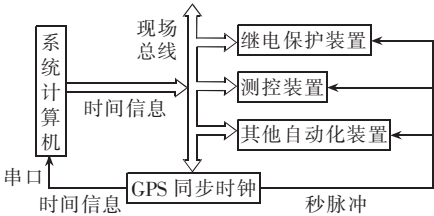


图 5 变电站授时原理框图

Fig.5 Schematic diagram of time synch in substation

授时过程具体为:时钟通过串口向系统计算机发送时间信息;安装在系统计算机上的接收软件接收该数据并实时修改计算机的时间,系统计算机通过现场总线给各微机保护或其他自动化装置发送时间信息,与此同时,时钟向各自动化装置发送校时脉冲,当脉冲处于上升沿时,各装置把系统计算机发送的时间写入时间芯片,更新自身时间,从而达到变电站整个系统的授时目的[5]。

因此,利用 GPS 同步时钟对变电站内的自动化装置授时有 3 种方式:串口通信、脉冲中断以及 2 种方式结合。

3 授时精度分析

3.1 授时方式对授时精度的影响

采用串口通信方式授时过程中,串口数据发送和接收都采用中断方式,而时钟和自动化装置的中断处理程序都占用 CPU 时间。串口数据在总线中传输也有延时,与传输数据量和传输波特率有关。只有总线传输延时是可以准确计算,其他的延时只能估算。若仅通过串口通信时,必须采用串口提前发送技术,提前的时间修正值根据数据在总线上传输时间而定,一般会达到毫秒级[6]。根据具体的系统对发送数据和接收数据产生的延时作大致估计,一般能够保证约 50 μs 的校时精度[7]。由于每个现场总线情况各异,需要分别估算,故给现场应用带来很大不便。

若仅采用脉冲校时,虽然脉冲的精度完全满足要求,但是不能同时提供日期和时间信息,绝对时间由各个自动化装置的内部时钟保持,时钟芯片的晶振频率的偏差会产生累积误差。一般情况下,在 220 kV 综合自动化变电站内,导线长度以 3~300 m 计算,将脉冲中断设为最高优先级,可以计算整个延时约为 21.6~24.1 μs。若采用 1 h 校时 1 次的间隔,可以确保各个装置的校时误差小于 50 μs[8]。

将以上 2 种方式结合,即产生了综合校时方式:时间脉冲信号使自动化装置或系统计算机产生校时中断,在中断中读取与此脉冲相对应的串口时间信息修正时间。授时过程中,时钟和系统计算机发送的时间信息均为在接收到的时间信息的基础上加了 1 s 的补偿,这样,尽管发送和接收均占用时间,但接收方接收到的时间信息就是当时时刻的信息。可以认为,这种方式下产生的误差就是仅采用脉冲校时的时候产生的误差,约 25 μs。

3.2 授时间隔对授时精度的影响

自动化装置内部的实时时钟晶振频率偏差会导致累积误差,按频差为 $\pm 30 \times 10^{-6}$ 计算,在 1 s 内,累积误差达到 $\pm 30 \mu s$, 1 min 达到 $\pm 1.8 ms$, 1 h 就达到 $\pm 108 ms$ 。GPS 同步时钟的误差是随机误差,一般在微秒级,在一定时间间隔内对自动化装置校时,可以有效地消除以上累积误差。因此,授时精度不仅仅取决于 GPS 时钟的校时精度,还取决于装置本身的频偏累积误差。

文献[5]指出,在系统中各自动化装置时钟精度调试完毕的情况下,校时的间隔是决定系统时钟同步精度的最主要因素。在设计和实施过程中,最好限定各自动化装置的时钟精度范围,从而设计相关的校时间隔,以达到实际的校时效果。

4 秒脉冲抗干扰技术

基于 GPS 的同步采样是靠卫星每秒钟起始时

刻发出的同步秒脉冲保证的,因此,正确识别秒脉冲信号是确保同步校时的关键^[9]。GPS的秒脉冲信号只是用1根信号线传送,在2次秒脉冲信号之间受到干扰影响的可能性很大,易造成原来时间同步的自动化装置失步。

一种普遍采用的软件抗干扰措施是通过秒脉冲上升沿及此时定时中断计数器(通常设为1 ms)的计数比较实现的^[9]。这相当于给秒脉冲加了一个软件窗口,只有在 $1\text{ s} \pm X\text{ ms}$ (X 取决于秒脉冲精度与晶振精度)内的足够幅值的上升沿才被视为是正确的秒脉冲信号。

软件抗干扰措施简单易行,但是要耗费CPU内部硬件资源。在硬件资源紧张的情况下,也可以采用外部硬件计数器阵列给秒脉冲信号加一个硬件窗,这样,就节约了CPU的片内资源。文献^[10]对上述抗干扰措施进行了模拟实验,得到了很好的效果。

5 结语

本文详细介绍了同步时钟装置的软、硬件设计,并就同步校时精度和秒脉冲抗干扰等实际问题进行了较为深入的探讨。该时钟适用于变电站自动化系统,目前已经投入实际应用。运行结果表明,该同步时钟装置授时精度完全符合设计要求。相信由于硬件高度集成、软件模块化等优点,该时钟会有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈飞,孙云. 500 kV 变电站时间同步系统设计[J]. 电力系统自动化,2004,28(22):97-99.
CHEN Fei,SUN Yun. Design of 500 kV substation time synchronization system [J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(22):97-99.
- [2] 邹红艳,郑建勇. 基于 GPS 同步时钟的统一校时方案[J]. 电力自动化设备,2004,24(12):59-61.
ZOU Hong-yan,ZHENG Jian-yong. Time synchronization based on GPS clock[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(12):59-61.

- [3] 李天文. GPS 原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 丁仁杰. 基于 GPS 的全网同步时钟的建立和误差校正[J]. 清华大学学报:自然科学版,1997,37(7):74-77.
DING Ren-jie. Establishment and error correction of synchronous clock of whole power system based on GPS [J]. Journal of Tsinghua University:Sci & Tech,1997,37(7):74-77.
- [5] 金湘力. 全球定位系统在变电站中的应用[J]. 电力建设,2005,26(4):63-65.
JIN Xiang-li. Application of GPS in substations[J]. Electric Power Construction,2005,26(4):63-65.
- [6] 李胜利,郑然,骆雁. 一种分布式实时系统中的时钟同步算法[J]. 华中科技大学学报,2001,29(1):61-62.
LI Sheng-li,ZHENG Ran,LUO Yan. A clock synchronization algorithm for distributed real time system[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology,2001,29(1):61-62.
- [7] 匡绍龙. 基于 GPS 的变电站自动化系统校时问题定量分析[J]. 电力自动化设备,2004,24(11):26-29.
KUANG Shao-long. Quantitative analysis of time correction in substation automation system based on GPS[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(11):26-29.
- [8] 王峥,胡敏强,郑建勇. 基于 GPS 的变电站内部时间同步方法[J]. 电力系统自动化,2002,26(4):36-39,50.
WANG Zheng,HU Min-qiang,ZHENG Jian-yong. Synchronization in the substation based on global position system [J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(4):36-39,50.
- [9] 龚庆武,刘美观,左克锋,等. GPS 同步采样装置中防止干扰 GPS 秒脉冲信号的措施[J]. 电力系统自动化,2000,24(1):45-47.
GONG Qing-wu,LIU Mei-guan,ZUO Ke-feng,et al. Anti-jamming methods for pulse per second signal in synchronized sampling unit based on GPS[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(1):45-47.
- [10] 陈小桥,周水斌,王敏,等. 基于 GPS 的变电站用时钟的研制[J]. 电子工程师,2001,27(12):1-3.
CHEN Xiao-qiao,ZHOU Shui-bin,WANG Min,et al. Development of a GPS-based clock used for transformer substation [J]. Electronic Engineer,2001,27(12):1-3.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

邹晖(1981-),男,浙江金华人,硕士研究生,从事电力系统自动化的研究(E-mail:zouhui99@mails.tsinghua.edu.cn);
李志康(1946-),男,上海人,副教授,从事电力系统谐波的研究;
黄益庄(1938-),女,广东潮州人,教授,从事电力系统自动化及微机保护的研究;
庄清泉(1963-),男,黑龙江大庆人,高级工程师,从事石油管道设计方面的研究。

Development of high performance GPS synchronizing clock based on MB 90543

ZOU Hui¹,LI Zhi-kang¹,HUANG Yi-zhuang¹,ZHUANG Qing-quan²

(1. Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Daqing Petroleum Design Institute, Daqing 163712, China)

Abstract: The GPS(Global Position System) synchronizing clock is composed of GPS receiver, MCU and peripheral circuits. With MB90543 as the core, the central processing unit reads and processes data from GPS receiver to obtain ASCII-coded UCT(Universal Coordinated Time), then converts it into BCD-coded serial time data for display. M12 GPS receiver outputs PPS(Pulse Per Second) with 1 μs precision. Circuits of frequency measurement and LED(Light Emitting Diode) display ensure the real-time measuring and display of power frequency. The software includes subroutines of initialization, GPS receiver receiving/sending, serial port/CAN bus communication and display. When serial communication mode is adopted for time correction, interruptions are applied for receiving/sending serial data of date/time information. When pulse mode is adopted for time correction, the clock error is less than 50 μs . Both modes are used in this clock. Correct PPS identification is the key to ensure clock precision. The anti-jamming measures are effective, i.e. software and hardware windows to PPS. The designed GPS synchronizing clock runs well.

Key words: GPS clock; time synchronization; substation automation system