

基于 MSP430 的双指针转速表的设计

Design of Double Pointers' Tachometer Based on MSP430

康劲松 陈令云 赵卫兵

(同济大学电气工程系, 上海 200092)

摘要: 针对当前汽车仪表的发展趋势, 设计了一种以 MSP430 单片机为核心, 以步进电机为传动机构的汽车指针式转速表, 阐述了步进电机细分驱动的原理、单片机对步进电机的控制方法、单片机与 CAN 总线通信接口的设计。此外, 还利用单片机的串行通信模块, 设计与计算机通信的串行接口, 并给出了系统的硬件电路图和软件流程图。实验结果表明, 系统运行稳定、可靠, 采用的步进电机细分驱动技术, 大大提高了仪表的分辨率, 满足了系统的高精度要求。

关键词: MSP430 步进电机 细分驱动 CAN 总线

DOI: 10.3969/j.issn.1007-080x.2101.07.011

Abstract: For the current development trend of tachometer, this paper designs the car of analog tachometer, which is based on MSP430 and drove by stepping motor. The paper describes the principle of stepping motor subdivided driving, the controlling of stepping motor with MCU, and the design of communication interface for MCU and CAN bus. In addition, the communication with MCU and computer is realized by the serial communication port. The system's hardware schematics and software flow chart are also discussed in this paper. The result shows that the system is running stable and reliable. With the using a stepper motor subdivided driving technology, it improves the resolution of the tachometer greatly, and realizes the system's high-precision requirements.

Key words: MSP430 stepping motor subdivided driving CAN bus

0 引言

随着现代电子技术及器件的发展, 汽车仪表发展迅速。传统的机电式模拟速度仪表稳定性差, 发热量大, 耗能多, 易损坏, 开放性差。尤其是在仪表回零时, 指针撞击零点后产生振动, 容易造成仪表损坏, 而且指针无法准确回到零点, 造成仪表显示不准确。基于此, 传统仪表已远远不能满足现代汽车的要求, 已逐渐被取代。现代的汽车仪表必须迅速、准确地显示各种信息, 使驾驶员及时了解并掌握汽车的运行状态, 妥善处

理各种情况。具有 CAN 和串口通信功能的电子式汽车仪表不仅具有能提供大量复杂的信息的优点, 而且还具有传输效率高、可靠性高、精度高等特点。步进电机是一种很适合作为数字控制系统的伺服元件, 它可以将脉冲信号直接进行开环定位控制, 而无需位置或速度传感器, 并且控制线路简单, 使用方便、可靠。所以步进电机式汽车仪表有着非常广阔的市场前景。本文在这种背景下, 提出了一种基于 MSP430 单片机的带有 RS-232 和 CAN 通信接口的汽车转速表的设计^[1]。

作者简介: 康劲松 博士, 副教授。研究领域为车辆电力电子与电力传动技术、新能源变换与节能技术。
陈令云 硕士研究生。研究方向为电力电子与电力传动。

1 步进电机的细分驱动原理

步进电动机是纯粹的数字控制电机。它将电脉冲信号转成角位移,即给一个脉冲信号,步进电机就转动一个角度。并且步进电机的角位移与输入脉冲数严格地成正比,因此,当它转一圈后,没有累计误差,具有良好的跟随性。

步进电机的工作方式根据其转动的步距角不同可分为全步、分步和微步三种。全步和分步方式都是通过控制电动机各相绕组中电流的导通或截止,使电机内的电磁力发生变化。在电磁力的作用下,转子被强行推动到最小磁阻的位置,从而产生转动。图 1 为两相步进电机全步、分步驱动脉冲波形。微步是输入脉冲为阶梯式的缓慢变化,即把原来的矩形脉冲改为阶梯波。如此,原来的一步被分为多步,使电机的转速近似圆周运动,并能在任何位置停步。这种将一个步距角细分成若干步的驱动方法,称为细分驱动。细分驱动完全是由驱动器或单片机靠精确控制电机的相电流所实现的,与电机本身无关。图 2 为两相步进电机脉冲细分波形^[2-3]。

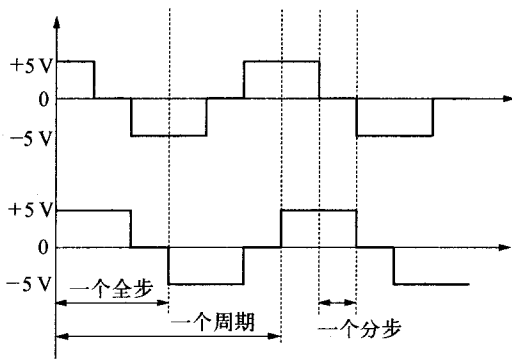


图 1 两相步进电机脉冲波形

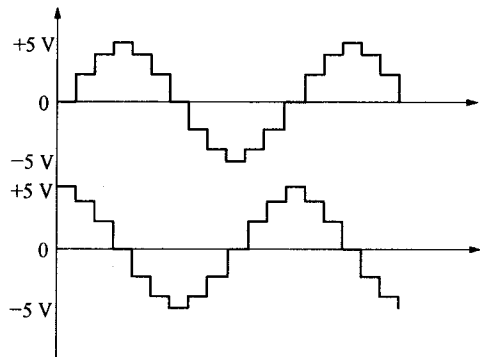


图 2 两相步进电机脉冲细分波形

2 系统硬件设计

2.1 系统结构组成

图 3 为汽车转速表系统框架图,其中的信号采集部分,包括采集安装在汽车上的传感器信号速度脉冲和里程脉冲。里程脉冲直接反映当前汽车行驶的距离。每产生一个里程脉冲,汽车总里程数累加 1 km,并经过 MSP430 单片机将里程数据保存至可在线电擦除和电写入的存储器 E²PROM。速度脉冲频率的多少直接反映当前汽车的行驶速度,以此为速度表的测量对象,在不使用任何专用步进电机驱动芯片的前提下, MSP430 单片机根据采集的速度脉冲信号的频率对比当前指针位置计算步进电机转向和转角,再根据转角大小确定指针转速、加减速,然后将计算处理的信号送至 D/A 转换芯片,以达到动态调制 PWM 驱动信号的效果。D/A 芯片将数字信号转换为模拟信号,再经过驱动电路的放大,直接将驱动信号接到两相步进电机的线圈上,通过步进电机带动指针旋转以显示汽车行驶速度。

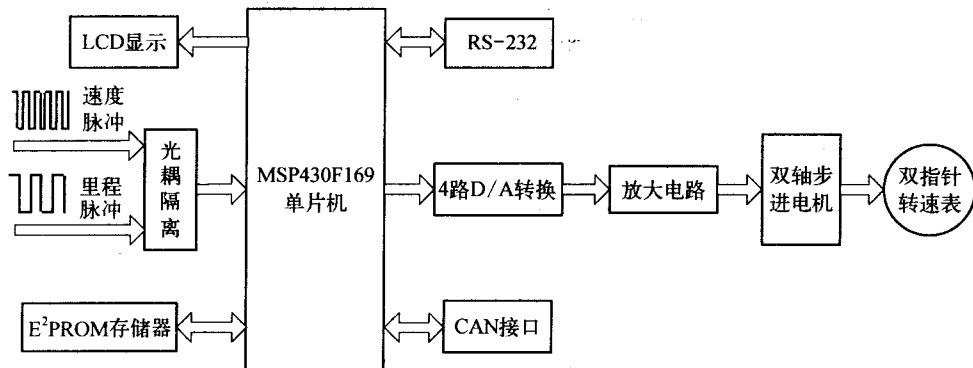


图 3 汽车转速表系统框架图

本文选用了精密型的 VID28 系列的双轴步进电机,该步进电机需要两组逻辑脉冲信号驱动,可以工作在 3.5~10 V 的电压下,所以需要四通道的 D/A 转换芯片。系统中的 D/A 芯片和 E²PROM 采用 I²C 总线协议与单片机进行通信,减少了电路板的空间和芯片管脚的数量,降低了互联成本,并且具有简单性、有效性和很强的扩展性。

2.2 驱动电路的设计

驱动电路的设计如图 4 所示,主要包括单片机、DAC7574 和放大电路。由于细分电路里的信号是阶梯变化的,不只是输出简单的高、低电平信号,所以不能

按照常规的方法用单片机直接控制某相电压的通断来形成驱动脉冲。为了实现细分后的电压信号进行有效的传输和控制,需要加入 D/A 转换来传输和控制细分后的各个状态电压。DAC7574 是一种低功耗、四通道、12 位缓冲电压输出 DAC。它利用 I²C 兼容的 2 线串行接口与单片机进行通信。D/A 转换器把单片机的数字控制信号转换为模拟的电压信号。MSP430F169 和 D/A 芯片采用 3.3 V 的电源,所以 D/A 输出的驱动脉冲电压为 0~3.3 V。然后经运算放大器的移位和放大后,驱动脉冲电压为 -6.6~6.6 V 的阶梯波,可以直接驱动电机。

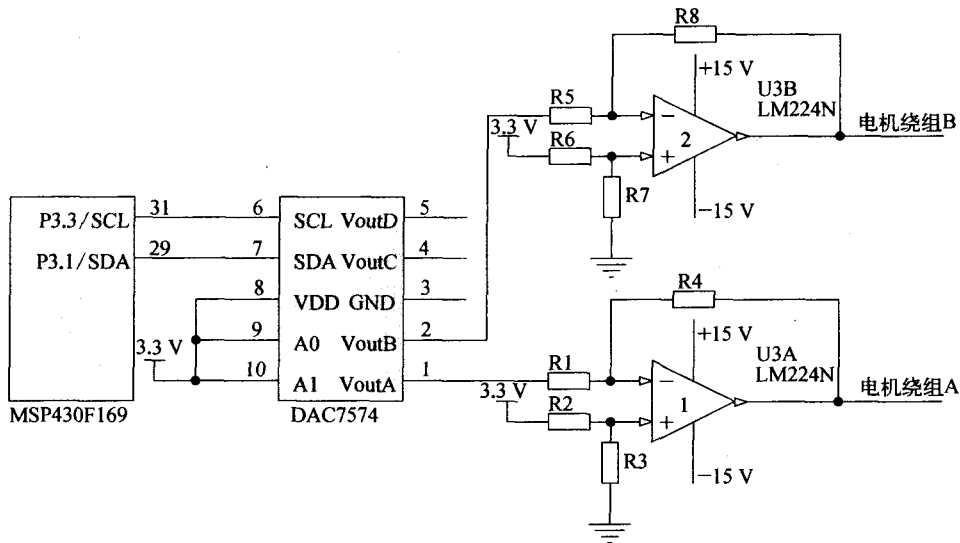


图 4 两相步进电机驱动电路图

2.3 RS-232 串口设计

由于 MSP430F169 单片机有 2 个串口通信模块 USART,既可以实现同步通信,也可以实现异步通信,所以比较容易实现单片机与上位机的通信功能。本文选用 Maxim 公司的 MAX3232 芯片,该 RS-232 电平转换芯片专为 +3.3 V 低电源电压产品而设计,其接口电路图如图 5 所示。管脚 C1 +、C1 -、C2 +、C2 -、V、+V - 分别放置一个电容实现充电作用,以满足相应的充电泵要求。管脚 TIIN 和 RIOUT 接单片机的 UTXD0 和 URXD0,管脚 TIOUOUT 和 RIIN 作为 RS-232 接口的输出。通过 MAX3232 实现了单片机的 TTL 电平与上位机的接口电平转换。

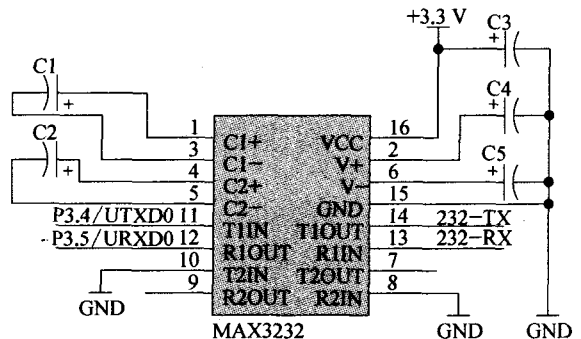


图 5 RS-232 电平转换电路图

2.4 CAN 总线与单片机的接口电路设计

如图 6 所示,通过 CAN 控制器, SJA1000 实现了

CAN 总线与单片机接口的设计。Philips 公司的 SJA1000 型 CAN 总线控制器,是一款独立的 CAN 总线控制器,主要用于工业环境。它也是 Philips 半导体 PCA82C200 型 CAN 控制器 (Basic CAN) 的替代产品,经过简单总线连接的 SJA1000 可完成 CAN 总线的物理层和数据链路层的所有功能。SJA1000 主要由以下部分组成:

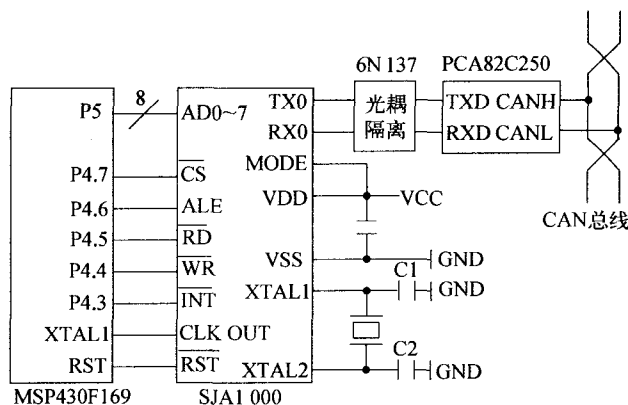


图 6 SJA1000 与单片机的接口电路图

(1) 接口管理逻辑。它解释来自 CPU 的命令控制 CAN 寄存器的寻址向主控制器提供中断信息和状态信息。

(2) 发送缓冲器。它使 CPU 和位流处理器之间的接口能够存储发送到 CAN 网络上的完整信息。

(3) 接收缓冲器。它是验收滤波器和 CPU 之间的接口,用来储存从 CAN 总线上接收的信息。

(4) 验收滤波器。它把数据和接收的识别码的内容相比较,以决定是否接收信息并将所有的信息都保存在接收缓冲器中。

(5) 位流处理器。位流处理器是一个在发送缓冲器、接收缓冲器和 CAN 总线之间控制数据流的程序装置,它还在 CAN 总线上执行错误检测仲裁填充和错误处理。

(6) 位时序逻辑。它监视串口的 CAN 总线和处理与总线有关的位时序,它在信息开头“弱势-支配”的总线传输时同步 CAN 总线位流(硬同步),接收信息时再次同步下一次传送(软同步)。

(7) 错误管理逻辑。它负责传送层模块的错误管制,它接收位流处理器的出错报告,并通知位流处理器和接口管理逻辑进行错误统计^[4-5]。

PCA82C250 型 CAN 总线收发器是 CAN 控制器与物理总线之间的接口,它提供了 CAN 控制器向总线的差动发送、接收能力。该芯片的 RS 引脚的斜率电阻应根据通信率在 16 ~ 140 kΩ 之间调节。为了有效地增加通信距离和系统的抗干扰能力,必须采用屏蔽电缆以避免射频干扰。并且 CAN 控制器的发送和接收端口分别通过 1 个光耦与 PCA82C250 连接。

3 系统软件设计

如图 7 所示,主程序的主要工作是在转速表刚刚上电的时候,主程序首先进行系统初始化,初始化单片机的 I/O 口、时钟、定时器、各种中断等等;然后调用 LCD 显示程序;接着打开中断。初始化后,单片机进入低功耗睡眠状态。当中断到来时,单片机被唤醒,转而执行相应的中断服务子程序。中断服务程序主要包括驱动程序、检测信号程序、串口和 CAN 接口程序^[6]。下面对主要的程序模块进行介绍。

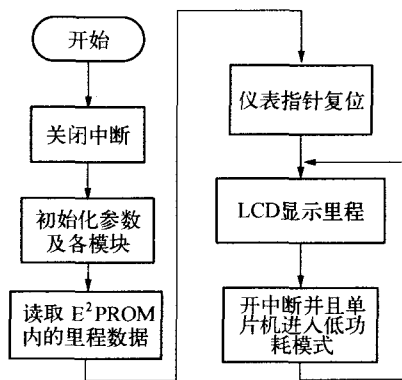


图 7 主程序流程图

(1) 仪表指针复位程序。在图 7 中,仪表指针复位的零点定义为电机的内部机械挡块,复位方式采用指针从仪表满刻度回到零点。为了让指针平稳、安静地回到零位,并在触到电机内部挡块时不致产生剧烈的抖动,需要将指针加速到较高的速度。VID28 系列步进电机的启停频率为 125 Hz,最大驱动频率为 400 Hz。本文采用 100 Hz 的启动脉冲频率,经过 20 ms 加速后,驱动脉冲频率可达到 400 Hz。此时驱动脉冲的频率很高,当指针高速撞击零点时,指针速度降为零,步进电机随即失步。采用此技术,可以减少仪表盘复位时指针撞击零点产生的振动,同时指针可靠地回到零点。

(2) 驱动程序。由于速度脉冲频率比较低,本文

采用测周法(也称 T 算法)来实现测频。该方法是将标准频率信号 f_c 进行计数,而让被测频率信号 f_x 控制计数器的计数。测周产生的相对误差为 $\frac{\Delta T_x}{T_x} =$

$$\pm \left(\frac{1}{T_x f_c} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right),$$

第二项误差一般可以忽略。由公式可知,当被测频率越低,计数基准频率越大,则测周产生的误差越小,因此测周法适合测低频信号。

驱动程序的具体实现如下:设定定时器 A 的工作方式为输入捕捉的方式。当定时器 A 的通道 0 捕捉到输入脉冲信号的上升沿时产生输入捕获中断,记下当前计数器 TACCR0 的值。如图 8 所示,当采样次数大于 9 次时,进行一次数据处理,根据 10 次采样的数据,去除采样频率的极值,然后计算平均频率和目标指针位置。将当前指针的位置和计算得到的目标位置进行比较,确定驱动脉冲细分步数和方向。然后通过 I²C 总线,输出两路数字控制信号(呈正弦曲线的阶梯形脉冲)至 D/A 芯片。两路驱动脉冲相位差 60°,每一个脉冲驱动步进电机转动一个微步。经过一系列脉冲的驱动,仪表指针旋转至指定的位置。

驱动程序的具体实现如下:设定定时器 A 的工作方式为输入捕捉的方式。当定时器 A 的通道 0 捕捉到输入脉冲信号的上升沿时产生输入捕获中断,记下当前计数器 TACCR0 的值。如图 8 所示,当采样次数大于 9 次时,进行一次数据处理,根据 10 次采样的数据,去除采样频率的极值,然后计算平均频率和目标指针位置。将当前指针的位置和计算得到的目标位置进行比较,确定驱动脉冲细分步数和方向。然后通过 I²C 总线,输出两路数字控制信号(呈正弦曲线的阶梯形脉冲)至 D/A 芯片。两路驱动脉冲相位差 60°,每一个脉冲驱动步进电机转动一个微步。经过一系列脉冲的驱动,仪表指针旋转至指定的位置。

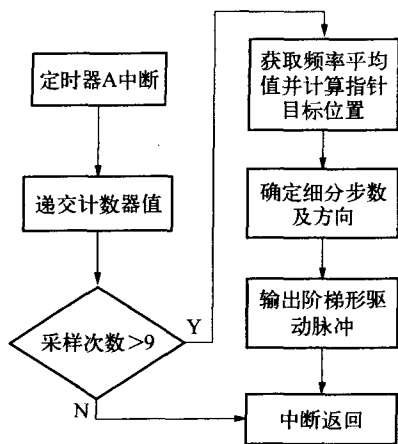


图 8 驱动程序流程图

冲器中,读出接收缓冲器中的所有信息并用释放接收缓冲器命令释放它们的内存空间之后,接收缓冲器状态位 RBS 被清零,表示接收寄存器内无数据。本文采用中断控制的方法完成接收,CAN 总线数据帧的发送程序流程图如图 9 所示,接收程序流程图如图 10 所示。

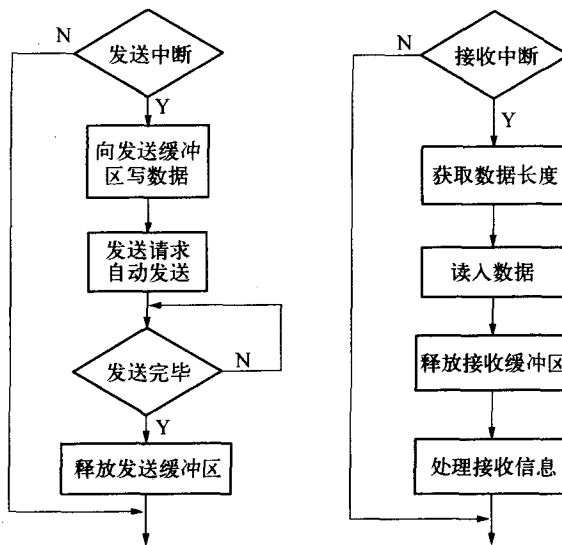


图 9 CAN 总线发送数据流程图 图 10 CAN 总线接收数据流程图

4 实验结果及分析

本文采用的 VID28 双轴微型步进电机,主要用于车辆的仪表指示盘,内置减速度比 180/1 的齿轮系,转角范围是 280°。在仪表指针上电复位中,为使指针触到电机内部挡块时不致产生剧烈的抖动,需要将指针加速到较高的角速度。脉冲采用 12 步细分时,驱动脉冲频率达到 400 Hz,实验波形如图 11 所示,在该微步驱动下,一个微步可以使转子转动 30°,仪表指针轴转动 1/6°。经测试,在该微步模式下,3.5 s 可以使指针旋转 280°,也就是一个满刻度回零的时间。在仪表正常工作后,如图 12 所示,驱动脉冲采用 120 步细分,此时一个微步能使转子转动 3°,仪表指针轴转动 1/60°,达到仪表高精度定位的要求。

实验表明,采用高速回零的方法,可以使指针平稳安静地回到零点;利用步进电机细分驱动原理设计的转速表,指针转动平滑柔和,准确停在终止位置,而不会超过此位置产生摆动或震荡现象,具有很好的稳定性和精度。

(下转第 64 页)

(3) CAN 接口程序。CAN 信息的接收和发送都是由 CAN 控制器 SJA1000 自动完成的,程序只需从相应的缓存器中读写数据,再进行相应的处理即可。当需要发送数据帧时,主控制器将要发送的数据帧写入到发送缓冲器中,然后将命令寄存器里的发送请求标志位置位即可。接收数据帧时,收到的数据放在接收缓

黏度合适的液体或者气体,显示效果则会得到大大改善。但目前还没有找到理想的液体。

(2) 由于是受光型显示器,需要较好的外界光源,本系统采用射灯照明,但是效率不高,照明不够均匀。改进照明方式对显示效果将很有帮助。

(3) 管中产生气泡后,管子底部的压强会产生微小变化,为了保证每次产生的气泡大小相等,需要考虑这种变化,并对通气时间 t_0 进行修正。由于这种影响很小,且目前的系统中同一根管子里最多有 60 个气泡,累计影响不大,所以没有考虑此问题。如果系统要显示更高分辨率的图像,就需要考虑此问题,加入气泡

大小的修正。

参考文献

- [1] 章毓晋. 图像工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [2] 刘榴娣, 常本康. 显示技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993.
- [3] 黄锡珉. 显示技术新进展[J]. 液晶与显示, 2000, 15(1).
- [4] 何安定. 垂直上升管内气液两相流流动特性研究[D]. 西安交通大学博士学位论文, 2001.
- [5] 李正军. 现场总线及其应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

(上接第 59 页)

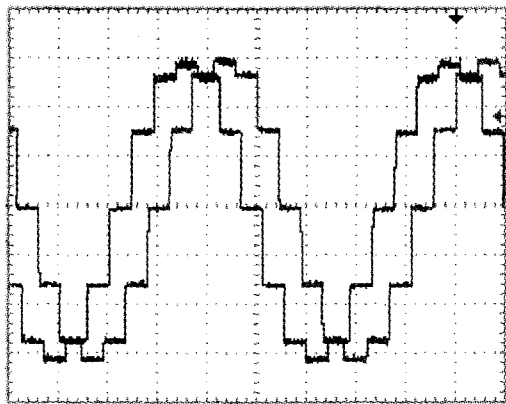


图 11 两相步进电机脉冲 12 细分波形

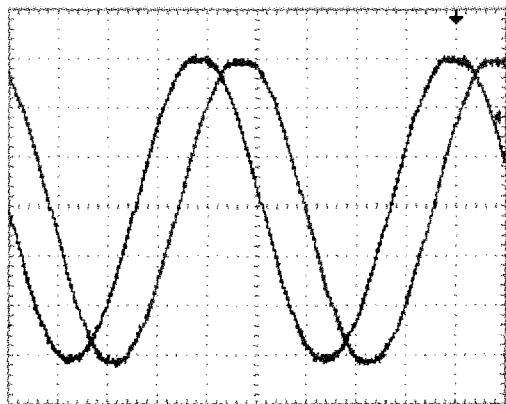


图 12 两相步进电机脉冲 120 细分波形

5 结论

采用 MSP430 单片机作为控制器,利用细分驱动的原理,实现了以步进电机为驱动的汽车指针式转速表的精确控制,并且具备与 PC 机和汽车中广泛应用的 CAN 总线进行通信的功能,具有实时性好、扩展性强和实用性高的特点。利用步进电机的细分驱动原理,实现了均匀步距的输出,对驱动方案和细分步数稍作修改,即可适用于其他精度要求的汽车转速表或车辆仪表盘指示盘。

参考文献

- [1] Ali Selk Ghafari, Mehdi Behzad. Investigation of the micro-step control positioning system performance affected by random input signals [J]. Mechatronics, 2005, 15(10): 1175 - 1189.
- [2] 陈兴文, 刘燕. 基于单片机的步进电机细分驱动器设计 [J]. 电机与控制应用, 2009, 36(7): 30 - 33.
- [3] 张晗亮, 朱顺鹏, 张成林, 等. 现代机电驱动控制技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [4] 程跃, 康劲松. 基于 XC164CS 的车载 TTCAN 网络通信设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007(12): 36 - 39.
- [5] 程跃, 康劲松, 徐国卿. 一种车用 CAN 总线网络测试系统的研究 [J]. 电气应用, 2008, 27(1): 83 - 86.
- [6] 沈建华, 杨艳琴. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与实践 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.