

基于双 CPU 的交流异步电力测功机控制系统^①

Control System of AC Asynchronous Electrical Dynamometer Based on Dual CPU

陈小辉 张桂香 陈鸿蔚 (湖南大学 机械与运载工程学院 湖南 长沙 410082)

摘要: 介绍了变频交流异步电力测功机系统的组成, 针对系统数据采集量大、计算量繁重以及实时性要求高等特点, 设计了基于双 CPU 的交流异步电力测功机控制系统。该系统分为以 80C196KC 为核心的实时控制子系统和以 89S52 为核心的人机交互子系统。子系统间通过双口 RAM 芯片 IDT7130 的中断方案进行通信, 解决了数据争用问题。详细介绍了转矩、转速电路设计, 并给出了系统的软件结构。实验结果表明, 该系统工作稳定, 实时性高, 控制精度达到了摩托车发动机试验要求。

关键词: 双 CPU 双口 RAM CPLD 交流异步电力测功机

发动机试验是发动机生产、维修和研究中不可缺少的一个环节。在设计和生产过程中, 许多重要的性能参数都是通过发动机实验的方法获得的, 利用测得的性能数据, 绘制出各种特性曲线, 可以详细地了解发动机整机运行状态与调整方向, 从而对改进发动机设计有重要的指导意义^[1]。交流异步电力测功机是发动机试验的主要设备, 不仅可以用来吸收被测发动机输出的功, 而且通过控制测功机可以改变发动机的负荷及转速, 形成所需的测试工况, 以测定发动机实际使用的各种运行状态下的性能指标。目前国外研制或生产的交流异步电力测功机控制系统基本实现了自动控制, 有较好的综合性能, 并取得了良好的经济效益, 但价格昂贵。而国内相关产品技术还不成熟, 精度不够。基于这种现状, 本文设计了基于双 CPU 的交流异步电力测功机控制系统, 并给出了实验结果。

1 交流异步电力测功机系统

交流异步电力测功机系统包括测功电机主回路和计算控制单元两大部分^[2]。整个系统框图见图 1。主回路包括被测发动机, 测功电机, 变频器和负载电阻等设备; 变频器控制交流异步电力测功机的加载, 并吸收测功机发出的电能经负载电阻消耗掉; 计算控制单元是控制系统的核心, 其功能是采集通过信号调理模

块处理后的转矩、转速和温度值, 同时发出控制指令给变频器和发动机的油门控制系统。

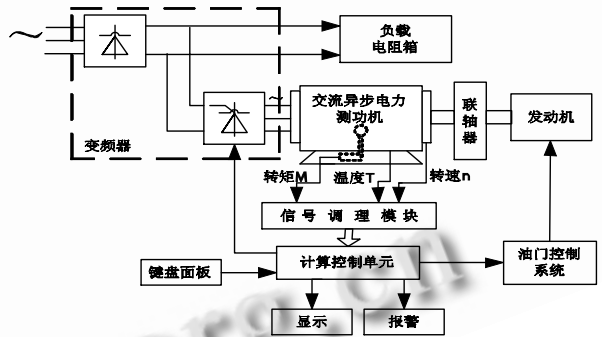


图 1 交流异步电力测功机系统

2 控制系统概述

交流异步电力测功机控制系统包括图 1 中的信号调理模块和计算控制单元, 主要完成转速、转矩、温度等数据的高速采集、分析计算、实时控制输出、键盘监控以及显示等任务。这些工作靠单个 CPU 来完成势必会大大延长系统对控制对象的控制周期, 从而影响整个系统的性能。本系统采用 80C196KC 和 89S52 相结合的双 CPU 方案, 控制系统框图见图 2。整个系统分为以高性能 80C196KC 为核心的实时控制子系统和以 89S52 为核心的人机交互子系统。其中, 实时

^① 基金项目:湖南省自然科学基金(05E0093)

收稿时间:2008-12-26

控制子系统的任务是完成对转速、转矩等信号的高速采集处理,进行控制算法计算,实施系统的实时控制,而人机交互子系统的功能是对系统键盘进行监控以及控制液晶显示屏的输出。两个系统通过双口 RAM 芯片 IDT130 进行数据交换。此外,系统使用 CPLD(图 2 的 GAL16V8)实现逻辑电路,完成系统的译码,不仅减少芯片的使用数量,还大大提高了系统的可靠性。

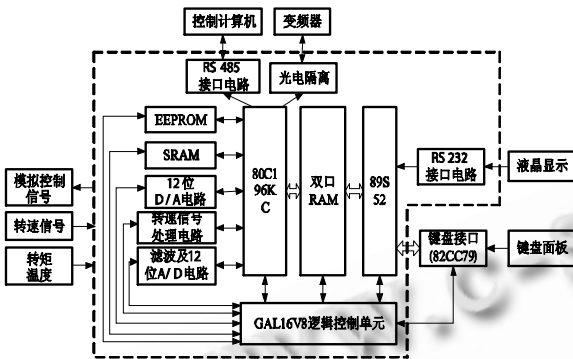


图 2 控制系统框图

3 实时控制子系统

图 2 中双口 RAM 的左半部分即为实时控制子系统。实时控制子系统利用 80C196KC[3]提供的高速输出 HSO 和内部定时器 T1 配合形成转矩、转速反馈信号的精确等间隔采样,数字滤波后利用 80C196KC 的外设事务服务器(PTS)块传输模式将数据保存到双口 RAM 中供人机交互子系统使用。PTS 类似于 DMA 操作,采用微代码硬件中断处理,可大大减少 80C196KC 响应中断的时间。此外,系统还充分利用了 80C196KC 提供的内部 A/D 转换器,来定时采集发动机的缸盖温度。

3.1 转矩检测及其处理

本系统测功机属于平衡式电力测功机,通过浮动的定子外壳与电机底座之间的拉压传感器测出转矩。拉压传感器选用中航电测的波纹管单点式称重传感器,型号为 HM11。它的信噪比高,抗干扰能力强。A/D 转换器选择 12 位的 AD1674,输入电压范围 0~±10V 或 0~±5V,单双极性可选。因 HM11 输出电压为 0~±24mV,为适应 AD1674 输入电压要求,需要将信号放大。由于存在交流电力测功机电磁干扰、发动机振动、环境气候变化、电源及电器器件等干扰源,本系统选用仪表放大器 AD620 作为前置放大器[4],将 HM11 输出信号放大到-5V~+5V;

再接反相器实现信号缓冲和硬件调零,消除传感器输出信号和前置放大器的零漂;经过二阶巴特沃斯低通滤波器硬件滤波后,信号通过光耦隔离电路,实现强弱电线性隔离,并使信号源的接地点与模拟输入电路之间不共地,切断共模干扰信号的回路,防止电路部分“共地”引入共模干扰或各路之间数据串扰。原理如图 3 所示。其中去耦电容 C3 防止干扰和振荡的发生;二极管 D1、D2 起限幅作用,防止尖峰电压的出现。

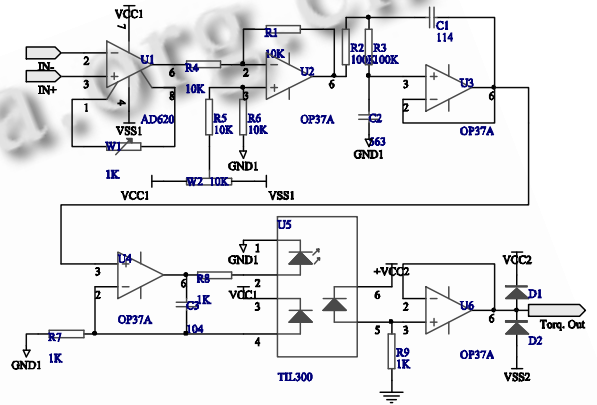


图 3 转矩调理电路原理图

此外,由于实时控制子系统主要工作于 8 位总线宽度下,而 AD1674 采用 12 位并行输出模式,因此子系统利用 80C196KC 的数据总线动态配置功能,通过 GAL16V8 译码使子系统在读程序和 A/D 转换结果时分别置数据总线为 8 位和 12 位方式,一次性读走 A/D 转换结果,在硬件上保证了高速采样的可行性和可靠性。

3.2 转速检测及其处理

转速传感器选用磁阻式磁电传感器。它结构简单,安装精度要求较低,无源,且输出脉冲信号,不易受干扰。具体转速检测电路如图 4 所示。感应磁头产生的交变模拟信号经过 LM324 构成的比较电路整形处理转化为数字信号,再由光耦器件 TLP521 隔离后送施密特非门触发器 74HC14 进一步整形,最后再送 80C196KC 外部中断输入口完成转速脉冲信号的采集。

常用的数字测速方法有 M 法(测频法)、T 法(测周期法)和 M/T 法。本系统采用 M/T 法[4,5]:在转速输出脉冲的下降沿启动定时器,定时时间为 T_c。定时时间到时,停止对转速输出脉冲个数 m₁。等下一个转速输出脉冲下降沿到来时,停止对时钟脉冲 m₂ 的计数。

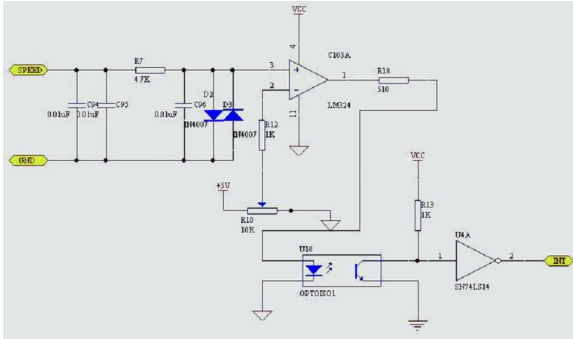


图 4 转速检测电路原理图

设转速传感器的齿盘有 P 个齿，则每转过 1 转发出 P 个电脉冲信号。定时器的时钟脉冲频率为 f_0 ，则测量时间为

$$T_d = T_c + \Delta T = m_1 \cdot T = m_1 \cdot \frac{60}{P \cdot n} \quad (1)$$

转速为

$$n = \frac{60 f_0}{P} \cdot \frac{m_1}{m_2} \quad (2)$$

式(2)中的 m_1 值没有 1 个转速输出脉冲的误差，故 M/T 法的测量误差只可能因 m_2 计数值存在一个时钟脉冲的误差引起。即测量转速最大值为：

$$n_{max} = \frac{60 f_0}{P} \cdot \frac{m_1}{(m_2 - 1)} = \frac{60 f_0 m_1}{m_2 P} + \frac{60 f_0 m_1}{m_2 (m_2 - 1) P} = n + \Delta n \quad (3)$$

其相对误差为

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{m_2 - 1} = \frac{1}{f_0 T_d - 1} \quad (4)$$

由式(4)可知，M/T 法的相对误差与 n 无关，其测量精度只与定时器脉冲频率 f_0 和测量时间 T_d 有关，故 M/T 法适用于宽调速范围的精密测量。

4 人机交互子系统

图 2 中的右半部分即为人机交互子系统。人机交互子系统的键盘监控、参数显示任务实时性要求不高，因此采用 89S52 作为核心处理芯片。

在发动机的性能试验中，需要输入各个控制的目标值，如恒转速试验和恒转矩试验中的转速、转矩目

标值、节气门开度的给定值等。为了降低 A/D 转换成本，且防止模拟器件长期运行产生的温漂使得反馈信号 A/D 采样的偏移，影响控制，本系统采用数字键盘。

键盘包括“0~9”，“确认”，“上翻”，“下翻”，“取消”，“设置”，“控制键”共 16 个键。具体连线如图 5 所示。

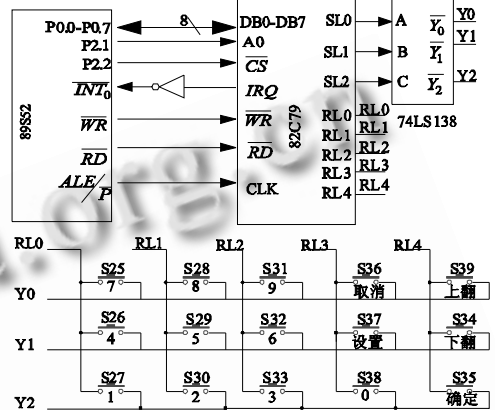


图 5 键盘电路连线图

89S52 通过 TOSHIBA 公司生产的可编程显示接口芯片 82C79 自动完成键盘的扫描输入。82C79 能自动清除按键抖动，并实现多键同时按下的保护；显示部分按扫描方式工作，可以连接 8 位或 16 位 LED 显示。由于采用液晶模块显示参数，故没有使用 82C79 驱动 LED 的功能。89S52 通过中断与 82C79 进行通信，因为 82C79 产生中断信号为上升跳变脉冲，而 89S52 的中断触发为下降跳变脉冲，所以信号需反向后才能相连。

5 双口RAM缓存

由于实时控制子系统忙于信号采集、分析计算和实时控制，不可能直接和人机交互子系统进行通信，因此系统采用双口 RAM 来缓存传输的数据。人机交互子系统将从键盘收到的给定数据和表示控制模式的控制字放入双口 RAM，实时控制子系统只需从双口 RAM 的另一侧将数据取走；实时控制子系统将运算处理后的转矩、转速、功率和温度放入双口 RAM，人机交互子系统从双口 RAM 的另一侧取走数据，并通过串口将数据发往液晶进行显示。从而减轻了实时控制子系统 CPU 的负担，提高了系统的可靠性。

本系统选用 IDT 公司的 IDT7130^[6]作为共享缓存。IDT7130 是 1K×8 双口静态 RAM，它的时序与

本系统的两个核心芯片(即 80C196KC 和 89S52)兼容,特别适合于大量数据高速传送。IDT7130 将 RAM 和总线仲裁电路集成在一片芯片上,既简化了应用电路结构,又提高了系统的可靠性;它的左右两个端口各有自己一套控制线、地址线和 I/O 数据线,两端 CPU 可以独立地读写双口 RAM 的任意单元,具有速度快、方式简单等优点,对左右两端的任意 CPU 而言,双口 RAM 等效于它的外部 RAM。

当两侧的 CPU 同时存取双口 RAM 的同一单元时,就产生了争用,会出现写入值或读出值不是期望值的混乱状态。IDT7130 的片内总线仲裁电路具有和两种总线仲裁方式。运用标志的硬件仲裁方式要求 CPU 能插入等待状态,而人机接口子系统的核心芯片 89S52 不具有这种功能,因此本系统采用标志的中断方案。具体连线如图 6 所示。

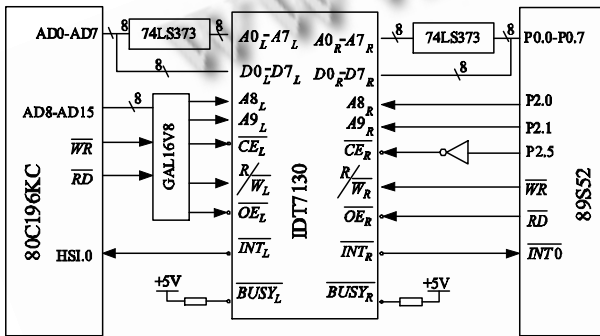


图 6 双口 RAM 电路连线图

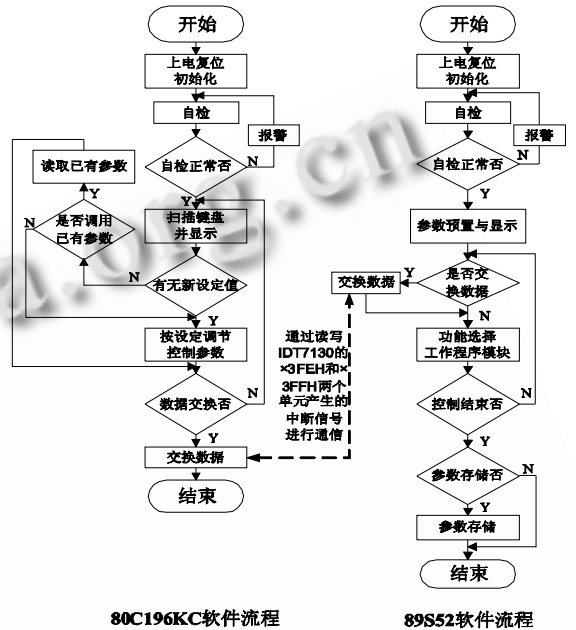
IDT7130 的 \overline{INT}_L 和 \overline{INT}_R 分别接两端 CPU 的一个中断输入端。利用 IDT7130 上的两个特殊存储单元 $\times 3FEH$ 和 $\times 3FFH$ 产生中断信号供两侧 CPU 使用。需要注意的是,使用 \overline{INT} 标志进行总线仲裁时, IDT7130 两端的 \overline{BUSY}_L 和 \overline{BUSY}_R 需要置为高电平。中断方案因排除数据争用问题,且 CPU 不需插入等待周期,可全速完成双口 RAM 的存取。

6 控制系统软件结构

系统软件包括 80C196KC 程序和 89S52 程序两部分。框图如图 7 所示。

控制系统的工作过程为:上电后两个子系统分别进行自检,若不正常则报警。操作者通过键盘面板设置控制参数或者调用存储在系统中的最优参数。89S52 通过双口 RAM 将参数传给 80C196KC,控制

过程开始。在控制过程中,80C196KC 高速采集反映发动机工况的转矩、转速及温度数据,数字滤波后通过控制算法算出控制量控制电机运转,并根据要求保存进双口 RAM,并产生中断使得 89S52 可以及时读取当前数据,并送往液晶屏显示。



80C196KC 软件流程

89S52 软件流程

图 7 系统软件结构框图

7 试验结果

本节以某摩托车发动机部分速度特性试验为例分析系统运行结果。按照摩托车发动机台架试验方法的国家标准[7],需要将发动机的节气门固定在规定的位置,逐步增加负载,降低转速,在可以稳定的转速范围内选取不少于六个转速点。但是在空载状态下,直接将节气门打开到较大的位置,容易在功率输出轴附近造成极大的震动,从而对与发动机相连的测功机造成极大的损害。因此,实际试验中,当节气门打开到某个位置时,就应开始逐步加载。本系统在发动机转速达到 500r/min 时开始进行恒转速控制。试验设定期望转速为 1200r/min,节气门开度为 50%时,系统的速度闭环控制的动态响应曲线如图 8 所示。

从图 8 中可见,转速超调较小并能迅速达到稳定状态,稳态误差在 5r/min 内。控制精度较高,可以满足摩托车发动机试验的要求。

(下转第 88 页)

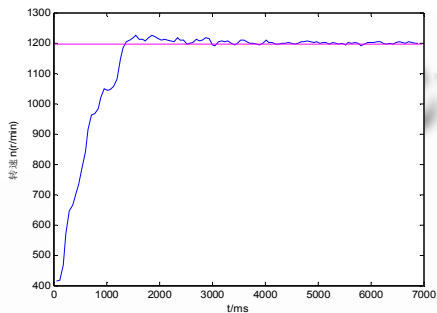


图 8 速度闭环控制的动态响应曲线

8 结论

本文介绍了开发中的基于双 CPU 结构的交流异步电力测功机控制系统的设计,详细介绍了硬件电路开发过程中遇到的主要问题和解决方法,并给出了系统的软件结构。试验结果表明,该系统的精度达到了项目要求。

参考文献

- 1 吴克刚,曹建明.发动机测试技术.北京:人民交通出版社,2002.
- 2 陈鸿蔚,张桂香.基于模糊模型的交流异步电力测功机转矩和转速辨识,2009,20(2):162-166.
- 3 孙涵芳.Intel 16 位单片机.北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- 4 叶振凯.基于小波分析的交流电力测功机测试系统研究[硕士学位论文].长沙:湖南大学,2004.
- 5 齐长远,王爱明,等.一种非接触高精度的转速测量方法.微型机与应用,2000,19(12):21-22.
- 6 孟绰,孟庆鑫,王晓东,谭定忠.双口 RAM IDT7130 在 DSRV 对接机械手控制系统中的应用.哈尔滨理工大学学报,2000,5(3):48-50.
- 7 GB/T 5363—1995.摩托车和轻便摩托车发动机台架试验方法.