

# 基于 ARM7 的喷气织机电磁阀控制电路

郭张军<sup>1</sup>, 吴震宇<sup>1\*</sup>, 刘凤臣<sup>2</sup>

(1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018; 2. 杭州娃哈哈集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**为完成喷气织机高频电磁阀的实时控制,提升对电磁阀工作时的故障检测能力,设计了基于 ARM7 的电磁阀高速驱动和电流检测反馈控制系统。以 ARM7 处理器的芯片 LPC2478 为微控制器,并在数据、地址总线基础上,通过采用复杂可编程逻辑器件(CPLD)扩展了输出口线;针对喷气织机电磁阀高频特性,设计了高、低压复合的驱动控制电路;为判断电磁阀工作性能的优劣,增加了电流检测环节。试验结果表明,该系统运行稳定、高效,通过对电流检测反馈数据的分析,提高了喷气织机生产的质量和效率。

**关键词:**喷气织机;ARM7;电磁阀;复杂可编程逻辑器件;控制电路;电流检测

中图分类号:TP271.4;TH39;TS1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0773-04

## Control circuit for air-jet loom solenoid valve based on ARM7

GUO Zhang-jun<sup>1</sup>, WU Zhen-yu<sup>1</sup>, LIU Feng-chen<sup>2</sup>

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;  
2. Hangzhou Wahaha Group Co. Ltd., Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to complete the real-time control of air-jet loom high frequency solenoid valve, and to promote the fault detection ability of solenoid valve when they work, a control system of high speed driving and current detecting feedback of solenoid valve with ARM7 was designed. ARM7 process chip LPC2478 was used as microcontroller, then an output line expansion circuit was designed with complex programmable logic device(CPLD) on the basis of microprocessor data/address bus. A high speed driving circuit was designed by the high, low voltage composite technology with the characteristic of air-jet loom solenoid valve. Current detecting part was added for judging the working performance of solenoid valve. The test results show that the system has stable operation, high efficiency. The production quality and efficiency of air-jet loom are improved by the research of current detecting feedback data.

**Key words:** air-jet loom; ARM7; solenoid valve; complex programmable logic device(CPLD); control circuit; current detection

## 0 引 言

电磁阀是喷气织机的关键执行机件,其工作开关频率高达 15 Hz ~ 30 Hz<sup>[1]</sup>。电磁阀的开启、闭合控制,影响着喷气织机引纬效果,决定着喷气织机生产能力。因此,电磁阀控制电路是整个织机系统设计中的重要组成部分。国内外有学者对电磁阀控制方面做了一定的研究。宋军等<sup>[2]</sup>人对发动机电控喷射系统中的电磁阀控制作了研究,设计和分析了电磁阀可调电阻式驱动电路、双电压式驱动电路和脉宽调制式驱动电路;

他们指出 3 种控制电路的有机调节,可实现对系统的柔性控制。VAUGHAN N D 等<sup>[3]</sup>人对高速直动式电磁阀控制进行了建模与仿真,研究了电磁阀控制电路中电感、电流、磁通量等参数对系统性能的影响,并对模型进行了实验验证。目前,喷气织机电磁阀大多都以开环控制为主,电磁阀在实际工作中的响应效果没有得到反馈。

本研究利用高压开启、低压保持技术<sup>[4]</sup>完成对织机高频电磁阀快速驱动电路的设计,并通过对电磁阀电流的检测,分析研究电磁阀的控制性能。

收稿日期:2012-02-20

作者简介:郭张军(1988-),男,浙江绍兴人,主要从事纺织设备机电控制方面的研究。E-mail:gzj\_dxdx@yahoo.com.cn

通信联系人:吴震宇,男,副教授,硕士生导师。E-mail:zistwuzhenyu@163.com

## 1 总体方案

### 1.1 系统总体方案

该系统的总体设计方案如图 1 所示。

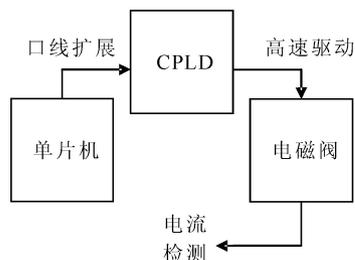


图 1 系统总体方案框图

### 1.2 输出口线扩展

本研究采用 CPLD 对单片机 LPC2478 作输出口线扩展的原因是:①LPC2478 作为整个织机系统的微控制器,处理着除了电磁阀以外的其他功能模块,剩余口线数量有限,不足控制该系统的 16 路电磁阀;②电磁阀是喷气织机的重要执行器件,多路电磁阀的控制是织机系统中的必备环节。单片机有生命周期、生产时间周期,如果没有一个好的扩展模块控制电磁阀,在系统升级的时候,整套已有的电磁阀控制设备包括软件、硬件的重用性就很小,反之则可以很容易地将扩展模块应用到新的控制系统中;③CPLD 的特性<sup>[5]</sup>:运行可靠、稳定,保证了扩展系统的安全运作;响应快速、高效,能够满足喷气织机系统的正常工作;集成度高、功能强,扩展便捷灵活,可以缩短系统的开发周期。

该系统选用扩展芯片 EPM240T100C5N,是 Altera 公司目前市场性价比较高的 MAXII 系列的 CPLD。该芯片资源比较丰富,有 240 个逻辑单元,192 个等效宏单元,8 KB Flash 的存储空间。其封装类型为 TQFP,100 引脚,80 输入/输出线数。传播延迟时间为 5.9 ns。单片机 LPC2478 在数据总线扩展的时候可以采取 32 位、16 位、8 位的总线宽度连接方式。该系统硬件连接采取的是 8 位总线宽度连接方式,因为 CPLD 芯片 EPM240T100C5N 是 100 个引脚,如采用 32 位、16 位的总线扩展方式会使得可以扩展的 I/O 口线减少,对整个系统的控制产生不利影响;如用 8 位总线宽度扩展方式,其通讯速率已经可以保证该系统的正常工作。根据扩展系统的数据传输量大小以及设计硬件电路时的难易程度,地址总线引出 4 位。

## 2 驱动控制设计

喷气织机上用的高频电磁阀是两位两通直动式电磁阀,阀线圈通电后,铁芯和衔铁被磁化,成为极性相反的两块磁铁,它们之间产生电磁吸力。当吸力大于弹簧的反作用力时,衔铁开始向着铁芯方向运动,阀打开。当线圈中的电流小于某一定值或中断供电时,电磁吸力小于弹簧的反作用力,衔铁将在反作用力的作用下返回原来的释放位置,阀关闭。

高频电磁阀具有较大质量的阀芯和较高的启闭特性要求,如要求电磁阀有快速的响应,其控制电路中的电流在刚导通的时候要大,在短时间内产生足够的电磁力,使电磁阀阀芯迅速打开。但是,如果一直保持大电流,电路中电磁阀线圈上的功率损耗会很大,而且电磁阀线圈过载会导致电磁阀及控制系统不能正常工作。所以在电磁阀完全开启后,可以用小电流来维持其开启状态,直至线圈断电。这是电磁阀驱动电路设计的重点。该系统设计思路是采用过励磁技术<sup>[6]</sup>,开启时,首先加过励磁电压 40 V,以减少电磁阀开启时的滞后响应时间。阀打开后,输入电压降为 12 V 维持电压,可减少电磁阀关闭时的滞后响应时间。通过高、低电流切换的时序控制,能够实现织机电磁阀的快速开闭。

### 2.1 信号整理模块电路

信号整理模块的作用是改善驱动信号的性能。本研究设计该模块电路时选择六反相 Schmitt 触发器<sup>[7]</sup>,其主要功能是将输入信号相位取反,并提升带负载能力。

### 2.2 单稳态触发电路

单稳态触发电路如图 2 所示。输入信号 LOW\_Trigger1 经过单稳态触发器,输出信号 HIGH\_Trigger1。其中,单稳态触发器为双精度可再触发/复式单稳态触发器。单稳态触发器被广泛应用于数字系统中的整形、延时以及定时等。它具有如下显著特点<sup>[8]</sup>:输出只有一个稳态,当有外触发脉冲作用时,它能从稳态转到暂稳态,但在暂稳态维持一段时间后,能自动返回稳态,该暂稳态维持的时间长短要求仅取决于电路本身的参数,而与外触发脉冲信号的宽度无关。

该电路中  $R_{19} = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $C_{15} = 10 \text{ 000 pF} = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$ ,则产生的脉宽为:

$$T_1 = C_{15} \times R_{19} \quad (1)$$

由式(1)计算得  $T_1 = 1 \text{ ms}$ ,即图 2 中 HIGH\_Trigger1 信号高电平持续时间约为 1 ms。

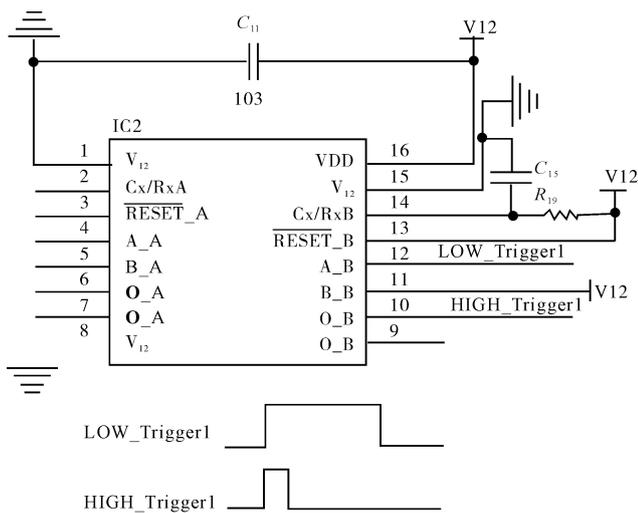


图 2 单稳态触发电路图

### 2.3 信号驱动模块电路

信号驱动模块电路如图 3 所示。其中,LOW\_Trigger1、HIGH\_Trigger1 是图 2 中电路输出的触发信号, VaLO、VaLI 是连接电磁阀线圈两端的信号。

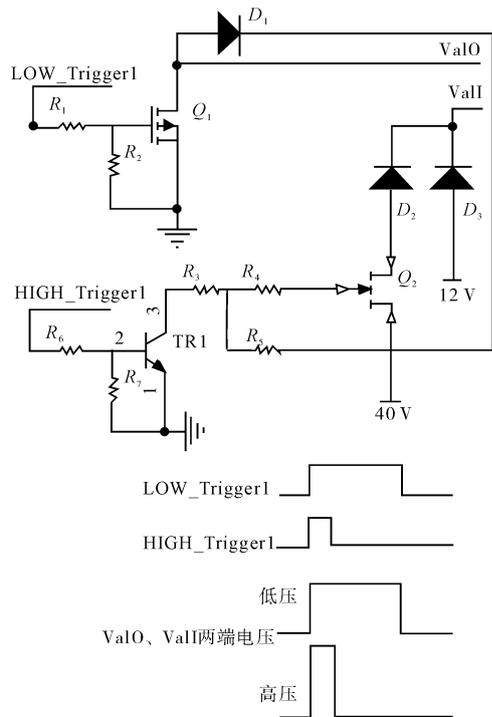


图 3 信号驱动电路图

图 3 中,当 LOW\_Trigger1 信号为低电平,则 HIGH\_Trigger1 信号也为低电平。此时三极管 TR1,场效应管 Q1、Q2 均不导通,电磁阀处于关闭状态。当 LOW\_Trigger1 信号为高电平,则 HIGH\_Trigger1 信号为持续一段时间的高电平,即 HIGH\_Trigger1 端产生一定的脉宽信号(如图 2 中电路所示)。此时,场效应管 Q1 导通,二极管 D3 导通,电磁阀两端持续加有 12 V 的电

压;当 HIGH\_Trigger1 信号也为高电平时,三极管 TR1 导通,又使场效应管 Q2 导通,二极管 D2 随之导通,此时电磁阀两端又加有 40 V 的电压,相当于低压 12 V、高压 40 V 同时加在电磁阀线圈两端,使电磁阀能迅速打开;当 HIGH\_Trigger1 信号变为低电平时,三极管 TR1 和场效应管 Q2 关断,电磁阀两端 40 V 的高压消失,处于一个 12 V 低压保持阀打开的状态,直到 LOW\_Trigger1 信号变为低电平,使电磁阀关闭。

### 3 检测方法

本研究从可行性、测量精度、电路设计难易等方面考虑,选择回路串电阻的电流检测方法<sup>[9]</sup>。笔者在电磁阀驱动电路的回路中串联精密小电阻,通过测取其两端的电压值来间接测量电磁阀线圈上的电流值。

电子应用系统中,输入信号往往包含一些噪声信号,为了保证信号的准确性,必须设法将它衰减掉,或者提取有用信号,从而要用到滤波电路<sup>[10]</sup>。本研究通过实验选择仪表放大器 INA128 来设计有源低通滤波电路。INA128 是低功耗、高精度的通用仪表放大器,它具有差分输入特性,在整个频率范围内具有良好的共模抑制比。INA128 用单个外部电阻可实现从 1~10 000 的任一增益选择。INA128 的增益为:

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_C} \quad (2)$$

如果令  $R_C = \infty$ ,即让 1 脚和 8 脚开路,那么增益就趋近于 1,这时 INA128 就可以当电压跟随器使用了。这样,无源 RC 低通滤波电路和 INA128 就构成了有源滤波器。该系统设计的有源低通滤波电路如图 4 所示。图 4 中,SigI1、SigI2 表示输入信号端,SigO 表示输出信号端。

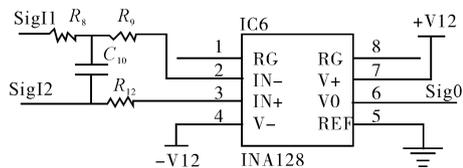


图 4 有源低通滤波电路图

### 4 试验分析

本次试验用的喷气织机型号为 RFJA10 喷气织机,试验中通过检测电路中的电流,分析电磁阀打开与关闭过程中阀线圈电流的变化情况。本研究用示波器测试回路小电阻两端经过滤波后的电压变化情况,选择上升沿触发方式,捕捉电压变化曲线,并记录保存数据。最后本研究将数据导入 Matlab 软件进行处理,处

理后得到的电磁阀线圈电流变化曲线如图 5 所示。

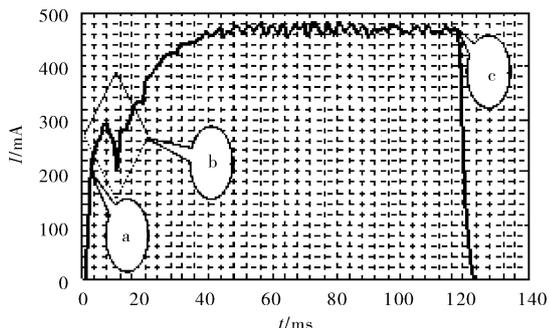


图 5 电磁阀线圈电流变化曲线图

为分析出电磁阀打开的时间点,本研究向电磁阀线圈两端连接可调稳压电源,当直流电压加到 5.20 V 时,才听到阀体动作的声音。因此,可以由图 5 分析得出电磁阀线圈电流的具体变化情况。图 5 中, a 处表示电磁阀阀芯打开点,大概需要 1.6 ms 的时间,此时电流约为 200 mA。b 处电流变化比较大,一开始电流继续上升,但斜率比之前要小,这是因为高压部分撤离,但高压没有完全消失,较弱的高压和低压使电流以较小的斜率继续上升;当高压完全消失的时候,电流就转为下降,这就是 b 段中间部分变化的原因;当电流下降后,因为低压的一直存在,所以最后部分在低压驱动下电流又开始上升,直到到达保持电流。c 处是电磁阀关闭点,虽然此时电压已经切断,但电流不能马上降为零,故电磁阀阀芯真正被关断也有一定的延时。

## 5 结束语

本研究设计了喷气织机电磁阀的高速驱动控制系统,并对电磁阀线圈电流进行了检测。用微处理器作核心控制,以 CPLD 扩展输出口线,设计了高、低压复合的高速驱动电路。本研究在驱动回路串联精密小电

阻,以检测电磁阀线圈电流。织机运行时,通过适时打开与关闭电磁阀,以得到电流变化数据。

试验结果表明,电磁阀电流曲线变化情况与实际相符,阀工作性能优良,高压开启、低压保持的驱动电路能实现喷气织机电磁阀的快速开闭,整个控制电路符合织机系统稳定、高效的设计要求。

本研究通过控制与检测两方面的结合,有利于提高和改善电磁阀响应性能,确保了织机引纬的稳定和高速,可为喷气织机国产化程度的提升提供参考。

## 参考文献 (References):

- [1] 孙燕华,孙信松. 喷气织机喷嘴控制电磁阀性能测试仪的研究[J]. 上海纺织科技,2010,38(12):57-59.
- [2] 宋 军,李书泽,李孝禄,等. 高速电磁阀驱动电路设计及试验分析[J]. 汽车工程,2005,27(5):546-549.
- [3] VAUGHAN N D, GAMBLE J B. Modelling and simulation of a proportional solenoid valve[J]. **American Society of Mechanical Engineers**, 2002(25):30-34.
- [4] 叶洪伟,王 涛,金 鑫. 高速电磁阀驱动控制策略的研究[J]. 电工电气,2011(7):18-20.
- [5] 张鸣芸,张伯珩,边川平,等. 基于单片机和 CPLD 的控制系统的设计[J]. 科学技术与工程,2007,17(7):4508-4511.
- [6] 严鹤群,戴继光. 喷气织机原理与使用[M]. 2 版. 北京:中国纺织出版社,2006.
- [7] SMITH M J S. On the circuit analysis of the Schmitt trigger [J]. **IEEE Journal of Solid-State Circuits**, 1988,23(1):292-294.
- [8] 姚茂群,沈继忠,朱志刚. 单稳态触发器的结构及其开关级设计原理[J]. 电路与系统学报,2005,10(6):85-87.
- [9] HARIRAK A, SANGWONGWANICH S. A novel source - current detection type active filter equivalent to load - current detection type[J]. **IEEE Industry Application**, 2005(2):1205-1212.
- [10] 李 伟. 基于 STC89C58RD + 的电磁阀检测系统设计 [D]. 武汉:武汉科技大学信息科学与工程学院,2010.

[编辑:张 翔]

(上接第 753 页)

- [5] 张 琳,冯红艳,吴 蓉,等. 瞬态小尺寸等离子体的判断及光谱表征[J]. 兵工学报,2009,30(11):1435-1439.
- [6] GAO Yi-qing, YU Qiu-xiang, JIANG Wen-bo, et al. Reconstruction of three-dimensional arc-plasma temperature fields by orthographic and double-wave spectral tomography [J]. **Optics & Laser Technology**, 2010, 42:61-69.
- [7] 李志钢. 等离子体弧图像采集及温度场诊断研究[D]. 大连:大连理工大学机械工程学院,2007.
- [8] SUN Jing, XU Wen-ji, WANG Chun-yan. Characteristic analysis of plasma arc adjusted by a magnetic field [J]. **Applied Mechanics and Materials**, 2011,44-47:1812-1816.
- [9] 张丕壮,路宏年. 面阵 CCD 微光像传感器图像的校正[J]. 兵工学报,2000,21(4):361-363.
- [10] 李汉舟,张敏贵,潘 泉,等. 基于面阵 CCD 图像的温度测量研究[J]. 仪器仪表学报,2003,24(6):654-655.
- [11] 汪 伟,卢科青,王 文. 基于坐标测量机的轴向立体视觉测量方法研究[J]. 机电工程,2010,27(11):17-20.
- [12] ZHOU Xue-li, WAN Wang-gen, ZHOU Zheng-hua, et al. A novel interpolation algorithm for 3D reconstruction of medical images [J]. **IEEE Audio Language and Image Processing (ICALIP)**, 2010(23-25):797-801.

[编辑:罗向阳]